

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed SeddikBenyahia- Jijel

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département des sciences de l'environnement
et des sciences agronomiques



كلية علوم الطبيعة و الحياة

قسم علوم المحيط و العلوم الفلاحية

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master académique**

Domaine : SNV

Filière : **Sciences agronomiques**

Option: **Phytopharmacie appliquée**

THEME

**Contribution à l'étude phytochimique et évaluation
de l'activité biologique de *Myrtus communis* L. et
Mentha pulegium L.**

Jury :

Président : M^{me} Roula M.

Examineur : M^{me} Bouziane Z.

Encadreur : M^{me} Benterrouche I.

présenté par :

M^{lle} Hemaïdi Meriem

Numéro d'ordre :

Session : Juin 2020

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier notre "Allah", notre créateur pour m'avoir donné la santé, la patience, la puissance et la volonté pour réaliser ce mémoire.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à tous mes professeurs qui ont contribué à ma formation.

Toute œuvre qui résulte d'un effort humain est explicitement toujours le fruit d'une vaste collaboration. Ainsi, que tous ceux qui de près ou de loin ont pris une part active dans la réalisation de ce mémoire, qu'ils puissent trouver dans ces lignes l'expression de ma profonde gratitude.

Je remercie particulièrement mon encadreur "M^{me} BENTERROUCHE Ilhem", qui a bien voulu accepter de diriger ce travail. Je la remercie vivement pour sa disponibilité, ses orientations et la lecture de ce mémoire.

Mes remerciements vont aussi aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail et pour les corrections qui ont permis d'améliorer ce manuscrit.

Enfin mes plus vifs remerciements vont à mes parents pour leurs soutiens et pour m'avoir toujours encouragé dans mes études en m'offrant toutes les opportunités possibles.

★Merci★

Dédicaces

*Avec l'aide de Dieu, Tout Puissant, j'ai pu réaliser ce modeste travail que
je dédie A,*

Mes très chers parents,

*Je ne pourrai jamais assez-vous dire merci pour les conseils, le soutien, les
encouragements et pour les prières qui m'ont accompagnés tout au long de mes
études. Ce travail est le fruit de tous vos sacrifices, que mieux que des mots, ils
traduisent tout l'amour que je ressens pour vous.*

Que Dieu vous garde longtemps près de nous

Mes chers frères,

*Omer, Bilal, Walid et Saïd, présents à chaque instant, je teste avec leur soutien
moral et leurs surprises agréables. Je vous souhaite un avenir plein de joie, de
bonheur, de réussite et de sérénité.*

Mes chères sœurs,

Aicha et Amira, et leurs maris.

Mes amis,

*Et particulièrement à Nesrine, Chaima, Imen, Yasmina, Kawter, Marwa et Hadjer,
En témoignage de toute mon affection.*

Tous ceux que j'aime et que m'aiment.

Tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail.

Meriem

Sommaire

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Les des abréviations	
Introduction générale.....	01
Chapitre I : Substances bioactives des plantes	
I.1. Introduction.....	02
I.2. Définition.....	02
I.3. Biosynthèse.....	02
I.4. Facteurs de variabilité des métabolites secondaires.....	03
I.4.1. Facteurs biotiques.....	03
I.4.2. Influence du procédé d'obtention.....	04
I.4.3. Facteurs environnementaux.....	05
I.5. Classification des métabolites secondaires.....	06
I.5.1. Les alcaloïdes.....	06
I.5.1.1. Définition.....	06
I.5.1.2. Localisation.....	07
I.5.1.3. Composition.....	08
I.5.1.4. Procédés d'obtention.....	08
I.5.1.5. Rôle.....	09
I.5.2. Les huiles essentielles.....	09
I.5.2.1. Définition.....	09
I.5.2.2. Répartition et localisation.....	09
I.5.2.3. Composition chimique.....	10
I.5.2.4. Procédés d'obtention.....	13
I.5.2.5. Rôle.....	15
I.5.3. Les composés phénoliques.....	16
I.5.3.1. Définition.....	16
I.5.3.2. Répartition et localisation.....	16
I.5.3.3. Composition chimique.....	16
I.5.3.4. Procédés d'obtention.....	19
I.5.3.5. Rôle.....	20

Chapitre II : composition chimique et activité biologique de *Myrtus communis* L.

II .1. Description botanique.....	22
II .2. Habitat et distribution.....	22
II.3. Position systématique.....	23
II.4. Composition chimique.....	24
II.4.1. Huiles essentielles.....	24
II.4.2. Composés phénoliques.....	27
II.5. Activités biologiques.....	28
II.5.1. Activité antibactérienne.....	28
II.5.2. Activité antifongique.....	31
II.5.3. Activité anti-inflammatoire.....	32
II.5.4. Activité antioxydante.....	34
II.6. Toxicité.....	41
II.7. Utilisation et propriétés biologiques et pharmacologiques.....	41

Chapitre III : Composition chimique et activité biologique de *Mentha pulegium*

L.

III .1. Description botanique.....	42
III .2. Habitat et distribution.....	43
III.3. Position systématique.....	43
III.4. Composition chimique.....	43
III.4.1. Huiles essentielles.....	43
III.4.2. Composés phénoliques.....	45
III.5. Activités biologiques.....	46
III.5.1. Activité antibactérienne.....	46
III.5.2. Activité antifongique.....	48
III.5.3. Activité anti-inflammatoire.....	50
III.5.4. Activité antioxydante.....	52
III.6. Toxicité.....	56
III.7. Utilisation et propriétés biologiques et pharmacologiques.....	56
Conclusion.....	58
Références bibliographiques.....	60

Liste des tableaux

Tableau 1 : Facteurs abiotiques influençant les réponses du métabolisme secondaire.....	05
Tableau 2: Classification des terpènes.....	11
Tableau 3: Les principales classes de composés phénoliques.....	17
Tableau 4: Composition majoritaire de certaines huiles essentielles de <i>M. communis</i> L. extraites par hydrodistillation selon différentes origines.....	26
Tableau 5 : Teneurs des phénols totaux de <i>M. communis</i> selon différents solvants d'extraction.....	28
Tableau 6: Diamètre des zones d'inhibition, concentration minimale inhibitrice (CMI) et concentration minimale bactéricide (CMB) des extraits et d'huiles essentielles de <i>Myrtus communis</i> L.....	30
Tableau 7 : Pourcentage d'inhibition de la croissance d' <i>Alternaria alternata</i> , <i>Penicillium expansum</i> et <i>Botrytis cinerea</i> traités avec différentes concentrations de l'huile essentielle de <i>M. communis</i>	31
Tableau 8 : Pourcentage d'inhibition de la croissance des champignons phytopathogènes traités avec différentes concentrations de l'huile essentielle de <i>M. communis</i>	32
Tableau 9 : Effet de l'huile essentielle de <i>M. communis</i> sur le test de l'œdème de la patte induit par la carraghénine chez la souris.....	33
Tableau 10 : Effet des doses intrapéritonéales de l'éthanol extrait de <i>M. communis</i> L. sur le gonflement des oreilles provoqué par le xylène chez la souris.....	33
Tableau 11: Effet des doses intrapéritonéales de l'extrait aqueux de <i>M. communis</i> L. sur le poids des granulomes chez le rat.....	34
Tableau 12 : Effet des doses intrapéritonéales de l'extrait éthanolique de <i>M. communis</i> L. (7 jours consécutifs) sur le poids des granulomes chez les rats.....	34
Tableau 13 : Activité de piégeage du DPPH de diverses concentrations d'huile essentielle de bourgeons floraux de <i>M. communis</i> L. et de BHT.....	35
Tableau 14: IC ₅₀ de BHT, des extraits méthanoliques et éthanoliques et des huiles essentielles de <i>M. communis</i> L.....	37
Tableau 15 : Composés actifs piègeurs identifiés au moyen de la technique DPPH/TLC (dot-blot)	38

Tableau 16 : Activités antioxydantes de <i>Myrtus communis</i> L. par la méthode de réduction du fer (FRAP) et la méthode de blanchissement de la β -carotène (BCB).....	40
Tableau 17: Application thérapeutique de différentes parties de <i>M. communis</i> L.....	43
Tableau 18: Composition de l'huile essentielle de <i>M. pulegium</i> selon différentes origines.....	45
Tableau 19 : Teneurs des phénols totaux de <i>Mentha pulegium</i> selon différents solvants d'extraction.....	46
Tableau 20 : Diamètre d'inhibition des huiles essentielles de <i>M. pulegium</i> et du contrôle positif.....	47
Tableau 21: Activité antibactérienne de HE des feuilles de <i>M. pulegium</i> L. selon diverses études.....	48
Tableau 22: Pourcentage d'inhibition de la croissance des espèces de champignons cultivées en milieu liquide avec diverses concentrations d'huiles de <i>M.</i> , comparé à celui de l'antibiotique standard positif (amphotéricine B).....	49
Tableau 23: Zones d'inhibition de la croissance (mm) montrant l'activité antifongique de l'huile essentielle algérienne <i>M. pulegium</i>	50
Tableau 24 : Activité anti-inflammatoire topique de l'extrait hydro-éthanolique de <i>M. pulegium</i>	51
Tableau 25 : Activité antioxydante de <i>M. pulegium</i>	55
Tableau 26 : Indications traditionnelles de <i>Mentha pulegium</i>	57

Liste des figures

Figure 1 : Les principales voies de divers métabolites secondaires.....	03
Figure 2 : Répartition de différents métabolites secondaires des plantes.....	06
Figure 3 : Principaux types structuraux d'alcaloïdes.....	08
Figure 4 : Quelques exemples d'appareil sécréteur.....	10
Figure 5 : Répartition approximative des terpénoïdes.....	11
Figure 6 : Structures de certains terpènes.....	12
Figure 7 : Squelette de base des flavonoïdes avec la numération classique.....	18
Figure 8 : Structure de flavynium.....	18
Figure 9 : Lactonisation de l'acide ortho-hydroxy- cis cinnamique à la coumarine...	18
Figure 10 : Structure de phényl-1 propane (liaison 8-8 ')	19
Figure 11 : Photographies de <i>Myrtus communis</i> L. (A : fleur, B : fruit)	22
Figure 12 : Distribution de <i>Myrtus communis</i> L.	23
Figure 13 : Photographies de <i>M. pulegium</i> L.....	42
Figure 14 : Effet de l'extrait de <i>M. pulegium</i> sur le développement de l'œdème de la patte de rat.....	51
Figure 15 : Résultats de l'activité antioxydante selon l'activité de piégeage des radicaux libres.....	52
Figure 16 : Activité antioxydante des extraits de <i>M. pulegium</i> et de l'huile essentielle définie comme le pourcentage d'inhibition par le dosage de l'acide β-carotène- linoléique.....	53

Liste des abréviations

%	:	pourcentage
±	:	plus ou moins
C°	:	degré Celsius
AA	:	Activité Antioxydant
ABTS	:	L'acide 2,2'-azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-6- sulfonique)
BHA	:	ButylHydroxyAnisole
BHT	:	HydroxyToluène Butylé
CE ₅₀	:	Concentration Efficace médiane
CI ₅₀	:	Concentration Inhibitrice médiane
Cm ²	:	Centimètre carré
CMB	:	Concentration Minimale Bactéricide
CMI	:	Concentration Minimale Inhibitrice
CO ₂	:	Dioxyde de carbone
CoA	:	Coenzyme A
Cu	:	Cuivre
DL ₅₀	:	Dose Létale médiane
DMSO	:	Diméthylsulfoxyde
DPPH	:	2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle
E	:	Extrait
EAG	:	Equivalent de l'Acide Gallique.
EAM	:	Extraction Assistée par Micro-ondes
EAU	:	Extraction Assistée par Ultrasons
EDTA	:	Éthylènediaminetétraacétique
EEB	:	Extrait d'Ethanol des Baies
EEBF	:	Extrait Ethanolique des Bourgeons Floraux
EEF	:	Extrait d'Ethanol des Feuilles
EFS	:	Extraction de Fluides Supercritiques
ELL	:	Extraction Liquide-Liquide
Fe ⁺²	:	ion ferreux
FRAP	:	Ferric reducing-antioxidant power
g	:	gramme
GAP	:	Glyceraldéhyde-3 -phosphate

HE	:	Huile Essentielle
Kg	:	kilogramme
KHz	:	kilohertz
L	:	Litre
mg	:	milligramme
MH	:	Monoterpènes Hydrocarbonés
MHz	:	Mégahertz
ml	:	millilitre
mm	:	millimètre
mmol	:	millimole
Mn	:	manganèse
MO	:	Monoterpènes Oxygénés
MS	:	Matière Sèche
µg	:	Microgramme
µl	:	Microlitre
Na Cl	:	Chlorure de Sodium
N.d.	:	Non détecté.
OH	:	Hydroxyle
Pc	:	Pression critique
Ph	:	Indice de l'acidité
ppm	:	Partie par million
PS	:	Pois Sec
REACH	:	Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemicals
SD	:	Standard Deviation (l'écart type)
SH	:	Sesquiterpènes Hydrocarbonés
SO	:	Sesquiterpènes Oxygénés
Tc	:	Température critique
UV	:	ultraviolet
ZI	:	Zone Inhibitrice

Introduction

Les plantes aromatiques et médicinales représentent un intérêt économique dans les domaines de l'industrie pharmaceutique, agroalimentaire, cosmétiques et de la pharmacie (**Bruneton, 1999**).

Plus de 400 000 espèces de plantes sur terre ont un nombre considérable de propriétés thérapeutiques grâce à un énorme réservoir de composés bioactifs (**Mustafa et al., 2017**) appelés métabolites secondaires. Ils sont les meilleurs remèdes pour le traitement d'un large spectre de maladies persistantes et dangereuses et représentent la source naturelle de médicaments la plus utilisée actuellement (**Djeridane et al., 2006; Belaoued, 2005**).

Les composés phytochimiques d'une même espèce de plante ont des proportions variables de quantité et de qualité, principalement due à des facteurs biologiques, tel que génétique et environnementaux comme le climat, qui intéressent de nombreuses entreprises et organisations qui produisent les extraits et les composés naturels.

Notre travail s'inscrit dans le cadre d'une contribution à une meilleure connaissance de deux plantes médicinales et aromatiques *Myrtus communis* L. et *Mentha pulegium* L., qui appartiennent respectivement à la famille des myrtacées et des lamiacées et de découvrir certains de leurs constituants chimiques et leurs activités biologiques (antibactérienne, antifongique, anti-inflammatoire et antioxydante).

La sélection de ces plantes s'est fondée sur les critères suivants : sont parmi les plus populaires plantes utilisées dans le monde entier, leur utilisation fréquente par nos populations dans le domaine culinaire et celui de la médecine traditionnelle, à côté du fait que leurs extraits sont utilisés dans les industries alimentaires, pharmaceutique et cosmétique.

Donc, ce travail est axé sur trois chapitres.

Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique des substances bioactives des plantes médicinales.

Le deuxième chapitre comprend la description, la composition phytochimique et l'activité biologique de *Myrtus communis*.

Le troisième chapitre concerne la description, la composition phytochimique et l'activité biologique de *Mentha pulegium*.

Chapitre I :
Substances bioactives des
plantes médicinales

I.1. Introduction

La plante est le siège d'une intense activité métabolique aboutissant à la synthèse d'une énorme variété de produits naturels aux structures très diverses. Ces produits sont communément appelés "métabolites secondaires" (**Kansole, 2009; Osbourn et Lanzotti, 2009**).

Les métabolites secondaires sont des composés qui ne sont pas nécessaires à la vie d'une cellule (organisme), mais qui jouent un rôle dans l'interaction de la cellule (organisme) avec son environnement. Ces composés sont souvent impliqués dans la protection des plantes contre les stress biotiques ou abiotiques (**Pagare et al., 2015**).

La synthèse de métabolites secondaire est influencé par différents facteurs abiotiques (altitude, variations rythmiques et ontogénèse, variations éco-physiologiques...) qui rendent le contenu phytochimique des plantes très variable. Par exemple, les Grecs avaient l'habitude de prélever leur propre échantillon de ciguë aquatique empoisonnée (*Conium maculatum*) le matin, car les niveaux de coniine (un poison neurotoxique) sont plus élevés à cette période de la journée (**Gouvea et al., 2012**).

I.2. Définition

Dans son manuel publié en 1873, Julius Sachs, l'un des grands pionniers de la physiologie végétale, on donne la définition suivante :

« Nous pouvons désigner comme sous-produits du métabolisme de tels composés qui sont formés par le métabolisme mais qui ne sont plus utilisés pour la formation de nouvelles cellules... L'importance de ces composés pour l'économie interne de la plante est encore inconnue » (**Hartmann, 1996**).

I.3. Biosynthèse

La production des métabolites secondaires est étroitement liée au métabolisme primaire, qui résulte généralement de trois voies de biosynthèse : la voie de shikimate, la voie de mévalonate et du pyruvate (**figure1**) (**Verpoorte et Alfermann, 2000**).

La plupart des précurseurs sont issus de la glycolyse (pyruvate, phosphoénolpyruvate, acétyl-CoA), de la voie des pentoses phosphate (glycéraldéhyde-3-P, Erythrose-4-P) et du métabolisme des lipides (glycéraldéhyde-3-P et acétyl-CoA). Ces précurseurs sont à l'origine de la diversité structurale observée au niveau des métabolites secondaires. Du point de vue synthétique, ces métabolites secondaires peuvent aussi être subdivisés en deux catégories : ils peuvent être de type phytoanticipines ou de constitution, C'est-à-dire synthétisés par la plante de manière permanente même en absence d'un facteur de stress par opposition aux métabolites

induits ou phytoalexines qui sont synthétisés uniquement en cas de stress et sont donc formés de novo (Litvak et Monson, 1998).

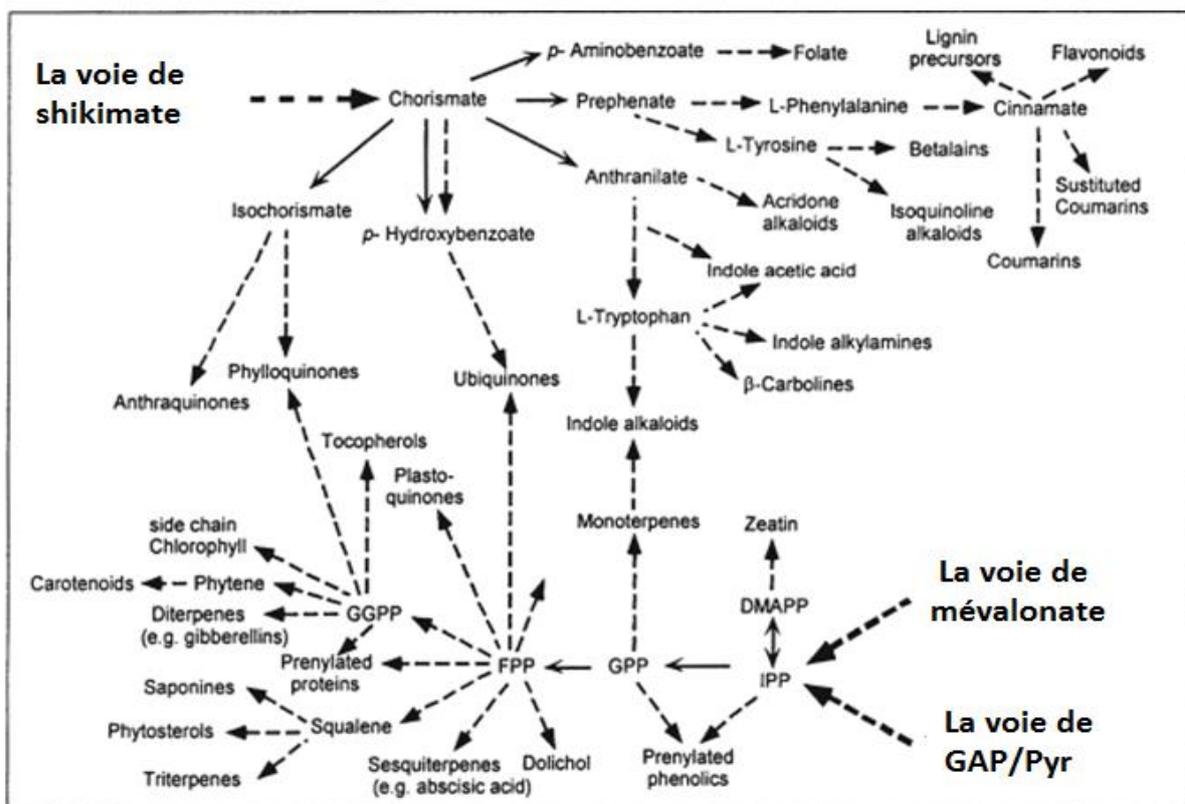


Figure 1 : Les principales voies de divers métabolites secondaires (Verpoorte et Alfermann, 2000).

I.4. Facteurs de variabilité des métabolites secondaires

I.4.1. Facteurs biotiques

Les effets biotiques comprennent des interactions plus sophistiquées avec la biochimie et la physiologie des plantes. Dans un sens plus large, on peut supposer que les effets biotiques sont liés soit aux interactions des plantes avec les micro-organismes, soit aux aspects physiologiques des plantes, comme la phénologie et l'ontogénie (Pavarini et al., 2012).

I.4.1.1. Cycle végétatif (développement d'organes)

Le stade de développement de l'organe de la plante (ontogénie des feuilles et des fruits) peut être un facteur déterminant de la composition des composés volatils. Dans plusieurs cas, il y a une augmentation du rendement de ces composés du bouton floral à la fleur adulte. (Figueiredo et al., 2008), par exemple, pour la coriandre, la teneur en linalol est 50% plus élevée

dans le fruit mur que dans le fruit vert. De ce fait, le choix d'une date de récolte s'impose **(Bruneton, 1999)**.

L'âge des feuilles, la saison de récolte et le stade de croissance ont tous une incidence sur la teneur en métabolites secondaires des feuilles des plantes médicinales **(Li et al., 2020)**.

I.4.1.2. Origine géographique et Chimiotype

Il a été constaté que la composition de l'huile de graines de *Dacus carota* varie considérablement en fonction de l'origine géographique. Par exemple, l'exposition aux radiations, ainsi que les conditions bioclimatiques et pédologiques, peuvent induire une variation qualitative et quantitative du profil des huiles essentielles entre les sites. En outre, une corrélation étroite entre les groupes chimiques et l'habitat de montagne ou de bord de mer a également été constatée, ce qui suggère que la composition du profil des huiles essentielles pourrait dépendre de l'altitude et de l'exposition **(Moghaddam et Mehdizadeh, 2017)**.

Le chémotype autrement connu comme « chimiotype » ou « race chimique » signifie « une entité chimique », un type chimique, une sorte de sous-catégorie chimique d'huile essentielle au sein d'une même espèce de plante. Pour la première fois, la notion de chémotype a été introduite par Pierre Franchomme en 1975. En 2006, l'Union Européenne l'a officialisée en adoptant le règlement REACH qui sécurise la fabrication et l'utilisation des substances chimiques dans l'industrie européenne **(Bruneton, 2009)**.

Les chimiotypes ou races chimiques sont très fréquents chez les plantes à huiles essentielles. De la Méditerranée occidentale, on compte pour le thym (*Thymus vulgaris* L.), morphologiquement homogènes et caryologiquement stable, sept chimiotypes différents: six dans les garrigues du sud de la France (à thymol, à carvacrol, à géraniol, à linalol, à α -terpinéol, à trans-4-thuyanol etcis-8-myrcénol) et un, en Espagne, à cinéole **(Bruneton, 2009)**.

I.4.2. Influence du procédé d'obtention

La labilité des constituants des huiles essentielles explique que la composition du produit obtenu par hydrodistillation soit, le plus souvent, différente de celle du mélange initialement présent dans les organes sécréteurs du végétal. Au cours de l'hydrodistillation, l'eau, l'acidité et la température peuvent induire l'hydrolyse des esters mais aussi des réarrangements, des isomérisations, des racémisations, des oxydations **(Bruneton, 2009)**.

I.4.3. Facteurs environnementaux

Les stress environnementaux, tels que l'attaque d'agents pathogènes, le rayonnement UV, la lumière intense, les blessures, les carences en nutriments, la température et le traitement herbicide, augmentent souvent l'accumulation de phénylpropanoïdes. Le stress nutritionnel a également un effet marqué sur les niveaux phénoliques dans les tissus végétaux (**Akula et Ravishankar, 2011**).

Li et al. (2020), ont démontré que les jeunes feuilles étaient efficacement protégées de la lumière UV grâce aux quantités élevées de flavonoïdes et de glucosinolates dans le *Sinapis alba*, ou une augmentation des niveaux de flavonoïdes et des activités de la myrosinase dans la *Tropaeolum majus*. Ces mêmes auteurs ont trouvé aussi la sécheresse influence négativement divers processus physiologiques et peuvent modifier la biosynthèse. Par exemple, la teneur en flavonoïdes et en composés phénoliques sont élevées dans des conditions de sécheresse grave chez les plantes et le stress salin (forte teneur en sel dans le sol) induit des déséquilibres nutritionnels et présentent un déclin de la photosynthèse, de la croissance et de l'absorption des nutriments chez les plantes.

Les plantes qui poussent sous stress salin augmentent la concentration en alcaloïdes, tanins, saponines, flavonoïdes et proline chez *Plantago ovata* (**Li et al., 2020**).

Tableau 1 : Facteurs abiotiques influençant les réponses du métabolisme secondaire (**Pavarini et al., 2012**)

Facteur abiotique	plante	effet	rapports
Une température plus basse	<i>Artemisia spp.</i>	niveaux plus élevés d'artémisine	Wallaart et al. (2000), Brown (2010)
Une exposition plus longue à la lumière	<i>Panax quinquefolius</i>	niveaux plus élevés de ginsénosides	Fournier et al. (2003)
Altitude	<i>Leontodon autumnalis</i>	Changement de la teneur en flavonoïdes	Grass et autres (2006), Zidorn et Stuppner (2001)
altitudes plus élevées	<i>Matricaria chamomilla</i>	flavonoïdes supérieurs et composés phénoliques	Ganzera et al. (2008)
Atmosphère enrichie en dioxyde de carbone	<i>Quercus spp.</i> ; <i>Galactia elliotii</i> (méta- analyse)	niveaux de tanin plus élevés	Stiling et Cornelissen (2007)
Déficit hydrique	<i>Quercus ilex</i>	réduire les émissions de monoterpènes	Lavoir et al. (2009)
Conditions élevées de nutrition en Cu et Mn	<i>Eugenia uniflora</i>	diminuer la teneur en tanins et en flavonoïdes	Santos et al. (2011)
Exposition aux UV	<i>Catharanthus roseu</i> (culture cellulaire)	Amélioration de la production de catharanthine	Ramani et Chelliah (2007), Jenkins (2009)

I.5. Classification des métabolites secondaires

Les métabolites secondaires sont composés de trois groupes distincts : Les composés phénoliques, les alcaloïdes et les huiles essentielles (**figure 2**).

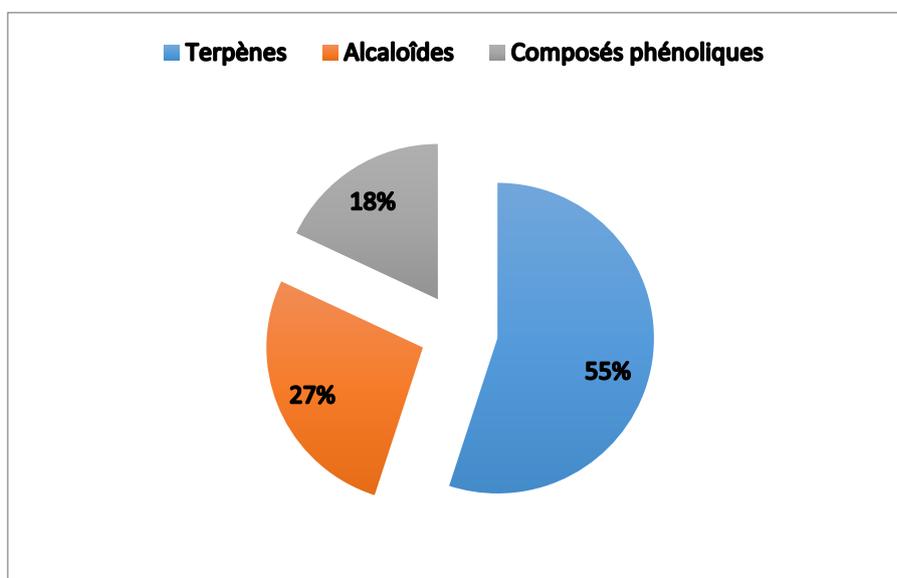


Figure 2 : Répartition de différents métabolites secondaires des plantes (**Brahmkshatriya et Brahmkshatriya, 2013**).

I.5.1. Les alcaloïdes

I.5.1.1. Définition

Un alcaloïde a été défini par Pelletier comme : "un composé organique cyclique contenant de l'azote dans un état d'oxydation négatif qui est de distribution limitée parmi les organismes vivants". La plupart des alcaloïdes ont des propriétés basiques liées à un azote tertiaire hétérocyclique, à l'exception de la colchicine, de la caféine et du paclitaxel (**Verpoorte, 2005**).

Sur le plan chimique, ils constituent un groupe très hétérogène, possédant cependant quelques propriétés physico-chimiques communes et se trouvent principalement dans les plantes. Les formes les plus courantes sont dérivées des acides aminés, tandis que d'autres proviennent de la modification de diverses classes de molécules telles que les polyphénols, les terpènes ou les stéroïdes. Ils sont produits par une grande variété d'organismes, notamment des bactéries, des champignons et des animaux (**Shin et al., 2018**).

I.5.1.2. Localisation

C'est parfois la plante entière qui contient des alcaloïdes mais le plus souvent, les organes en voie de croissance ou en formation en renferment le plus. Les feuilles en sont fréquemment pourvues en particulier chez le tabac (*Nicotina tabacum*), le cocaier (*Erythroxillum coca* Lam.) et le théier (Théacées) ; dans les graines de café (Caféier Fam. Rubiacées); dans les fruits (le Pavot: Papavéracées). Le latex qui s'écoule des incisions faites aux capsules des pavots et qui desséché forme l'Opium. Les alcaloïdes se forment dans les écorces chez les quinquinas (*Cinchona pubescens* Vahl.) et les grenadiers (*Punica granatum* L.). Le plus souvent, c'est dans les vacuoles que l'on trouve les alcaloïdes en solution dans le liquide vacuolaire (**Marlin et al., 2014**).

Les différentes espèces de plantes ne produisent que quelques types d'alcaloïdes. Certaines espèces de plantes, telles que les Papavéracées, les Renonculacées, les Solanacées et les Amaryllidacées, sont particulièrement riches en alcaloïdes (**Shin et al., 2018**).

I.5.1.3. Composition chimique

Bien qu'il n'existe pas de classification uniforme des alcaloïdes, on peut généralement les classer dans les grands groupes suivants : les pseudoalcaloïdes, les protoalcaloïdes et les alcaloïdes vrais (**Shin et al., 2018**).

- **Les pseudo-alcaloïdes**

Les pseudo-alcaloïdes ne possèdent pas d'azote intra cyclique et l'incorporation de l'azote dans la structure se fait en phase finale. Les précurseurs de non-acides aminés peuvent également produire des pseudo-alcaloïdes. Ils peuvent être dérivés de la phénylalanine ou de l'acétate. La capsaïcine, la caféine, l'éphédrine sont des exemples très courants de pseudo-alcaloïdes (**Dey et al., 2020**).

- **Les proto-alcaloïdes**

Ce type d'alcaloïdes contient un atome d'azote, qui est dérivé d'un acide aminé mais qui ne fait pas partie du système de noyau hétérocyclique. Le L-Tryptophane et la L-tyrosine sont les principaux précurseurs de ce type d'alcaloïdes. La yohimbine, la mescaline et l'hordénine sont les principaux alcaloïdes de ce type (**Dey et al., 2020**).

- **Les alcaloïdes vrais**

Ce type d'alcaloïdes est obtenu à partir d'acides aminés et ils partagent un noyau hétérocyclique contenant de l'azote. Ils sont de nature très réactive et ont une puissante activité biologique. Ils forment des sels solubles dans l'eau, et beaucoup d'entre eux sont de nature

cristalline, qui se conjugue avec l'acide et forment un sel. Presque tous les alcaloïdes véritables ont un goût amer et sont solides, sauf la nicotine, qui est un liquide brun (Dey et al., 2020).

Leur présence dans les plantes se présente sous trois formes : à l'état libre, sous forme de N-oxyde, ou sous forme de sels. Divers acides aminés comme la L-phénylalanine/L-tyrosine, la L-ornithine, la L-histidine, la L-lysine sont les principales sources de véritables alcaloïdes. La cocaïne, la morphine et la quinine sont les alcaloïdes véritables les plus courants dans la nature (figure 3) (Dey et al., 2020).

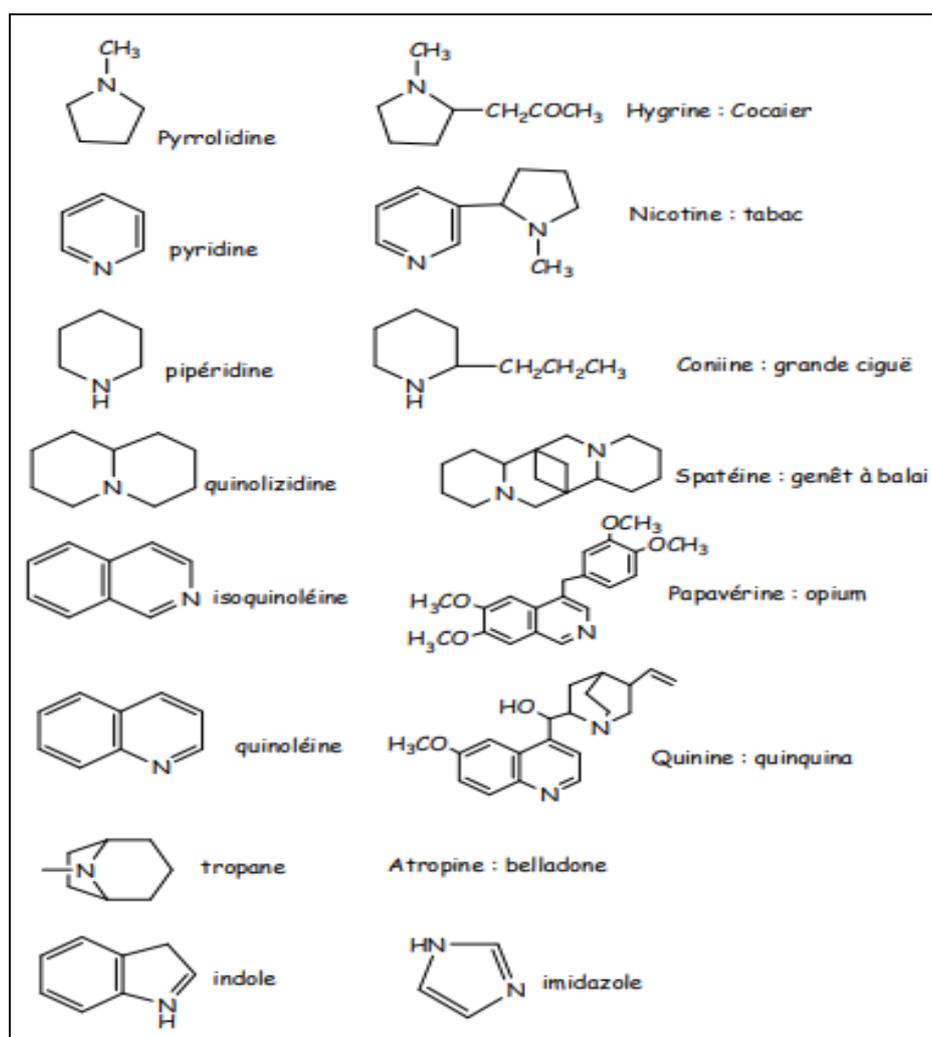


Figure 3 : Principaux types structuraux d'alcaloïdes (Yalavarthi, 2013)

I.5.1.4. Procédés d'obtention

L'extraction des alcaloïdes est basée sur la différence de solubilité des alcaloïdes en milieu acide et en milieu alcalin. Il faudra préalablement pulvériser la drogue pour la rendre perméable aux liquides d'extraction (Djilani et al., 2006).

D'après Yubin et al. (2014), il existe 3 types généraux d'extraction des alcaloïdes :

- ❖ Extraction par les solvants organiques non polaires.
- ❖ Extraction par les solvants organiques polaires.
- ❖ Extraction par l'eau acide.

I.5.1.5. Rôle

Les alcaloïdes ont diverses fonctions biologiques, notamment des propriétés anticancéreuses, antimicrobiennes, anti-inflammatoires et antinociceptives. Ils jouent donc un rôle d'agents protecteurs contre diverses maladies (**Shin et al., 2018**).

Selon Wink (2018), le rôle biologique des alcaloïdes réside essentiellement dans leur amertume et leur toxicité, ils pourraient jouer un rôle de protection vis à vis des prédateurs et des herbivores. Indépendamment du rôle biologique des métabolites secondaires, un certain nombre de fonctions ont été proposés :

- Ils pourraient être des produits d'excrétion du métabolisme azoté, les alcaloïdes jouant chez les plantes le rôle de l'urée ou de l'acide urique chez les animaux.
- Ils pourraient également servir de réserves d'azote.

I.5.2. Les huiles essentielles

I.5.2.1. Définition

Une huile essentielle est un produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale botaniquement définie, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par distillation sèche, soit par un procédé mécanique sans chauffage (**Bruneton, 2009**).

I.5.2.2. Répartition et localisation

Les huiles essentielles n'existent quasiment que chez les végétaux supérieurs : il y aurait, selon Lawrence, 17 500 espèces aromatiques. Les genres capables d'élaborer les constituants qui composent les huiles essentielles sont répartis dans un nombre limité de familles (Apiaceae, Asteraceae, Cupressaceae, Lamiaceae, Lauraceae, Myrtaceae, Piperaceae, Rutaceae, Zingiberaceae, ...etc.). Les huiles essentielles peuvent être stockées dans tous les organes végétaux : fleurs bien sûr (bergamotier, tubéreuse), mais aussi feuilles (citronnelle, eucalyptus, laurier noble) et, bien que cela soit habituel, dans les écorces (cannelier), des bois (bois de rose, santal), des racines (vétiver), des rhizomes (curcuma, gingembre), des fruits (toute-épice, anis, badiane), des graines (muscade). Si tous les organes d'une même espèce peuvent renfermer une huile essentielle, la composition de cette dernière peut varier selon sa localisation. La synthèse et

l'accumulation des huiles essentielles sont généralement associées à la présence d'une structure histologique spécialisées, souvent localisées sur ou à proximité de la surface de la plante : cellule à huiles essentielles des Lauraceae ou des Zingibéraceae, poils sécréteurs des Lamiaceae, poches sécrétrices des Myrtaceae ou des Rutaceae, canaux sécréteurs des apiaceae ou des Asteraceae (voir figure 4) (Bruneton, 2009).

Selon Sun et al. (2019), les terpènes existent principalement dans le péricarpe, dans la chair de certains cultivars et situés dans le mésocarpe (Par exemple, Dans le raisin, les terpènes existent principalement dans les vacuoles des cellules du péricarpe.

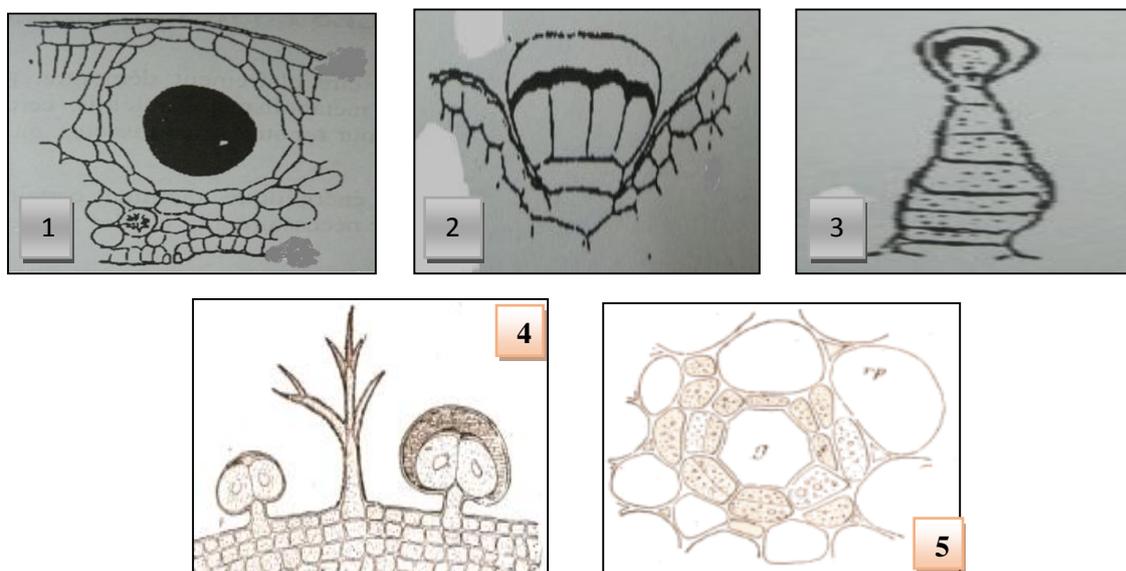


Figure 4: Quelques exemples d'appareil sécréteur, (1) : Poche sécrétrice des Myrtaceae, (2, 3, 4) : poils sécréteurs des Lamiaceae, (5) : canaux sécréteurs des apiaceae ou des Asteraceae (Bekhechi et Abdelouahid, 2010; Sahraoui, 2015).

I.5.2.3. Composition chimique

Les huiles essentielles constituent des mélanges complexes de composés organiques possédant des structures et des fonctions chimiques très diverses (figure 5). L'aboutissement de leurs biosynthèses conduit à la formation des terpènes, à partir d'une unité d'isoprène C_5H_8 . Selon le nombre des unités isopréniques, on distingue : les terpènes proprement dit ou monoterpènes en C_{10} , les sesquiterpènes en C_{15} , les diterpènes en C_{20} , les triterpènes en C_{30} , les tétraterpènes en C_{40} (tableau 2) (Aldred, 2009 ; Eslahi et al., 2017).

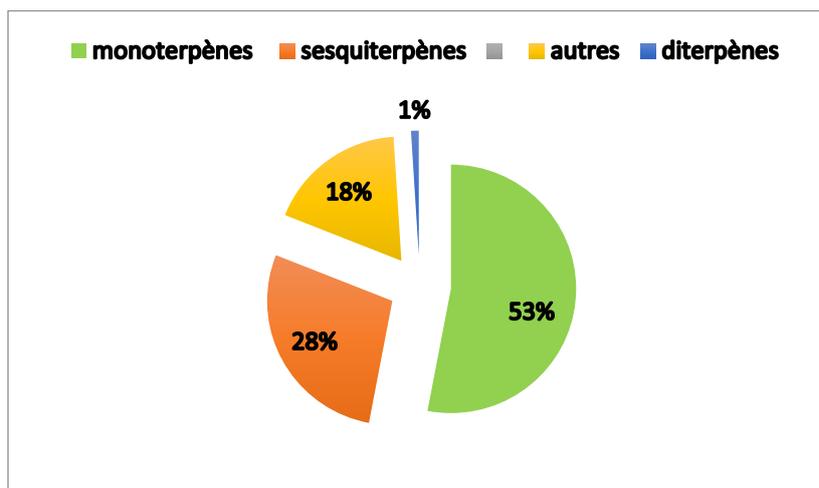


Figure 5 : Répartition approximative des terpénoïdes - mono-, sesqui-, di- et autres terpènes (Abbas *et al.*, 2017).

Tableau 2 : Classification des terpènes (Brahmkshatriya *et* Brahmkshatriya, 2013).

Terpènes	Unités d'isoprène	Atomes de carbone
Hemiterpènes	1	5
Monoterpènes	2	10
Sesquiterpènes	3	15
Diterpènes	4	20
Sesterpènes	5	25
Triterpènes	6	30
Caroténoïdes	7	40
Caoutchouc	>100	>500

Les mono- et sesquiterpènes sont les principaux constituants des huiles essentielles ; ils peuvent être acycliques (myrcène), monocycliques (limonène), bicycliques (pinène) ou tricycliques (tricyclène). En plus des hydrocarbures, on rencontre des dérivés oxygénés divers peuvent être : alcools, aldéhydes, cétones et acides (Eslahi *et al.*, 2017).

Selon Bruneton (1999), les monoterpènes constituent les plus simples de la série, les monoterpènes sont issus du couplage de deux unités « isopréniques ». Ils peuvent être acycliques (myrcène, ocimène), monocycliques (α et γ -terpinène, p-cymène) ou bicycliques (pinène,

camphène, sabinène). Ils constituent parfois plus de 90% de l'huile essentielle (*citrus*). La figure 6 montre la structure de certains terpènes.

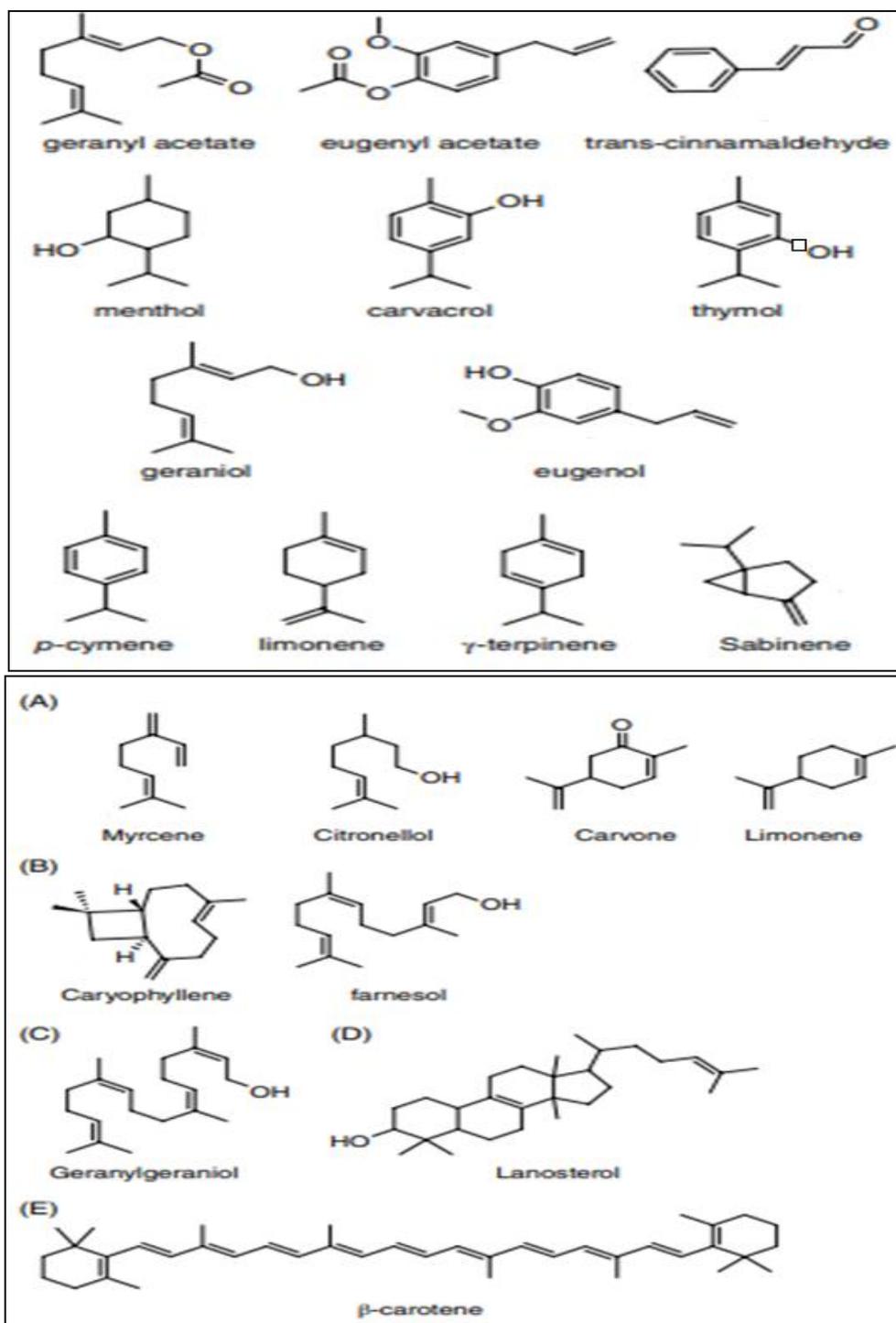


Figure 6 : Structures de certains terpènes. (A) Monoterpenes; (B) sesquiterpenes; (C) diterpène (D); (E) tétraterpène (Eslahi et al., 2017).

I.5.2.4. Procédés d'obtention

La méthode d'obtention des huiles essentielles intervient de façon déterminante dans le rendement en huile et dans sa composition (**Benjilani, 2004**). Parmi les différents procédés d'extraction, nous citons principalement :

I.5.2.4.1. La technique de la pression

C'est la plus ancienne technique : les Egyptiens utilisaient la pression à l'aide d'un sac pour extraire l'essence des pétales de fleurs. Cette méthode consistait à écraser les parties odorantes d'une plante fraîchement coupée puis les enfermer dans un sac en lin que l'on tordait à l'aide de deux bâtons enfilés dans deux anneaux placés à l'extrémité du sac. L'essence filtrait à travers la toile et est recueillie dans un récipient placé en dessous (**Padrini et Lucheroni, 1996**).

I.5.2.4.2. Méthodes de distillation (hydro-distillation)

La distillation convient aux huiles ayant une forte composante volatile et elle se fonde sur la caractéristique que possèdent ces composés qui peuvent être facilement transportés par des particules de vapeur d'eau en mouvement (**Padrini et Lucheroni, 1996**).

L'hydro-distillation : cette méthode consiste à immerger directement le matériel végétal à traiter (intact ou éventuellement broyé [turbo-distillation]) dans un alambic rempli d'eau distillée qui est ensuite portée à ébullition. Les vapeurs hétérogènes sont condensées sur une surface froide et l'huile essentielle se sépare par différence de densité (**Bruneton, 1999**).

I.5.2.4.3. Entraînement à la vapeur d'eau (ou vapo-hydro-distillation)

Le matériel végétal, dans ce cas se trouve supporté par une grille ou une plaque perforée placée à une distance adéquate du fond de l'alambic. La partie inférieure de celui-ci est remplie d'eau. Le niveau de cette dernière doit permettre d'éviter tout contact entre l'eau et la plante (**Benjilani, 2004**).

I.5.2.4.5. Distillation à la vapeur directe : « générateur séparé » ou « vapodistillation »

Méthode ressemble à celle décrite précédemment, sauf que cette fois il n'y a pas d'eau au fond de l'alambic. La vapeur saturée ou surchauffée à la pression généralement supérieure à la pression atmosphérique est introduite au fond de l'alambic par un système de conduite et traverse la masse végétale de bas en haut. La vapeur provient d'une chaudière indépendante (**Benjilani, 2004**).

I.5.2.4.6. Extraction d'huiles essentielles assistée par micro-ondes

L'extraction d'huile essentielle assistée par micro-ondes est une variante de la méthode de distillation où la source de chauffage a été remplacée par la micro-onde par rapport au bouchon

électrique normal. L'avantage de cette méthode est l'augmentation hypothétique du rendement de l'extraction : hypothétique car l'augmentation du rendement n'est pas aussi spectaculaire que difficile. Il est vrai qu'il est préférable de broyer la matière végétale, mais par rapport à la méthode de distillation classique, le rendement en huile essentielle est systématiquement le même. Le principe de cette méthode est basé sur le changement de la polarité de l'eau par les vagues et bien sûr le chauffage qui jouera le même rôle que dans la méthode de distillation classique. Cette méthode a en outre la limite de la méthode de distillation normale, le fait que les micro-ondes peuvent entraîner un changement de stéréo chimique d'un isomère à l'autre (**Fokou et al., 2020**).

➤ **Extraction à l'eau surchauffée**

Ce mode d'extraction utilise l'eau surchauffée à une température entre 125 et 175 °C sous pression. Il utilise de l'eau désoxygénée qui traverse une cellule où se trouve la matière végétale. Cette cellule est maintenue à une pression d'environ 20 bars et à température constante dans une étuve. Ce procédé utilisé avec du Romarin donne un rendement plus élevé en composés oxygénés que l'entraînement à la vapeur (**Basil et al., 1998**).

➤ **Enfleurage**

L'enfleurage est une ancienne technique d'extraction d'arômes essentiels. Elle est basée sur la solubilisation du composant de l'huile essentielle sur une cire grasse. L'extraction à froid peut durer plus d'un mois, mais peut être réduite à quelques heures par chauffage. La cire aromatisée est alors appelée béton. Elle est ensuite solubilisée dans un solvant polaire, puis séparée avec de l'éthanol absolu. Le produit obtenu après ce processus est tout au plus une partie de l'huile essentielle telle qu'elle est présente dans la plante, et il contient de nombreux autres terpènes qui peuvent être solubilisés dans les graisses utilisées ; c'est-à-dire qu'à la fin, le produit n'est pas appelé huile essentielle mais absolu (**Fokou et al., 2020**).

➤ **Extraction par solvant**

C'est la plus ancienne méthode pour obtenir un extrait brut de plantes. Le principe est basé sur la solubilisation des composés dans les cellules par le solvant.

Cette méthode a également deux variantes car elle peut être utilisée à température ambiante ou à haute température. Mais peu importe que l'extraction ait été effectuée à température ambiante ou non, le solvant sera séparé par Rotavapor en fonction de sa volatilité. Cette méthode ne permet pas vraiment d'obtenir l'huile essentielle car tous les composés non volatils sont également extraits par cette approche. Par conséquent, le profil chimique ne sera pas celui de la fraction

volatile des plantes mais celui du composé soluble dans le solvant utilisé dans le procédé (Fokou et al., 2020).

I.5.2.4.7. Extraction de fluides supercritiques

Cette méthode est la plus moderne et la plus sophistiquée. L'originalité de cette technique repose sur le comportement du solvant utilisé sous des conditions particulières puisque au-delà d'un certain point, dit point critique, caractérisé par une température (T_c) et une pression (P_c), les corps purs se trouvent dans un état particulier dit supercritique. Dans leurs conditions d'utilisation, les fluides supercritiques ont une masse volumique voisine de celle des liquides, une viscosité proche de celle des gaz et une diffusivité intermédiaire ; leur polarité est modifiée par rapport à l'état liquide. Leur pouvoir dissolvant dépend fortement de la température et de la pression, et le fluide supercritique le plus utilisé est le dioxyde de carbone CO_2 (Perrut, 1999).

I.5.2.5. Rôle

La fonction biologique des terpénoïdes des huiles essentielles demeure le plus souvent obscure. Il est toutefois vrai semblable qu'ils ont une fonction écologique. À l'appui de cette hypothèse, on remarquera que le rôle de certains d'entre eux a été établi expérimentalement aussi bien dans le domaine des interactions végétales (agents allélopathiques, notamment inhibiteurs de germination) que dans celui des interactions végétal-animal : protection contre les prédateurs (insectes, champignons) et attraction des pollinisateurs. Pour quelques auteurs, ils pourraient constituer des supports à une « communication » et ce d'autant mieux que leur variété structurale autorise le transfert de « messages biologiques » sélectifs (Bruneton, 2009).

La plupart des monoterpènes et des sesquiterpènes sont de bons vecteurs d'information sur les distances car ce sont des molécules lipophiles de faible poids moléculaire, avec une pression de vapeur élevée à des températures ordinaires. Par exemple, le sesquiterpène (E)-b-farnésène agit comme une phéromone d'alarme chez les pucerons (Gershenzon et Dudareva, 2007).

Les terpénoïdes sont utilisés avec succès pour le traitement du cancer, de l'inflammation et de diverses maladies infectieuses d'origine microbienne et parasitaire, et de nombreux terpénoïdes sont en cours de découverte dans diverses autres catégories. En outre, ils peuvent également être utilisés comme agents complémentaires dans des préparations dermiques topiques, des cosmétiques et des produits de toilette, ce qui élargit encore les applications des terpènes dans d'autres domaines (domaines de la santé humaine et de la médecine) (Brahmkshatriya et Brahmshatriya, 2013; Perveen et Taweel, 2018).

I.5.3. Les composés phénoliques

I.5.3.1. Définition

Les composés phénoliques « polyphénols » regroupent un vaste ensemble de plus de 8000 molécules, divisées en une dizaine de classes chimiques, qui présentent toutes un point commun : la présence dans leur structure d'au moins un cycle aromatique à 6 carbones, lui-même porteur d'un nombre variable de fonctions hydroxyles (OH) (**Hennebelle et al., 2004**). Les cycles aromatiques sont issus du métabolisme de l'acide shikimique et/ou de celui d'un polyacétate (**Mayer, 2004**).

I.5.3.2. Répartition et localisation

Les composés phénoliques se trouvent, d'une manière générale, dans toutes les plantes vasculaires, où ils peuvent être localisés dans divers organes : racines, tiges, bois, feuilles, fleurs et fruit. Les principales sources alimentaires de composés phénoliques sont les fruits et légumes, les boissons (thé, café, jus de fruits), les céréales, les graines oléagineuses et les légumes secs. Les fruits et légumes contribuent environ pour moitié à notre apport en polyphénols (**Boizot et Charpentier, 2006**).

I.5.3.3. Composition chimique

Les composés phénoliques peuvent être regroupés en de nombreuses classes (**tableau 3**) qui se différencient d'abord par la complexité des molécules de base (allant d'un simple C₆ à des formes très polymérisées) ensuite par le degré de modification de ce squelette (degré d'oxydation, d'hydroxylation, de méthylation...), enfin par les liaisons possibles de ces molécules de base avec d'autres molécules (glucides, lipides, protéines, autres métabolites secondaires pouvant être ou non des composés phénoliques) (**Sarni-Manchado et Cheynier, 2006**).

Tableau 3 : Les principales classes de composés phénoliques (Macheix et al., 2005).

Squelette carboné	Classe	Exemple	Origine (exemple)
C_6	Phénols simples	Catéchol	
C_6-C_1	Acides hydroxybenzoïques	<i>p</i> -Hydroxybenzoïque	Epices, fraise
C_6-C_3	Acides hydroxycinnamiques Coumarines	Acides caféique, férulique Scopolétine, esculétine	Pomme de terre, pomme Citrus
C_6-C_4	Naphtoquinones	Juglone	Noix
$C_6-C_2-C_6$	Stilbènes	Résvératrol	Vigne
$C_6-C_3-C_6$	Flavonoïdes <ul style="list-style-type: none"> • Flavonols • Anthocyanes • Flavanols • Flavanones Isoflavonoïdes	Kaempférol, quercétine Cyadinine, pélargonidines Catéchine, épicatechine Naringénine Daidzéine	Fruits, légumes, fleurs Fleurs, fruits rouges Pomme, raisin Citrus Soja, pois
$(C_6-C_3)_2$	Lignanes	Pinorésinol	Pin
$(C_6-C_3)_n$	Lignines		Bois, noyau des fruits
$(C_{15})_n$	Tanins		Raisin rouge, Kaki

I.5.3.3.1. Acides phénoliques

Le nom « acide phénol » (ou acide phénolique), en général, décrit les phénols possédant au moins une fonction carboxylique et un hydroxyle phénolique. Ils sont représentés par deux sous-classes : les dérivés de l'acide hydroxycinnamique et de l'acide hydroxybenzoïque (Karadağ et Yücel, 2017).

I.5.3.3.2. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes, au sens strict, sont des pigments jaunes, généralement polyphénoliques, très répandus chez les végétaux ; ils sont le plus souvent sous forme d'hétérosides ou flavonosides dont les génines sont des dérivés de la phénylchromone (flavones vraies), la chromone étant la benzo γ pyrone (**Deveoğlu et Karadağ, 2012**).

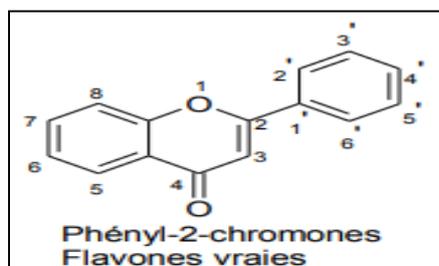


Figure 7 : Squelette de base des flavonoïdes avec la numération classique (**Deveoğlu et Karadağ, 2012**).

I.5.3.3.3. Les anthocyanes

Les anthocyanes ou pigments anthocyaniques sont des composés hydrosolubles, de teinte rouge, violette ou bleue. Ils colorent généralement les fleurs, les fruits et parfois les feuilles. Les anthocyanes sont présents dans la nature uniquement sous forme d'hétérosides appelés anthocyanosides ou anthocyanines. Les génines anthocyanidines ou anthocyanidols sont des dérivés du phényl-2-benzopyrylium ou flavylium (où l'oxygène est sous forme oxonium) présents dans la plante sous forme de sels (**Khoo et al., 2017**).

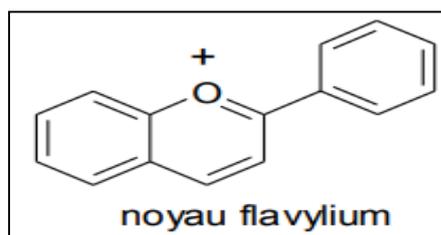


Figure 8: Structure de flavynium (**Khoo et al., 2017**).

I.5.3.3.4. Les coumarines

Les coumarines sont des substances naturelles dont la structure comporte le noyau benzo- α pyrone (coumarine) résultant de la lactonisation de l'acide ortho-hydroxy- cis cinnamique (**figure 10**) (**Jain et Joshi, 2012**).

Les coumarines tirent leur nom de (coumarou) nom vernaculaire de la fève tonka (*Dipteryx odorata* Willd., Fabaceae) d'où fut isolée, en 1820, la coumarine (**Jain et Joshi, 2012**).

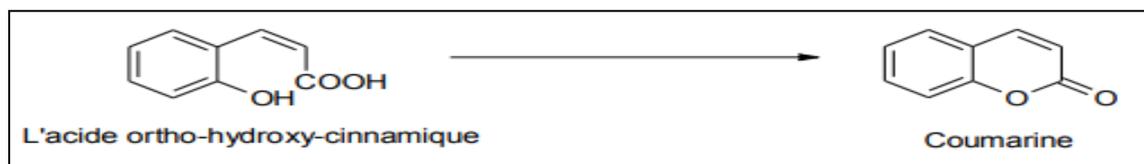


Figure 9 : Lactonisation de l'acide ortho-hydroxy- cis cinnamique à la coumarine (Jain et Joshi, 2012).

I.5.3.3.5. Les lignanes

Le terme de lignanes désigne un ensemble de composés naturels dont le squelette résulte de la liaison, par les carbones β de leur chaîne latérale, de deux unités dérivées du phényl-1 propane (liaison 8-8') (Yashin et al., 2018).

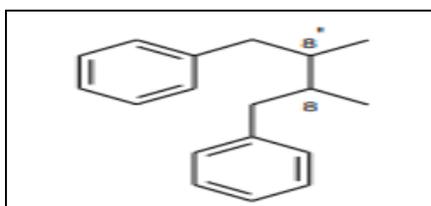


Figure 10 : Structure de phényl-1 propane (liaison 8-8') (Yashin et al., 2018).

I.5.3.3.6. Tannins

Les tanins sont des substances polyphénoliques de structure variée, de saveur astringente, ayant en commun la propriété de tanner la peau, c'est-à-dire de la rendre imputrescible ; cette aptitude est liée à leur propriété de se combiner aux protéines, gélatine, polysaccharides (Ghestem et al., 2001). Leur poids moléculaire des tanins est compris entre 500 et 3 000 qui peuvent être classés en trois groupes : les tanins condensés, les tanins hydrolysables et les tanins complexes (Vermeris et Nicholson, 2006).

I.5.3.4. Procédés d'obtention

Les différentes techniques d'extraction des composés phénoliques sont :

I.5.3.4.1. Extraction liquide-liquide (ELL)

Des scientifiques utilisant divers solvants ont étudié et ont fait l'objet d'une enquête sur l'extraction des composés phénoliques de différentes parties des plantes comme les feuilles et les graines. Grâce à la simplicité et au faible coût de cette méthode d'extraction, aux solvants de polarités différentes et aux conditions de température et de pH différents, ils ont pu extraire diverses combinaisons de composés phénoliques des plantes. Dans les méthodes d'extraction

liquide-liquide (LLE), divers composés phénoliques sont extraits, puis une étape supplémentaire de purification est nécessaire (Gharaati, 2019).

I.5.3.4.2. Extraction assistée par ultrasons (EAU)

Les ondes ultrasonores se produisent à des fréquences comprises entre 20 kHz et 10 MHz qui traversent les solides, les liquides et les gaz et que l'homme ne peut pas non plus entendre. Dans cette méthode d'extraction, des bulles de cavitation sont créées près du tissu de l'échantillon, puis elles brisent la paroi cellulaire et donc le contenu cellulaire est libéré. La conception et la forme du réacteur, ainsi que la forme de la sonde, peuvent avoir un effet sur le processus d'extraction (Altemimi et al., 2016).

I.5.3.4.3. Extraction assistée par micro-ondes (EAM)

Les micro-ondes sont des rayonnements électromagnétiques dont les fréquences sont comprises entre 30-300 MHz. Ils génèrent de la chaleur par l'induction de mouvements moléculaires, ce qui provoque la rupture de la paroi cellulaire et la libération de la substance active dans la cellule. Les molécules de solvants dipolaires, comme l'eau, dont la constante diélectrique est plus élevée que celle des solvants non polaires, peuvent absorber une grande quantité d'énergie, ce qui augmente la vitesse et l'efficacité de l'extraction des composés phénoliques (Gharaati, 2019).

Il existe deux systèmes d'extraction assistée par micro-ondes (MAE) pour l'extraction des composés phénoliques qui sont à récipient fermé et à récipient ouvert. Dans le système à récipient fermé, l'extraction se fait à haute pression et à haute température, tandis que dans le système à récipient ouvert, l'extraction des composés phénoliques se fait à la pression atmosphérique (Vlaisavljević et al., 2017).

I.5.3.4.4. Extraction de fluides supercritiques (EFS)

Dans cette méthode, le solvant est à une température et une pression supérieure à son point critique et il n'y a pas de tension superficielle dans le solvant. Il possède donc simultanément les propriétés d'un liquide et d'un gaz, ce qui peut être très efficace pour l'extraction des composés phénoliques des plantes. Les fluides supercritiques de faible viscosité et de haute diffusivité permettent d'extraire les différents composés phénoliques en moins de temps et avec une plus grande efficacité (Murga et al., 2000). Une propriété particulière de l'extraction par fluide supercritique est que la densité du fluide supercritique peut être facilement modifiée en fonction de diverses températures et pressions. De plus, à température constante, la solubilité dans un fluide supercritique est directement liée à sa densité, de sorte qu'en augmentant

la pression, sa solubilité a tendance à augmenter. Par conséquent, ces propriétés peuvent être utilisées pour séparer les composés phénoliques de sélectivité variable (Le Floch *et al.*, 1998).

I.5.3.5. Rôle

Le rôle des composés phénoliques est maintenant reconnu dans différents aspects de la vie de la plante et dans l'utilisation que fait l'homme des végétaux. Ils peuvent en effet intervenir :

- dans certains aspects de la physiologie de la plante (lignification, régulation de la croissance, interactions moléculaires avec certains microorganismes symbiotiques ou parasites...);
- dans les interactions des plantes avec leur environnement biologique et physique (relations avec les bactéries, les champignons, les insectes, résistance aux UV), soit directement dans la nature soit lors de la conservation après récolte de certains végétaux ;
- dans les critères de qualité (couleur, astringence, amertume, qualités nutritionnelles...) qui orientent les choix de l'homme dans sa consommation des organes végétaux (fruits, légumes, tubercules...) et des produits qui en dérivent par transformation ;
- dans des variations de certaines caractéristiques des végétaux lors de certains traitements technologiques (préparation des jus des fruits, de boissons fermentées...) pendant lesquels apparaissent fréquemment des brunissements enzymatiques qui modifient la qualité du produit fini ;
- dans la protection de l'homme vis-à-vis de certaines maladies en raison de leur interaction possible avec de nombreuses enzymes et de leurs propriétés antioxydantes (Macheix *et al.*, 2005).

Les flavonoïdes et de nombreux autres composants phénoliques ont été signalés comme étant des antioxydants efficaces, des anticancéreux, des antibactériens, des agents cardioprotecteurs, des anti-inflammatoires, des promoteurs du système immunitaire, des protecteurs de la peau contre les rayons UV et très intéressants pour des applications pharmaceutiques et médicales (Tungmunnithum *et al.*, 2018).

Chapitre II :
Composition chimique et
activité biologique de
Myrtus communis

II .1. Description botanique

Myrtus communis L. est l'une des principales espèces aromatiques et médicinales appartenant à la famille des Myrtacées, qui comprend une cinquantaine d'espèces indigènes du bassin méditerranéen (Anwar et al., 2016).

C'est un arbuste aromatique à feuilles persistantes qui peut atteindre jusqu'à 3 m, mais il mesure normalement de 0,5 à 1,5 m de haut. Très ramifié, dans les pieds isolés, il a tendance à avoir un port hémisphérique. Les feuilles sont simples, opposées et persistantes, avec un pétiole de 1 à 2 mm et une lame de 2 à 6 x 1 à 3 cm, ovale, lancéolée, pointue à la base, lisse et brillante sur le faisceau, vert foncé, avec un dos plus clair. C'est une espèce dont les feuilles présentent de fortes variations morphologiques que l'on peut observer sur le terrain. Lorsque les feuilles sont écrasées, elles donnent un arôme très caractéristique. Les branches ont deux feuilles brillantes et coriaces aux nœuds, presque sans pétiole, vert foncé sur la face supérieure et légèrement plus claires sur la face inférieure. Les fleurs sont pentamères, axillaires, isolées et aromatiques, avec des pétales blancs de 1 à 1,5 cm. Ils comprennent de nombreuses étamines libres avec des filaments d'environ 1 cm et des anthères jaune clair (Diaz et Abeger, 1987).



Figure 11 : Photographies de *Myrtus communis* L. (A : fleur, B : fruit) (<http://www.tela-botanica.org>).

II .2. Habitat et distribution

Le myrte est rencontré dans les bois, les garrigues, les maquis. Il est également spontané en Europe méditerranéenne, en Afrique septentrionale et en Asie occidentale (Goetz et Ghedira, 2012). Il se développe sur un substrat le plus souvent siliceux dans les climats subhumide, humide et perhumide à variante chaude à tempérée (Sartani et al., 2006).

La distribution très large de cette espèce peut être expliquée par le résultat de l'interaction des variations de différents facteurs du milieu, incluant les effets de l'altitude et la latitude, et la variabilité génétique au sein des populations de l'espèce en pleine évolution (Wahid, 2013).

En Algérie, cette plante est très commune dans les forêts de chênes du Tell littoral algéroconstantinois (Belaoued, 2006). Elle pousse spontanément dans la région côtière, dans les collines intérieures et dans le nord des zones forestières (Foudil-Cherif et al., 2013).



Figure 12 : Distribution de *Myrtus communis* L. (Migliore, 2011).

II.3. Position systématique :

Selon Quezel et Santa (1963), *Myrtus communis* L. est classée comme suit :

Règne : *Plantae*

Sous-règne : *Eucaryotes*

Embranchement : *Spermaphytes*

Classe : *Dicotylédones*

Ordre : *Myrtales*

Famille : *Myrtaceae*

Genre : *Myrtus*

Espèce : *Myrtus Communis* L.

Nom vernaculaire : Rayhan , Mersin.

II.4. Composition chimique

II.4.1. Huiles essentielles

Une caractéristique frappante de la plante est l'odeur agréable de son huile essentielle, présente dans de nombreuses glandes, en particulier dans les feuilles. Les principaux composés responsables de la saveur et de l'odeur de l'huile de myrte sont les monoterpènes : 1,8-cinéol ($C_{10}H_{18}O$), acétate de myrte ($C_{12}H_{18}O_2$), α -pinène ($C_{10}H_{16}$), myrténol ($C_{10}H_{16}O$), limonène ($C_{10}H_{16}$), ...etc. (**Mimica-Dukić et al., 2010**).

L'huile essentielle obtenue à partir de diverses parties du myrte est composée principalement de trois catégories : les terpènes (monoterpènes hydrocarbonés (MH) et sesquiterpènes hydrocarbonés (SH)), les terpénoïdes (monoterpènes oxygénés (MO) et sesquiterpènes oxygénés (SO)) et les phénylpropanoïdes (**Anwar et al., 2016**). La fraction terpénique la plus dominante est représentée par des monoterpènes oxygénés (48,4%-82,8%) (**Boelens et Jimenez, 1992; Farah et al., 2006; Gardeli et al., 2008; Dejam et al., 2017; Bekhechi et al., 2019**).

La composition chimique de certaines huiles essentielles du myrte est donnée dans le tableau 4. L'analyse de ces huiles peut être classée en deux groupes selon leur composition en 1,8-cinéol. Chacun des deux groupes peut être réparti en trois sous-groupes selon la proportion : myrtényl acétate/1,8-cinéol, α -pinène/ 1,8-cinéol et limonène/1,8-cinéol.

Dans l'huile d'Espagne, **Boelens et Jimenez (1992)** ont trouvé une variation proportionnelle des différents constituants d'huile dans la fleur et la feuille et le constituant majoritaire était l'acétate de myrtényle.

L'huile essentielle Marocaine était caractérisée par une teneur élevée en monoterpènes oxygénés (82,8%) dont les constituants majoritaires étaient le 1,8-cinéole (43,1%), le myrtényle acétate (25%) et l' α -pinène (10%) (**Farah et al., 2006**). Tandis que l'huile essentielle Iranienne était dominée par les monoterpènes oxygénés (71,43%) dont les constituants majoritaires étaient 1,8-cinéol (26,91%), α -pinène (22,02%), linalool (12,74%), acétate de linalyle (8,64%), α -terpinéol (8,29%) (**Dejam et al., 2017**).

La fraction monoterpénique de l'huile de Grèce se composait principalement de monoterpènes oxygénés (70,1-73,2 %) dont les constituants majoritaires étaient : le myrtényl acétate (39%), 1,8-cinéol (13,5%), α -pinène (10,9%) et linalool (7,7%) avec des variations saisonnières significatives (**Gardeli et al., 2008**).

Les principaux composants de l'huile essentielle extraite des baies dans dix localités de Corse (France) étaient l' α -pinène (45,3-48,2%), le 1,8-cinéol (25,0-27,3%), le limonène (4,7-5,5 %) et le para-cymène (1,9-3,1 %) (**Barboni et al., 2010**).

La répartition des monoterpènes oxygénés et des monoterpènes hydrocarbonés de l'huile Tunisienne dans différentes parties de la plante (feuille, tige, fleur) variait et la fleur était caractérisé par des niveaux élevés de monoterpènes hydrocarbonés (41,56 %) et monoterpènes oxygénés (33,16%) avec un pourcentage appréciable en phénypropanoïdes. Le constituant majoritaire était l' α -pinène pour les feuilles et les fleurs et « 1,8 cinéole » pour la tige (**Aidi Wannas et al., 2010**).

Les huiles essentielles de feuilles du myrte d'Algérie (Chelef) extraites en pleine floraison ont été analysées par **Hennia et al., (2015)** et dont les principaux composés étaient le limonène (23,4%), le linalol (15,4%), l'acétate de géranyle (10,9%), l' α -pinène (10,7%), l'acétate de linalyle (8,2%) et le 1,8-cinéole (6,6%). Par contre **Bekhechi et al., (2019)**, on travaillant sur les huiles essentielles de feuilles du myrte de Tlemcen ont trouvé les constituants majoritaires suivant : le 1,8-cinéol (36.8%), l' α -pinène (31.3%) et le limonène (11.1%).

Les composés majoritaires varient selon le lieu de récolte, mais généralement les composés les plus rencontrés sont : myrtényl acétate, 1,8-cinéol, α -pinène, linalool, β -pinène, (E)- β -ocimène, géranyle acétate, acétate de linalyle, α -terpinéol. Ces composés sont accompagnés d'autres constituants à des teneurs relativement faibles. Ces différences peuvent être dues à certains facteurs écologiques et environnementaux, mais aussi à d'autres facteurs : partie de la plante utilisée, l'âge et la période du cycle végétatif, la méthode du séchage des échantillons et des facteurs génétiques.

Tableau 4 : Composition majoritaire de certaines huiles essentielles de *M. communis* L. extraites par hydro distillation selon différentes origines.

Origine, période d'échantillonnage, méthode de séchage et organes étudiés		Chémotype et composés majoritaires (> 5 %)	Terpènes majeurs	Référence
Espagne (Puebla Del Rio) Floraison (Juin)	Feuilles	myrtényle acétate (35.9%), 1,8-cinéol (29.89%), α -pinène (8.18%), limonène (7.58%).	MO (64.57%)	Boelens et Jimenez (1992)
	Fleurs	myrtényle acétate (23.55%), α -pinène (19.35%), 1,8-cinéol (16.51%), limonène (9.91%).	MO (48.40%), MH (31.48%)	
Maroc (Dardara) Floraison (Mai) Matière fraîche	parties aériennes fraîche	1,8-cinéol (43.1%), myrtényle acétate (25%), α -pinène (10%).	MO (82.8%)	Farah et al., (2006)
Grèce (Zakynthos) (Avant floraison, floraison et fructification) Séchage à l'air libre (1 mois)	Février (avant floraison)	myrtényle acétate (39%), 1,8-cinéol (13.5%), α -pinène (10.9%), linalool (7.7%) .	MO (71.8%)	Gardeli et al., (2008)
	Mai (floraison)	myrtényle acétate (38.7%), 1,8-cinéol (12.7%), α -pinène (10.1%), linalool (7%),	MO (70.1%)	
	Out (fructification)	myrtényle acétate (23.7%), 1,8-cinéol (19.6%), linalool (15.8%), α -pinène (11.6%), linalyl acetate (6%),	MO (73.2%)	
France (dix localités de Corse) Fructification (Novembre)	baies	α - pinène (45.3-48.2%), 1,8-cinéol (25-27.3%), limonène (4.7-5.5%).	MH (59.2-64 %), MO (31.3-35.5%)	Barboni et al., (2010)
Tunisie (Jbal Stara/ Haouaria) Floraison (Juillet) Séchage à l'air libre	Feuille	α -pinène (58.05%), 1,8-cinéol (21.67%), β -pinène (6.45%),	MH (66.45%),	Aidi Wannas et al., (2010)
	Tige	1,8-cinéol (32.84%), α -pinène (10.53%), (E)- β -ocimène (9.48%), linalool (6.88%).	MO (52.43%), MH (30.81%)	
	Fleurs	α -pinène (17.53%), 1,8-cinéol (12.70%), limonène (10.11%).	MH (41.56%) MO (33.16%)	

Algérie (Chlef) Floraison (Juin) séchage à l'air libre.	Feuilles	limonene (23.4%), linalool (15.4%), géranyle acétate (10.9%), α -pinène (10.7%), linalyle acétate (8.2%), 1,8-cinéol (6.6%).	MO (50,5%)	Hennia et al., (2015)
Iran (Fars) Avant floraison Séchage à l'air libre	Feuilles fraîches	1,8-cinéol (26.91%), α -pinène (22.02%), linalool (12.74%), acétate de linalyle (8.64%), α -terpinéol (8.29%).	MO (71.43%),	Dejam et al., (2017)
Algérie (Tlemcen) avant floraison (Février-mars)	Feuilles	1,8-cinéol (36.8%), α -pinène (31.3%), limonène (11.1%).	MO (51.1%), MH (45.1%)	Bekhechi et al., (2019)

II.4.2. Composés phénoliques

Les composés phénoliques sont présents dans les feuilles et les baies (**Aidi Wannas et al., 2010**). Les feuilles de myrte sont caractérisées par la présence d'acide gallique et de dérivés galloylés, d'acide ellagique, de dérivés d'hexahydroxydiphénolyle, de dérivés de flavonoïdes, de lignanes et de gallomyrtucommulones. En ce qui concerne la composition phénolique des baies de myrte de Sardaigne, ils sont caractérisés par la présence d'acides organiques, l'acide quinique, malique et gluconique. Les cultivars de Turquie sont riches en acide citrique et présentent des teneurs plus faibles en acides malique et tartrique (**Babou et al., 2016**).

Le tableau 5 représente les résultats de la teneur en phénols totaux de *M. communis* L. de nombreuses études scientifiques qui montrent une variation marquée de la teneur totale en phénols, et on trouve que le pourcentage est élevé dans la période de floraison, dans les feuilles /fleurs et lors de l'utilisation du solvant méthanol.

A partir de ces résultats, on peut dire qu'il existe des facteurs qui influencent le contenu phénolique, notamment : les saisons, les solvants, la partie de plantes testée et le stade de développement des plantes testées...etc.

Tableau 5 : Teneurs des phénols totaux de *M. communis* selon différents solvants d'extraction

Extraits	Période de récolte	Phénols totaux	Référence
Extrait méthanolique	Fructification	307(mg EAG/g MS)	Gardeli et al., (2008)
	Avant floraison	352 (mg EAG/g MS)	
	Floraison	373 (mg EAG/g MS)	
Extrait méthanolique	(feuilles)	31.25 (mg EAG /g E)	Amensour et al., (2010)
Extrait éthanolique		29 (mg EAG/g E)	
Extrait aqueux		35.56 (mg EAG /g E)	
Extrait méthanolique	Fructification (baies)	14.68 (mg EAG /g E)	
Extrait éthanolique		9 (mg EAG /g E)	
Extrait aqueux		15.75 (mg EAG /g E)	
Extrait éthanolique	Avant floraison (janvier)	4.57 (g EAG /l)	Tuberoso et al., (2010)
Extrait aqueux		0.52 (g EAG/l)	
Extrait acétate d'éthyle		2.12 (g EAG /l)	

EAG : Equivalent de l'Acide Gallique.

II.5. Activités biologiques

II.5.1. Activité antibactérienne

L'activité antibactérienne d'une molécule est entièrement associée aux composés qui tuent les bactéries ou ralentissent leur taux de croissance, sans être très toxiques pour les tissus voisins. Les agents antimicrobiens les plus récemment découverts sont des composés naturels modifiés et cette modification se fait par voie chimique (Singh et al., 2019).

D'après Aleksic et Knezevic, (2014), il y a deux méthodes pour déterminer les propriétés antimicrobiennes des extraits et les huiles essentielles les plus utilisés sont l'agar méthode de diffusion et méthode de dilution du bouillon.

L'étude de l'activité antibactérienne des extraits brutes et des huiles essentielles a fait l'objet de plusieurs travaux de recherche et les résultats obtenus pour les différents travaux sont représentés dans le tableau 6.

D'après Mir et al., (2020), les bactéries gram positif *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus* et *Enterococcus faecalis* sont très sensibles aux métabolites secondaires de l'extrait éthanolique foliaire, tandis que la bactérie gram négatif *Escherichia coli* était résistante. Selon Mansouri et al., (2001), les bactéries *Staphylococcus aureus* et *Micrococcus luteus* sont sensibles à extraits bruts de *Myrtus communis* tandis que *Campylobacter jejuni* est résistante.

A côté des extraits bruts, l'huile essentielle a été largement étudiée. En effets, l'huile essentielle des feuilles du myrte a été testée par Hagos et al., (2017), pour leur activité

antibactérienne. L'huile témoigne d'une activité antibactérienne intéressante sur tous les microorganismes testés et la plus forte activité a été observée pour *Escherichia coli*. D'autre part ces mêmes auteurs ont trouvé que cette grande activité est reliée à l'eucalyptol (1,8-cinéol) (33,795 %), à linalol (29,217 %), à linalyl anthranilate (9,048 %) et à l' α -terpinéol (7,158 %) qui sont des composés majoritaires de cette huile ou en raison de la synergie.

Des résultats similaires ont été obtenus par **Owlia et ses collaborateurs (2009)** qui ont montré que l'huile essentielle de myrte a inhibé efficacement la croissance de *Pseudomonas aeruginosa*.

En outre, l'huile essentielle de *M. communis* a été testée pour son activité antibactérienne in vitro par deux méthodes différentes (la méthode de diffusion sur disque et de la microdilution) contre 11 souches bactériennes. Les résultats obtenus montrent que l'huile témoigne d'une activité inhibitrice relativement élevées. Les diamètres des zones d'inhibition étaient compris entre 11 et 24 mm. En général, Les CMI étaient compris entre 0.563 et 63 mg/ml.

Les résultats obtenus par la méthode de diffusion sur disque, suivis de mesures de CMI, indiquent que *Streptococcus pneumoniae* est le microorganisme le plus sensible avec les valeurs de CMI les plus faibles (0.536mg/l). *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* et *Staphylococcus epidermidis* étaient aussi sensibles à huile essentielle avec des valeurs de CMI compris entre 1.125 et 2.25mg/ml. Une activité modérée a été observée contre six microorganismes à gram négative (*Moraxella catarrhalis*, *Bacillus subtilis*, *Enterobacter.aerogenes*, *Salmonella thyphimurium*, *Shigella flexineri*, *Klebsiella pneumoniae* et *Pseudomonas aeruginosa*) connus pour leur résistance à de nombreux antibiotiques (**Toaibia, 2015**)

Ce même auteur a expliqué cette activité par la présence de grandes quantités de monoterpènes et spécialement le limonène qui est un composé aux propriétés antimicrobiennes.

Tableau 6 : Diamètre des zones d'inhibition, concentration minimale inhibitrice (CMI) et concentration minimale bactéricide (CMB) des extraits et d'huiles essentielles de *Myrtus communis* L.

Extraits	Micro-organisme	Diamètre (mm)	Activité	Références
Extraits bruts (mg/ml)	<i>Staphylococcus aureus</i>	18	CMI 0.1	Mansouri et al., (2001)
	<i>Micrococcus luteus</i>	17	CMI 0.1	
	<i>Campylobacter jejuni</i>	0	-	
Huile essentielle	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	12.33	CMI (µg/ml) - CMB (µg/ml) 64 - 64	Owlia et al., (2009)
Huile essentielle	<i>Staphylococcus aureus</i>	19.5	1.125 CMI (mg/ml)	Toaibia, (2015)
	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	18	2.25 CMI (mg/ml)	
	<i>Staphylococcus pneumoniae</i>	24	0.563 (CMI)	
	<i>Moraxella catarrhalis</i>	15.5	4.5 (CMI)	
	<i>Bacillus subtilis</i>	14	9.0 (CMI)	
	<i>Enterobacter aerogenes</i>	13	18 (CMI)	
	<i>Escherichia coli</i>	20	1.125(CMI)	
	<i>Salmonella thiphimrium</i>	14.5	4.5 (CMI)	
	<i>Shigella flexineri</i>	15.5	4.5 (CMI)	
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	16	4.5 (CMI)	
Huile essentielle foliaire	<i>Staphylococcus aureus</i>	8.47		Hagos et al., (2017)
	<i>Salmonella Typhi</i>	6.3		
	<i>Escherichia coli</i>	16		
Extrait éthanolique foliaire (g/ml)	<i>Enterococcus faecalis</i> (ATCC29212)	9	CMB (mg/ml) CMI (µg/ml) 5 - 78	Mir et al., (2020)
	<i>Staphylococcus aureus</i>	25	0.3-9.7	
	<i>Enterococcus faecalis</i>	9	5-19.5	
	<i>Escherichia coli</i>	-	-	
	<i>Salmonella Typhi</i>	6.3		
	<i>Escherichia coli</i>	16		

II.5.2. Activité antifongique

En plus de l'activité antibactérienne, des études (réalisées *in vitro* et *in vivo*) ont prouvé que l'huile essentielle de *M. communis* L. possède des propriétés antifongiques contre un certain nombre de champignons. **Hmiri et al., (2015)**, dans leur étude, ont montré que les huiles essentielles de myrte ont permis d'inhiber complètement la croissance mycélienne de *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata* et *Penicillium expansum* à des concentrations supérieures à 400, 600 et 1800 µl/l, respectivement. C'est *P. expansum* qui a présenté la plus forte résistance à l'effet inhibiteur d'huiles essentielle testée ; il a été suivi par *A. alternata* qui a montré une résistance intermédiaire, enfin *B. cinerea* a été le plus sensible (**tableau 7**).

Tableau 7 : Pourcentage d'inhibition de la croissance d'*Alternaria alternata*, *Penicillium expansum* et *Botrytis cinerea* traités avec différentes concentrations de l'huile essentielle de *M. communis* (**Hmiri et al., 2015**).

Concentration (µl/l)	Pourcentage d'inhibition (%)		
	<i>Alternaria alternata</i>	<i>Penicillium expansum</i>	<i>Botrytis cinerea</i>
100	4.16	6.25	10.41
156	33.33	41.66	58.33
300	75	70.83	97.91
400	87.5	75	100
600	95.83	83.33	100
800	95.83	87.5	100
1000	95.83	89.58	100
1200	95.83	91.66	100
1800	95.83	104.16	100

Selon les travaux de **Curini et al., (2003)** l'huile essentielle de *M. communis* a montré une activité d'inhibition de la croissance contre trois champignons phytopathogènes, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium solani* et *Colletotrichum lindemuthianum* (tableau 8). De plus, dans ce cas également, des modifications marquées de la morphologie des hyphes ont été détectées : elles sont apparues, se sont effondrées probablement en raison de la déshydratation induite par les composants de l'huile. L'activité fongicide d'huile essentielle de *M. communis* a été expliquée par leurs principaux composants, le limonène, α -pinène et le 1,8 cinéol.

Tableau 8 : Pourcentage d'inhibition de la croissance des champignons phytopathogènes traités avec différentes concentrations de l'huile essentielle de *M. communis* (Curini et al., 2003).

Dose (ppm)	% d'inhibition de croissance		
	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Fusarium solani</i>	<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>
100	n.d.	1.76±0.59	2.56±3.45
400	n.d.	1.18±1.57	4.43±1.16
800	28.09±2.47	2.55±0.90	13.12±3.17
1600	60.00±2.84	15.59±0.42	21.41±1.04

II.5.3. Activité anti-inflammatoire

L'inflammation est un mécanisme naturel d'autoprotection développé par les organismes pour éliminer les stimuli nocifs, tels que les cellules endommagées ou les agents pathogènes, qui constituent également l'étape initiale des processus de guérison et de restauration de la fonction des tissus (Cruciani et al., 2019).

D'après les travaux de Toaibia, (2016), l'effet anti-inflammatoire d'huile essentielle de *M. communis* a été évalué dans le modèle de l'œdème de la patte, l'administration orale d'huile essentielle à des doses de 100, 200 et 400 mg/kg a entraîné une réduction d'environ 30,71%, 38,44% et 72,90 % de l'œdème de la patte respectivement. De plus, l'inhibition de l'œdème des pattes résultant d'une dose d'huile essentielle de 100 mg/kg n'était pas significativement différente de celle du témoin positif (50 mg/kg) (72,90% contre 80,70% respectivement) (tableau 9). Certains composants des végétaux, en particulier les terpénoïdes alcooliques, ont été signalés comme étant utiles dans la gestion des processus inflammatoires. Ces mêmes auteurs ont expliqué la réduction de l'œdème de la patte aux principaux constituants de l'huile, à savoir l' α - pinène, l'acétate de myrtényle et le 1,8 cinéol.

Tableau 9 : Effet de l'huile essentielle de *M. communis* sur le test de l'œdème de la patte induit par la carraghénine chez la souris (Toaibia, 2016).

Traitement	Dose (mg/kg)	Epaisseur de la patte arrière gauche (mm) Moyenne \pm SD	Inhibition de l'œdème de la patte (%)
Contrôle négatif (0,2 % de Tween 80 dans 0,9 % des Na Cl)	20	3.3 \pm 0.21	-
Huile essentielle	400	3.0 \pm 0.17	30.71
	200	2.88 \pm 0.14	38.44
	100	2.81 \pm 0.12	72.90
Contrôle positif (Diclofenac)	50	2.76 \pm 0.10	80.70

D'après les expériences de **Hosseinzadeh et al., (2011)**, l'extrait éthanolique a montré une activité contre les l'inflammations, qui ne dépend pas de la dose (dans toutes les doses 0,05, 0,15 et 0,35 g/kg), la dose de 0,15 g/kg étant la plus efficace [72 %] (**tableau 10**).

Tableau 10 : Effet des doses intrapéritonéales de l'éthanol extrait de *M communis* L. sur le gonflement des oreilles provoqué par le xylène chez la souris (**Hosseinzadeh et al., 2011**).

Substance/dose	Différence de poids (mg)	Pourcentage d'inhibition %
Solution saline normale (10 ml/kg)	2,8 \pm 0,19	-
Diclofénac (15 mg/kg)	0,48 \pm 0,06	83
Extrait éthanolique (0,05 g/kg)	1,15 \pm 0,08	59,8
Extrait éthanolique (0,15 g/kg)	0,8 \pm 0,15	72
Extrait éthanolique (0,35 g/kg)	0,98 \pm 0,17	65,5

Dans le test d'inflammation chronique (boulettes de coton), l'extrait aqueux a montré une activité anti-inflammatoire significative et proportionnelle à la dose (0,005, 0,015 et 0,03 g/kg ; $p < 0,001$). Une efficacité maximale a été observée pour la dose de 0,03 g/kg de l'extrait aqueux [57,9%] (**tableau 11**).

Tableau 11 : Effet des doses intrapéritonéales de l'extrait aqueux de *M communis* L. (7 jours consécutifs) sur le poids des granulomes chez le rat (**Hosseinzadeh et al., 2011**).

Substance/dose	Différence de poids (mg)	Pourcentage d'inhibition
Solution saline normale (10 ml/kg)	10,6± 0,299	-
Diclofénac (15 mg/kg)	3,8± 0,255	64,4
Extrait aqueux (0,005 g/kg)	8,1± 0,365	19,8
Extrait aqueux (0,015 g/kg)	6,5± 0,260	38,9
Extrait aqueux (0,03 g/kg)	4,5 ±0,171	57,9

Les doses de 0,2 et 0,1 g/kg ont été fatales pour les animaux, et on a constaté une mortalité de 100 % et 50 % le dernier jour, respectivement. L'extrait éthanolique à 0,05 g/kg a présenté une activité anti-inflammatoire de 61 % ($p < 0,001$), et n'était pas dépendant de la dose (**tableau 12**).

Tableau 12 : Effet des doses intrapéritonéales de l'extrait éthanolique de *M communis* L. (7 jours consécutifs) sur le poids des granulomes chez les rats (**Hosseinzadeh et al., 2011**).

Substance/dose	Différence de poids (mg)	Pourcentage d'inhibition
Solution saline normale (10 ml/kg)	2,8± 0,19	-
Diclofénac (15 mg/kg)	3,775± 0,255	68,1
Extrait éthanolique (0,05 g/kg)	4,6125 ±0,184	61

L'extrait aqueux et éthanolique ont eu des effets anti-inflammatoires significatifs lors de tests d'inflammation aiguë, avec une efficacité variable. Cette plante peut avoir un effet stabilisateur de la membrane qui réduit la perméabilité capillaire et/ou a des effets inhibiteurs sur la libération de médiateurs. L'extrait a réduit efficacement et significativement les granulomes induits par les boulettes de coton, en suggérant son activité dans la phase proliférative de l'inflammation (**Hosseinzadeh et al., 2011**).

II.5.4. Activité antioxydante

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour évaluer l'activité anti-oxydante des extraits des plantes. Parmi ces tests, la méthode du DPPH est très utilisée en raison de sa

simplicité, rapidité, sensibilité et aussi parce que les mesure de l'IC₅₀ exprimées en mg/ml sont comparables entre elles et non seulement à celle d'une référence.

La DPPH est un radical libre stable qui possède une couleur violet profond et une forte absorption autour de 517 nm. Les composés antioxydants présents dans le milieu convertissent le radical DPPH en un produit moléculaire DPPH· plus stable en donnant un électron ou un atome d'hydrogène. Le changement de couleur du radical DPPH du violet au jaune pâle de la forme réduite de DPPH permet la détermination spectrophotométrique de l'activité antioxydante. Les résultats sont soit exprimés en IC₅₀ (la concentration de l'antioxydant provoquant un piégeage de 50 % de DPPH) (Akar, 2017).

D'après l'étude de **Snoussi et al., (2011)**, diverses concentrations de l'huile ont été étudiées pour leur activité de piégeage du radical DPPH et elles ont été comparées à celle du BHT (**tableau 13**). D'après les résultats obtenus, l'huile essentielle a piégé le radical DPPH de manière dose-dépendante. L'effet est passé de $13,61 \pm 1,85$ % à $72,63 \pm 1,71$ % lorsque les concentrations ont augmenté de 0,001 à 1 mg/ml.

Les valeurs de la CI₅₀, qui correspondent à la plus petite concentration d'antioxydants nécessaire à 50 % de l'inhibition, étaient de $240 \pm 2,90$ µg/mL pour l'huile et de $20 \pm 0,98$ µg/mL pour le BHT. Plus la valeur de la CI₅₀ est faible, plus le composé étudié est réactif. Comme on peut le constater, le BHT est plus efficace que l'huile étudiée.

Tableau 13 : Activité de piégeage du DPPH· de diverses concentrations d'huile essentielle de bourgeons floraux de *M. communis* L. et de BHT (Snoussi et al., 2011).

Concentrations (mg/ml)	% d'inhibition du DPPH·	
	huile essentielle	BHT
0.001	13.61 ± 1.85	17.83 ± 1.65
0.005	28.35 ± 2.25	33.25 ± 0.77
0.1	45.27 ± 0.90	64.21 ± 0.53
0.5	56.71 ± 1.06	76.00 ± 0.62
1	72.63 ± 1.71	85.74 ± 0.40
IC₅₀ (µg/ml)	240 ± 2.90	20 ± 0.98

Selon **Gardeli et al., (2008)**, L'extrait méthanolique de *M. communis* a présenté de très bonne activité de piégeage des radicaux avec des valeurs de la CI₅₀ qui se situaient entre 9,54 et 17,1 mg/l (**tableau 14**).

La capacité des extraits de feuilles *M. communis* L. à neutraliser les radicaux libres pourrait être attribuée à une participation globale de leurs constituants actifs, tels que les acides phénoliques et les flavonoïdes et les monoterpènes.

Selon **Aidi wannes et al., (2010)**, tous les extraits méthanoliques de différentes parties du myrte ($CI_{50} = 8 \mu\text{g/ml}$ pour la feuille, $CI_{50} = 90 \mu\text{g/ml}$ pour la tige, $CI_{50} = 3 \mu\text{g/ml}$ pour la fleur) ont montré une plus grande capacité de piégeage des radicaux DPPH par rapport aux huiles essentielles de la feuille ($CI_{50} = 600 \mu\text{g/ml}$), de la tige ($CI_{50} = 2000 \mu\text{g/ml}$) et de la fleur ($CI_{50} = 550 \mu\text{g/ml}$) (**tableau 14**). En outre, la capacité de piégeage de la DPPH des extraits méthanoliques de feuilles et de fleurs était supérieure à celle de l'antioxydant synthétique BHT ($CI_{50} = 25 \mu\text{g/ml}$).

Les résultats de **Snoussi et al., (2012)** (**tableau 14**), ont montré que la capacité de piégeage des radicaux DPPH dépend à la fois de la partie utilisée de la plante et de la méthode d'extraction. Les extraits éthanoliques de toutes les parties du myrte ont montré une activité plus importante que les huiles essentielles.

L'extrait éthanolique des bourgeons floraux (EEBF) est le piègeur de radicaux le plus puissant avec une $CI_{50} = 21 \mu\text{g/mL}$, comparable à celle de l'antioxydant synthétique BHT ($CI_{50} = 20 \mu\text{g/mL}$), suivi d'extrait d'éthanol des baies (EEB) ($CI_{50} = 42 \mu\text{g/mL}$) et extrait d'éthanol des feuilles (EEF) ($CI_{50} = 73 \mu\text{g/mL}$).

La valeur de la CI_{50} est inversement proportionnelle à l'activité antioxydante. Plus la valeur de la CI_{50} est faible, plus l'activité antioxydante de l'échantillon testé est élevée.

Tableau 14 : IC₅₀ de BHT, des extraits méthanoliques et éthanoliques et des huiles essentielles de *M. communis* L.

Extraits testés		IC ₅₀ (µg/ml)	Référence
Extrait méthanolique	Avant floraison	17.1	Gardeli et al., (2008)
	Floraison	14.6	
	Fructification	9.54	
Extrait méthanolique	Feuilles	8	Aidi Wannas et al., (2010)
	Tige	90	
	Fleurs	3	
Huile essentielle	Feuille	600	
	Tige	2000	
	Fleurs	550	
BHT	BHT	25	
Extrait éthanolique	Baies	42	Snoussi et al., (2012)
	Feuilles	73	
	Bourgeons floraux	21	
Huiles essentielles	Baies	524	
	Feuilles	941	
	Bourgeons floraux	240	
BHT		20	

Selon **Mimica-Dukić et al., (2010)**, l'α-pinène et le myrtényle acétate ne sont responsables de l'activité de balayage radical. Cette hypothèse est encore confirmée par le test du dot-blot (**Tableau 15**).

Dans l'huile essentielle, seuls le 1,8-cinéole et le méthyl eugénol ont montré une activité considérable de piégeage de la DPPH (**tableau 15**). Les deux composés ont été précédemment signalés comme de puissants capteurs de radicaux, en particulier le méthyl eugénol, très probablement en raison de sa fraction phénylpropanoïde (**Mimica-Dukić et al., 2010**).

Selon **Hennia et al., (2019)**, les différentes parties de la plante, les procédures d'obtention des huiles essentielles, la réaction, ou différentes variétés botaniques ont eu une capacité

différente de piégeage des radicaux libres DPPH. Différentes origines ont également conduit à différentes activités. Par exemple, la capacité de piégeage des radicaux libres DPPH par des échantillons provenant du Yémen, Italie, Maroc, Iran, ou Tunisie (tiges) étaient sensiblement inférieures à celles de la Tunisie, la Turquie ou l'Algérie.

Tableau 15 : Composés actifs piègeurs identifiés au moyen de la technique DPPH/ TLC (dot-blot) (Mimica-Dukić et al., 2010).

N° de spot	Composé	Valeurs Rf	Réaction positive à la DPPH*.	Constituant majeurs (%)
1	α -Terpinéol	0.26		3.1%
2	Linalol	0.42		10.1%
3	1,8-Cinéole	0.55	+	25.7%
4	Méthyl eugénol	0.64	+	0.8%
5	Mélange de monotépénoïdes acétylés alcools (acétate de myrtényle, linalyl acétate, acétate de géranyle)	0.76		Acétate de myrtényle (21.6%), acétate de géranyle (3.4%)
7	α -pinene	0.95		14.7%

*Apparence de tache jaune.

L'activité anti-oxydante *M. communis* a été déterminée en utilisant aussi trois méthodes différentes : méthode de la capacité de chélation de fer (FRAP), méthode de blanchissement de la β -carotène (BCB) et la méthode du pouvoir réducteur de fer (PR). Les résultats obtenus sont présentés dans le **tableau 16**.

L'activité antioxydante des extraits méthanoliques et des huiles essentielles de différentes parties du myrte (feuilles, tige et fleurs) qui a été évaluée par la méthode de blanchiment au linoléate de β -carotène. Les résultats obtenus montrent que les tous extraits avaient une activité antioxydante inférieure à celle du BHA et du BHT, à l'exception de l'extrait métholologique foliaire qui présentait une CI_{50} (70 μ g/ml) similaire à celle du BHT (**tableau 16**). En comparaison avec les huiles essentielles, tous les extraits méthanoliques de différentes parties du myrte (CI_{50} = 70 μ g/ml pour la feuille, CI_{50} = 124 μ g/ml pour la tige, CI_{50} = 78 μ g/ml pour la fleur) ont montré

une plus grande capacité à empêcher le blanchiment du β -carotène que celle des huiles essentielles de feuille ($CI_{50} = 100 \mu\text{g/ml}$), de tige ($CI_{50} = 1100 \mu\text{g/ml}$) et de fleur ($IC_{50} = 110 \mu\text{g/ml}$) (Aidi wannes *et al.*, 2010).

Selon ces mêmes auteurs, le pouvoir réducteur des extraits méthanoliques de différentes parties du myrte était plus élevé que celui de leurs huiles essentielles. Seul l'extrait de feuilles avait un pouvoir réducteur plus élevé ($CE_{50} = 10 \mu\text{g/ml}$) que l'acide ascorbique ($CE_{50} = 40 \mu\text{g/ml}$). Un pouvoir réducteur modéré a été enregistré dans la fleur ($CE_{50} = 50 \mu\text{g/ml}$) et dans la tige ($CE_{50} = 150 \mu\text{g/ml}$). Cependant, les huiles essentielles de différentes parties du myrte ont montré une très faible activité réductrice puisque leurs valeurs de CE_{50} étaient environ 50 fois plus élevées que celles de l'acide ascorbique ($CE_{50} = 40 \mu\text{g/ml}$).

En ce qui concerne le test de capacité de chélation des fers ferreux, tous les extraits méthanoliques des différents organes du myrte présentaient une très faible capacité de chélation avec une CI_{50} allant de 5 à 46 mg/ml et aucun de ces extraits ne semblait être un meilleur chélateur des ions ferreux que le témoin positif EDTA ($CI_{50} = 0,03 \text{ mg/ml}$).

Les huiles essentielles des feuilles et de la tige n'ont montré aucune activité chélatrice des alors que l'huile essentielle des fleurs a chélaté 50% des fers ferreux à une concentration 5 mg/ml (tableau 16) (Aidi wannes *et al.*, 2010).

D'après Snoussi *et al.*, (2012), l'activité antioxydante a été déterminée à partir de la capacité des échantillons à inhiber le blanchiment du β -carotène causé par les radicaux libres générés lors de la peroxydation de l'acide linoléique. L'activité antioxydante a été classée comme un niveau élevé (>70 %), intermédiaire (40 à 70 %) ou faible (<40 %) d'inhibition de l'oxydation. EEBF a affiché le plus haut niveau d'activité antioxydante avec un % d'activité antioxydant (AA) de 70,5 %. Les huiles de baies et de feuilles présentaient une faible activité antioxydante, inférieure à 40 % avec une valeur de %AA de 34,5 et 19,4 % respectivement.

L'activité antioxydante de toutes les huiles essentielles et les extraits éthanoliques était dépendante des organes. Le classement est établi par ordre décroissant d'activité antioxydante : bourgeons floraux > baies > feuilles.

Tableau 16 : Activités antioxydantes de *Myrtus communis* L. par la méthode FRAP, BCB et PR

Extraits		Activité antioxydante			Références
		FRAP Capacité de chélation de fer (IC ₅₀ , mg/ml)	β-carotène (IC ₅₀ , µg/ml)	Pouvoir reducteur (EC ₅₀ , µg/ml)	
Extraits méthanoliques	Feuille	5	70	10	Aidi Wannes et al., (2010)
	Tige	10	124	150	
	Fleurs	46	78	50	
Huiles essentielles	Feuille	-	100	1000	
	Tige	-	1100	2500	
	Fleurs	5	110	1500	
BHT		-	70	-	
EDTA		0.03	-	-	
Acide Ascorbique		-	-	40	
BHA			43 (µg/ml)		
Extrait éthanolique	Baies	-	54.5 %	-	Snoussi et al., (2012)
	Feuilles	-	41.7 %	-	
	Bourgeons floraux	-	41.7 %	-	
Huiles essentielles	Baies	-	34.5 %	-	
	Feuilles	-	19.4 %	-	
	Bourgeons floraux	-	67 %	-	
BHT		-	58.2 %	-	

Djeridane et al., (2006) ont expliqué la relation entre l'activité antioxydante et les composés polyphénols par plusieurs points de vue, notamment : que la fraction polyphénol totale ne comprend pas tous les antioxydants, et les interactions synergétiques entre les antioxydants dans le mélange rendent l'activité antioxydante non seulement dépendante de la concentration, mais aussi de la structure et de la nature des antioxydants.

Après ces résultats qui montrent un potentiel d'activité antioxydante différent entre les travaux des chercheurs, on conclut que l'activité antioxydant dépend du solvant d'extraction et de la concentration et de la partie de la plante testée.

Il faut garder à l'esprit qu'un seul test n'est pas suffisant pour valoriser l'efficacité antioxydante des produits végétaux, notamment en raison de leur composition complexe (Mimica-Dukić et al., 2010).

II.6. Toxicité

La toxicité des huiles essentielles de *M. communis* a été déterminée oralement chez les rats Wistar (130-200 g). La dose létale médiane par voie orale (DL_{50}) était de 4 409 mg/kg, ce qui classe l'huile essentielle de *M. communis* dans la catégorie des produits légèrement toxiques (composé dont la DL_{50} est entre 50-5 000 mg/kg). Aucun dommage pathologique n'a été observé dans les organes vitaux (foie, rein et rate). En ce qui concerne la toxicité chronique, le pré-test a été effectué avec 200, 500 et 1 000 mg/kg d'huile essentielle de *M. communis* pendant 29 j. En comparaison avec le contrôle (solution saline normale), aucune lésion hépatique n'a été observée par les différentes concentrations de *M. communis* huile essentielle mais un signe pathologique inverse a été observé dans la rate (Mahboubi, 2017).

La DL_{50} orale des extraits aqueux et éthanoliques des parties aériennes de *M. communis* chez la souris était de 473 mg/ kg et 790 mg / kg, respectivement. Les doses orales toxiques aiguës de l'HE des feuilles chez le rat et la souris étaient de 3,7 ml / kg et 2,2 ml / kg, respectivement. Cependant, par voie sous-cutanée, l'huile volatile, l'alcool et les extraits aqueux de feuilles étaient pratiquement non toxiques pour les souris, car ils ne provoquaient aucun symptôme de mortalité ou de toxicité (Akbar, 2020).

II.7. Utilisation et propriétés biologiques et pharmacologiques

M. communis L. est très utilisés en médecine traditionnelle. Le tableau 17 donne quelques propriétés qui ont été vérifiés et confirmées suite à différents travaux.

Tableau 17 : Application thérapeutique de différentes parties de *M. communis* L. (Aleksic et Knezevic, 2014).

Parties de <i>M. communis</i> L.	Application traditionnelle	Références
Feuilles	Préparation alimentaire : liqueurs, arômes pour viandes et sauces. Parfum et préparation cosmétique : tonique et stimulant pour les cheveux. Médicament : utilisé oralement comme antiseptique, anti-inflammatoire, laxatif, analgésique, hémostatique et en externe pour la cicatrisation.	Messaoud et al., (2012), Gortzi et al., (2008), Chalchat et al., (1998), Clark (1996), Baytop (1999), Elfellah et al., (1984), Serce et al., (2010).
Fruits	Préparation des aliments : liqueurs, arômes pour la viande et les sauces. Médicaments : utilisés également par voie orale pour les maladies infectieuses telles que la diarrhée et la dysenterie et par voie externe pour les maladies de la peau et la cicatrisation des plaies.	Messaoud et al., (2012), Clark (1996), Serce et al., (2010), Ziyat et al., (1997)
Branches	Médecine : remède pour l'asthme, l'eczéma, le psoriasis, la diarrhée, les troubles gastro-intestinaux et les infections urinaires, administré par voie orale ; appliqué par inhalation et par voie externe.	Ziyat et al., (1997)
Fleurs	Médecine : contre les varices et pour la préparation de lotions capillaires à usage externe.	Le Floch (1983)

En Algérie, le myrte est utilisé comme remède contre les affections des voies respiratoires et des voies urinaires. Les préparations à base de cette plante sont préconisées contre les bronchites, les sinusites, les otites, les diarrhées et les hémorroïdes. Les fruits constituent un remède contre la dysenterie, l'entérite et les hémorragies (Goetz et Ghedira, 2012).

Chapitre III :
Composition chimique et
activité biologique de
Mentha pulegium L.

III.1. Description botanique

Le genre *Mentha*, de la famille des Labiatae, comprend 20 espèces qui sont répartis dans le monde entier. *Mentha pulegium* L. est l'une des espèces de *Mentha* communément appelée pennyroyal (**Mahboubi, 2008**).

Elle se distingue des autres espèces de la menthe par son inflorescence, qui est constituée de verticillastres éloignés mais n'est pas feuillue à l'apex (**Kokkini et al., 2003**).

Elle est pérenne, poilue avec des tiges dressées et prostrées, fortement ramifiées, 15-30 cm de long, avec l'enracinement des branches. Les pétioles sont de 2 à 4 mm de long. Feuilles ovales ou ovées, de 8-25 mm de long et 5-112 mm de large, entières ou le plus souvent légèrement dentées, apex obtus, à poils longs, nervurées bien en dessous (**Batsatsashvili et al., 2017**).



Figure 13 : Photographies de *M. pulegium* L. (1 : feuilles, 2 : fleurs) (<http://www.tela-botanica.org>).

Les feuilles florales sont sessiles, plus courtes que les fleurs, souvent recourbées et petites. Les inflorescences dans les ombelles axillaires sont éloignées, globulaires, de 12-15 mm de large; verticillastes nombreux, à fleurs multiples, les plus basses étant plus éloignées, un peu plus courtes ou plus longues que les feuilles, sur des pédoncules courts et robustes ; pédicelles robustes, courbés, sétifères; bractées ovées. Fleurs avec calice environ 3 mm de long, sétif, bilabiate, poilu à l'intérieur, les dents inférieures sont subulées, les supérieures sont lancéolées et largement triangulaires, environ 1 mm de long ; corolle rose vif, rose-lilas ou blanche, 5-7 mm de long, calice deux fois plus long, légèrement gibbeux à la gorge, abruptement rétréci en dessous dans le tube, poilu à l'extérieur ; les lobes ne sont pas émarginés, trois d'entre eux sont oblongs et un lancéolé ; étamines exsertées ; anthères oblongues ; style à peu

près égal ou légèrement supérieur à la corolle. Noix globulaires, petites, d'environ 0,5 mm de diamètre, légèrement carénées sur un côté (**Batsatsashvili et al., 2017**).

III.2. Habitat et distribution

C'est une espèce indigène d'Europe, d'Afrique du Nord et d'Asie centrale et du Moyen-Orient. Il a été introduit en Amérique, dans certaines parties de l'Asie, au Mozambique, en Australie et en Nouvelle-Zélande. C'est une espèce indicatrice de zones humides dans les sols des fonds de vallée inondés de façon saisonnière, généralement à une altitude inférieure à 500 m (**Bossard et al., 2000**).

On le trouve dans les zones humides et marécageuses, au bord des routes, sur les berges des étangs, dans le calcaire et la marne, dans les zones forestières et steppiques. *M. pulegium* habite les prairies humides et les sols sablonneux près des cours d'eau (**Batsatsashvili et al., 2017**).

III.3. Position systématique

Selon **Boukef (1986)**, l'espèce *Mentha pulegium* L. est classée comme suit :

Règne : Plantae

Embranchement : Spermatophytes

Sous embranchement : Angiospermes

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Lamiales

Famille : Lamiaceae (Labiatae)

Genre : *Mentha*

Espèce : *Mentha pulegium* L.

III.4. Composition chimique

III.4.1. Huiles essentielles

L'étude de la composition chimique de son huile essentielle (HE) a montré la variabilité de ses constituants d'une région à l'autre et a révélé que l'HE de *M. pulegium* contient de la pulégone comme constituant majeur avec des teneurs respectives de 42,9 à 45,4% de la Bulgarie, 73,4 % de l'Uruguay et 41,8 % de la Tunisie. Quant à l'Iran et à l'Autriche, les teneurs en pipéritone sont respectivement de 38% et de 70%.

Cette variabilité est probablement liée à différentes phases végétatives de la plante et aux conditions environnementales ainsi qu'aux variations saisonnières et géographiques et à la composition du sol (Abdelli et al., 2016).

Les principaux constituants du pennyroyal étaient la pulégone et d'autres 3-oxo-p-menthanes (Brahmi et al., 2016). Selon Kumar et al., (2011) cité par Brahmi et al., (2016), l'huile essentielle de *M. pulegium* L. provenant de différents pays contient de la pulégone comme principal constituant, et dont le pourcentage varie de 10 à 90%.

L'huile essentielle obtenue à partir de la partie aérienne du myrte récolté dans différentes régions (Tunisie, Portugal, Iran, Algérie, Italie et Maroc) est composée principalement de monoterpènes oxygénés (56.16%-94.31%) (Tableau 18) (Hajlaoui et al., 2009; Teixeira et al., 2012 ; Sardashti et Adhami, 2013; Abdelli et al., 2016; Casiglia et al., 2017; Bouyahya et al., 2017).

L'huile Iranienne était caractérisée par la dominance des monoterpènes oxygénés (56,16%) dont les constituants majoritaires étaient le Pulegone (48.88%) et le (+) Spathulenol (6.99%).

L'huile Tunisienne était riche en menthone (5,82%), l'isomenthone (17,02%), la pulégone (61,11%) avec une quantité très élevée de monoterpènes oxygénés (90.38%).

L'huile essentielle portugaise contenait un mélange complexe composé tels que le menthone (35,9%), la pulégone (23,2%), le néo-menthol (9,2%).

Les principaux composants de l'huile essentielle extraite des feuilles de *M. communis* Algérienne était le Pulegone (70.66%) et le néo-menthol (11.21%), tandis que l'huile essentielle Marocaine était caractérisé par le pulégone (40,98%), Menthone (21.164%) et α -humulene (5.402%) avec des proportions très élevés en monoterpènes oxygénés (94.31%).

L'huile essentielle de feuilles de la menthe d'Italie extraite en pleine floraison a été analysée, les principaux composés étaient le Pulegone (50.6%), le Piperitenone (27.8%) et le Menthone (6.9%).

Selon Abdelli et al., (2016), cette variabilité est probablement liée à différentes phases végétatives de la plante et aux conditions environnementales ainsi qu'aux variations saisonnières et géographiques et à la composition du sol.

Tableau 18 : Composition de l'huile essentielle de *M. pulegium* selon différentes origines.

Origine et période d'échantillonnage	Matière végétale	Chémotype et composés majoritaires (> 5 %)	Terpènes majeurs	Référence
Tunisie (Ksour Essef) Floraison	Parties aériennes (feuilles, tiges et fleurs)	Pulegone (61.11%), Isomenthone (17.02%), Menthone (5.92%)	MO (90.38 %)	Hajlaoui et al., (2009)
Portugal (Santarém) Floraison	Parties aériennes	Menthone (35.9%), Pulegone (23.2%), Néo-menthol (9.2%)	MO (76.8%),	Teixeira, et al., (2012)
Iran (Taftan au Baluchestan) Floraison (Juin)	parties aériennes	Pulegone (48.88%), (+)Spathulenol (6.99%)	MO (56.16%)	Sardashti et Adhami (2013)
Algérie (Bouira) Avant floraison (Mars) Séchage à l'air libre	Feuilles	Pulegone (70.66%), neo-menthol (11.21%)	MO (94.31%)	Abdlli et al., (2016)
Maroc (Ouezzane) Séchage à l'air à température ambiante et à l'ombre	Parties aériennes	Pulegone (40.98%), Menthone (21.164%), α -humulene (5.402%)	MO (94.31%)	Bouyahya et al., (2017)
Italie (Alcamo) Floraison (fin de juin)	Parties aériennes	Pulegone(50.6%), Piperitenone (27.8%), Menthone (6.9%).	MO (92.2%),	Casiglia et al., (2017)

III.4.2. Composés phénoliques

Les composés phénoliques ont été associés aux avantages pour la santé découlant de la consommation de quantités élevées de fruits et légumes qui constituent l'un des principaux groupes de plantes des composés agissant comme piègeurs de radicaux et antioxydants (Balasundram et al., 2006 ; Benabdallah et al., 2016).

Le tableau 19 représente les résultats de la teneur en phénols totaux de *M. pulegium* L. de nombreuses études scientifiques qui montrent une variation marquée de la teneur totale en phénols, et on trouve que la quantité est élevée dans la période de floraison, dans les feuilles / Bourgeons floraux et lors de l'utilisation du méthanol.

A partir des résultats de tableaux, on peut dire qu'il existe des facteurs qui influencent le contenu phénolique, notamment : les saisons, les solvants d'extraction, la partie de plantes testée et le stade de développement.

Tableau 19 : Teneurs des phénols totaux de *Mentha pulegium* selon différents solvants d'extraction

Extrait	Période de récolte	Phénols totaux	Référence
Extrait méthanolique (jeunes pousses)	feuilles	46.9 (mg GAE/g PS)	Karray-Bouraoui et al., (2010)
	Bourgeons floraux	64.5 (mg GAE/g PS)	
	Fleur ouverte	41.8 (mg GAE/g PS)	
Extrait éthanolique	Avant floraison (feuilles fraîches)	6.1 (EAG/g PS)	Fatiha et al., (2015)
Extrait méthanolique	Floraison	17 (mg EAG/g PS)	Benabdallah et al., (2016)
Extrait méthanolique	Floraison en été (Septembre)	157.92 (mg EAG/g E)	Politeo et al., (2018)
Extrait aqueux		124.27 (EAG/g E)	

EAG : Equivalent de l'Acide Gallique, PS : pois sec, E : extrait

III.5. Activités biologiques

III.5.1. Activité antibactérienne

Selon les travaux de **Boukhebt et al., (2011)**, l'activité antibactérienne de l'huile essentielle a été testée par le test de diffusion sur disque. Le tableau 20 montre le diamètre d'inhibition des différentes concentrations de l'huile essentielle dans le DMSO (v/v) contre les bactéries pathogènes Gram positif et négatif. La concentration de 10 % n'a aucun effet sur les bactéries testées, et 20 % a montré une faible activité uniquement contre *Streptococcus pneumoniae*. Les autres concentrations (50 et 100 %) présentent une faible activité, sauf celle observée contre les espèces de *Streptococcus* testées. De plus, *Pseudomonas aeruginosa* était résistant à l'huile essentielle. L'huile essentielle de *M. pulegium* présente de faibles effets inhibiteurs à l'égard de la plupart des bactéries testées. En général, les bactéries à Gram négatif testées semblent plus résistantes que celles à Gram positif. Les bactéries à Gram positif sont connues pour être plus sensibles aux huiles essentielles que les bactéries à Gram négatif.

Inouye et al., (2001) cité par **Boukhebt et al., (2011)**, ont attribué ce phénomène aux bactéries possédant une chaîne de polysaccharides hydrophiles comme barrière aux huiles essentielles hydrophobes.

Tableau 20 : Diamètre d'inhibition des huiles essentielles de *M. pulegium* L. et du contrôle positif (mm) (**Boukhebt et al., 2011**).

Dilutions (v/v dans DMSO)	Huile essentielle de <i>M. pulegium</i>				contrôle
	1/1	1/2	1/5	1/10	
<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853	-	-	-	-	+
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	10	7	-	-	+
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	12.5	7	-	-	+
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	12	7	-	-	+
<i>Streptococcus pneumoniae</i>	14	11	7	-	+
<i>Streptococcus pyogenes</i>	20	14	-	-	+
<i>Klebsiella pneumonia</i>	10	7	-	-	+
<i>Salmonella typhi</i>	10	7	-	-	+
<i>Schigella sonnei</i>	9	7	-	-	+

DMSO : Demethylsulfoxide ; + : positif ; - : négatif.

Des études antérieures réalisées avec *M. pulegium* récoltée en Tunisie, en Iran, au Portugal et au Maroc ont signalé cette huile comme source d'agent antimicrobien, mais il existe souvent de grandes variations dans l'intensité des activités antimicrobiennes contre les bactéries gram- négatives et gram- positives (**tableau 21**). (**Ghazghazi et al., 2013**).

Ces différences peuvent être dues à la composition chimique différente des huiles essentielles. **Mahboubi et Haggi, (2008)** ont rapporté que l'huile volatile Iranienne de *M. pulegium* L. avait une puissante activité antimicrobienne, en particulier contre les bactéries gram-positives, notamment contre *L. monocytogenes* avec des ZI (zone inhibitrice) de l'ordre de 8-21 mm, alors que les bactéries les moins sensibles étaient *E. coli*.

Tableau 21 : Activité antibactérienne des HE des feuilles de *M. pulegium* L. selon diverses études (Ghazghazi et al., 2013).

	Tunisie (Monastir)	Iran	Tunisie (Mehdia)	Portugal	Maroc
<i>Escherichia coli</i>	12	-	13.66	4	12.6
<i>Salmonella typhimurium</i>	ND	-	10	3	ND
<i>Staphylococcus aureus</i>	18	21	10.66	ND	21.4
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	11	ND	8	ND	-
<i>Listeria monocytogenes</i>	ND	8	11.66	11	35.6
<i>Bacillus cereus</i>	ND	16	14	ND	ND
<i>Aeromonas hydrophila</i>	20	-	ND	ND	ND
Références	Marzouk et al., 2008	Mahboubi et Haghi, 2008	Hajlaoui et al., 2009	Teixeira et al., 2012	Ait-Ouazzou et al., 2012

ND, non détecté ; -, non actif

III.5.2. Activité antifongique

D'après les expériences de **Hajlaoui et al., (2009)**, le résultat de l'inhibition de la croissance des espèces fongiques cultivées sur un milieu liquide avec différentes concentrations de huiles de *M. pulegium* (1, 10 et 100 µl/ ml) (**tableau 22**) montre que la concentration de 1 µl/ml semble être inefficace pour l'huile, car le pourcentage d'inhibition de la croissance ne dépasse pas 1 %, sauf pour la souche de *Trichoderma sp* (1,33 %). Ce pourcentage est considérable pour une concentration de 10 µl/ml ; il se situe dans la fourchette de 34,13-57,87. Mais il est plus significatif pour une concentration de 100 µl/ml, où il se situe dans la fourchette de 74-90,6. Sur la base de ces résultats, il est possible de conclure que l'huile essentielle a un spectre d'activité antimicrobienne plus fort et plus large que l'extrait de méthanol.

Tableau 22 : Pourcentage d'inhibition de la croissance des espèces de champignons cultivées en milieu liquide avec diverses concentrations d'huiles de *M. pulegium* (1, 10 et 100 μ l/ml de bouillon YNB), comparé à celui de l'antibiotique standard positif (amphotéricine B) (Hajlaoui et al., 2009).

Espèces fongiques	<i>M. pulegium</i>			<i>Amphotéricine B</i>
	1	10	100	10
<i>Botrytis cinerea</i>	0	34.1	74	96.3
<i>Fusarium culmorum</i>	0.33	38.8	80.4	100
<i>Fusarium oxysporum</i>	0.83	40.8	79.3	94.3
<i>Trichoderma sp.</i>	1.33	57.9	90.6	99
<i>Aspergillus niger</i>	0.77	47.6	80.9	94.3
<i>Aspergillus flavus</i>	0	44.5	76.3	92.4

L'huile essentielle de *M. pulegium* a montré de faibles effets inhibiteurs contre les champignons (**tableau 23**) (Brahmi et al., 2016). Par rapport à l'étude de Hajlaoui et al., (2009), nous constatons une forte activité antifongique contre toutes les souches fongiques testées par d'huile essentielle de *M. pulegium* d'origine tunisienne.

D'après Mahboubi et Haghi (2008) cité par (Hajlaoui et al., 2009), ces différences peuvent être dues à des origines végétales distinctes déterminant la composition chimique des huiles essentielles.

Cependant, les composants mineurs semblent jouer un rôle important et on ne sait pas très bien quels composants/mélanges de ceux-ci sont responsables de leur activité antimicrobienne (Brahmi et al., 2016)

L'absence de normalisation des méthodes d'évaluation de l'activité antifongique des huiles essentielles rend la comparaison des résultats difficile. Les principales variables sont : les souches, la taille de l'inoculum, la phase de croissance du micro-organisme choisi pour être testé, le milieu de culture et sa valeur pH, le temps et la température d'incubation (Piras et al., 2019).

Tableau 23 : Zones d'inhibition de la croissance (mm) montrant l'activité antifongique de l'huile essentielle algérienne *M. pulegium* (Brahmi et al., 2016).

	Dilution d'huile			
	1/1v/v	1/2v/v	1/5v/v	1/10v/v
Micro-organismes testés				
méthode des taches (spots method : SM)				
<i>Aspergillus niger</i> 2CA 936	6.0 ± 0.0 ^a			
<i>Aspergillus flavus</i> NRRL 391	6.6 ± 1.1 ^b	6.6 ± 1.1 ^b	6.6 ± 1.1 ^b	6.6 ± 0.6 ^b
<i>Candida albicans</i> souche ATCC 1024.	6.0 ± 0.0 ^b			
Méthode du disque (disc method : SD)				
<i>Aspergillus niger</i> 2CA 936	7.0 ± 1.0 ^a	6.0 ± 0.0 ^a	6.0 ± 0.0 ^a	6.0 ± 0.0 ^a
<i>Aspergillus flavus</i> NRRL 391	8.3 ± 0.6 ^b	8.0 ± 1.0 ^b	8.0 ± 1.0 ^b	8.0 ± 1.0 ^b
<i>Candida albicans</i> souche ATCC 1024	6.0 ± 0.0 ^b	6.0 ± 0.0 ^b	6.0 ± 0.0 ^b	6.0 ± 0.0 ^a

III.5.3. Activité anti-inflammatoire

Les maladies inflammatoires, causées par l'inflammation, sont l'un des principaux problèmes de santé dans le monde. L'inflammation est une réponse biologique complexe des tissus vasculaires aux agents pathogènes et aux irritants et se caractérise par un gonflement, une rougeur et une douleur des composants actifs sur le plan médical (Anwar et al., 2019).

Les résultats de l'activité anti-inflammatoire topique de l'extrait de *M. pulegium*, administrés à une dose de 300 µg/cm², sont présentés dans le **tableau 24**, il a induit une inhibition de l'œdème de 28%. À titre de référence, l'indométhacine, un anti-inflammatoire non stéroïdien, a réduit la réponse œdémateuse de 59 % à une dose de 100 µg/cm² (Moussaid et al., 2011)

Tableau 24 : Activité anti-inflammatoire topique de l'extrait hydro-éthanolique de *M. pulegium* (Moussaid *et al.*, 2011)

Extrait hydro-éthanolique	Dose ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Œdème (mg) Moyenne \pm S.E	% Réduction de l'œdème
Contrôle	--	6.2 \pm 0.3	
<i>Mentha pulegium</i>	300	4.8 \pm 0.3	28

D'après l'étude de Rocha *et al.*, (2019), l'induction d'un œdème par injection de carraghénine a vraisemblablement entraîné une augmentation significative du volume de la patte arrière à 6 heures après l'injection de carraghénine par rapport au groupe témoin. L'administration d'un extrait phénolique de *M. pulegium* a permis de réduire la formation de l'œdème de manière significative (**Figure 14**).

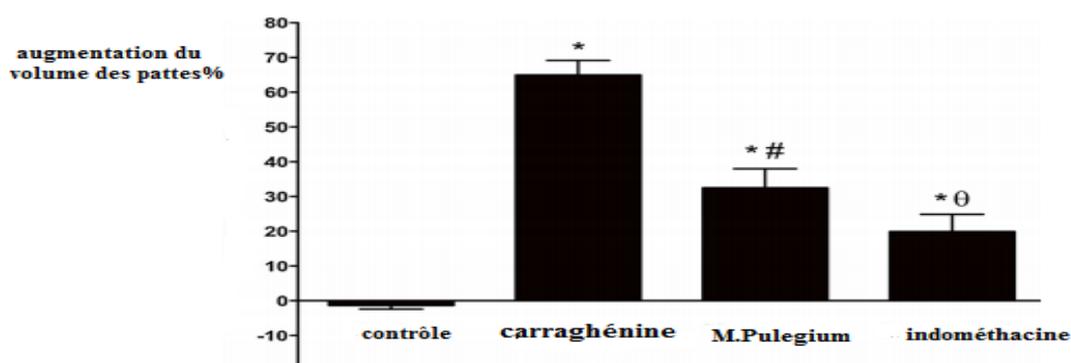


Figure 14 : Effet de l'extrait de *M. pulegium* sur le développement de l'œdème de la patte de rat provoqué par la carraghénine 6 h après l'induction de l'œdème. Effet d'une seule administration d'extrait de *M. pulegium* (12,5 mg d'acides phénoliques/kg, o.p.) en comparaison avec l'effet d'une seule administration d'indométhacine (10 mg/kg, o.p, n = 8) (Rocha *et al.*, 2019).

En comparant cet effet à cela présenté par l'administration de l'indométhacine (10 mg/kg), il est devenu évident que l'administration d'extrait phénolique de *M. pulegium* L. a réduit la formation d'œdèmes à un taux de plus faible que celles connues comme anti-inflammatoires à une dose de 12,5 mg d'acides phénoliques/kg.

III.5.4. Activité antioxydante

L'activité antioxydante de l'huile essentielle et de l'extrait méthanolique de *M. pulegium* a été déterminée par trois tests différents : le DPPH, le β -carotène=acide linoléique et le pouvoir réducteur (Blois, 1958).

En substance, les antioxydants réagissent avec le radical libre stable DPPH, c'est-à-dire le 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl (couleur violet foncé), et le convertissent en 1,1-diphényl-2-picrylhydrazine avec une décoloration (Hossain et Shah, 2015).

Le degré de décoloration indique le potentiel d'élimination des radicaux libres de l'échantillon = antioxydant. Les antioxydants connus tels que la cystéine, le glutathion, l'acide ascorbique, le tocophérol et les composés aromatiques polyhydroxylés (hydroquinone, pyrogallol, etc.) réduisent et décolorent le 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl par leur capacité à donner de l'hydrogène (Blois, 1958).

Selon les études de Abdelli et al., (2016), montrent que la capacité de balayage de tous les échantillons a montré un profil d'activité dépendant de la concentration (figure 15), l'augmentation de la concentration d'huile essentielle a provoqué une augmentation du pourcentage d'inhibition de la DPPH. Une faible valeur de la CI_{50} indique un potentiel antioxydant significatif pour l'échantillon, la valeur de la CI_{50} de l'huile essentielle testée étant de $69,60 \pm 1,72$ g/ml, ce qui est inférieur par rapport aux antioxydants synthétiques utilisés comme référence.

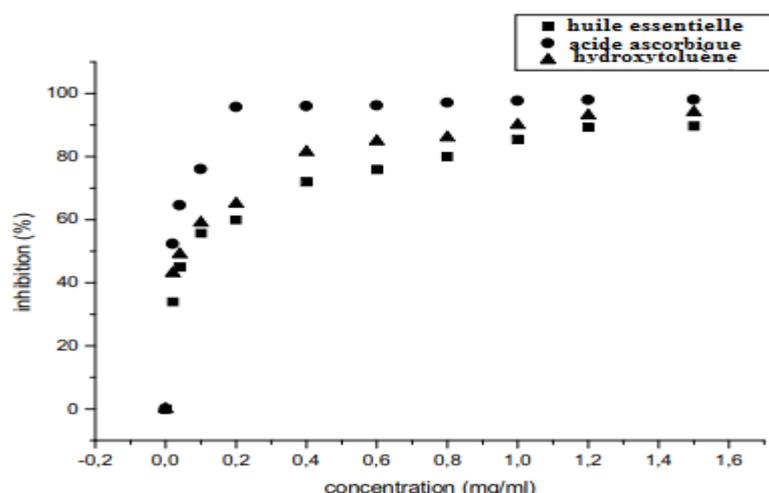


Figure 15 : Résultats de l'activité antioxydante selon l'activité de piégeage des radicaux libres (Abdelli et al., 2016).

Les travaux de **Kamkar et al., (2010)** montrent une inhibition de la peroxydation des lipides en réponse à la fois aux extraits et à l'huile essentielle.

Les extraits méthanoliques et aqueux ont, tous les deux, inhibé efficacement l'oxydation de l'acide linoléique jusqu'à 60,38 % et 91,67 %, respectivement. En outre, à la même concentration, l'extrait aqueux a montré une plus grande inhibition (91,67 %) que le BHT (Butyl Hydroxy Toluène) (89,35 %) (**Figure 16**). À cet égard, l'huile essentielle n'a pas pu inhiber efficacement l'oxydation autant que les extraits. Elle n'a fait qu'une inhibition de 26,01% par rapport au contrôle (6,41%).

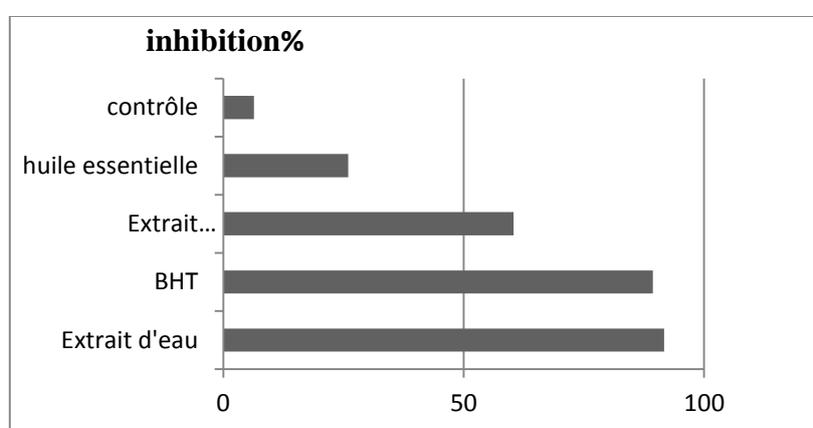


Figure 16 : Activité antioxydante des extraits de *M. pulegium* et de l'huile essentielle définie comme le pourcentage d'inhibition par le dosage de l'acide β -carotène-linoléique (**Kamkar et al., 2010**).

Selon **Politeo et al., (2018)**, le potentiel antioxydant de l'extrait aqueux et méthanolique, testé par la méthode DPPH, a montré des résultats modérés à bons en comparaison avec les antioxydants de référence bien connus tel que le BHA ($IC_{50}=17,62 \mu\text{g/ml}$) et l'acide ascorbique ($IC_{50}=16,67 \mu\text{g/ml}$) (**tableau 25**). Ainsi, la concentration de la solution mère de l'extrait d'eau chaud nécessaire pour une inhibition de 50% (IC_{50}) des radicaux DPPH était de $35,71 \mu\text{g/ml}$, tandis que l' IC_{50} pour l'extrait méthanolique était de $38,09 \mu\text{g/ml}$. Des résultats similaires ont été obtenus pour la capacité de réduction testée des extraits, par la méthode FRAP. La capacité de réduction de l'extrait méthanolique ($1584,19 \mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$ d'extrait) était meilleure que celle de l'extrait d'eau chaud ($894,67 \pm 38,05 \mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$ d'extrait), mais inférieure à celle des bons antioxydants connus que sont le BHA et l'acide ascorbique ($5586,29 \pm 174,76$ et $5568,43 \pm 125,26 \text{Eq Fe}^{2+} \mu\text{mol/g}$ d'échantillon).

Selon **Fatiha et al., (2015)**, l'effet de balayage des extraits testés et des étalons de référence sur le radical DPPH se compare comme suit : acide gallique > quercétine > Trolox® > MP (*M. pulegium* L.) avec une corrélation très positive a été trouvée entre l'activité anti-DPPH/ ABTS^{•+} et le contenu phénolique total qui responsable d'une part important de ses propriétés antioxydants (**tableau 25**).

Selon **Karray-Bouraoui et al., (2010)**, composés phénoliques des pousses de la région Soliman ont fortes capacités antioxydantes, Cela est principalement dû aux facteurs environnementaux difficiles de la région Soliman (salinité du sol la plus élevée). Ce résultat suggère que les conditions environnementales difficiles, principalement la salinité, peuvent renforcer la biosynthèse phénolique et par conséquent les activités antioxydantes.

Selon **Bouyahia et al., (2017)**, l'huile essentielle était moins efficace que les agents antioxydants synthétiques.

Selon **Mata et al., (2007)**, les extraits éthanoliques et les extraits d'eau présentent tous deux de très bonnes activités de piégeage des radicaux. Un meilleur résultat a été obtenu avec l'extrait aqueux de pennyroyal ($CI_{50} = 8,9 \pm 0,2 \mu\text{g/ml}$). Ces valeurs sont inférieures à celles de l'étalon antioxydant, le BHT. L'extrait aqueux de la menthe était plus actif que l'extrait éthanolique.

Selon **Nickavar et al., (2008)**, l'extraits a eu un effet d'inhibition plus faible sur le cation radical ABTS que sur le radical DPPH.

A partir de ces résultats, on peut donc déduire que l'activité antioxydante de *M. pulegium* est liée à différents facteurs tels que le solvant, stade phénologique de la plante, la concentration et la fraction végétale utilisée.

La composition chimique de l'HE est surtout de type monoterpène responsable des propriétés antifongiques, antibactériennes, insecticides et antioxydante (**Abdelli et al., 2016**).

Tableau 25 : Activité antioxydante de *M. pulegium*

Extrait	FRAP	DPPH [IC ₅₀]	Blanchiment au β-carotène [IC ₅₀]	capacité de chélation des ions [IC ₅₀]	ABTS ⁺⁺ [IC ₅₀]	Référence	
Extrait éthanolique	-	24.9 (IC ₅₀ mg/ml)	165 (IC ₅₀ µg/ml)	-	-	Mata et al., (2007)	
Extrait aqueux	-	8.9 (IC ₅₀ µg/ml)	167 (IC ₅₀ µg/ml)	-	-		
BHT	-	15.7 (IC ₅₀ µg/ml)	12 (IC ₅₀ µg/ml)	-	-		
Extrait éthanolique	-	17.92 (IC ₅₀ µg/ml)	-	-	-	Nickavar et al., (2008)	
Extrait méthanolique (pousses)	-	7.3 µg/ml	-	-	-	Karray-Bouraoui et al., (2010)	
		1.7 µg/ml					
		13.1 µg/ml					
BHT	-	11.5 µg/ml	-	-	-		
Extrait éthanolique	-	42.7 µg/ml	-	-	30.2 µg/ml		
Acide gallique	-	0.82 µg/ml	-	-	3 µg/ml		
Quercetin	-	1.96 µg/ml	-	-	4.06 µg/ml		
Trolox	-	4.6 µg/ml	-	-	8.8 µg/ml		
Extrait méthanolique	-	25.66 µg/ml	599 µg/ml	1000 µg/ml	-		Benabdallah et al., (2016)
Huile essentielle	58.27 (IC ₅₀ mg/ml)	321.41 (IC ₅₀ mg/ml)	-	-	-		Bouyahia et al., (2017)
Acide ascorbique	47.63 (IC ₅₀ mg/ml)	27.20 (IC ₅₀ mg/ml)	-	-	152.60 (IC ₅₀ mg/ml)		
Trolox	85.45 (IC ₅₀ mg/ml)	85.45 (IC ₅₀ mg/ml)	-	-	-		
Extrait méthanolique	1584.19 (eqFe ²⁺ µmol / g E)	38.09 µg/ml	-	-	-	Politeo et al., (2018)	

Extrait d'eau chaude	894.67 (eq Fe ²⁺ μmol / g E)	35.71 μg/ml	-	-	-	
BHA	5586.29 (eq Fe ²⁺ μmol / g E)	17.62 μg/ml	-	-	-	
Acide ascorbique	5568.43 (eq Fe ²⁺ μmol / g E)	16.67 μg/ml	-	-	-	

III.6. Toxicité

L'emploi des parties aériennes de la menthe pouliot en qualité de condiment et aux doses usuelles, ne présente aucun risque de toxicité ni aigue, ni chronique. L'HE est hépatotoxique à cause de sa teneur en pulégone. En effet, des intoxications ont été observées après ingestion de 5 g d'essence et des cas mortel sont signalés après absorption de 30 ml (**Anton, 2005**).

La plupart des cas d'hépatotoxicité ont été signalés chez des femmes qui utilisent le pennyroyal pour provoquer leurs menstruations ou un avortement (**Strader et al., 2012**).

Les métabolites oxydatifs de la pulégone (par exemple le menthofurane) se lient aux protéines cellulaires et épuisent le glutathion hépatique, ce qui entraîne des lésions hépatiques (**Kleiner et al., 2018**).

III.7. Utilisation et propriétés biologiques et pharmacologiques

Pendant des siècles, *Mentha pulegium* L. a été utilisée comme abortif et comme pesticide contre les puces et les applications médicales actuelles comprennent son utilisation chez les personnes souffrant de troubles digestifs, des maladies du foie et de la vésicule biliaire, d'aménorrhée, de goutte, de rhume et de maladies de la peau (**Strader et al., 2012**).

Elle est connue en Algérie sous le nom de Fliou, est l'une des herbes les plus utilisées. Les huiles essentielles et les parties aériennes de la plante sont largement utilisées dans la médecine traditionnelle, principalement pour le traitement de diverses maladies de l'appareil digestif telles que les flatulences, la dyspepsie et les coliques intestinales. En outre, la plante est utilisée en gastronomie comme herbe culinaire, dans l'industrie des parfums et l'industrie pharmaceutique (**Brahmi et al., 2016**).

Cette plante médicinale est utilisée comme analgésique, antibactérien, fongicide, tonique pour l'estomac (**Darvishi et al., 2014**).

M. pulegium L. possède des propriétés antiseptiques, antispasmodiques, insectifuges, carminatives, diaphorétiques et anti-inflammatoires, antimicrobiennes, antioxydantes (**Aziz et al., 2019**)

Les feuilles et les parties fleuries des plantes de *Mentha pulegium* L. sont traditionnellement utilisées pour la préparation de thés et, dans une moindre mesure, pour l'aromatisation des aliments (soupes, farces) (**Kokkini et al., 2003**).

Mentha pulegium est utilisée pour les maladies du foie, de la vésicule biliaire, de l'estomac et comme sédatif. Elle était utilisée comme rince-bouche, pour traiter les troubles du système digestif (**Batsatsashvili et al., 2017**).

Le tableau 26 présente les indications traditionnelles de *Mentha pulegium* selon différentes régions.

Tableau 26 : Indications traditionnelles de *Mentha pulegium* (**Fatih et al., 2017**)

Régions	Indications	références
Algérie	Estomac, carminatif, antiémétique, antispasmodique, tonique, antitussif et insecticide.	Delille, (2007)
Iran	Antiseptique pour le traitement du froid, des sinusites, du choléra, des intoxications alimentaires, des bronchites et de la tuberculose.	Mahboubi et Haghi, (2008)
Brésil	Pour l'expulsion des vers parasites, principalement <i>Ascaris lumbricoides</i> , <i>Entamoeba histolytica</i> et <i>Giardia lamblia</i> ; le calcul rénal; la fièvre; la toux; la bronchite; les maux de ventre et le mauvais rhume.	Di Stasi et al., (2002)

Conclusion

Les plantes médicinales représentent une source inépuisable de substances et composés naturels bioactifs, et restent la source prédominante de médicaments pour la majorité de la population mondiale, en particulier dans les pays en voie de développement ou environ 40 % des médicaments sont dérivés de la nature.

L'objectif de ce travail consistait à la caractérisation phytochimique, la valorisation et la détermination des activités antibactérienne, antifongique, anti-inflammatoire et antioxydante des extraits actifs de deux plantes médicinales (*Myrtus communis* L. et *Mentha pulegium* L.).

Plusieurs études scientifiques ont été réalisées sur la composition chimique de *Myrtus communis* et *Mentha pulegium*. Les principaux composés de *M. communis* sont : 1,8-cinéol ($C_{10}H_{18}O$), acétate de myrte ($C_{12}H_{18}O_2$), α -pinène ($C_{10}H_{16}$), et limonène ($C_{10}H_{16}$). Quatre chémotypes ont été identifiés (myrtényl acétate pour l'huile de la Grèce et de l'Espagne ; α -pinène pour l'huile de France et de la Tunisie ; 1,8 cinéole pour l'huile de l'Algérie, de la Tunisie et d'Iran ; limonène pour l'huile de l'Algérie). Tandis que les principaux composés de *Mentha pulegium* sont : la pulégone et le menthone. Deux chémotypes ont été identifiés (la pulégone pour l'huile d'Iran, de la Tunisie, du Maroc, de l'Italy et de l'Algérie et le Menthone pour l'huile du Portugal). Les deux plantes présentent aussi des teneurs considérables en phénols totaux.

Les extraits naturels issus des plantes contiennent donc une variété de composés phénoliques et d'huiles essentielles auxquelles ont attribué un pouvoir inhibiteur des microorganismes et des capacités antioxydantes et antiinflammatoires.

En effet, l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de *M. communis* L. était plus importante que l'huile de *M. pulegium* L. tandis que l'activité antifongique et anti-inflammatoire étaient similaires.

Selon cette synthèse bibliographique, nous pouvons expliquer cette différence de la composition phytochimique des plantes médicinales par plusieurs paramètres y compris les facteurs écologiques et environnementaux tel que la zone géographique et d'autres facteurs tels que la partie de la plante utilisée, l'âge et le stade phénologique, le temps de séchage des échantillons, la méthode et le solvant d'extraction et des facteurs génétiques.

Conclusion

Donc, il serait intéressant de mener une étude plus approfondie sur *Myrtus communis* L. et *Mentha pulegiun* L. et d'autres plantes médicinales afin d'isoler, de purifier et d'identifier les principes actifs ayant des activités biologiques.

À la lumière de ces données, l'évaluation des propriétés biologiques est une tâche intéressante et utile, en particulier pour trouver de nouvelles sources d'agents antimicrobiens, anti-inflammatoire, antioxydants naturels.

Partie bibliographique

-A-

- Abbas, F., Ke, Y., Yu, R., Yue, Y., Amanullah, S., Jahangir, M. M., & Fan, Y. (2017).** *Volatile terpenoids: multiple functions, biosynthesis, modulation and manipulation by genetic engineering. Planta, 246(5), 803-816.*
- Abdelli, M., Moghrani, H., Aboun, A., & Maachi, R. (2016).** *Algerian Mentha pulegium L. leaves essential oil: Chemical composition, antimicrobial, insecticidal and antioxidant activities. Industrial Crops and Products, 94, 197-205. doi:10.1016/j.indcrop.2016.08.042.*
- Abe, I. (2007).** Enzymatic synthesis of cyclic triterpenes. *Natural product reports, 24(6), 1311-1331.*
- Aidi Wannes, W. A., Mhamdi, B., Sriti, J., Jemia, M. B., Ouchikh, O., Hamdaoui, G., Kchouk, M. I., & Marzouk, B. (2010).** *Antioxidant activities of the essential oils and methanol extracts from myrtle (Myrtus communis var. italica L.) leaf, stem and flower. Food and chemical toxicology, 48(5), 1362-1370. doi:10.1016/j.fct.2010.03.002.*
- Akar, Z., Küçük, M., & Doğan, H. (2017).** *A new colorimetric DPPH• scavenging activity method with no need for a spectrophotometer applied on synthetic and natural antioxidants and medicinal herbs. Journal of enzyme inhibition and medicinal chemistry, 32(1), 640-647.*
- Akbar S. (2020).** *Myrtus communis L. (Myrtaceae). Dans: Manuel de 200 plantes médicinales. Springer, Cham. pp 1251-1262. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. Plant Signaling & Behavior, 6(11), 1720–1731. doi:10.4161/psb.6.11.17613*
- Akula, R., & Ravishankar, G. A. (2011).** *Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. Plant Signaling & Behavior, 6(11), 1720–1731. doi:10.4161/psb.6.11.17613*
- Aldred, E. (2009).** *Terpenes. Pharmacology, 167–174. doi:10.1016/b978-0-443-06898-0.00022-0*
- Aleksic, V., & Knezevic, P. (2014).** *Antimicrobial and antioxidative activity of extracts and essential oils of Myrtus communis L. Microbiological Research, 169(4), 240-254.*
- Altemimi, A., Watson, D. G., Choudhary, R., Dasari, M. R., & Lightfoot, D. A. (2016).** *Ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from peaches and pumpkins. PLoS One, 11(2), e0148758.*
- Amensour, M., Sendra, E., Abrini, J., Pérez-Alvarez, J. A., & Fernández-López, J. (2010).** *Antioxidant activity and total phenolic compounds of myrtle extracts Actividad*

antioxidante y contenido de compuestos fenólicos totales en extractos de myrtus. CyTA - Journal of Food, 8(2), 95–101. doi:10.1080/19476330903161335

Anton R et Annelise L (2005), plantes aromatiques: épices, aromates, condiments et huiles essentielles, lavoisier, édition Tec & Doc. 521p.

Anwar, S., Ahmed, N., Awwad, N. A., Ansari, S. Y., & Wagih, M. E. (2016). *Myrtle (Myrtus communis L.) Oils. Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*, 581–592. doi:10.1016/b978-0-12-416641-7.00066-3.

Anwar, F., Abbas, A., Mehmood, T., Gilani, A., & Rehman, N. (2019). *Mentha : A genus rich in vital nutra-pharmaceuticals—A review. Phytotherapy Research*. doi:10.1002/ptr.6423

Aziz, E. E., Rezk, A. I., Omer, E. A., Nofal, O. A., Salama, Z. A., Fouad, H., & Fouad, R. (2019). *Chemical composition of Mentha pulegium L. (Pennyroyal) plant as influenced by foliar application of different sources of zinc. Egyptian Pharmaceutical Journal*, 18(1), 53.

-B-

Babou, L., Hadidi, L., Grosso, C., Zaidi, F., Valentão, P., & Andrade, P. B. (2016). *Study of phenolic composition and antioxidant activity of myrtle leaves and fruits as a function of maturation. European Food Research and Technology*, 242(9), 1447–1457. doi:10.1007/s00217-016-2645-9

Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). *Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. Food Chemistry*, 99(1), 191–203. doi:10.1016/j.foodchem.2005.07.042

Barboni, T., Venturini, N., Paolini, J., Desjobert, J. M., Chiaramonti, N., & Costa, J. (2010). *Characterisation of volatiles and polyphenols for quality assessment of alcoholic beverages prepared from Corsican Myrtus communis berries. Food Chemistry*, 122(4), 1304–1312.

Basile, A., Jiménez-Carmona, M. M., & Clifford, A. A. (1998). *Extraction of rosemary by superheated water. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(12), 5205–5209.

Batsatsashvili, K., Mehdiyeva, N. P., Fayvush, G., Kikvidze, Z., Khutsishvili, M., Maisaia, I., ... & Zambrana, N. Y. P. (2017). *Mentha aquatica L. Mentha longifolia L. Menthapulegium L. Ethnobotany of the Caucasus: European Ethnobotany*, 411.

Bekhechi, C., & Abdelouahid, D. (2010). Les huiles essentielles.

Bekhechi, C., Watheq Malti, C. E., Boussaïd, M., Achouri, I., Belilet, K., Gibernau, M., ... Tomi, F. (2019). *Composition and Chemical Variability of Myrtus communis Leaf Oil From*

Northwestern Algeria. Natural Product Communications, 14(5), 1934578X1985003. doi:10.1177/1934578x19850030.

Belaoued A. (2005)., Plantes médicinales d'Algérie, Office des publications universitaires, 2006, 284 p.

Benabdallah, A., Rahmoune, C., Boumendjel, M., Aissi, O., & Messaoud, C. (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. doi:10.1016/j.apjtb.2016.06.016

Benjilani B. (2004)., Extraction des plantes aromatiques et médicinales : cas particulier de l'entraînement à la vapeur d'eau et ses équipements. Institut agronomique et vétérinaire, Maroc

Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181(4617), 1199-1200.

Brahmi, F., Abdenour, A., Bruno, M., Silvia, P., Alessandra, P., Danilo, F., ... Mohamed, C. (2016). *Chemical composition and in vitro antimicrobial, insecticidal and antioxidant activities of the essential oils of Mentha pulegium L. and Mentha rotundifolia (L.) Huds growing in Algeria. Industrial Crops and Products*, 88, 96–105. doi:10.1016/j.indcrop.2016.03.002.

Brahmkshatriya, P. P., & Brahmkshatriya, P. S. (2013). *Terpenes: Chemistry, Biological Role, and Therapeutic Applications. Natural Products*, 2665–2691. doi:10.1007/978-3-642-22144-6_120.

Bruneton, J. (1999). *Huiles essentielles. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. Éditions Tec & Doc, 3e édition, Lavoisier, Paris, France.*

Bruneton, J. (2009). *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales (4e éd.). Tec & Doc/Lavoisier, Paris, 841-842.*

Boelens, M. H., & Jimenez, R. (1992). *The chemical composition of Spanish myrtle oils. Part II. Journal of Essential Oil Research*, 4(4), 349-353.

Boizot, N., & Charpentier, J. P. (2006). *Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. Cahier des Techniques de l'INRA*, 79-82.

Bossard, C. C., Randall, J. M., & Hoshovsky, M. C. (Eds.). (2000). *Invasive plants of California's wildlands. Univ of California Press.360p.*

Boukef, M. K. (1986). *Plantes dans la médecine traditionnelle tunisienne. Agence de coopération culturelle et technique.350p.*

Boukhebti, H., Chaker, A. N., Belhadj, H., Sahli, F., Ramdhani, M., Laouer, H., & Harzallah, D. (2011). *Chemical composition and antibacterial activity of Mentha pulegium L. and Mentha spicata L. essential oils.* *Der Pharmacia Lettre*, 3(4), 267-275.

Bouyahya, A., Et-Touys, A., Bakri, Y., Talbau, A., Fellah, H., Abrini, J., & Dakka, N. (2017). *Chemical composition of Mentha pulegium and Rosmarinus officinalis essential oils and their antileishmanial, antibacterial and antioxidant activities.* *Microbial Pathogenesis*, 111, 41–49. doi:10.1016/j.micpath.2017.08.015.

-C-

Casiglia, S., Bruno, M., Fontana, G., & Senatore, F. (2017). *Chemical Composition of the Essential Oil of Mentha pulegium Growing Wild in Sicily and its Activity on Microorganisms Affecting Historical Art Crafts.* *Natural Product Communications*, 12(8), 1934578X1701200. doi:10.1177/1934578x1701200840.

Cruciani, Santaniello, Garroni, Fadda, Balzano, Bellu, ... Maioli. (2019). *Myrtus Polyphenols, from Antioxidants to Anti-Inflammatory Molecules: Exploring a Network Involving Cytochromes P450 and Vitamin D.* *Molecules*, 24(8), 1515. doi:10.3390/molecules24081515

Curini, M., Bianchi, A., Epifano, F., Bruni, R., Torta, L., & Zambonelli, A. (2003). *Chemistry of Natural Compounds*, 39(2), 191–194. doi:10.1023/a:1024818015122.

-D-

Darvishi, E., Kazemi, E., Kahrizi, D., Bahraminejad, S., Mansouri, M., Chaghakaboudi, S. R., & Khani, Y. (2014). *Optimization of callus induction in Pennyroyal (Mentha pulegium).* *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 1(3), 97-100.

Dejam, M., & Farahmand, Y. (2017). *Essential Oil Content and Composition of Myrtle (Myrtus communis L.) Leaves from South of Iran.* *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20(3), 869–872. doi:10.1080/0972060x.2014.981599.

Deveoğlu, O., & Karadağ, R. (2012). *A Review on the Flavonoids—A Dye Source.* *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 31(3), 188-200.

Dey, P., Kundu, A., Kumar, A., Gupta, M., Lee, B. M., Bhakta, T., ... & Kim, H. S. (2020). *Analysis of alkaloids (indole alkaloids, isoquinoline alkaloids, tropane alkaloids).* In *Recent Advances in Natural Products Analysis* (pp. 505-567). Elsevier.

Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., & Vidal, N. (2006). *Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds.* *Food chemistry*, 97(4), 654-660.

Djilani, A., Legseir, B., Soulimani, R., Dicko, A., & Younos, C. (2006). *New extraction technique for alkaloids. Journal of the Brazilian Chemical Society*, 17(3), 518–520. doi:10.1590/s0103-50532006000300013.

Diaz, A.M; Abeger, A., (1987). Myrtus communis composition quimica y actividad biologica de sus extractos, Una revision, Fitoterapia 8: 167 – 174.

-E-

Eslahi, H., Fahimi, N., & Sardarian, A. R. (2017). *Chemical Composition of Essential Oils. Essential Oils in Food Processing*, 119–171. doi:10.1002/9781119149392.ch4.

-F-

Farah, A., Afifi, A., Fechtal, M., Chhen, A., Satrani, B., Talbi, M., & Chaouch, A. (2006). *Fractional distillation effect on the chemical composition of Moroccan myrtle (Myrtus communis L.) essential oils. Flavour and Fragrance Journal*, 21(2), 351–354. doi:10.1002/ffj.1651.

Fatih, B., Madani, K., Chibane, M., & Duez, P. (2017). *Chemical Composition and Biological Activities of Mentha Species. Aromatic and Medicinal Plants - Back to Nature*. doi:10.5772/67291.

Fatiha, B., Didier, H., Naima, G., Khodir, M., Martin, K., Léocadie, K., ... Pierre, D. (2015). *Phenolic composition, in vitro antioxidant effects and tyrosinase inhibitory activity of three Algerian Mentha species: M. spicata (L.), M. pulegium (L.) and M. rotundifolia (L.) Huds (Lamiaceae). Industrial Crops and Products*, 74, 722–730. doi:10.1016/j.indcrop.2015.04.038

Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., Pedro, L. G., & Scheffer, J. J. C. (2008). *Factors affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. Flavour and Fragrance Journal*, 23(4), 213–226. doi:10.1002/ffj.1875

Fokou, J. B. H., Dongmo, P. M. J., & Boyom, F. F. (2020). *Essential Oil's Chemical Composition and Pharmacological Properties. In Essential Oils-Oils of Nature. IntechOpen*. doi:10.5772/intechopen.86573.

Foudil-Cherif, Y., Boutarene, N., & Yassaa, N. (2013). *Chemical composition of essential oils of Algerian Myrtus communis and chiral analysis of their leave volatiles. Journal of Essential Oil Research*, 25(5), 402–408. doi:10.1080/10412905.2013.828323.

-G-

Gardeli, C., Vassiliki, P., Athanasios, M., Kibouris, T., & Komaitis, M. (2008). *Essential oil composition of Pistacia lentiscus L. and Myrtus communis L.: Evaluation of antioxidant*

capacity of methanolic extracts. *Food chemistry*, 107(3), 1120-1130.
doi:10.1016/j.foodchem.2007.09.036

Gershenzon, J., & Dudareva, N. (2007). *The function of terpene natural products in the natural world. Nature Chemical Biology*, 3(7), 408–414. doi:10.1038/nchembio.2007.5

Gharaati Jahromi, S. (2019). *Extraction Techniques of Phenolic Compounds from Plants. Plant Physiological Aspects of Phenolic Compounds.* doi:10.5772/intechopen.84705.

Ghazghazi, H., Chedia, A., Weslati, M., Trakhna, F., Houssine, S., Abderrazak, M., & Brahim, H. (2013). *Chemical Composition and in vitro Antimicrobial Activities of Mentha pulegium Leaves Extracts against Foodborne Pathogens. Journal of Food Safety*, 33(3), 239-246.

Ghestem A., Seguin E., Paris M., Orecchioni A. M., (2001). *Le préparateur en pharmacie. Ed. Médicales Internationales. Paris*, pp 108-119.

Goetz, P., & Ghedira, K. (2012). *Myrtus communis L.(Myrtaceae): Myrte. In Phytothérapie anti-infectieuse* (pp. 313-320). Springer, Paris.

Gouvea, D. R., Gobbo-Neto, L., & Lopes, N. P. (2012). *The Influence of Biotic and Abiotic Factors on the Production of Secondary Metabolites in Medicinal Plants. Plant Bioactives and Drug Discovery*, 419–452. doi:10.1002/9781118260005.ch12

-H-

Hagos, Z., Muluget, A., Gopalakrishnan V.K., Chaithanya, K., & Nagaraju, B. (2017). *Phytochemical screening, in vitro antioxidant and antibacterial activities of essential oil from Myrtus communis L. Journal of Pharmacy Research* 2017, 11(6),747-752

Hajlaoui, H., Trabelsi, N., Noumi, E., Snoussi, M., Fallah, H., Ksouri, R., & Bakhrouf, A. (2009). *Biological activities of the essential oils and methanol extract of tow cultivated mint species (Mentha longifolia and Mentha pulegium) used in the Tunisian folkloric medicine. World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25(12), 2227-2238.

Hamel, T., Sadou, S., Seridi, R., Boukhdir, S., & Boulemtafes, A. (2018). *Pratique traditionnelle d'utilisation des plantes médicinales dans la population de la péninsule de l'edough (nord-est algérien). Ethnopharmacologia*, 59, 75-81.

Hartmann, T. (1996). *Diversity and variability of plant secondary metabolism: a mechanistic view. In Proceedings of the 9th International Symposium on Insect-Plant Relationships* (pp. 177-188). Springer, Dordrecht.

Hennebelle, T., Sahpaz, S., & Bailleul, F. (2004). *Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. Phytothérapie*, 2(1), 3-6.

Hennia, A., Brada, M., Nemmiche, S., Fauconnier, M.-L., & Lognay, G. (2015). *Chemical composition and antibacterial activity of the essential oils of Algerian Myrtus communis L.* *Journal of Essential Oil Research*, 27(4), 324–328. doi:10.1080/10412905.2015.1023905

Hennia, A., Nemmiche, S., Dandlen, S., & Miguel, M. G. (2019). *Myrtus communis essential oils: insecticidal, antioxidant and antimicrobial activities: a review.* *Journal of Essential Oil Research*, 1–59. doi:10.1080/10412905.2019.1611672.

Hmiri, S., Harhar, H., & Rahouti, M. (2015). *Antifungal activity of essential oils of two plants containing 1, 8-cineole as major component: Myrtus communis and Rosmarinus officinalis.* *J Mater Environ Sci*, 6, 2967-2974.

Hossain, M. A., & Shah, M. D. (2015). *A study on the total phenols content and antioxidant activity of essential oil and different solvent extracts of endemic plant Merremia borneensis.* *Arabian Journal of Chemistry*, 8(1), 66-71.

Hosseinzadeh, H., Khoshdel, M., & Ghorbani, M. (2011). *Antinociceptive, Anti-inflammatory Effects and Acute Toxicity of Aqueous and Ethanolic Extracts of Myrtus communis L. Aerial Parts in Mice.* *Journal of Acupuncture and Meridian Studies*, 4(4), 242–247. doi:10.1016/j.jams.2011.09.015.

-J-

Jain, P. K., & Joshi, H. (2012). *Coumarin: chemical and pharmacological profile.* *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2(6), 236-240.

-K-

Kamkar, A., Javan, A. J., Asadi, F., & Kamalinejad, M. (2010). *The antioxidative effect of Iranian Mentha pulegium extracts and essential oil in sunflower oil.* *Food and Chemical Toxicology*, 48(7), 1796-1800.

Kansole, M. M. R. (2009). *Etude ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de quelques lamiaceae du Burkina Faso: cas de Leucas martinicensis (Jacquin) R. Brown, Hoslundia oppositifolia et Orthosiphon pallidus Royle ex Benth.*

Karadağ, B., & Yücel, N. C. (2017). *Cinnamic acid and fish flour affect wheat phenolic acids and flavonoid compounds, lipid peroxidation, proline levels under salt stress.* *Acta Biologica Hungarica*, 68(4), 388–397. doi:10.1556/018.68.2017.4.5

Karray-Bouraoui, N., Ksouri, R., Falleh, H., Rabhi, M., Jaleel, C. A., Grignon, C., & Lachaâl, M. (2010). *Effects of environment and development stage on phenolic content and*

antioxidant activities of Mentha pulegium L. Journal of Food Biochemistry, 34, 79–89. doi:10.1111/j.1745-4514.2009.00303.x

Khoo, H. E., Azlan, A., Tang, S. T., & Lim, S. M. (2017). *Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. Food & Nutrition Research*, 61(1), 1361779. doi:10.1080/16546628.2017.1361779.

Kleiner, D. E. (2018). *Drugs and Toxins. Macsween's Pathology of the Liver*, 673–779. doi:10.1016/b978-0-7020-6697-9.00012-1.

Kokkini, S., Karousou, R., & Hanlidou, E. (2003). *HERBS | Herbs of the Labiatae. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 3082–3090. doi:10.1016/b0-12-227055-x/00593-9.

-L-

Le Floch, F., Tena, M. T., Rios, A., & Valcarcel, M. (1998). Supercritical fluid extraction of phenol compounds from olive leaves. *Talanta*, 46(5), 1123-1130.

Li, Y., Kong, D., Fu, Y., Sussman, M. R., & Wu, H. (2020). *The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. Plant Physiology and Biochemistry*.

Litvak, M. E., & Monson, R. K. (1998). *Patterns of induced and constitutive monoterpene production in conifer needles in relation to insect herbivory. Oecologia*, 114(4), 531–540. doi:10.1007/s004420050477.

-M-

Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Jay-Allemand, C. (2005). Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. PPUR presses polytechniques.

Mahboubi, M., & Haghi, G. (2008). *Antimicrobial activity and chemical composition of Mentha pulegium L. essential oil. Journal of Ethnopharmacology*, 119(2), 325–327. doi:10.1016/j.jep.2008.07.023.

Mahboubi, M. (2017). Efficacité de *Myrtus communis* dans le traitement des hémorroïdes. *Journal of Integrative Medicine*, 15 (5), 351–358. doi: 10.1016 / s2095-4964 (17) 60340-6 .

Mansouri, S., Foroumadi, A., Ghaneie, T., & Najjar, A. G. (2001). *Antibacterial Activity of the Crude Extracts and Fractionated Constituents of Myrtus communis. Pharmaceutical Biology*, 39(5), 399–401. doi:10.1076/phbi.39.5.399.5889.

- Marlin, D., Nicolson, S. W., Yusuf, A. A., Stevenson, P. C., Heyman, H. M., & Krüger, K. (2014).** *The Only African Wild Tobacco, Nicotiana africana: Alkaloid Content and the Effect of Herbivory.* *PLoS ONE*, 9(7), e102661. doi:10.1371/journal.pone.0102661.
- Mata, A. T., Proença, C., Ferreira, A. R., Serralheiro, M. L. M., Nogueira, J. M. F., & Araújo, M. E. M. (2007).** *Antioxidant and antiacetylcholinesterase activities of five plants used as Portuguese food spices.* *Food Chemistry*, 103(3), 778–786. doi:10.1016/j.foodchem.2006.09.017
- Mir, M. A., Bashir, N., Alfaify, A., & Oteef, M. D. Y. (2020).** *GC-MS analysis of Myrtus communis extract and its antibacterial activity against Gram-positive bacteria.* *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 20(1). doi:10.1186/s12906-020-2863-3
- Mayer, A. M. (2004).** *Resistance to herbivores and fungal pathogens: variations on a common theme? A review comparing the effect of secondary metabolites, induced and constitutive, on herbivores and fungal pathogens.* *Israel Journal of Plant Sciences*, 52(4), 279-292.
- Migliore, J. (2011).** *Empreintes des changements environnementaux sur la phylogéographie du genre Myrtus en méditerranée et au sahara.* Thèse de doctorat, Université paul cézanne d'Aix-Marseille III. Pp.66-117.
- Moghaddam, M., & Mehdizadeh, L. (2017).** *Chemistry of Essential Oils and Factors Influencing Their Constituents.* *Soft Chemistry and Food Fermentation*, 379–419. doi:10.1016/b978-0-12-811412-4.00013-8
- Moussaid, M., Elamrani, A. E., Bourhim, N., & Benaissa, M. (2011).** *In vivo anti-inflammatory and in vitro antioxidant activities of Moroccan medicinal plants.* *Natural Product Communications*, 6(10), 1934578X1100601007.
- Mimica-Dukić, N., Bugarin, D., Grbović, S., Mitić-Ćulafić, D., Vuković-Gačić, B., Orčić, D., ... & Couladis, M. (2010).** *Essential oil of Myrtus communis L. as a potential antioxidant and antimutagenic agents.* *Molecules*, 15(4), 2759-2770.
- Murga, R., Ruiz, R., Beltrán, S., & Cabezas, J. L. (2000).** *Extraction of natural complex phenols and tannins from grape seeds by using supercritical mixtures of carbon dioxide and alcohol.* *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(8), 3408-3412.
- Mustafa, G., Arif, R., Atta, A., Sharif, S., & Jamil, A. (2017).** *Bioactive compounds from medicinal plants and their importance in drug discovery in Pakistan.* *Matrix Science Pharma (MSP) 1(1) (2017) 17-26.* doi: 10.26480/msp.01.2017.17.26.

Nikavar, B., Ali, N. A., & Kamalnejhad, M. (2008). *Evaluation of the antioxidant properties of five Mentha species. Iranian Journal of Pharmaceutical Research ((2008), 7 (3): 203-209.*doi : 10.22037/IJPR.2010.766

-O-

Osbourn, A. E., & Lanzotti, V. (Eds.). (2009). *Plant-derived Natural Products*, 588p. doi:10.1007/978-0-387-85498-4

Owlia P, Sadari H, Rasooli I, Sefidkon F. (2009). *Antimicrobial characteristics of some herbal oils on Pseudomonas aeruginosa with special reference to their chemical compositions. Iran J Pharm Res; 8(2):107–14.*

-P-

Padrini, F., & Lucheroni, M. T. (2003). *Le grand livre des huiles essentielles.* Éditions de Vecchi, 212p.

Pagare, S., Bhatia, M., Tripathi, N., Pagare, S., & Bansal, Y. K. (2015). *Secondary metabolites of plants and their role: Overview. Current Trends in Biotechnology and Pharmacy, 9(3), 293-304.*

Pavarini, D. P., Pavarini, S. P., Niehues, M., & Lopes, N. P. (2012). *Exogenous influences on plant secondary metabolite levels. Animal Feed Science and Technology, 176(1-4), 5–16.* doi:10.1016/j.anifeedsci.2012.07.002

Perrut, M. (1999). Extraction par fluide supercritique. *Techniques de l'ingénieur. Génie des procédés, 2(J2770), J2770-1.*

Perveen, S., & Al-Taweel, A. (2018). *Introductory chapter: terpenes and terpenoids. Terpenes and Terpenoids, 1-12.*

Piras, A., Porcedda, S., Falconieri, D., Maxia, A., Gonçalves, M., Cavaleiro, C., & Salgueiro, L. (2019). *Antifungal activity of essential oil from Mentha spicata L. and Mentha pulegium L. growing wild in Sardinia island (Italy). Natural Product Research, 1–7.* doi:10.1080/14786419.2019.1610755.

Politeo, O., Bektašević, M., Carev, I., Jurin, M., & Roje, M. (2018). *Phytochemical Composition, Antioxidant Potential and Cholinesterase Inhibition Potential of Extracts from Mentha pulegium L. Chemistry & Biodiversity.* doi:10.1002/cbdv.201800374.

-Q-

Quezel P., et Santa S., (1963). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionale. Tome II Edition. CNRS. Paris.*

-R-

Rocha, J., Direito, R., Lima, A., Mota, J., Gonçalves, M., Duarte, M. P., ... & Ferreira, R. B. (2019). *Reduction of inflammation and colon injury by a Pennyroyal phenolic extract in experimental inflammatory bowel disease in mice. Biomedicine & Pharmacotherapy*, 118, 109351

-S-

Sahraoui (2015). UN1901. Laboratoire de pharmacognosie. Notes de cours, 13 p.

Sardashti, A., & Adhami, Y. (2013). *Chemical composition of the essential oil of Mentha pulegium L. from Taftan Area by means of gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). Journal of Medicinal Plants Research*, 7(40), 3003-3007.

Sarni-Manchado, P., & Cheynier, V. (Eds.). (2006). *Les polyphénols en agroalimentaire. Techniques & documentation.*

Satrani, B., Farah, A., & Talbi, M. (2006). *Effet de la distillation fractionnée sur la composition chimique et l'activité antimicrobienne des huiles essentielles du Myrte (Myrtus communis L.) du Maroc. Acta Botanica Gallica*, 153(2), 235-242.

Shin, S.-A., Moon, S. Y., Kim, W.-Y., Paek, S.-M., Park, H. H., & Lee, C. S. (2018). *Structure-Based Classification and Anti-Cancer Effects of Plant Metabolites. International Journal of Molecular Sciences*, 19(9), 2651.

Singh, K., Mishra, A., Sharma, D., & Singh, K. (2019). *Antiviral and Antimicrobial Potentiality of Nano Drugs. Applications of Targeted Nano Drugs and Delivery Systems*, 343–356. doi:10.1016/b978-0-12-814029-1.00013-2

Snoussi, A., Chaabouni, M. M., Bouzouita, N., & Kachouri, F. (2011). *Chemical Composition and Antioxidant Activity of Myrtus communis L. Floral Buds Essential Oil. Journal of Essential Oil Research*, 23(2), 10–14. doi:10.1080/10412905.2011.9700440.

Snoussi, A., Essaidi, I., Koubaier, H. B. H., Chaabouni, M. M., & Bouzouita, N. (2012). *Chemical composition and antioxidant activity of essential oils and ethanol extracts of Myrtus Communis L. organs (Berries, Leaves and Floral buds). Journal de la Société Chimique de Tunisie*, 14, 69-76.

Strader, D. B., Navarro, V. J., & Seeff, L. B. (2012). *Hepatotoxicity of Herbal Preparations. Zakim and Boyer's Hepatology*, 462–475. doi:10.1016/b978-1-4377-0881-3.00026-7

Sy, B., M, M., M, A., D, D., D, T., K, D., & B, B. (2017). *The Antimicrobial Activity of Leaf Extracts of Myrtus communis. Journal of Microbial & Biochemical Technology, 09(06).* doi:10.4172/1948-5948.1000380.

-T-

Teixeira, B., Marques, A., Ramos, C., Batista, I., Serrano, C., Matos, O., ... Nunes, M. L. (2012). *European pennyroyal (Mentha pulegium) from Portugal: Chemical composition of essential oil and antioxidant and antimicrobial properties of extracts and essential oil. Industrial Crops and Products, 36(1), 81–87.* doi:10.1016/j.indcrop.2011.08.011.

Toaibia, M. (2015). *Antimicrobial activity of the essential oil of Myrtus Communis L berries growing wild in Algeria. Journal of Fundamental and Applied Sciences, 7(2), 150.* doi:10.4314/jfas.v7i2.1

Toaibia, M. (2016). Chemical composition and antiinflammatory activity of Myrtus communis L. essential oil. *Algerian Journal of Arid Environment, 6(2), 73-82.*

Tuberoso, C. I. G., Rosa, A., Bifulco, E., Melis, M. P., Atzeri, A., Pirisi, F. M., & Dessì, M. A. (2010). *Chemical composition and antioxidant activities of Myrtus communis L. berries extracts. Food Chemistry, 123(4), 1242–1251.* doi:10.1016/j.foodchem.2010.05.094

Tungmunnithum, D., Thongboonyou, A., Pholboon, A., & Yangsabai, A. (2018). *Flavonoids and Other Phenolic Compounds from Medicinal Plants for Pharmaceutical and Medical Aspects: An Overview. Medicines, 5(3), 93.* doi:10.3390/medicines5030093

-V-

Vermerris, W. et Nicholson, R. (sd). (2006). Familles de composés phénoliques et moyens de classification. *Phenolic Compound Biochemistry, 1–34.*

Verpoorte, R., & Alfermann, A. W. (Eds.). (2000). *Metabolic Engineering of Plant Secondary Metabolism.* doi:10.1007/978-94-015-9423-3.

Verpoorte, R. (2005). *ALKALOIDS. Encyclopedia of Analytical Science, 56–61.* doi:10.1016/b0-12-369397-7/00010-8

Vlaisavljević, S., Kaurinović, B., Popović, M., & Vasiljević, S. (2017). *Profile of phenolic compounds in Trifolium pratense L. extracts at different growth stages and their biological activities. International journal of food properties, 20(12), 3090-3101.*

-W-

Wahid, N. (2013). Perspectives de la valorisation de l'usage et de la culture du *Myrtus communis* L. au Maroc. *Phytothérapie*, 11(4), 237–243. doi:10.1007/s10298-013-0800-z.

Wink, M. (2018). *Plant secondary metabolites modulate insect behavior-steps toward addiction?* *Frontiers in physiology*, 9, 364. doi:10.3389/fphys.2018.00364.

-Y-

Yalavarthi, C. (2013). *A review on identification strategy of phyto constituents present in herbal plants.* *International journal of research in pharmaceutical sciences*, 4(2), 123-140.

Yashin, A. Y., Yashunskii, D. B., Vedenin, A. N., Nifant'ev, N. E., Nemzer, B. V., & Yashin, Y. I. (2018). *Chromatographic Determination of Lignans (Antioxidants) in Food Products.* *Journal of Analytical Chemistry*, 73(5), 399–406. doi:10.1134/s106193481805012x.

Yubin, J. I., Miao, Y., Bing, W., & Yao, Z. (2014). *The extraction, separation and purification of alkaloids in the natural medicine.* *J Chem Pharm Res*, 6(1), 338-45.

Web references

<http://www.tela-botanica.org>.

Réalisé par : M ^{lle} Hemaïdi Meriem	Jury Président : M ^{me} Roula M. Examineur : M ^{me} Bouziane Z. Encadreur : M ^{me} Benterrouche I.
---	--

Contribution à l'étude phytochimique et évaluation de l'activité biologique de *Myrtus communis* L. et *Mentha pulegium* L.

Résumé :

Dernièrement, un grand intérêt est accordé aux plantes médicinales à cause des propriétés thérapeutiques démontrées. Dans le présent travail, deux plantes médicinales et aromatiques ont été choisies à savoir *Myrtus communis* L. et *Mentha pulegium* L. qui appartiennent à la famille des Myrtacées et des Lamiacées respectivement pour déterminer leur composition phytochimique et évaluer leur activité biologique. D'après la bibliographie, quatre chémotypes de l'huile essentielle du myrte ont été identifiés (myrtényl acétate, α -pinène, 1,8 cinéole et limonène) et deux chémotypes de l'huile essentielle de la menthe (pulégone et menthone). Les deux plantes présentent aussi des teneurs considérables en composés phénoliques.

M. communis et *M. pulegium* sont une source réelle d'agent antimicrobien, anti-inflammatoire, antioxydant et sont utilisées d'une façon large dans la médecine traditionnelle notamment contre les maladies dermiques, respiratoires et gastriques.

Mots clés : Myrte, menthe, antimicrobien, anti-inflammatoire et antioxydant.

Abstract :

Recently, great interest has been shown in medicinal plants because of their proven therapeutic properties. In the present study, two medicinal and aromatic plants have been chosen, namely *Myrtus communis* L. and *Mentha pulegium* L., which belong to the Myrtleaceae and Lamiaceae families respectively, in order to determine their phytochemical composition and their biological activity. According to the bibliography, four chemotypes of essential oil of myrtle have been identified (myrenyl acetate, α -pinene, 1,8-cineole and limonene) and two chemotypes of essential oil of pennyroyal (pulegone and menthone). Both plants also have considerable levels of phenolic compounds.

M. communis et *M. pulegium* are a real source of antimicrobial, anti-inflammatory, antioxidant agents and are widely used in the traditional medicine, in particular against dermal, respiratory and gastric diseases.

Keywords: Myrtle, pennyroyal, antimicrobial, anti-inflammatory and antioxidant.

ملخص :

في الأونة الأخيرة ، تم إعطاء اهتمام كبير للنباتات الطبية بسبب الخصائص العلاجية المثبتة. في هذا البحث تم اختيار نباتين طبيين وعطريين هما *Myrtus communis* L. و *Mentha pulegium* L. اللذان ينتميان إلى فصيلة Myrtaceae و Lamiaceae على التوالي لتحديد التركيب الكيميائي النباتي وتقييم نشاطهما البيولوجي. وفقاً للبيولوجيا، تم تحديد أربعة أنماط كيميائية للزيت العطري للريحان (myrtényl acetate, α -pinene, 1,8-cineole و limonene) ونوعين كيميائيين للزيت العطري للفليو (Pulégone و Menthone). يحتوي كلا النباتين أيضاً على مستويات كبيرة من المركبات الفينولية. يعتبر *M. communis* و *M. pulegium* مصدرًا حقيقيًا لمضادات الميكروبات، مضاد للالتهابات، مضادات الأكسدة ويستخدمان على نطاق واسع في الطب التقليدي خاصةً ضد الأمراض الجلدية، الجهاز التنفسي والمعدة.

الكلمات المفتاحية: الريحان، فليو، مضادات الميكروبات، مضادات الالتهابات ومضادات الأكسدة.