

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université IbnKhaloudon –Tiaret



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : 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 : Science Biologique

Spécialité : Biologie moléculaire et cellulaire

Présenté par :

Melle : SOUALA Hiba Nada Elyassmine

Melle : SI YAHIA Assala

Mr : ZOUIRA Sahraoui

Thème

Caractérisation phytochimique et évaluation de l'activité biologique de quelques espèces du genre *Mentha*

Soutenu publiquement le .../07/2024

Jury :

Grade

Président :	OUNES Mohamed	MAA	Université Ibn Khaldoun
Examineur:	BENKHETTOU Abdelkader	MAA	Université Ibn Khaldoun
Encadrant :	BOUSSAID Mohamed	Professeur	Université Ibn Khaldoun

Année universitaire 2023-2024



Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah pour nous avoir accordé la santé, la patience, la force et la volonté nécessaires pour mener à bien ce mémoire. Tout travail résultant de l'effort humain est toujours le fruit d'une collaboration étendue. Ainsi, nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons particulièrement à remercier Monsieur Mohamed BOUSSAID, notre encadrant, ainsi que Monsieur Mohamed ZEDEK, notre co-encadrant, pour leur confiance, leur attention, leurs qualités humaines, la qualité de leur encadrement, leur soutien, leurs conseils avisés, leurs orientations, leur patience et leur suivi continu, sans lesquels ce travail n'aurait pas pu aboutir.

Nous souhaitons également exprimer nos sincères remerciements à Monsieur Khaled TAIBI, Monsieur Mohamed ACHIR, Monsieur Kadda SOUANA et Madame Leila AIT ABDRAHIM, nos enseignants, pour leur enseignement précieux.

Nos remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre étude en acceptant d'évaluer ce travail et en le enrichissant par leurs suggestions. Nous remercions tout particulièrement le Dr. Mohamed OUNES pour avoir présidé le jury et le Dr. Abdelkader BENKHETTOU pour avoir examiné notre travail.

Nous tenons à remercier chaleureusement Madame F. Semmar, de l'ingénierie de laboratoire Biochimie, pour nous avoir accueillis dans son laboratoire et pour avoir facilité des conditions de travail excellentes.

Un grand merci à tous ceux qui ont travaillé avec nous au laboratoire, en particulier le Docteur Khadija MEKNASSI.

Nous souhaitons exprimer notre reconnaissance infinie à nos parents et à notre famille pour leur soutien inconditionnel, leur patience et leur compréhension tout au long de nos années d'études. Leur amour et leurs encouragements ont toujours été notre principale source de motivation.

Nous remercions également nos collègues et amis pour leurs échanges enrichissants et leur soutien moral qui ont été une véritable source d'inspiration. Leur amitié a rendu ce parcours plus agréable et moins solitaire.

Enfin, un immense merci à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Leur soutien et leur apport ont été précieux, même si leurs noms ne sont pas mentionnés ici.

Dédicace

Louange à ALLAH, le Tout Puissant, qui nous a permis de mener à bien ce modeste travail.

On dit « les mots s'envolent, seuls les écrits restent » c'est pour cela que je vous écris ces petits mots.

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce travail aux personnes les plus chères au monde

Mes très chers parents

Qui m'ont offert leur amour et leur soutien et qui n'ont cessé de m'encourager et m'enseigner persévérance durant toute mes années d'études.

À mes chères frères Omar, Abd el Hakim, Abd el Djalil et Ayoub.

À mes sœurs Nacira et Hoda.

À toute la Famille Si yahia et la famille de ma mère Djellal.

Spéciale dédicace à tous mes amis particuliers : Hiba, Maroua, Aicha.

À toute la famille de spécialité de biologie moléculaire et cellulaire.

ASSALA



Dédicace

à ma mère, la source de tendresse et la lumière qui guide mes routes et qui m'amène aux chemins de la réussite, pour tous ses sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie. A mon père que je le remercie énormément pour ses efforts, ses conseils et sa surveillance.

À tous ceux qui m'ont soutenu avec amour dans mes moments de faiblesse et qui ont écarté toutes les difficultés de mon chemin, préparant la voie pour moi en semant confiance et détermination en moi... mon soutien et l'épaule sur laquelle je m'appuie toujours Mes chers frères et sœurs : Kadi, Zaid, Wassim, Hoyam, Fatima.

Tous mes amis pour leur compagnie.

a tous mes enseignants sans exception.

Enfin, j'offre mes bénédictions à tous ceux qui m'ont soutenu dans l'accomplissement de ce travail.

**HIBA NADA
ELYASSMINE**



Dédicace

Je remercie Dieu (mon Dieu) qui m'a donné la capacité d'écrire, de penser et d'être patient pour suivre le rêve jusqu'au bout.

Je dédie cet humble travail à mes chers parents, qui ont fait beaucoup de sacrifices pour moi. J'ai atteint ce point de ma vie, que Dieu les bénisse pour moi.

À mon frère et à mon bras droit, à mes oncles et à toute ma famille.
À mes professeurs et enseignants qui m'ont suivi tout au long de ma vie d'études.

À tous mes amis et à tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement.

Loin d'être un projet réalisable sans vous, je vous dis merci.

Sahraoui

ملخص

يهدف هذا العمل إلى توصيف المكونات الكيميائية النباتية وتقييم النشاط المضاد للأكسدة للمستخلصات باستخدام طريقة DPPH لأربع أنواع من نبات النعناع في الجزائر، باستخدام نوعين من المستخلصات (مائية وإيثانولية) للأوراق والسيقان. تظهر النتائج وجود تباينات كبيرة في محتويات البوليفينولات والفلافونويدات والتانينات بين الأنواع المدروسة. عمومًا، أظهرت المستخلصات الإيثانولية تركيزًا أعلى من البوليفينولات، بينما أظهرت المستخلصات المائية محتويات أعلى من الفلافونويدات في السيقان. أظهرت المستخلصات الإيثانولية لسيقان النعناع المدبب (*Mentha spicata*) أقوى نشاط مضاد للأكسدة مع قيمة IC50 لا تتجاوز 4.67 ميكروجرام/مل، مما يبرز فعالية الإيثانول كمذيب لاستخراج المركبات المضادة للأكسدة.

الكلمات المفتاحية: النعناع، توصيف كيميائي نباتي، نشاط مضاد للأكسدة، مستخلصات مائية، مستخلصات إيثانولية، DPPH.

Abstract

The objective of this work is the phytochemical characterization and evaluation of the antioxidant activity of extracts through the DPPH method of four *Mentha* species in Algeria, using two types of extracts (aqueous and ethanolic) from leaves and stems. The results show significant variations in the contents of polyphenols, flavonoids, and tannins among the studied species. The ethanolic extracts generally showed a higher concentration of polyphenols, while the aqueous extracts presented higher flavonoid contents in the stems. The ethanolic extracts of *Mentha spicata* stems demonstrated the highest antioxidant activity with an IC50 not exceeding 4.67 µg/ml, thus highlighting the effectiveness of ethanol as an extraction solvent for antioxidant compounds.

Keywords: *Mentha*, phytochemical characterization, antioxidant activity, aqueous extracts, ethanolic extracts, DPPH.

Résumé

L'objectif de ce travail c'est la caractérisation phytochimique et l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits à travers la méthode de DPPH de quatre espèces du genre *Mentha* en Algérie, en utilisant deux types d'extraits (aqueux et éthanoliques) des feuilles et tiges.

Les résultats montrent des variations significatives dans les teneurs en polyphénols, flavonoïdes et tanins entre les espèces étudiées. Les extraits éthanoliques ont généralement montré une concentration plus élevée en polyphénols, tandis que les extraits aqueux ont présenté des teneurs plus élevées en flavonoïdes dans les tiges. Les extraits éthanoliques des tiges de *Mentha spicata* ont démontré la plus forte activité antioxydante avec une IC50 ne dépassant pas 4,67 µg/ml, soulignant ainsi l'efficacité de l'éthanol comme solvant d'extraction pour les composés antioxydants.

Mots clés : *Mentha*, caractérisation phytochimique, activité antioxydante, extraits aqueux, extraits éthanoliques, DPPH.

Liste des figures

Figure 1. <i>Mentha spicata</i> L.(photo originale)	3
Figure 2. <i>Mentha pulegium</i> .(photo originale).....	4
Figure 3. <i>Mentha Rotundifolia</i> . (Photo originale)	4
Figure 4. <i>Mentha</i> hybride(photo originale)	5
Figure 5.Tiges et feuilles de <i>Mentha Spicata</i> séchées (Photo originale).....	10
Figure 6. Broyat des feuilles de <i>Mentha spicata</i> L.....	11
Figure 7 : Macération sous agitation pendant 24h.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure.8. Forme libre et réduit de DPPH (Photo originale)	14
Figure 9. Variation des teneurs en phénols totaux dans les différents extraits de plantes testées.	177
Figure 10 . Teneur en Flavonoïdes des différents extraits testés.	19
Figure 11 . Teneur en tanins des différents extraits testés.	20

Liste des tableaux

Tableau 1. Rendement des différents extraits de plante.	16
Tableau 2 . IC ₅₀ des différents extraits en (µg/ml).....	22

Liste des abréviations

DPPH : 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl

ABTS : sel d'ammonium de l'acide 2,2-azinobis- (3-éthylbenzothiazoline-6- sulfonique.)

FRAP: Ferric Reducing Antioxidant Power

TRAP: Total Réactive Antioxidant Potentiel

H₃PMO₁₂O₄₀ : Acide phosphoromolybdique

MO₈O₂₃ : Les octamolybdates

AlCl₃ : Chlorure d'aluminium

HCL : Chlorure d'hydrogène

Ac : absorbance du contrôle négatif (blanc).

At : absorbance de l'extrait testé

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

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

M : Menthe

Hy.Fe.Aq : hybride feuille aqueux

Hy.Fe.Et : hybride feuille éthanolique

Hy.Ti.Aq : hybride tige aqueux

Hy.Ti.Et : hybride tige éthanolique

Pu.Fe.Aq : pulegium feuille aqueux

Pu.Fe.Et : pulegium feuille éthanolique

Pu.Ti.Aq : pulegium tige aqueux

Pu.Ti.Et : pulegium tige éthanolique

rot.Fe.Aq : rotundifolia feuille aqueux

rot.Fe.Et : rotundifolia feuille éthanolique

rot.Ti.Aq : rotundifolia tige aqueux

rot.Ti.Et : rotundifolia tige éthanolique

Spi.Fe.Aq : spicata feuille aqueux

Spi.Fe.Et : spicata feuille éthanolique

Spi.Ti.Aq : spicata tige aqueux

Spi.Ti.Et : spicata tige éthanolique

Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
ملخص	
Abstract	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	1
 Synthèse bibliographique	
1. Le genre <i>Mentha</i>	2
1. 1. Description et caractéristiques botaniques	2
1. 2. Caractéristiques distinctives du genre <i>Mentha</i>	2
1.2.1. <i>Mentha spicata</i> .L.....	3
a. Description botanique	3
1.2.2.. <i>Mentha pulegium</i> .L.....	3
a. Description botanique	3
1.2.3. <i>Mentha rotundifolia</i>	4
a. Description botanique:.....	4
1.2.4.. Menthe hybride.....	5
a. Description botanique :.....	5
1.3.. Répartition de menthe en Algérie :	5
1.4. Utilisations thérapeutiques	6
2. Les métabolites secondaires	6
2.1. Les alcaloïdes	6
2.2. Les terpènes	7
2.3. Les composés phénoliques	7
a. Les acides phénoliques	7
b. Les flavonoïdes.....	7
c. Les tannins	8

3. Activités biologiques	8
3.1. Activité antioxydante.....	8
3.2. Activité antibactérienne.....	9
3.3. Activité anti-inflammatoire	9

Matériel et méthodes

1. Objectif	10
2. Matériel végétal	10
3. Méthodes.....	10
3.1. Préparation des extraites.....	10
a. Séchage	10
b. Broyage.....	11
c. Macération	11
3.2.. Détermination de rendement	12
3.3. Dosage des métabolites secondaires.....	12
3.3.1 Dosage des polyphénols totaux	12
3.3.2 Dosage des Flavonoïdes	13
3.3.3 Dosage des Tanins	13
3.4. Activité antioxydante.....	14
3.4.1 Piégeage du radical DPPH'	14

Résultats et discussion

1. Rendements en extraits.....	16
2.Caractérisation phytochimique.....	177
2.1 Teneur en Polyphénols.....	177
2.2 Teneurs en flavonoïdes	18
2.3 Teneur en tanins.....	20
3. Activités biologiques	21

Conclusion	24
-------------------------	----

Références bibliographiques	25
--	----

Introduction

Introduction

Les plantes médicinales et aromatiques ont joué un rôle crucial dans les systèmes de médecine traditionnelle depuis des millénaires, offrant non seulement des solutions thérapeutiques efficaces mais aussi des alternatives naturelles aux médicaments synthétiques. Actuellement, environ 80 % de la population mondiale, principalement dans les pays en développement, dépend des plantes médicinales pour répondre à leurs besoins de santé primordiaux et pour traiter diverses affections (**Who, 2018**). Cette renaissance de l'intérêt pour les médecines traditionnelles est motivée par plusieurs facteurs, notamment les limites d'accès aux soins de santé modernes et les défis posés par la résistance aux antimicrobiens des pathogènes (**Newman & Cragg, 2016**).

Les plantes aromatiques, quant à elles, sont précieuses non seulement pour leur utilisation culinaire mais aussi pour leurs propriétés pharmacologiques diversifiées. Elles sont riches en métabolites secondaires tels que les terpènes, les phénols, les flavonoïdes et les alcaloïdes, qui confèrent une multitude d'activités biologiques bénéfiques. Ces composés sont associés à des effets antioxydants, antimicrobiens, anti-inflammatoires, antiviraux et anticancéreux, entre autres (**Farooq et al., 2019; Bakkali et al., 2008**).

Le genre *Mentha*, particulièrement répandu en Algérie grâce à sa diversité floristique et à ses conditions climatiques favorables, représente un sujet d'étude privilégié pour explorer ses composés phytochimiques et évaluer leurs propriétés biologiques. Les différentes espèces de *Mentha* sont connues pour leur usage traditionnel dans le traitement de divers maux, notamment les troubles digestifs, les affections respiratoires et les maladies cardiovasculaires (**Djahafi et al., 2021**). Ce travail vise donc à enrichir la connaissance sur ces plantes en quantifiant et identifiant leurs principaux métabolites secondaires et en évaluant leurs propriétés biologiques.

Synthèse bibliographique

1. Le genre *Mentha*

1. 1. Description et caractéristiques botaniques

Les espèces de menthe, appartenant à la famille des lamiaceae, sont largement répandues à travers l'Europe, l'Asie, l'Afrique, l'Australie et l'Amérique du Nord, s'adaptant à une grande variété d'environnements. Les recherches récentes, basées sur des caractéristiques morphologiques, cytologiques et génétiques, ont identifié 42 espèces et 15 hybrides au sein du genre *Mentha* (Bahare et al., 2018). Ces plantes herbacées vivaces prédominent dans les régions tempérées et subtempérées, souvent trouvées près d'étangs, de lacs et de rivières, nécessitant une ombre partielle pour prospérer (Henrique, 2020). En Algérie, quinze espèces de *Mentha* sont recensées, largement dispersées à travers le pays et appréciées à la fois pour leurs qualités culinaires et médicinales (Santa et al., 1962). Parmi celles-ci, on retrouve *Mentha aquatica* L., *Mentha longifolia* (L.) L., *Mentha pulegium* L., *Mentha* × *rotundifolia* (L.) Huds. et *Mentha spicata* L.

1. 2. Caractéristiques distinctives du genre *Mentha*

Les menthes se caractérisent par plusieurs traits morphologiques spécifiques :

- **Feuilles:** Opposées en paires, simples, oblongues à lancéolées, souvent duveteuses avec un bord dentelé. Leur couleur varie du vert foncé au gris-vert, parfois teintées de violet, de bleu ou de jaune pâle (Bohloul et al., 2009).
- **Tiges:** Érigées et ramifiées, les menthes peuvent atteindre des hauteurs variant de 10 à 120 cm (Bohloul et al., 2009).
- **Racines:** Elles possèdent des rhizomes souterrains étendus (Bohloul et al., 2009).
- **Fleurs:** Produites en grappes (verticilles) sur un épi dressé, les fleurs vont du blanc au violet et sont bilabiées avec quatre lobes subégaux, le lobe supérieur étant souvent le plus grand (Bohloul et al., 2009).
- **Calice:** Pentamère, composé de pièces souvent soudées (parfois bilabiées), avec généralement des dents supplémentaires ou des aiguillons (Martin, 2014).
- **Fruit:** Petite capsule sèche contenant une à quatre graines (Bohloul et al., 2009).

Cette diversité morphologique et écologique des menthes en Algérie offre un cadre propice à l'étude approfondie de leur composition phytochimique et de leurs potentielles applications biologiques et médicinales.

1. 2. 1. *Mentha spicata*.L

a. Description botanique

Mentha spicata est une plante herbacée vivace à rhizomes qui peut mesurer de 30 à 100 cm de haut. Elle a des tiges élevées, quadrangulaires, ramifiées et sans poils. Feuilles ovales à lancéolées, de 2 à 7 cm de long, dentées. Les inflorescences sont denses, terminales, de 3 à 12 cm de long et de 5 à 10 mm de large. Les fleurs sont roses ou blanches, portées par de minces épis interrompus (Ganesan et al., 2021).



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

1. 2. 2. *Mentha pulegium*.L.

a. Description botanique

Mentha pulegium L. est une plante herbacée vivace aromatique de la famille des Lamiaceae, communément connue sous le nom de menthe pouliot. Elle a une hauteur comprise entre 10 et 55 cm et a des rhizomes à sa base. Cette plante a une fragrance forte et une saveur très aromatique. Elle a des tiges dressées, verdâtres ou grisâtres, de section carrée et très ramifiées. Feuilles opposées et longues de 15 à 25 mm, ovales ou oblongues, à pétiole court, base arrondie et sommet obtus. Fleurs de 4,5 à 6 mm de long, qui se déploient de juillet à septembre. Ces plantes sont de couleur lilas rose, parfois blanche, et sont disposées en glomérules étendues le long de la tige (Bouazza et al., 2022). Les fleurs en cyme, supportées par une bractée foliacée, peuvent être de 30 fleurs, avec deux préfeuilles à leur base. Le calice est velu, en cloche, un peu bilabié et strié de 5 dents subégales. Les corolles sont composées

Synthèse bibliographique

de 4 lobes à peu près égaux et de 4 étamines saillantes, disposées en verticilles denses mais éparses. Elle fleurit de juillet à octobre.



Figure 2. *Mentha pulegium* . (Photo originale)

1. 2. 3. *Mentha rotundifolia*

a. Description botanique

La *Mentha rotundifolia* connue sous le nom de menthe à feuilles rondes, est une plante herbacée vivace à tige dressée, quadrangulaire, couverte un tomentum blanc, pouvant atteindre 100 cm de haut. Feuilles opposées, sessiles ou à court pétiole, oblongues et arrondies à la base, à poilu, de 3 à 4,5 cm de long et de 2 à 4 cm de large. Les inflorescences sont de forme glomérule en épi. Les fleurs, longues de 2 à 5 mm, sont de couleur blanche à violette et sont dressées en épis coniques, terminaux et cylindriques (Ben Haj et al., 2019).



Figure 3. *Mentha rotundifolia* . (Photo originale)

1. 2. 4. Menthe hybride

a. Description botanique

Mentha hybride entre *Mentha Spicata* et *Mentha pulegium* est une plante herbacée vivace aromatique de la famille des lamiaceae, peut atteindre une hauteur de 60 à 120 cm. Ses feuilles disposées en spirale, sont très longues et étroites, à pétiole court, souvent vert foncé, avec une texture plus fine . des tiges élevées, quadrangulaires, ramifiées, Sa couleur est vert jaunâtre. Les fleurs sont roses ou blanches. Son parfum nous procure une combinaison de l'arôme frais de la menthe spicata et de l'arôme intense du pulegium.



Figure 4. Menthe hybride (photo originale)

1. 3. Répartition de menthe en Algérie

L'Algérie, en raison de sa situation géographique, bénéficie de divers facteurs de pédogenèse et de variations climatiques importantes, ainsi que de ressources hydriques, ce qui favorise le développement des cultures intensives de menthe. Elles sont couvrent une grande partie du pays, on trouve les espèces de menthe largement situées à l'extrême nord- de l'Algérie (Benabdallal et al. 2018), mais il ya aussi d'autres espèces collectés dans la région de kabyle en Algérie ex : Menthe Rotundifolia.L (**Hamdane et Benazzouz ,2012**), ainsi que récoltés dans l'ouest de l'Algérie, comme la Menthe pulegium (**Taalbi, 2016**). De nos jours, la menthe est répandue dans presque toutes les régions d'Algérie.

1. 4. Utilisations thérapeutiques

Les feuilles et les tiges des espèces de *Mentha* sont traditionnellement utilisées pour diverses applications culinaires et médicinales en Algérie. En cuisine, elles servent d'épices et sont intégrées dans les tisanes pour leur arôme et leur saveur distincts. Les extraits bruts, les huiles essentielles ainsi que les plantes fraîches ou séchées sont largement utilisés dans divers secteurs tels que la confiserie, les dentifrices, les chewing-gums, les boissons, la boulangerie, les cosmétiques et les produits d'hygiène buccale. Elles trouvent également leur place en pharmacie et comme agents pesticides naturels **(Bahare et al., 2018)**.

Sur le plan médicinal, les espèces de *Mentha* sont réputées pour leurs vertus thérapeutiques diverses. Elles sont fréquemment utilisées en infusion pour stimuler la digestion, soulager les douleurs d'estomac, et traiter les troubles biliaires, la dyspepsie, l'entérite et les crampes menstruelles **(Brahmi et al., 2022)**. Elles sont aussi employées pour traiter les affections respiratoires telles que les rhumes, la sinusite, et la bronchite, ainsi que pour atténuer les maux de tête. En outre, les menthes sont connues pour leurs propriétés toniques, carminatives, et leur efficacité contre la gingivite et les maux de dents **(Brahmi et al., 2017)**.

En termes de recherche pharmacologique, ces plantes présentent un potentiel thérapeutique prometteur grâce à leurs propriétés antimicrobiennes, antioxydantes, anti-inflammatoires, neuroprotectrices, cardiovasculaires et antitumorales **(Brahmi et al., 2017)**. Leur utilisation ancestrale et leurs propriétés biologiques en font des candidats intéressants pour le développement de nouveaux traitements naturels et de produits de santé.

2. Les métabolites secondaires

2. 1. Les alcaloïdes

Les alcaloïdes constituent une classe de composés phytochimiques contenant de l'azote, principalement présents chez les angiospermes. Ces substances, généralement de couleur blanche et au goût amer, sont utilisées depuis des temps immémoriaux pour traiter diverses affections telles que l'épilepsie, l'hypertension artérielle, les maladies cardiaques et les morsures de serpent. Bien que certains alcaloïdes puissent être toxiques à fortes doses, ils sont également utilisés comme puissants médicaments à doses contrôlées. Exemples notables incluent la caféine, la cocaïne, la morphine, la quinine et la nicotine, chacun ayant des effets pharmacologiques distincts et des applications médicales variées **(Hilal et al., 2024)**.

2. 2. Les terpènes

Les terpènes sont des métabolites secondaires dérivés de l'isoprène (C₅) et sont classés en fonction du nombre d'unités isoprène qu'ils contiennent, allant de 5 à 40 unités. Ces composés confèrent aux plantes des arômes caractéristiques et jouent des rôles essentiels dans divers processus biologiques comme la protection contre les rayons UV, la défense contre les prédateurs et la régulation des hormones végétales. Les terpènes trouvent également des applications pharmacologiques importantes en raison de leurs propriétés antivirales, anti-inflammatoires, neuroprotectrices et antidiabétiques (**Hilal et al., 2024**).

2. 3. Les composés phénoliques

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires présents dans presque toutes les parties des plantes, caractérisés par au moins un noyau aromatique et plusieurs groupes hydroxyles. Ces substances sont célèbres pour leurs puissantes propriétés antioxydantes, qui aident à neutraliser les espèces réactives de l'oxygène (ROS) et à prévenir les maladies associées aux dommages oxydatifs tels que l'inflammation, le cancer, le diabète et les maladies cardiovasculaires. Les composés phénoliques sont classés en diverses catégories, notamment les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tanins, chacun ayant des structures et des effets spécifiques sur la santé humaine (**Paulo Farias et al., 2021**).

a. Les acides phénoliques

Les acides phénoliques sont divisés en deux grandes catégories : les acides hydroxybenzoïques et les acides hydroxycinnamiques. Ces composés, largement présents dans les plantes sous forme d'esters simples avec le glucose ou l'acide quinique, sont connus pour leur forte activité antioxydante et leur capacité à soutenir la santé générale (**Tsimogiannis et al. 2019**).

b. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes représentent une classe diversifiée de polyphénols, caractérisée par leur structure diphenylpropane commune. Ces métabolites secondaires jouent un rôle crucial dans la régulation du transport d'hormones végétales, la défense chimique et les propriétés antioxydantes. Les flavonoïdes sont largement présents dans les fruits, les légumes et certaines boissons, et ils sont étudiés pour leurs effets bénéfiques sur la santé humaine, notamment en tant qu'antioxydants puissants (**Wen et Fernie, 2020 ; Ruohan et al., 2024**).

c. Les tannins

Les tanins sont des polyphénols qui se dissolvent dans l'eau et se caractérisent par leur capacité à former des précipités avec les protéines. Ces composés sont utilisés depuis l'Antiquité pour leur rôle dans le tannage des peaux d'animaux et trouvent également des applications médicales en raison de leurs propriétés astringentes et antioxydantes. Les tanins sont divisés en tanins hydrolysables et non hydrolysables, chacun ayant des implications distinctes dans la santé humaine et dans les industries alimentaires (**Chang Liu et al., 2023 ; Annie Fleurit et al., 2005**).

3. Activités biologiques

3. 1. Activité antioxydante

Le stress oxydatif peut causer des dommages moléculaires graves, notamment aux acides nucléiques, aux lipides et aux protéines, entraînant diverses maladies telles que les maladies cardiovasculaires, l'athérosclérose, le cancer, l'hypertension, le diabète, les maladies neurodégénératives, le vieillissement et l'inflammation (**Raghavendhar et al., 2022**). Les antioxydants jouent un rôle crucial en neutralisant les radicaux libres, des molécules instables réactives qui peuvent causer des dommages cellulaires en volant des électrons à d'autres molécules (**Bitwell.C et al., 2023**).

Les plantes aromatiques et médicinales contiennent des composés phénoliques qui sont des antioxydants naturels importants, contribuant ainsi à la santé humaine (**Benabdallah et al., 2016**). Les méthodes courantes pour évaluer l'activité antioxydante incluent le test du DPPH, le test FRAP et le test d'ABTS, qui utilisent la spectrophotométrie pour mesurer la capacité des antioxydants à neutraliser les radicaux libres (**Constantin et al., 2021**).

- a. **Le test de DPPH** : Ce test utilise le radical 2,2-Diphényl-1-picrylhydrazyle DPPH· pour évaluer l'activité antioxydante des substances, basée sur la décoloration de la solution violette à jaune pâle après la réduction du DPPH par les antioxydants (İlhami Gulcin et al.2023).
- b. **Le test de FRAP** (Puissance de réduction des antioxydants ferriques) ; Évaluant la capacité de réduire le complexe ferrique, cette méthode mesure l'absorbance à 593 nm pour estimer l'activité antioxydante des substances testées (Yuxi Lang et al.2024).

c. **Le test d'ABTS** : Utilisant le radical ABTS⁺ pour mesurer l'activité antioxydante, cette méthode compare les substances à un standard tel que le Trolox et est efficace pour évaluer divers types d'antioxydants (Yuxi Lang et al.2024).

d. **Le test de TRAP** : repose sur la capacité des antioxydants à protéger la fluorescence de la R-phycoérythrine (R-PE) lors d'une réaction de peroxydation contrôlée. L'ABAP (2,20-azo-bis(2-amidino-propane)hydrochloride) agit comme générateur de radicaux, induisant une augmentation de la fluorescence de la R-PE.

3. 2. Activité antibactérienne

L'activité antibactérienne d'une molécule désigne sa capacité à agir soit bactéricidement, soit bactériostatiquement sur une bactérie. Les composés phénoliques extraits des plantes médicinales sont connus pour leur rôle défensif contre divers micro-organismes (Nothlings et al., 2007).

3. 3. Activité anti-inflammatoire

L'inflammation, une réponse immunitaire normale, peut devenir chronique et contribuer à diverses maladies graves. Les plantes médicinales offrent des alternatives aux traitements conventionnels, avec des composés tels que les flavonoïdes montrant une efficacité anti-inflammatoire prometteuse (Khatun et al.2024; Rajalakshmi et al.2024).

Matériel et méthodes

1. Objectif

Évaluer la composition phytochimique de la partie aérienne de certaines espèces du genre *Mentha* d'Algérie à travers l'analyse de certains composés bioactifs, et investiguer leur potentiel activité biologique.

2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude consistait en les parties aériennes (feuilles et tiges) de quatre plantes différentes au stade de floraison. Ces plantes comprenaient *Mentha pulegium*, *Mentha spicata* L., *Mentha rotundifolia*, ainsi qu'un hybride entre *Mentha spicata* et *Mentha pulegium*. Les échantillons ont été récoltés au mois de mai dans diverses régions d'Algérie : *Mentha spicata* dans la wilaya de Tiaret, *Mentha rotundifolia* dans la région de Dahmouni (wilaya de Tiaret), et *Mentha pulegium* ainsi que l'hybride dans la wilaya d'El Bayedh.

3. Méthodes

3.1. Préparation des extraits

a. Séchage

Nous avons séparé les feuilles des tiges, puis nous les avons placées sur du papier carton, à l'air libre, à l'abri de la lumière et de l'humidité, à température ambiante (20-25 °C) pour les faire sécher. Le séchage des plantes est une étape essentielle dans le processus d'extraction des composés actifs, car il permet de conserver et de concentrer les substances utiles présentes dans la plante en éliminant l'eau. De plus, il réduit le risque de développement de moisissures, de bactéries et d'autres micro-organismes, et facilite le stockage et la manipulation des plantes.



Figure 5. Tiges et feuilles de *Mentha Spicata* séchées (a. feuilles, b.Tiges) (Photo originale).

b. Broyage

La partie aérienne ont été broyées dans un broyeur électrique pour obtenir une poudre légèrement fine, qui a été conservée dans un récipient bien couvert, à l'abri de la lumière.

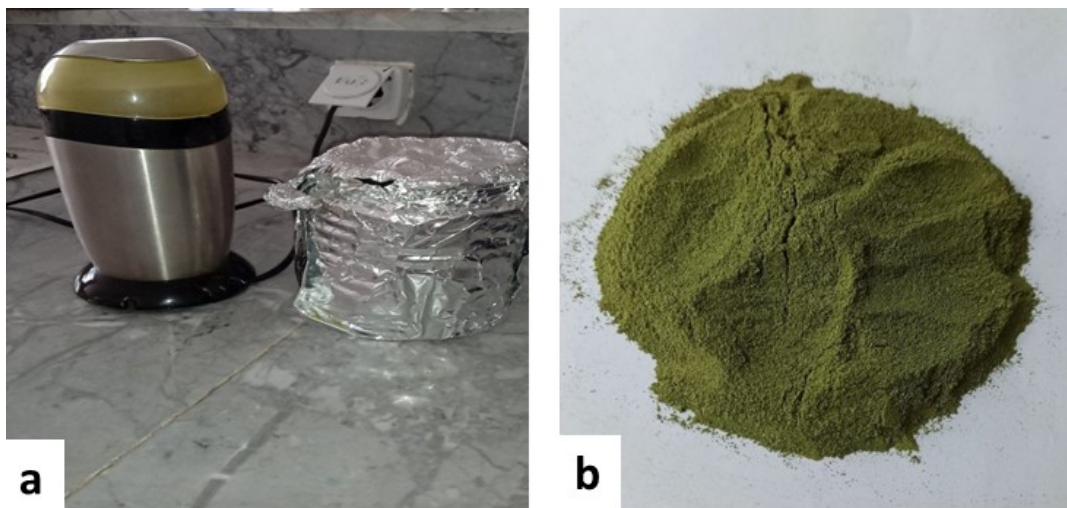


Figure 6. Broyage des feuilles de *Mentha spicata* L. (a. moulin électrique, b. broyat)

c. Macération

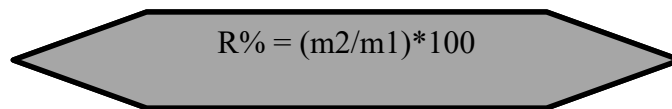
Les extraits aqueux des différentes espèces ont été préparé en macérant 50 g de poudre de plante dans 500 ml d'eau distillée dans un flacon en verre. Le mélange a été agité à température ambiante, dans l'obscurité, pendant 24 heures. Les extraits sont ensuite filtrés à l'aide de papier Whatman, et les filtrats obtenus ont été déshydratés à l'aide d'un rotavapeur et un incubateur à 37 °C pour obtenir des résidus secs, qui ont été ensuite stockés dans une boîte propre. Les extraits éthanoliques ont été préparés de la même manière que les extraits aqueux, sauf que, à la place de l'eau distillée on met de l'éthanol 70%.



Figure 7. Macération sous agitation pendant 24h

3.2. Détermination de rendement

Le rendement d'extraction correspond à la proportion de la quantité d'analyte extrait par rapport à la quantité d'échantillon végétal : Rendement (%) = Poids de l'extrait sec x 100 / Poids initial de la plante sèche.


$$R\% = (m2/m1) \cdot 100$$

R : rendement d'extraction en pourcentage.

m2 : masse de l'extrait après évaporation du solvant en gramme.

m1 : masse de poudre végétale traitée en gramme

3.3. Dosage des métabolites secondaires

3.3.1. Dosage des polyphénols totaux

a. Principe

La composition du réactif Folin-Ciocalteu est un acide jaune composé d'un mélange d'acide phosphotungstique (H₃PW₁₂O₄₀) et d'acide phosphomolybdique (H₃PMO₁₂O₄₀), réduit lors de l'oxydation des phénols, en combinant des oxydes bleus de tungstène (W₈O₂₃) et de molybdène (MO₈O₂₃). La quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux est directement liée à la coloration produite, avec un maximum d'absorption à 765 nm (Iaraba, 2016).

b. Mode opératoire

Les polyphénols totaux ont été quantifiés par spectrophotométrie à l'aide de la méthode colorimétrique avec le réactif de Folin-Ciocalteu (Singleton et al., 1999). Cette méthode mesure la concentration totale des groupements hydroxyles dans l'extrait. Pour préparer la solution de chaque échantillon (feuille et rameaux), 1 milligramme de poudre a été dissoute dans un millilitre d'eau distillée. Ensuite, 200 µl de chaque extrait ont été ajoutés dans des tubes à hémolyse en verre, auxquels 1 ml de réactif Folin-Ciocalteu dilué 10 fois a été ajouté. Les tubes ont été incubés pendant 5 minutes à température ambiante, à l'abri de la lumière. Par la suite, 800 µl d'une solution de carbonate de sodium (Na₂CO₃) à 7,5 % ont été ajoutés à chaque tube. Les tubes ont été agités et maintenus pendant une demi-heure, puis l'absorbance a été mesurée à 765 nm.

Matériel et méthodes

Une courbe d'étalonnage a été établie simultanément dans les mêmes conditions expérimentales avec des concentrations variables d'acide gallique (0 à 1000 µg/ml).

3.3.2. Dosage des Flavonoïdes

On a quantifié les flavonoïdes en utilisant une méthode qui repose sur la formation d'un complexe très stable entre le chlorure d'aluminium et les atomes d'oxygène présents sur les carbones 4 et 5 des flavonoïdes. Selon **Lagnika (2005)**.

a. Mode opératoire

Dans un tube en verre à hémolyse, 1 ml d'extrait a été mélangé avec 1 ml d'AlCl₃ à 2 % dans du méthanol. La solution a été vigoureusement agitée à l'aide d'un vortex, puis incubée dans l'obscurité pendant 15 minutes. L'absorbance a été mesurée instantanément à l'aide d'un spectrophotomètre à 430 nm par rapport au blanc. Une courbe d'étalonnage a été établie en utilisant des solutions filles préparées à partir d'une solution mère de quercétine, avec des concentrations allant de 0 à 1000 µg/ml.

3.3.3. Dosage des Tanins

a. Mode opératoire

La méthode employée est celle de la vanilline avec de l'HCl, basée sur la réaction de la vanilline avec les flavonoïdes supérieurs pour mesurer les tanins condensés, comme décrite par **Julkunen-Titto (1985)**.

Pour chaque échantillon, 50 µl ont été ajoutés à 1500 µl de solution vanilline/méthanol à 4 %, puis vigoureusement mélangés. Ensuite, 750 µl d'acide chlorhydrique concentré (HCl) ont été ajoutés. Le mélange a été laissé à réagir à température ambiante pendant 20 minutes. L'absorbance a été mesurée à 550 nm par rapport à un blanc. Une courbe d'étalonnage a été établie à partir de concentrations variées, de 0 à 1000 µg/ml, préparées à partir d'une solution mère de catéchine.

3.4. Activité antioxydante

3.4.1 Piégeage du radical DPPH[•]

a. Principe

Lorsqu'une substance donneuse de protons entre en contact avec le radical DPPH[•] violet, elle le réduit en DPPH-H jaune. Ce changement de couleur met en évidence le pouvoir antioxydant d'un échantillon en montrant sa capacité à neutraliser le radical libre, ce qui se traduit par une diminution de l'absorbance mesurée à 517 nm..

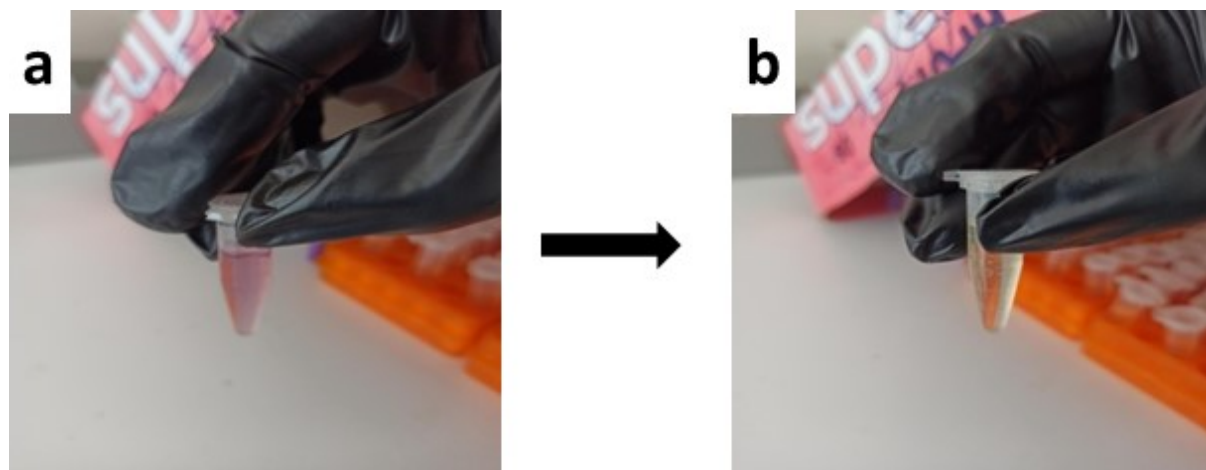


Figure.8. Forme libre (a) et réduite de DPPH (b). (Photo originale)

b. Mode opératoire

Préparation de la solution de DPPH :

Une solution de DPPH est préparée en dissolvant 2 mg de DPPH dans 100 ml de méthanol, le tout agité pendant 15 minutes, puis filtrée et conservée dans un flacon opale.

- **Préparation des échantillons :** Une solution mère est préparée à partir des extraits de chaque échantillon de plante examinée. À partir de ces solutions initiales, au moins quatre dilutions sont préparées dans des solvants adaptés.
- **Mélange des échantillons et de la solution de DPPH :** La solution DPPH est ajoutée à 200 µl de chaque échantillon dans des tubes eppendorf. Chaque échantillon est préparé en trois répétitions.
- **Incubation :** On incube les tubes eppendorf dans l'obscurité à température ambiante pendant une durée de 30 minutes.
- **Mesure de l'absorbance:** Une fois l'incubation terminée, on mesure l'absorbance de chaque échantillon à une longueur d'onde de 517 nm à l'aide d'un

Matériel et méthodes

spectrophotomètre, tandis qu'un blanc (contrôle) contenant uniquement le DPPH sans échantillon est utilisé comme blanc.

➤ **Calcul de l'activité antioxydante** : L'activité antioxydante peut être évaluée en comparant l'absorbance des échantillons avec celle du contrôle. L'activité antioxydante est plus élevée lorsque l'absorbance est faible, car cela témoigne d'une capacité accrue des échantillons à neutraliser le radical libre DPPH.

Calculer le pourcentage d'inhibition du radical DPPH en utilisant la formule suivante

$$I\% = ((A_c - A_t) / A_c) * 100$$

A_c : Absorbance du contrôle négatif (blanc).

A_t : Absorbance de l'extrait testé.

Résultats et discussions

Résultats et discussions

1. Rendements en extraits

Les rendements des différents extraits sont indiqués sur le tableau ci-dessous.

Tableau 1. Rendement des différents extraits de plante.

Espèce	Extrait aqueux	Extrait éthanol
M.hybride (Feuille)	10.3	13.2
M.hybride (Tige)	3.91	10.42
M.pulegium (Feuille)	14.1	13.82
M.pulegium (Tige)	15.92	13.1
M.spicata (Feuille)	12.3	19.77
M.spicata (Tige)	5.6	8.72
M.rotundifolia (Feuille)	14.88	19.2
M.rotundifolia (Tige)	3.05	10.24

Les rendements d'extraction obtenus dans notre étude montrent une variabilité notable, allant de 3,05% à 15,92% pour les extraits aqueux et de 8,72% à 19,77% pour les extraits éthanologiques.

L'extrait éthanologique des feuilles de *Mentha spicata* a présenté le rendement le plus élevé (19,77%), tandis que l'extrait aqueux des rameaux de *Mentha rotundifolia* a montré le rendement le plus faible (3,05%) (voir Tableau 1).

Ces résultats mettent en évidence des différences significatives entre les extraits éthanologiques, qui affichent généralement des rendements plus élevés, et les extraits aqueux, qui montrent des rendements plus bas.

Les rendements varient également en fonction de la partie de la plante analysée. En général, les feuilles ont montré des rendements supérieurs aux tiges pour les quatre espèces étudiées, quel que soit le solvant utilisé, à l'exception de l'extrait aqueux de *Mentha pulegium*.

Cependant, il est important de noter que la comparaison stricte de nos résultats avec ceux d'autres études peut être difficile en raison de la nature relative du rendement. Celui-ci dépend de plusieurs facteurs tels que l'espèce végétale étudiée, l'origine géographique, la période de récolte du matériel végétal, la partie de la plante utilisée, les conditions de séchage, la composition en métabolites secondaires de chaque espèce, le solvant d'extraction et la méthode d'extraction utilisée (Guidoum et Salah, 2023).

Résultats et discussions

2. Caractérisation phytochimique

2.1 Teneur en Polyphénols

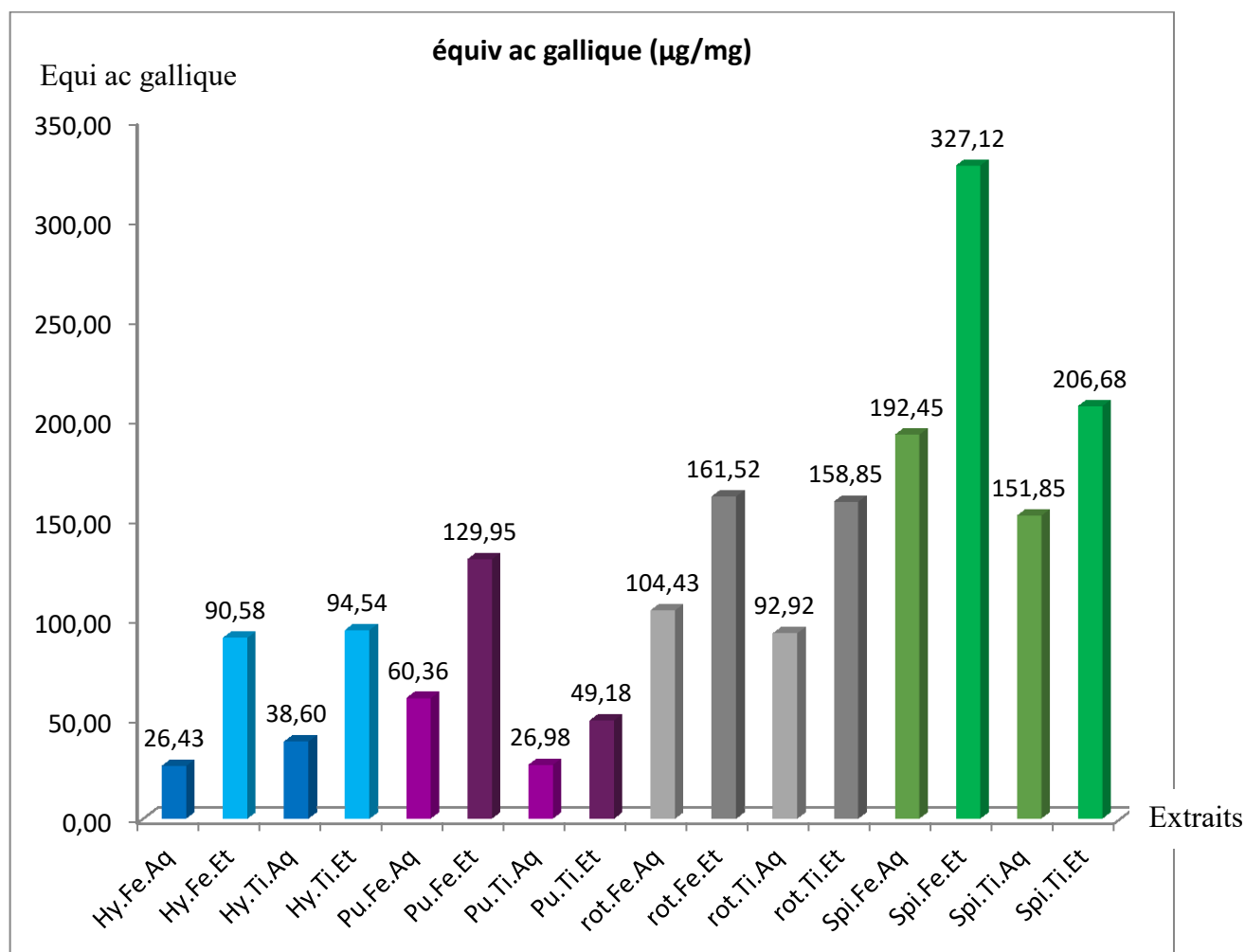


Figure 9. Variation des teneurs en phénols totaux dans les différents extraits de plantes testées.

Les analyses quantitatives des ont été réalisées à partir de l'équation de régression linéaire de la courbe d'étalonnage, tracée en utilisant l'acide gallique comme standard. Les valeurs obtenues sont exprimées en µg d'équivalents acide gallique (EAG) par mg d'extrait.

Les teneurs en polyphénols totaux varient notablement entre les différentes espèces étudiées, allant de 26,43 à 327,1 µg EAG/mg (figure 09). On observe une variation significative de la concentration en polyphénols parmi les quatre plantes étudiées, avec la concentration la plus élevée mesurée chez *M. spicata* et la plus faible chez l'hybride. Chez *M. spicata*, les concentrations varient entre 327,1 et 151 µg EAG/mg, tandis que chez l'hybride, elles se situent entre 94,54 et 26,43 µg EAG/mg. Les extraits des deux autres espèces montrent des valeurs intermédiaires de polyphénols.

Résultats et discussions

L'analyse des données montre une différence significative dans le contenu total en composés phénoliques entre les extraits aqueux et éthanoliques des différentes parties des plantes étudiées, avec une prédominance marquée des extraits éthanoliques.

De même, les concentrations varient considérablement entre les feuilles et les tiges, qui présentent les teneurs les plus élevées en composés phénoliques pour les deux catégories d'extraits.

Nickavar et al., (2008) ont rapporté que l'extrait éthanolique de *Mentha spicata* contenait $150,91 \pm 5,14$ µg/mg de polyphénols, une valeur inférieure à celle mesurée dans notre étude. Dans une autre étude, ces mêmes auteurs ont mentionné que l'extrait éthanolique de *Mentha rotundifolia* renfermait $331,31 \pm 6,51$ µg/mg de polyphénols, une concentration supérieure à celle observée dans nos analyses. Par ailleurs, **El Aanachi et al., (2021)** ont déterminé que l'extrait méthanolique de *Mentha pulegium* contenait environ $249,30 \pm 11,35$ µg EAG/mg de polyphénols totaux, une teneur également plus élevée que celle obtenue dans notre étude.

2.2 Teneurs en flavonoïdes

Les taux des flavonoïdes des extraits ont été calculés à partir de la courbe d'étalonnage, tracée en utilisant la quercétine comme standard. Ils sont exprimés en termes de EQ g/mg d'extraits (figure 10).

Résultats et discussions

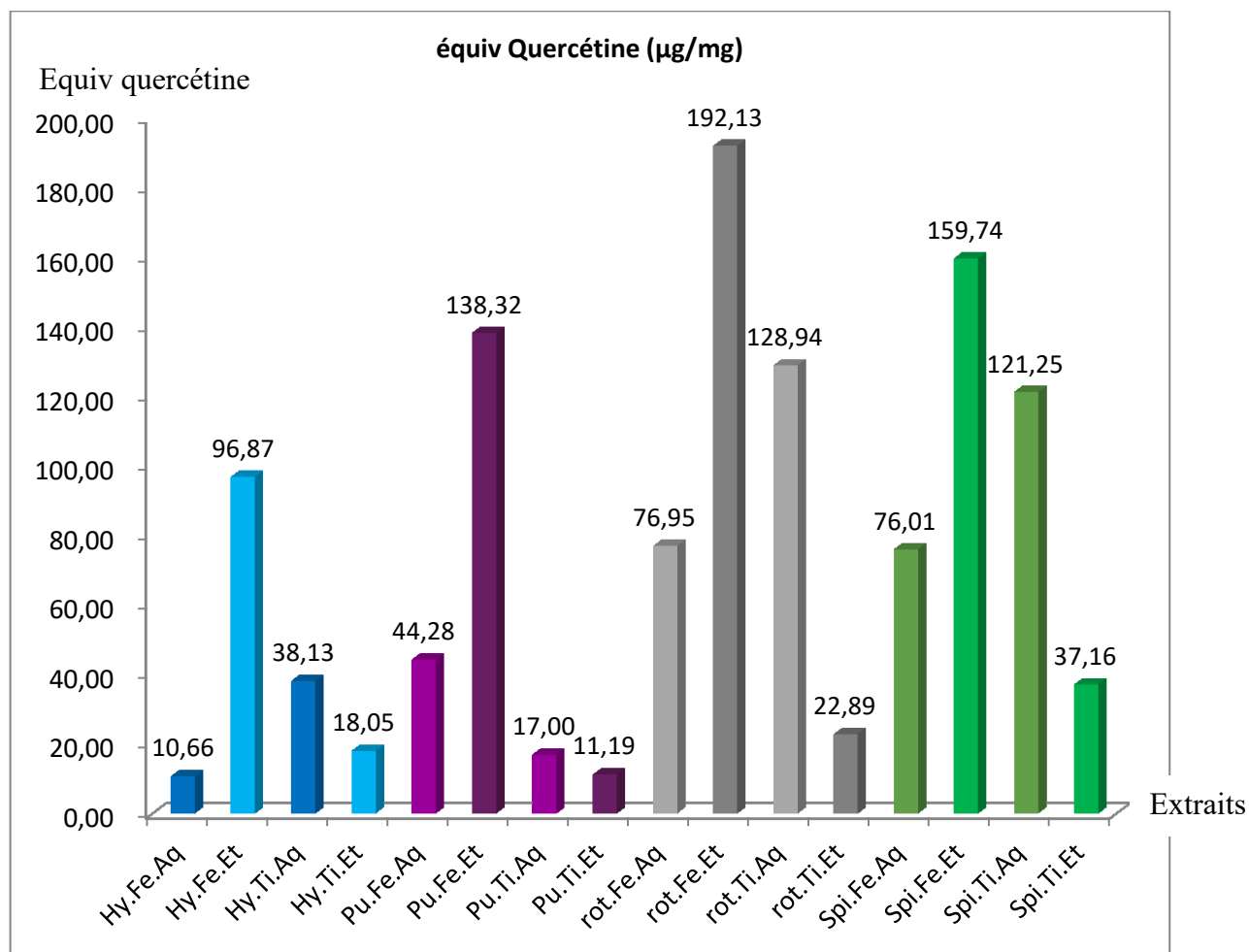


Figure 10. Teneur en Flavonoïdes des différents extraits testés.

Les teneurs en flavonoïdes des différentes espèces varient entre 10,66 et 192,13 µg EQ/mg (Fig. 10). La concentration la plus élevée a été mesurée chez *Mentha rotundifolia*, suivie de *M. spicata* pour les deux types d'extraits et les deux parties de la plante analysées, puis *M. pulegium*, tandis que la concentration la plus faible a été observée chez Menthe hybride.

Par ailleurs, nous avons constaté que les teneurs en flavonoïdes des extraits éthanoliques des feuilles dépassent largement celles des extraits aqueux pour l'ensemble des espèces étudiées. En revanche, au niveau des tiges, ce phénomène est inversé, où l'on a observé que les extraits aqueux manifestent des teneurs supérieures à celles des extraits éthanoliques pour les quatre espèces.

Boussouf et al., (2017) ont rapporté une concentration de 79,44 µg EQ/mg dans l'extrait méthanolique de *M. rotundifolia*, tandis que nos propres résultats indiquent une teneur beaucoup plus élevée de 192,13 µg EQ/mg. De manière similaire, **Brahmi et al. (2015)**

Résultats et discussions

ont mesuré 2,45 $\mu\text{g EQ/mg}$ dans l'extrait éthanolique de *M. spicata*, tandis que nos analyses révèlent une valeur substantiellement plus élevée de 159,74 $\mu\text{g EQ/mg}$. Enfin, El Aanachi et al. (2021) ont observé $208,31 \pm 0,73 \mu\text{g EQ/mg}$ E de flavonoïdes dans l'extrait méthanolique de *M. pulegium*, contre 138,32 $\mu\text{g EQ/mg}$ dans nos propres travaux. Ces différences soulignent la variabilité des teneurs en flavonoïdes selon les espèces de menthe, les méthodes d'extraction utilisées et les sites de prélèvement.

2.3 Teneur en tanins

De même, le contenu en tanins diffère entre les extraits de plantes (Fig. 11).

Le dosage met en évidence que la fraction aqueuse contient les plus grandes quantités de tanins que ce soit dans les feuilles ou dans les tiges pour l'ensemble des espèces collectées,

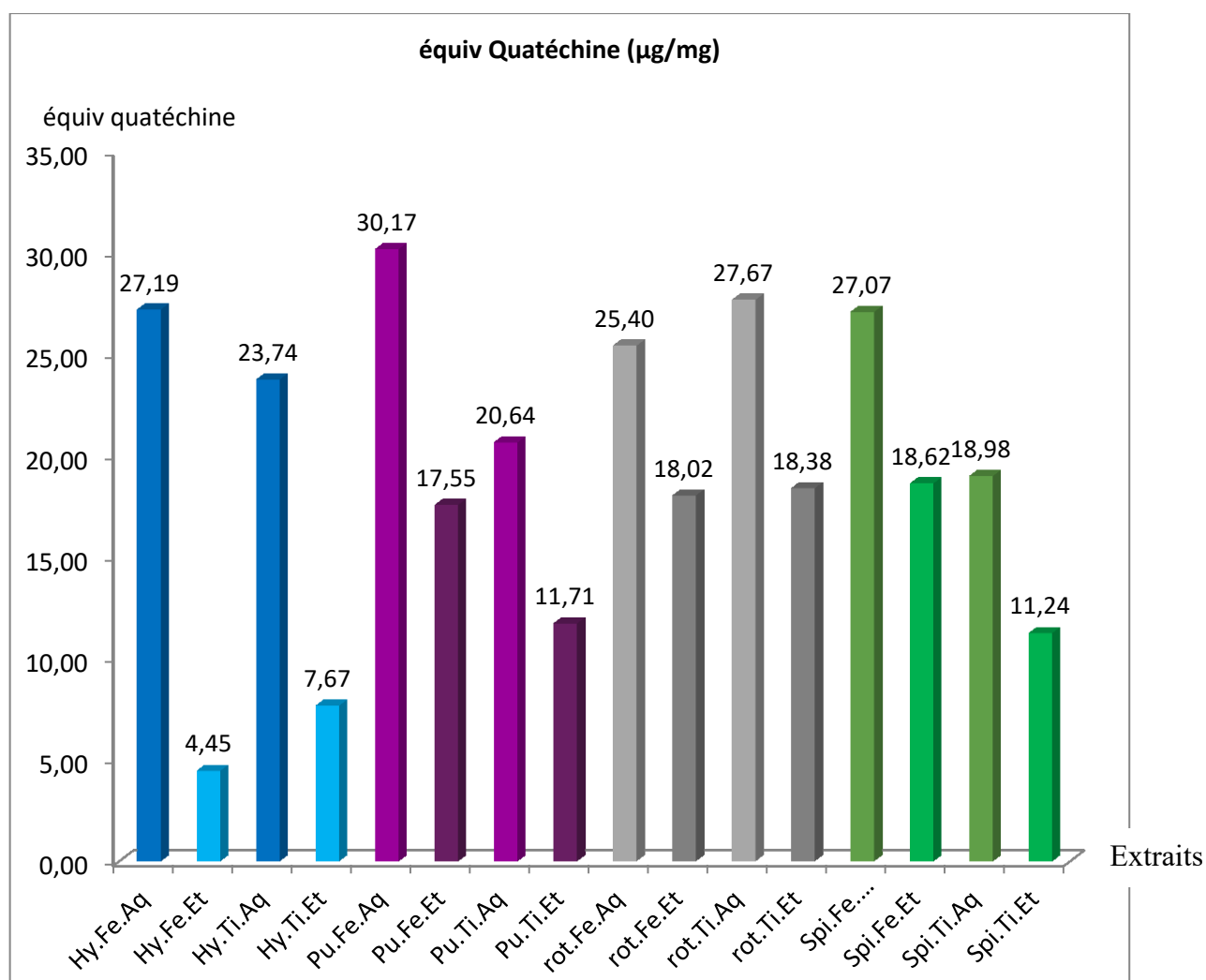


Figure 11. Teneur en tanins des différents extraits testés.

Résultats et discussions

Les résultats présentés dans la figure 11 montrent que les concentrations de tanins varient considérablement, entre les extraits de plantes avec une concentration maximale de 30,17 µg/mg dans l'extrait aqueux des feuilles de *M. pulegium* et une concentration minimale de 4,45 µg/mg dans l'extrait éthanolique des feuilles de la Menthe hybride.

De plus, il a été observé que pour les quatre plantes étudiées, les extraits aqueux des feuilles présentent la concentration la plus élevée en tanins par rapport aux tiges, dans toutes les espèces étudiées à l'exception de *M. rotundifolia* où les tanins des tiges dépassent légèrement ceux des feuilles.

Les variations de teneur en tanins entre les plantes étudiées peuvent être influencées par divers facteurs tels que les conditions climatiques, la composition chimique du sol et les variations génétiques de chaque plante (**Guidoum et Salah, 2023**).

3. Activités biologiques

L'évaluation de l'activité antioxydante d'un extrait végétal peut être effectuée à l'aide de divers tests in vitro. Dans cette étude, nous avons opté pour la méthode du piégeage du radical libre DPPH pour évaluer les extraits préparés.

Nous évaluons l'activité antioxydante de nos extraits à travers leur IC₅₀, calculée à partir de la droite d'étalonnage correspondante. L'IC₅₀ est inversement proportionnelle à la capacité antioxydante d'un composé, indiquant la quantité nécessaire d'antioxydant pour réduire de 50 % la concentration de radical libre. Une valeur de IC₅₀ plus basse reflète une activité antioxydante plus élevée (**Khoudali et al., 2014**).

Résultats et discussions

Tableau 2. IC₅₀ des différents extraits en (µg/ml)

Espèce	IC ₅₀ ((µg/ml)
<u>Hy.Fe.Aq</u>	494,83
<u>Hy.Fe.Et</u>	141,60
<u>Hy.Ti.Aq</u>	801,50
<u>Hy.Ti.Et</u>	27,63
<u>Pu.Fe.Aq</u>	301,42
<u>Pu.Fe.Et</u>	46,86
<u>Pu.Ti.Aq</u>	684,72
<u>Pu.Ti.Et</u>	150,71
<u>rot.Fe.Aq</u>	37,81
<u>rot.Fe.Et</u>	188,61
<u>rot.Ti.Aq</u>	484,13
<u>rot.Ti.Et</u>	101,01
<u>Spi.Fe.Aq</u>	72,22
<u>Spi.Fe.Et</u>	85,60
<u>Spi.Ti.Aq</u>	177,99
<u>Spi.Ti.Et</u>	4,67

Les résultats de l'étude sur l'activité antioxydante des différentes espèces de *Mentha* révèlent des valeurs de IC₅₀ variables selon le solvant d'extraction (aqueux ou éthanolique) et la partie de la plante utilisée (feuilles ou tiges).

L'extrait éthanolique des tiges de *Mentha spicata* (Spi.Ti.Et) présente la plus forte activité antioxydante parmi tous les extraits analysés, avec une valeur de IC₅₀ ne dépassant pas 4,67 µg/ml (Tab 2).

En revanche, les extraits aqueux des tiges montrent des IC₅₀ nettement supérieures à celles des extraits aqueux des feuilles à travers toutes les espèces étudiées. Cette tendance s'inverse pour les extraits éthanoliques, où l'on observe des valeurs d'IC₅₀ plus élevées pour les feuilles que pour les tiges dans toutes les espèces de *Mentha*, à l'exception de *M. pulegium*.

Résultats et discussions

Globalement, les extraits éthanoliques affichent les valeurs d'IC₅₀ les plus basses par rapport aux extraits aqueux pour les deux parties de la plante et pour les quatre espèces étudiées, à l'exception des feuilles de *M. rotundifolia* et de *M. spicata*.

Les résultats indiquent que les extraits éthanoliques, en particulier ceux des tiges, tendent à présenter une activité antioxydante plus élevée que les extraits aqueux. Cela suggère que l'éthanol est un solvant plus efficace pour extraire les composés antioxydants des différentes espèces de *Mentha*. En particulier, les extraits éthanoliques de *Mentha spicata* et de l'espèce hybride montrent des capacités antioxydantes remarquables.

Les recherches de Mata et al. (2007) ont démontré que les extraits éthanolique et aqueux de *Mentha spicata* ont une activité significative dans le piégeage du radical DPPH, avec des IC₅₀ de $65,2 \pm 0,1$ µg/ml et $5,7 \pm 0,4$ µg/ml respectivement. Nos résultats indiquent des IC₅₀ similaires pour les extraits éthanoliques, ce qui suggère une activité antioxydante comparable. Cependant, l'IC₅₀ des extraits aqueux dans notre étude est légèrement plus élevé que celui observé par **Mata et al.** (2007).

Dans notre étude, l'extrait aqueux de feuilles présente également une activité antioxydante élevée (IC₅₀ = 301,42 µg/ml). Teixeira et al. (2012) ont trouvé une valeur IC₅₀ significativement inférieure (16,3 µg/ml) pour l'extrait aqueux des parties aériennes de *M. pulegium*, indiquant une activité antioxydante beaucoup plus forte par rapport aux résultats de nos recherches.

Les recherches de Ferdjioui Siham et al. (2019) dans la wilaya de Sétif (Algérie) ont porté sur l'extrait aqueux de *Mentha rotundifolia*. Leur étude a rapporté une IC₅₀ de $15,066 \pm 0,449$ µg/mL, ce qui est supérieur à nos résultats, estimés à $37,81 \pm 484,13$ µg/mL.

Conclusion

Conclusion

Cette étude a permis une exploration de la composition phytochimique et de l'activité biologique des espèces du genre *Mentha* récoltées en Algérie, en se concentrant sur les extraits aqueux et éthanoliques des feuilles et tiges de quatre espèces distinctes. Les résultats ont révélé des variations significatives dans les teneurs en polyphénols, flavonoïdes et tanins entre les différentes espèces, ainsi qu'entre les parties de la plante et les types d'extraits utilisés. En général, les extraits éthanoliques ont montré une concentration plus élevée en composés phytochimiques, indiquant une meilleure solubilité de ces composants dans l'éthanol par rapport aux extraits aqueux.

L'analyse des activités biologiques, notamment l'activité antioxydante évaluée par le test de IC₅₀, a démontré que les extraits éthanoliques des tiges de *Mentha spicata* et de l'espèce hybride présentent les capacités antioxydantes les plus remarquables parmi toutes les espèces étudiées. Cette observation suggère que l'éthanol est efficace pour extraire les composés antioxydants des *Mentha*, en particulier des parties aériennes telles que les tiges.

Les résultats obtenus soulignent l'importance de considérer à la fois la spécificité des espèces et l'influence du solvant d'extraction dans les études phytochimiques et d'activité biologique. Ces résultats ouvrent la voie à de futures recherches visant à approfondir la compréhension des mécanismes bioactifs des *Mentha* algériennes, ainsi qu'à explorer leurs applications potentielles dans divers domaines, notamment la pharmacologie et la santé.

En conclusion, cette étude contribue à enrichir la base de connaissances sur les *Mentha* en Algérie et fournit des perspectives prometteuses pour leur exploitation future en tant que sources naturelles de composés bénéfiques pour la santé humaine.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. Abbaszadeh, B., Hossein, A., Sayed, A., & Payam, M. (2009). Investigation of variations of the morphological values and flowering shoot yield in different mint species at Iran. *Journal of Horticulture and Forestry*, 1(7), 109-112.
2. Alam, M. N., Jahan Bristi, N., & Rafiquzzaman, M. (2013). Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 21, 143-152.
3. Amina, B., Chaabane, R., Mahieddine, B., Oumayma, A., & Chokri, M. (2016). Total phenolic content and antioxidant activity of six wild *Mentha* species (Lamiaceae) from northeast of Algeria. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6(9), 760-766.
4. Anwar, F., Abbas, A., Mehmood, T., Gilani, A., & Rehman, N. (2019). *Mentha*: A genus rich in vital nutra-pharmaceuticals—A review. *Phytotherapy Research*, 1-23.
5. Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils—A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446-475.
6. Bitwell, C., Sen, S. I., Luke, C., & Kakoma, M. K. (2023). UHPLC-MS/MS phytochemical screening, polyphenolic content, and antioxidant potential of *Diplorhynchus condylocarpon* (Müll. Arg.) Pichon (Apocynaceae), a medicinal plant. *Scientific African*, 20, e01712.
7. Bouazza, F., Gherdaoui, D., Ben Miri, Y., Berka-Zougali, B., & Hassani, A. (2022). Parametric and kinetic modeling, chemical composition, and comparative analyses of Algerian *Mentha pulegium* L. essential oil extracted from flowers and leaves by hydrodistillation. *Notulae Scientia Biologicae*, 14(4), 11292.
8. Brahmi, F., Lounis, N., Mebarakou, S., Guendouze, N., Yalaoui-Guellal, D., Madani, K., Boulekbache-Makhlouf, L., & Duez, P. (2022). Impact of growth sites on the phenolic contents and antioxidant activities of three Algerian *Mentha* species (*M. pulegium* L., *M. rotundifolia* (L.) Huds., and *M. spicata* L.). *Phenolic Fluctuation of Algerian Mentha Ecotypes*, 13, 886337.
9. Djahafi, A., et al. (2021). Etude chimique et activités biologiques des extraits de *Mentha spicata* L. et *Mentha longifolia*.
10. Farooq, U., Ahmed, K., Zafar, M., Sultana, S., & Tanveer, A. (2019). Phytochemical and pharmacological attributes of various *Mentha* species: An overview. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(1), 2827-2833.

Références bibliographiques

11. Gulcin, İ., & Alwasel, S. H. (2023). DPPH radical scavenging assay. *Processes*, 11(8), 2248.
12. Hadj-Ahmed, S., Zarrouk, A., Bezine, M., Nury, T., Madani, K., Chibane, M., & Vejux, A. (2017). Evidence of biological activity of *Mentha* species extracts on apoptotic and autophagic targets on murine RAW264.7 and human U937 monocytic cells. *Pharmaceutical Biology*, 55(1), 286-293.
13. Hilal, B., Khan, M. M., & Fariduddin, Q. (2024). Recent advancements in deciphering the therapeutic properties of plant secondary metabolites: Phenolics, terpenes, and alkaloids. *Plant Physiology and Biochemistry*, 108674.
14. Khatun, M. S., Mia, N., Al Bashera, M., Murad, M. A., Zahan, R., Parvin, S., & Akhtar, M. A. (2024). Evaluation of anti-inflammatory potential and GC-MS profiling of leaf extracts from *Clerodendrum infortunatum* L. *Journal of Ethnopharmacology*, 320, 117366.
15. Khoudali, S., Benmessaoud Left, D., Essaqui, A., Zertoubi, M., Azzi, M., & Benaissa, M. (2014). Etude de l'activité antioxydante et de l'action anti corrosion de l'extrait méthanolique des feuilles du palmier nain (*Chamaerops humilis* L.) du Maroc. *Journal of Materials and Environmental Science*, 5(3), 887-898.
16. Kotha, R. R., Tareq, F. S., Yildiz, E., & Luthria, D. L. (2022). Oxidative stress and antioxidants—A critical review on in vitro antioxidant assays. *Antioxidants*, 11, 2388.
17. Lang, Y., Gao, N., Zang, Z., Meng, X., Lin, Y., Yang, S., & Li, B. (2024). Classification and antioxidant assays of polyphenols: A review. *Journal of Future Foods*, 4(3), 193-204.
18. Liu, C., Dong, S., Wang, X., Xu, H., Yang, X., Wu, S., ... & Xu, C. (2023). Research progress of polyphenols in nanoformulations for antibacterial application. *Materials Today Bio*, 21, 100729.
19. Macheix, J.-J., Fleuriet, A., & Jay-Allemand, C. (2005). *Les composés phénoliques des végétaux*. Presses polytechniques et universitaires romandes.
20. Mahendran, G., Verma, S. K., & Rahman, L. U. (2021). The traditional uses, phytochemistry and pharmacology of spearmint (*Mentha spicata* L.): A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 278, 114266.
21. Martin, P. (2014). *Les familles de plantes à fleurs d'Europe: Botanique systématique et utilitaire*. Presses Universitaires de Namur.

Références bibliographiques

22. Munteanu, I. G., & Apetrei, C. (2021). Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 3380.
23. 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.
24. Nothlings, U., Murphy, S. P., Wilkens, L. R., Henderson, B. E., & Kolonel, L. (2007). Flavonols and pancreatic cancer risk: The Multiethnic cohort study. *Journal of Epidemiology*, 166(8), 924-931.
25. Paulo Farias, D., de Araujo, F. F., Neri-Numa, I. A., & Pastore, G. M. (2021). Antidiabetic potential of dietary polyphenols: A mechanistic review. *Food Research International*, 145, 110383.
26. Rajalakshmi, R., Mukeshbabu, N., & Doss, A. (2024). Phytochemical screening and in vitro anti-inflammatory properties of *Jatropha maheshwarii* Subram. & Nayar – An endemic plant. *Pharmacological Research - Natural Products*, 4, 100058.
27. Salehi, B., Stojanović-Radić, Z., Matejić, J., Sharopov, F., ... (2018). Plants of genus *Mentha*: From farm to food factory. *Plants*, 7, 70.
28. Sun, C., Zhao, C., Guven, E. C., Paoli, P., Simal-Gandara, J., Ramkumar, K. M., ... & Xiao, J. (2020). Dietary polyphenols as antidiabetic agents: Advances and opportunities. *Food Frontiers*, 1(1), 18-44.
29. Tsimogiannis, D., & Oreopoulou, V. (2019). Classification of phenolic compounds in plants. In *Polyphenols in Plants* (pp. 263-284). Academic Press.
30. WHO. (2018). *WHO traditional medicine strategy: 2014-2023*. World Health Organization.
31. Yahia, I. B. H., Jaouadi, R., Trimech, R., Boussaid, M., & Zaouali, Y. (2019). Variation of chemical composition and antioxidant activity of essential oils of *Mentha x rotundifolia* (L.) Huds. (Lamiaceae) collected from different bioclimatic areas of Tunisia. *Biochemical Systematics and Ecology*, 84, 8-16.
32. Zhao, R., Luo, J., & Xu, B. (2024). Insights into secondary metabolites and health-promoting effects of edible flower *Hemerocallis citrina* Baroni. *Journal of Functional Foods*, 116, 106133.