

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE & BIOCHIMIE

N°:



DOMAINE : SCINCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

FILIERE : SCIENCE BIOLOGIQUE

OPTION : BIOCHIMIE APPLIQUEE

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par : Mokhtari Souheyr

Merzougui Badra

Intitulé

**Etude biochimique et physiologique des Huiles
Essentielles**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. BOUAZIZ Samia	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Président
Dr. BENSEMANE Latifa	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Rapporteur
Dr. KHERBACHE Abdallah	Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur

Année universitaire : 2024 /2025

Remerciements

Premièrement, nous remercions Dieu qui nous a accordé le courage et la patience pour mener à bien ce travail modeste. Deuxièmement, nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadrante, Madame Bensemame Latifa, enseignante à l'Université Mohamed Boudiaf de M'sila, pour ses conseils et ses orientations tout au long de ce travail. Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury pour avoir accepté' évaluer notre travail.

Un grand merci à tous ceux qui nous ont aidés, de près ou de loin, et à tous ceux qui nous ont transmis un savoir tout au long de notre parcours académique, sans jamais ménager leurs efforts. À nos chers enseignants, chacun en son nom et en sa qualité, et louange à Dieu pour la bonne fin et l'accomplissement

Dédicace

À mon ALLAH le Tout-Puissant, Lui qui m'a accordé de Sa lumière une clarté, de Sa miséricorde un secours, et de Sa grâce un succès.

À Toi, ô mon ALLAH, je lève ma gratitude et ma reconnaissance sincère. Tu es le soutien dans chaque instant, le secours dans chaque faiblesse.

Sans Ton aide, ma main n'aurait tracé aucun mot, et cet effort n'aurait jamais atteint son accomplissement.

À mes chers parents, Vous m'avez appris à marcher dans les sentiers de la vie avec foi, dignité et patience. Votre amour inépuisable, vos sacrifices silencieux, vos prières secrètes et vos encouragements dans les moments de doute ont été la force invisible qui m'a soutenu à chaque étape. Ce travail est le fruit de votre dévouement. Je prie Dieu de vous préserver et de vous récompenser pour tout ce que vous avez offert sans jamais rien attendre en retour.

À mes frères bien-aimés, Vous avez été présents dans mes silences comme dans mes instants de joie. Vous m'avez soutenu, apporté du bonheur, et rappelé que la famille demeure ce refuge sacré où l'on revient, quelles que soient les tempêtes de la vie. Merci pour votre amour, vos conseils et votre fierté, qui ont été pour moi source de force et de réconfort.

À mon oncle maternel bien-aimé, Symbole de sagesse tranquille, de bonté rare et de soutien inestimable. Merci pour votre présence constante, vos paroles rassurantes et votre affection sincère et inoubliable. Votre confiance en moi m'a permis de croire davantage en mes capacités.

Que ce travail modeste vous soit dédié à tous, Avec tout l'amour, la reconnaissance et le respect qu'aucune page ne saurait pleinement exprimer.



Badra

Dédicace

Je dédie le fruit de mes efforts et les longues journées de labeur à ceux que ALLAH m'a ordonné d'honorer et de traiter avec bienveillance : à celle qui m'a portée avec amour avant même de me porter avec grâce... à ma mère, source inépuisable de tendresse. À celui qui a toujours été mon appui à chaque étape de ma vie... mon cher père.

À mes frères et sœurs, vous êtes mon soutien lorsque le monde vacille, et la chaleur humaine dans un temps devenu froid. À leurs enfants, les petites fleurs de ma vie, dont les rires m'ont redonné espoir au cœur de la fatigue.

À mon fiancé, compagnon de route et premier soutien : merci pour ta présence constante et tes encouragements sans faille.

À moi-même, qui ai misé sur la réussite : patiente et persévère, car le chemin est encore long. Voici un moment tant attendu, longtemps rêvé, dans une histoire dont les chapitres s'achèvent.

À tous ceux que mon cœur a portés, même si cette page est trop étroite pour tous vous nommer, je vous dédie ce travail modeste, en témoignage de ma reconnaissance. Louange à Dieu pour la bonne fin et l'achèvement de ce parcours



Sommaire

Résumé	i
Liste des abréviations	ii
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	v
INTRODUCTION	1
Chapitre I : Généralités sur les Huiles Essentielles (HE)	3
Introduction	3
I.1. Généralités sur des Huiles Essentielles	3
I.1.1. Qu'est-ce qu'une Huile Essentielle ?	3
I.1.2. Localisation des HES	4
I.1.3. Les caractéristiques des Huiles Essentielles.....	4
I.1.4. La composition chimique des Huiles Essentielles	5
I.1.5. Les techniques d'extractions des Huiles Essentielles	8
I.2. Les activités biochimiques et physiologiques des Huiles Essentielles	13
I.2.1. Activités biochimiques	13
I.2.2. Activités physiologiques	28
I.3. Domaines d'utilisation des Huiles Essentielles	35
I.3.1. Industrie alimentaire.....	35
I.3.2. Application biomédicale	36
I.3.3. Applications agricoles	37
I.3.4. Applications textiles.....	38
I.3.5. Application cosmétique.....	38
I.4. Modes d'utilisation des Huiles Essentielles	39
I.4.1. Voie orale	39
I.4.2. Application cutanée (sur la peau).....	40

I.4.3.	Diffusion atmosphérique	40
I.5.	Les Plantes plus couramment utilisées pour extraction des Huiles Essentielles ...	41
I.6.	Toxicité des Huiles Essentielles (HE).....	47
II.	Synthèse de quelques travaux sur certaines Huiles Essentielles	49
II.1.	Quelques travaux de recherche sur les Huiles Essentielles	49
II.2.	Analyse et interprétation de la synthèse	51
II.2.1.	Travaux sur Eucalyptus globulus	51
II.2.2.	Travaux sur Menthe pouliot	52
II.2.3.	Travaux sur Laurier noble	55
II.3.	Facteurs influençant la variabilité chimique et l'efficacité des huiles essentielles	58
II.3.1.	Facteurs endogènes	58
II.3.2.	Les facteurs exogènes.....	58
Conclusion.....		60
Références Bibliographiques.....		61

ملخص

تُعدّ الزيوت العطرية مستخلصات مركّزة، متطايرة، كارهة للماء ومعقّدة، يتم الحصول عليها من النباتات العطرية. وتشتهر بخصائصها العلاجية، حيث تُستخدم في الطب التقليدي منذ قرون. يهدف هذا العمل إلى دراسة مختلف الأنشطة البيولوجية والفسيلولوجية للزيوت العطرية. وقد تبين أنّ هذه الزيوت تتمتع بخصائص مضادة للميكروبات، ومضادة للأكسدة، ومضادة للالتهابات،... الخ، كما تُسهم في تفتيح البشرة. إضافةً إلى ذلك، فإن لها دوراً وقائياً في الحماية من الأمراض القلبية الوعائية. تُبرز الأبحاث الإمكانيات العلاجية للزيوت العطرية بوصفها بديلاً طبيعياً محتملاً للأدوية الكيميائية.

الكلمات المفتاحية: الزيوت العطرية، الأنشطة البيولوجية، مضادة للميكروبات، مضادة للأكسدة، مضادة للالتهابات، الأمراض القلبية الوعائية.

Abstract

Essential Oils (EOs) are concentrated, volatile, hydrophobic, and complex extracts obtained from aromatic plants. They are known for their therapeutic properties and are used in traditional medicine. The aim of this work is to study the various biological and physiological activities of essential oils. The findings show that EOs exhibit antimicrobial, antioxidant, anti-inflammatory, ...etc, and skin-lightening activities. They also have a protective effect against cardiovascular diseases. The researches demonstrate the therapeutic potential of EOs as a natural alternative to chemical drugs.

Keywords: Essential oils, biological activities, Antimicrobial, Antioxidant, Anti-inflammatory, Cardiovascular diseases.

Résumé

Les Huiles Essentielles (HE) sont des extraits concentrés, volatils, hydrophobes et complexes obtenus à partir de plantes aromatiques. Elles sont connues pour leurs propriétés thérapeutiques et sont utilisées dans la médecine traditionnelle. Le but de ce travail est d'étudier les différentes activités biologiques et physiologiques des huiles essentielles. Il ressort que les HE possèdent une activité antimicrobienne, antioxydante, anti-inflammatoire, ...etc, et d'éclaircissement de la peau. Elles jouent également un rôle protecteur contre les maladies cardiovasculaires. Les recherches démontrent le potentiel thérapeutique des HE comme alternative naturelle aux médicaments chimiques.

Mots clés : Huiles essentielles, Activités biologiques, Antimicrobienne, Antioxydante, Anti-inflammatoire, Maladies cardiovasculaires.

Liste des abréviations

ACE2 : l'enzyme de conversion de l'angiotensine 2.

AChE : Acétylcholinestérase.

AMPC : Adénosine monophosphate cyclique.

BChE : Butyrylcholinestérase.

BHT : Butylhydroxytoluène.

CAM : Médecines complémentaires et alternatives.

CCVD : Canaux calciques voltage-dépendants.

CT : chémotype.

DT2 : Diabète de type 2.

ECA : Enzyme de conversion de l'angiotensine.

FMC: Food Machinery Corporation-in-line.

GGT : Gamma-glutamyl transférase.

GPCR : récepteurs couplés aux protéines G.

GPx : Glutathion peroxydase.

GSH : Glutathion.

HA : Hydrolat aromatique.

HA : L'hémagglutinine.

HD : Hydrodistillation.

HE : Huile essentielle.

HSV-1 : Virus Herpès Simplex de type 1.

HSV-2 : Virus Herpès Simplex de type 2.

ICAM : Molécule d'adhésion intercellulaire.

INS : Insuline.

IP₃R : Récepteurs de l'inositol 1,4,5-triphosphate.

IRS-1 : Substrats du récepteur de l'insuline.

IST : Signal transducteur de l'insuline.

J-C : Jésus christ.

LDH : Lactate déshydrogénase.

MAPK : Protéine kinase activée par les mitogènes.

MCV : Maladies cardiovasculair.

MDA : Malondialdéhyde.

MET : microscopie électronique en transmission.

MITF : Facteur de transcription inducteur de mélanocytes.

MLCK : Kinase des chaînes légères de la myosine.

MLCK : myosine kinase à chaîne légère.

MLCP : Phosphatase des chaînes légères de la myosine.

NA : neuraminidase.

NF-KB : Facteur nucléaire kappa B.

NPs : Nanoparticules.

PDE : Phosphodiesterases.

PLC : Phospholipase C.

PMA : Plantes médicinales et aromatiques.

RE : réticulum endoplasmique.

ROS : Espèces réactives de l'oxygène.

SAPK/JNK : kinase activée par le stress/protéine c-Jun amino-terminal kinase.

SFE: Supercritical Fluid Extraction.

SFME: Solvent-Free Microwave Extraction.

SGOT : Transaminase oxaloacétique sérique.

SGPT : Transaminase pyruvique sérique.

SNC : Système nerveux central.

SOD : Superoxyde dismutase.

TAR : Trans-activation-responsive region.

Tat : Trans-activator of transcription.

TBARS : Substances réactives à l'acide thiobarbiturique.

TNF- α : Facteur de nécrose tumorale α .

VCAM : Molécule d'adhésion des cellules vasculaires.

α -MSH : Hormone α -mélanocyto-stimulante.

Liste des figures

Figure 1. Diversité des structures sécrétrices de plantes	4
Figure 2. Exemples de certains composés monoterpéniques présents dans les huiles essentielles des plantes	6
Figure 3. Exemples de certains composés sesquiterpéniques présents dans les huiles essentielles des plantes	6
Figure 4. Exemples de certains composés terpénoïdes présents dans les huiles essentielles des plantes.....	7
Figure 5. Exemples de certains composés aromatiques présents dans les huiles essentielles des plantes.....	7
Figure 6. Extraction par entraînement à la vapeur d'eau d'Huile Essentielle	9
Figure 7. L'hydrodistillation d'huile essentielle	10
Figure 8. Expression à froid d'Huile Essentielle.....	10
Figure 9. Extracteur de Soxhlet.....	11
Figure 10. Extraction par micro-ondes d'Huile Essentielle	12
Figure 11. Extraction par CO ₂ supercritique d'Huile Essentielle	13
Figure 12. Ciblage possible des Huiles Essentielles pendant le cycle de vie viral	16
Figure 13. Modes d'action synergiques des NPs et des composés des huiles essentielles	18
Figure 14. Mécanisme antioxydant des huiles essentielles	21
Figure 15. Processus moléculaires potentiels reliant le stress oxydatif et le dysfonctionnement des cellules bêta pouvant contribuer au développement du diabète sucré	27
Figure 16. Révéler les bienfaits du contrôle glycémique et les propriétés fonctionnelles des composés phénoliques des plantes	27
Figure 17. Principaux mécanismes de l'effet antispasmodique des huiles essentielles.....	32
Figure 18. Quelques plantes aromatiques utilisées en aromathérapie.....	46

Liste des tableaux

Tableau 1. Effet des huiles essentielles extraites de plantes médicinales sur les microorganismes pathogènes	19
Tableau 2. Les plantes plus riches en Huiles Essentielles.	41
Tableau 3. Travaux de recherche sur certaines Huiles Essentielles.....	49
Tableau 4. Composition chimique de l'huile essentielle d' <i>Eucalyptus globulus</i> (Algérie).....	51
Tableau 5. Composition chimique de l'huile essentielle d' <i>Eucalyptus globulus</i> (Tunisie).....	52
Tableau 6. Composition chimique de l'huile essentielle de <i>Mentha pulegium L.</i> par GC–MS (Algérie)	53
Tableau 7. Composition en pourcentage des huiles essentielles de <i>Laurus nobilis</i> récoltées en Tunisie, en Algérie et au Maroc (Les composés majeurs et prédominants sont indiqués en gras)	56

Introduction

INTRODUCTION

Les huiles essentielles (HE) sont des liquides aromatiques et volatils obtenus à partir de matières végétales, notamment les fleurs, les racines, l'écorce, les feuilles, les graines, les fruits, le bois ainsi que les plantes entières (**Hyldgaard et al., 2012**). Elles sont des produits, ou des mélanges de produits, qui se forment dans le cytoplasme et sont généralement présents sous forme de minuscules gouttelettes situées entre les cellules (**José-Luis Ríos., 2016**).

Tout au long de l'histoire, ces huiles ont suscité un grand intérêt. Bien que nombre de leurs usages se soient perdus avec le temps, il est généralement admis que l'humanité extrait ces substances des plantes aromatiques depuis les origines de la civilisation. Les applications des huiles essentielles sont multiples : elles ne se limitent pas à un usage culinaire, visant à rehausser le goût et les bienfaits nutritionnels des aliments, mais s'étendent également à l'industrie des parfums et des cosmétiques (**Sonwa., 2000**).

Parmi les 800 000 plantes présentes sur terre seulement 10% sont aromatiques, possédant des petites glandes contenant une essence odorante [**Www.lavieestbelleaunaturel.com**].

Les HE sont produits par plusieurs espèces végétales appartenant à de nombreuses familles d'angiospermes, telles que les Lamiaceae, Rutaceae, Myrtaceae, Zingiberaceae et Asteraceae (**Mérillon et Rivière.,2018**).

Les HE subissent généralement des modifications de leur composition chimique lors du processus d'extraction causées par la chaleur ou bien par leurs interactions avec l'eau (**Tongnuanchan et Benjakul.,2014**). De plus, les méthodes de production tout comme l'origine géographique, le climat, le sol, la période de récolte ou bien encore les pratiques agricoles, peuvent avoir une influence directe sur la composition chimique de l'huile essentielle distillée (**Boukhatem et al., 2019**).

Diverses études ont validées les propriétés pharmacologiques des huiles essentielles telles que : antimicrobiennes, antioxydantes, anti-inflammatoire, anti-hyperpigmentation, antidiabétiques, antivirales et anticancéreuses, ainsi que leurs effets cardioprotecteurs, hépatoprotecteurs et neuroprotecteurs (**Jugreet et al., 2020**). En dépit de leurs propriétés thérapeutiques, certaines huiles essentielles peuvent présenter une toxicité pour l'organisme et entraîner des lésions au niveau du foie, des reins ou des tissus gastro-intestinaux (**Horky et al., 2019**).

Dans ce mémoire, nous présenterons et détaillerons les différentes méthodes d'extraction ainsi que les domaines et modes d'utilisation des huiles essentielles. Nous mettrons également en lumière l'étude biochimique et physiologique de ces dernières. Notre travail se divise en deux chapitres:

la première qui s'intéresse sur généralités des huiles essentielles, tandis que la deuxième est consacrée à une synthèse de quelques travaux de recherche sur certaines huiles essentielles.

Chapitre I : Généralités sur les Huiles Essentielles (HE)

Chapitre I : Généralités sur les Huiles Essentielles (HE)

Introduction

L'utilisation des huiles essentielles à des fins thérapeutiques ne constitue pas une pratique récente. En effet, les civilisations de l'Antiquité faisaient déjà mention des arômes, qu'elles employaient dans des contextes religieux, cosmétiques, mais également médicaux. À l'origine, les plantes étaient utilisées dans leur intégralité pour procurer soulagement et bien-être, notamment sous forme de cataplasmes, d'infusions, de macérations ou de décoctions (**Lardry et Haberkorn., 2003**). Par la suite, l'être humain a cherché à extraire le principe aromatique de la plante, en le séparant de son support végétal (**Deschamp., 1990**). Dans ce domaine, l'Inde, la Chine et l'Égypte semblent avoir joué un rôle précurseur en matière de recherche et d'expérimentation.

I.1. Généralités sur des Huiles Essentielles

I.1.1. Qu'est-ce qu'une Huile Essentielle ?

Le terme *Huile Essentielle* remonte au seizième siècle et provient du médicament *Quinta essentia*, nommé par Paracelse von Hohenheim de Suisse, Les Huiles Essentielles (HEs) également appelées huiles volatiles ou étherées (**Guenther., 1948**) sont des liquides huileux aromatiques obtenus à partir de matériaux végétaux (fleurs, boutons, graines, feuilles, brindilles, écorce, herbes, bois, fruits et racines). Elles peuvent être obtenues par expression, fermentation, enfleurage ou extraction, mais la méthode de distillation à la vapeur est la plus couramment utilisée pour la production commerciale des HEs (**Van de Braak et Leijten., 1999**). Ce sont des substances volatiles de compositions complexes, naturellement synthétisés par différentes parties de la plante au cours du métabolisme secondaire (**Akthar et al., 2014**).

Sallé, 1997 note que les huiles essentielles se distinguent des huiles grasses par leur composition et leurs propriétés physiques. Elles sont généralement incolores ou présentent une coloration très pâle, souvent jaune clair. **Bruneton J., 1997** remarque que la majorité des huiles sont également plus légères que l'eau.

On trouve les huiles essentielles chez les végétaux supérieurs, parce que les plantes sont capables de produire les composés qui constituent ces huiles essentielles et ne renferment que 5% de la matière sèche végétale. Mais, selon **Franchomme et al., 1990** certaines familles de plantes sont plus riches en ce composé telles que : Lamiacées, Myrtacées, Rutacées, Astéracées, et toutes les parties de la plante peuvent contenir des huiles essentielles.

I.1.2. Localisation des HEs

Manion and Widder, 2017 suggèrent que les huiles essentielles sont stockées dans des cavités, des cellules sécrétoires, des cellules épidermiques, des canaux ou des trichomes glandulaires.

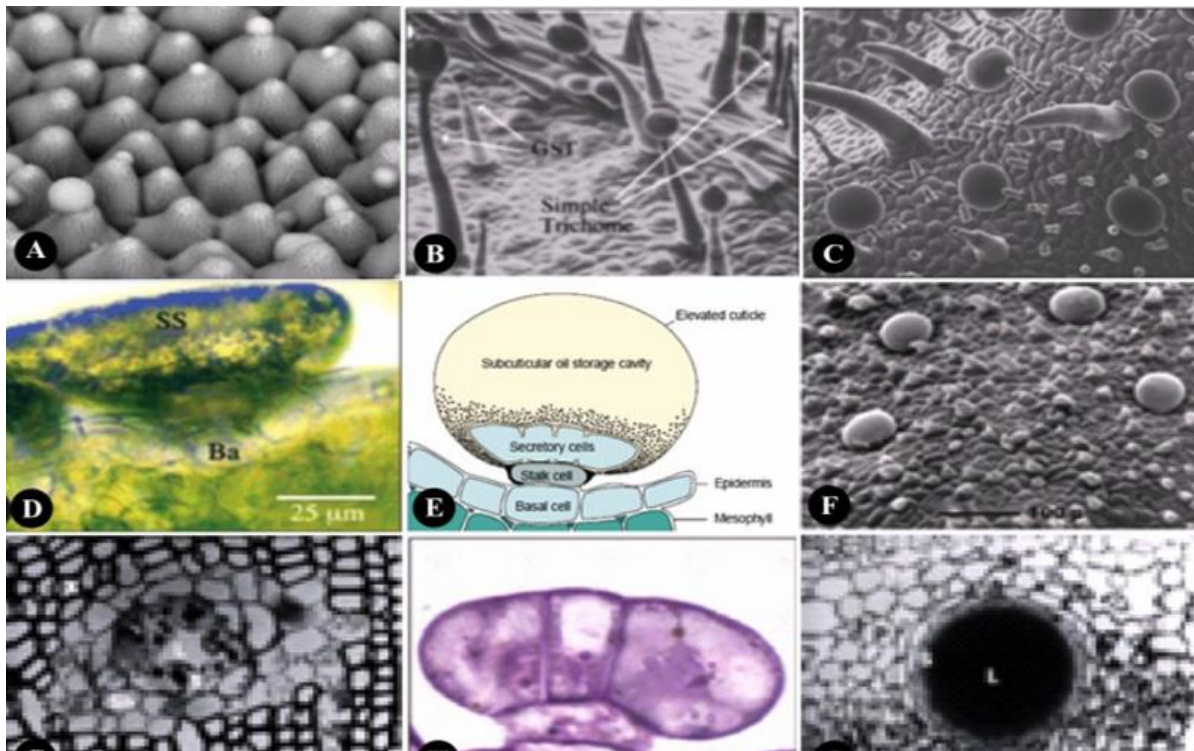


Figure 1. Diversité des structures sécrétrices de plantes : **A** : Micrographie électronique de l'épiderme supérieur de rose (Bergounoux *et al.*, 2005). **B** : Trichomes de *Nicotiana tabacum* (Wagner *et al.*, 2004). **C** : surface de l'épiderme supérieur de feuille de menthe (photographie : J.C. Caissard). **D** : Trichome de *Prostanthera ovalifolia* (Gersbach, 2002). **E** : Schéma d'un trichome glandulaire pelté de *Mentha piperita* (Turner *et al.*, 2000). **F** : Trichomes glandulaires de l'épiderme d'une feuille de thym. **G** : Micrographie d'un canal résinifère de pin Jeffrey. **H** : Trichome glandulaire de *mentha x pipireta* (Caissard *et al.*, 2004) **I** : Cavité de sécrétion de l'épiderme d'une feuille de citron.

I.1.3. Les caractéristiques des Huiles Essentielles

- **Solubilité** : solubles dans l'alcool, l'éther et les huiles fixes ; insolubles dans l'eau.
- **État physique** : liquides et incolores ou de couleur jaune pâle à température ambiante.
- **Densité** : généralement inférieure à 1 (moins dense que l'eau), sauf exceptions : *cannelle, clou de girofle, sassafras, vétiver*.
- **Volatilité** : huiles volatiles.
- **Instabilité photochimique** : elles peuvent être rapidement oxydées et isomérisées sous l'effet de la lumière.
- **Autres** : odeur spécifique et inflammables (Wissal Dhifi *et al.*, 2016).

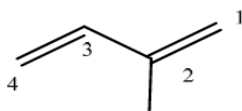
I.1.4. La composition chimique des Huiles Essentielles

La composition en huiles essentielles des plantes varie en fonction des conditions environnementales (Altitude, pluviométrie, l'ensoleillement, la zone de culture, etc..) et des conditions de vie. Selon les conditions environnementales et écologiques, une même espèce peut présenter des différences chimiques intraspécifiques dans la composition de ses huiles essentielles (**Lahlou., 2004**). Ces différences de profil biochimique intraspécifiques sont appelées chémotypes (CT). Provoquent des activités thérapeutiques et des effets indésirables dissemblables.

Bien que plus de 300 composés différents puissent être identifiés, trois grandes classes de composés ont été décrites (**Pichersky et al., 2006**). Le groupe principal est constitué de terpènes et de terpénoïdes ; les autres comprennent des composés aromatiques (phénoliques), et, dans une moindre mesure, des composés aliphatiques (alcane et alcène), généralement présents à l'état de traces. Tous ces composés se caractérisent par un faible poids moléculaire (**Bakkali et al., 2008**).

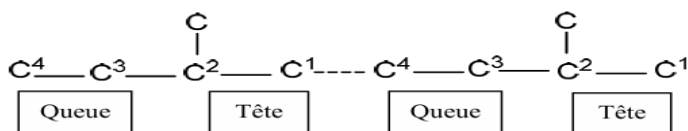
I.1.4.1. Terpènes

Les terpènes représentent les constituants principaux des huiles essentielles (HEs). Ce sont des hydrocarbures issus de l'assemblage de deux unités isopréniques ou plus, formant des polymères d'isoprène, dont la formule brute est $(C_5H_8)_n$.



Isoprène (2méthylbuta-1,3-diène)

Ils résultent de la condensation de plusieurs unités isopréniques. Bien que leurs structures soient extrêmement variées, ils possèdent une caractéristique commune : la possibilité d'être théoriquement fragmentés en unités isopréniques.



Ces unités se lient majoritairement selon un mode dit « tête-queue » qualifié de liaison régulière, mais peuvent également se connecter par des liaisons dites irrégulières, telles que les liaisons artémésyle, santolinyle, lavandulyle et chrysanthémyle.

En fonction du nombre d'unités isopréniques associées, les terpènes sont classés comme suit : hémiterpènes (C_5), monoterpènes (C_{10}), sesquiterpènes (C_{15}), diterpènes (C_{20}), triterpènes (C_{30}),

tétraterpènes (C₄₀) et polyterpènes. Les huiles essentielles contiennent principalement des monoterpènes et des sesquiterpènes, tandis que les diterpènes y sont présents en faible quantité. En raison de leur bas point d'ébullition, ces composés sont qualifiés d'huiles volatiles.

Les terpènes sont souvent à l'origine des odeurs caractéristiques des plantes. Ils présentent une grande diversité structurale : ils peuvent être acycliques (par exemple, le géraniol, le linalol, le citronellol), monocycliques (comme le menthol, l' α -terpinéol, le thymol) ou bicycliques (tels que le bornéol, le fenchol). En outre, ils peuvent comporter différentes fonctions chimiques typiques des composés organiques, telles que les fonctions alcool, aldéhyde ou cétone (**Chenni et al., 2017**).

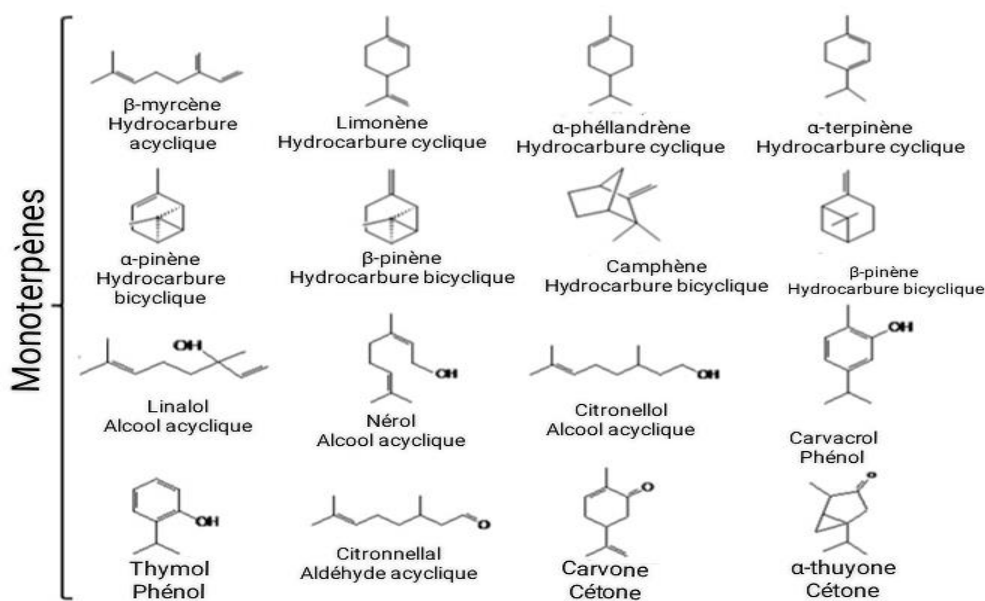


Figure 2. Exemples de certains composés monoterpéniques présents dans les huiles essentielles des plantes (**Bagora et al.,2014**). (Modifiée)

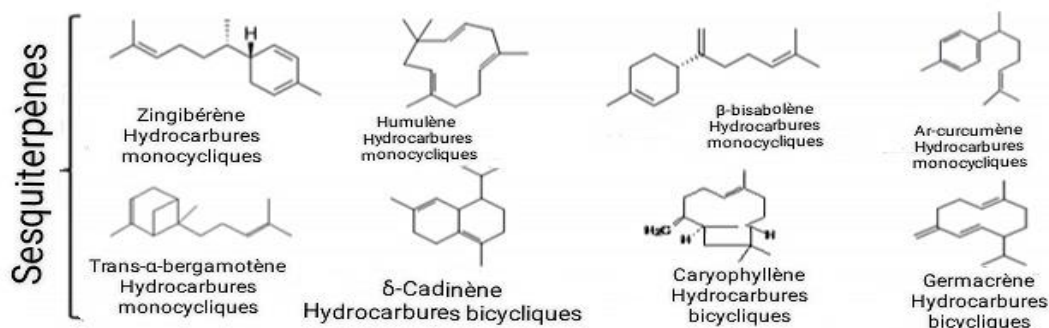


Figure 3. Exemples de certains composés sesquiterpéniques présents dans les huiles essentielles des plantes (**Bagora et al.,2014**). (Modifiée)

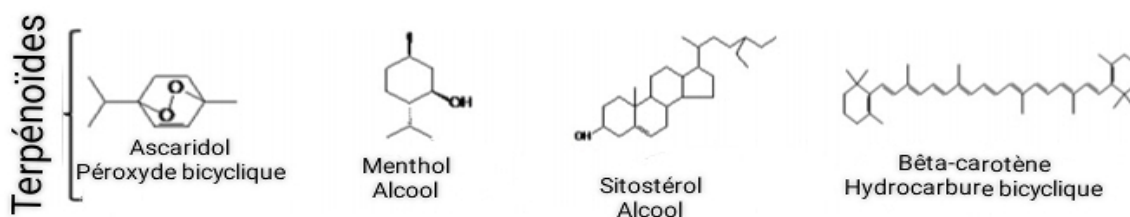


Figure 4. Exemples de certains composés terpénoïdes présents dans les huiles essentielles des plantes (Bagora et *al.*,2014). (Modifiée)

I.1.4.2. Composés aromatiques

Les composés aromatiques dérivés du squelette phénylpropane (C_6-C_3) sont moins abondants que les terpènes dans les huiles essentielles (HEs), bien qu'ils puissent également présenter diverses fonctions chimiques. Il s'agit principalement d'allylphénols et de propénylphénols. Afin d'illustrer la diversité structurale de ces dérivés. Cette catégorie regroupe notamment des composés odorants tels que la vanilline, l'anéthol, l'eugénol, le méthylchavicol (ou estragole), etc. Ces substances sont fréquemment retrouvées dans les huiles essentielles issues de plantes appartenant à la famille des Apiaceae (comme l'anis, le fenouil, ou encore le persil), ainsi que dans celles extraites de la vanille, de l'estragon, du basilic ou du clou de girofle.

Les différences entre ces composés résident principalement dans :

- Le nombre et la position des groupes hydroxyle et méthoxy sur le noyau aromatique ;
- La position de la double liaison au sein de la chaîne latérale, selon qu'elle soit allylique ou propénylique ;
- Le degré d'oxydation de la chaîne aliphatique, pouvant conduire à des fonctions telles qu'alcool, aldéhyde, cétone ou acide (Chenni et *al.*, 2017).

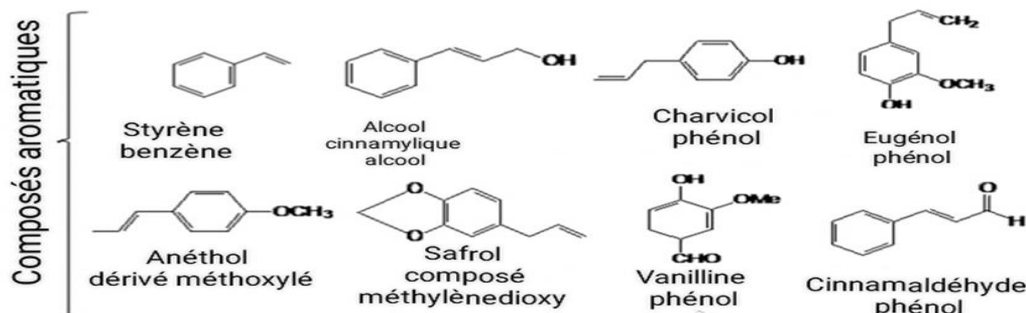


Figure 5. Exemples de certains composés aromatiques présents dans les huiles essentielles des plantes (Bagora et *al.*,2014). (Modifiée)

I.1.4.3. Composés d'origine variée

Les composés volatils de faible masse moléculaire, issus de sources diverses et entraînés lors du processus d'hydrodistillation, sont généralement des hydrocarbures aliphatiques linéaires ou ramifiés, possédant différentes fonctions chimiques. À titre illustratif, on peut mentionner les catégories suivantes :

- Les acides à chaîne courte ou moyenne, notamment ceux en C₃ et C₁₀ ;
- Les aldéhydes, tels que l'octanal et le décanal, fréquemment rencontrés dans les huiles essentielles d'agrumes (Citrus) ;
- Les alcools, comme le 1-octène-3-ol, caractéristique de l'huile essentielle de lavande ;
- Les esters acycliques, largement présents dans les arômes de fruits, par exemple l'acétate de butyle (pomme) et l'acétate d'isoamyle (banane) ;
- Les hydrocarbures saturés comme l'heptane et la paraffine, observés dans l'essence de camomille ;
- Les composés azotés ou soufrés, à l'instar de l'isosulfocyanate ;
- Les produits issus de la dégradation oxydative des terpènes, tels que les ionones (**Chenni et al., 2017**).

I.1.5. Les techniques d'extractions des Huiles Essentielles

I.1.5.1. Méthodes traditionnelles

I.1.5.1.1. Extraction par entraînement à la vapeur d'eau

La distillation à la vapeur, méthode couramment utilisée et officiellement reconnue pour l'extraction des huiles essentielles, consiste à exposer le matériel végétal à un courant de vapeur sans macération préalable. Les vapeurs chargées de composés volatils sont condensées, puis séparées dans un essencier en deux phases : aqueuse (HA) et organique (HE). L'absence de contact direct entre l'eau, la matière végétale et les molécules aromatiques prévient l'hydrolyse ou la dégradation, garantissant ainsi une huile de bonne qualité. Cette méthode permet aussi d'obtenir une huile au parfum subtil, riche en esters volatils grâce à une distillation régulière et rapide (**Raaman., 2006**).

Les fractions dites « de tête », composées de molécules légères très volatiles, sont récupérées en premier lors de la distillation. En général, 95 % des composés volatils sont extraits en 30 minutes, ce qui convient aux exigences de l'industrie et de la parfumerie, comme pour l'huile essentielle de

lavande. En revanche, pour l'aromathérapie, une extraction prolongée est nécessaire afin d'obtenir l'ensemble des composants aromatiques volatils (**Gavahian et Chu., 2018**).

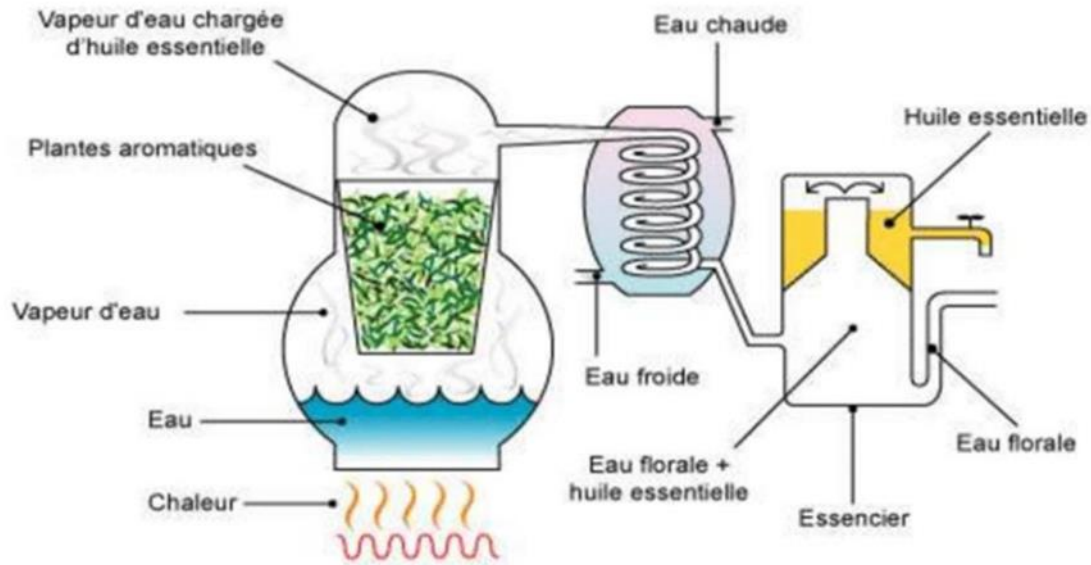


Figure 6. Extraction par entraînement à la vapeur d'eau d'huile Essentielle (**Goudjil, 2016**).

I.1.5.1.2. Extraction par hydrodistillation

L'hydrodistillation, réalisée à pression atmosphérique, consiste à faire bouillir la matière végétale immergée dans l'eau, avec ou sans cohobage. Toutefois, cette méthode présente plusieurs limites, notamment en raison de la sensibilité de certains organes végétaux, comme les fleurs, à la chaleur et à la vapeur (**Farhat., 2010**). Le contact direct entre l'eau et les constituants de l'huile essentielle peut induire des réactions chimiques modifiant sa composition (**Raaman., 2006**). La durée de distillation influence fortement le rendement et la composition, ce qui a conduit au développement de modèles mathématiques pour optimiser ces paramètres (**Boukhatem., 2018**). La composition des huiles obtenues diffère souvent de celle naturellement présente dans les organes sécréteurs, en raison de dégradations thermiques, hydrolyses, isomérisations ou oxydations causées par la chaleur, l'eau et l'acidité.

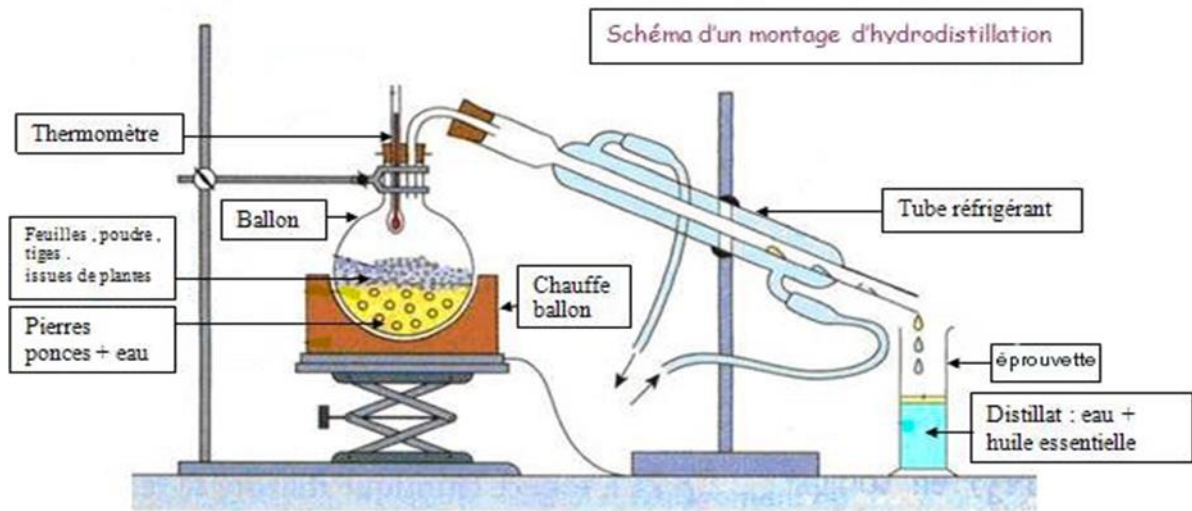


Figure 7. L'hydrodistillation d'huile essentielle <https://guy-chaumeton.pagesperso-orange.fr/2dtp02chc.htm>.

I.1.5.1.3. Expression à froid

L'expression à froid est une technique spécifique d'extraction des essences volatiles des péricarpes d'agrumes, basée sur la rupture des sacs oléifères du mésocarpe sans altération chimique. D'abord manuelle, cette méthode s'est industrialisée au début du 20^e siècle pour répondre à la demande croissante, avec des systèmes comme le FMC (Food Machinery Corporation-in-line) permettant l'extraction simultanée du jus et des essences, tout en les maintenant séparés (Ferhat *et al.*, 2016).

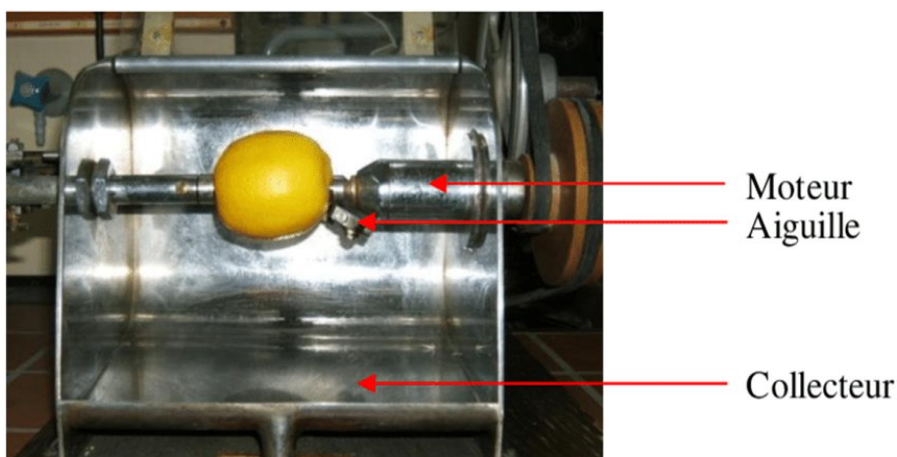


Figure 8. Expression à froid d'huile Essentielle (Chenni *et al.*, 2017).

I.1.5.2. Méthodes modernes

I.1.5.2.1. Extraction par solvant organique

L'extraction par solvants repose sur l'utilisation de substances comme l'hexane, le cyclohexane ou l'éthanol, choisis pour leur stabilité et leur faible température d'ébullition (**Hubert., 1992**). Réalisée généralement avec un appareil de Soxhlet, cette méthode permet d'obtenir des extraits riches en composés volatils et non volatils. Selon le solvant utilisé, on peut obtenir divers types d'extraits tels que les hydrolysats, alcoolats, teintures, résinoïdes et concrètes (**Hernandez Ochoa., 2005**). Le procédé classique consiste à faire circuler un solvant à travers la matière végétale pour en extraire les composés aromatiques, suivie d'une distillation du solvant à pression atmosphérique. Bien que cette technique offre un rendement élevé et évite l'hydrolyse induite par la vapeur d'eau, elle est limitée par son coût, sa toxicité potentielle et des contraintes réglementaires (**Lucchesi., 2005**).

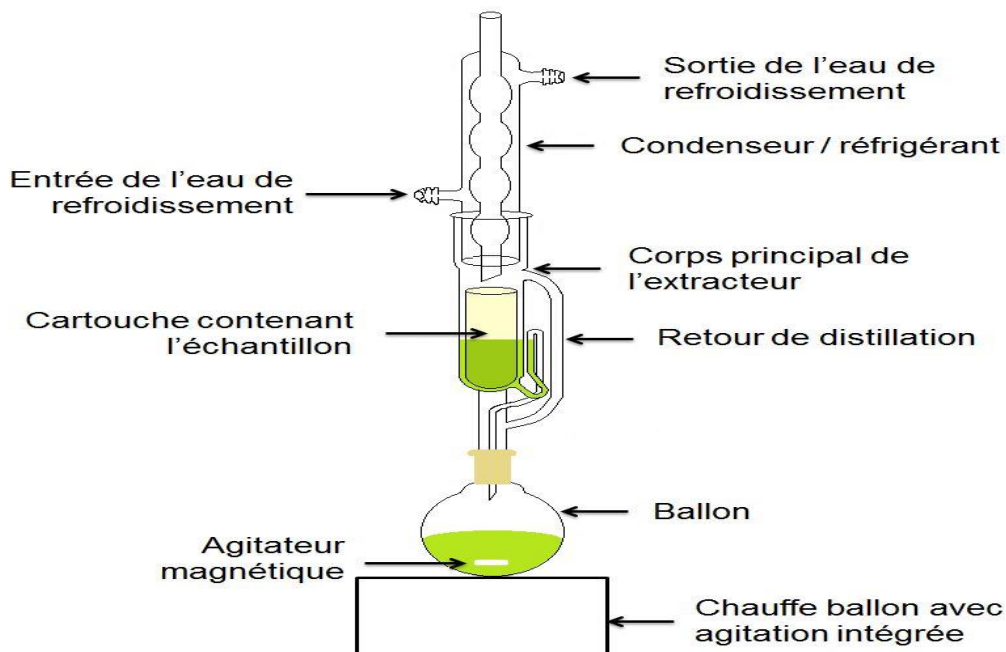


Figure 9. Extracteur de Soxhlet (Google image).

I.1.5.2.2. Extraction assistée par micro-ondes

L'extraction assistée par micro-ondes permet de réduire significativement le temps de distillation tout en augmentant le rendement, avec un faible coût initial, une faible consommation d'énergie et un impact environnemental réduit (**Olivero-Verbel et al., 2010**). La SFME (Solvent-Free Microwave Extraction) illustre cette méthode innovante, combinant chauffage par micro-ondes et distillation sèche, sans ajout de solvant. Elle repose sur l'échauffement de l'eau intracellulaire, provoquant la rupture des structures végétales et la libération des huiles essentielles (**Wang et al., 2006**). Comparée à l'hydrodistillation, la SFME offre une extraction environ neuf fois plus rapide,

une efficacité énergétique supérieure, des rendements élevés en composés oxygénés, et une meilleure qualité olfactive (**Golmakani et Rezaei., 2008**).

Le protocole repose sur trois paramètres : quantité de matière végétale, puissance micro-ondes (300–450 W/kg), le temps total d'extraction comprend deux étapes : une phase de chauffage initiale de 10 minutes, suivie d'une phase d'extraction également de 10 minutes (**Ferhat et al., 2008**). La chaleur générée au cœur des tissus végétaux par l'interaction des micro-ondes avec l'eau provoque une montée en pression et la libération des composés volatils (**Farhat., 2010**). **Lucchesi et al. (2005)** ont démontré l'efficacité de la SFME sur le basilic, la menthe et le thym, avec des huiles plus riches en composés oxygénés.

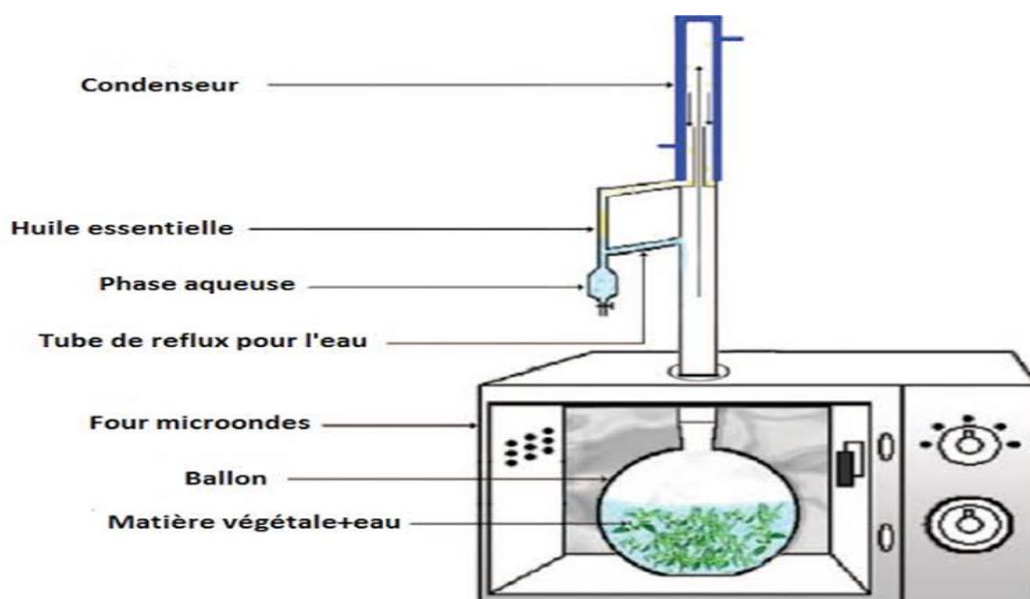


Figure 10. Extraction par micro-ondes d'Huile Essentielle (**Rostagno et Prado, 2013**).

I.1.5.2.3. Extraction par fluide supercritique

La technique d'extraction par fluide supercritique (SFE) utilise des solvants portés à l'état supercritique, caractérisé par des propriétés intermédiaires entre les phases liquide et gazeuse, ce qui leur confère un fort pouvoir de solvation. Le dioxyde de carbone (CO_2) est utilisé dans environ 90 % des cas, en raison de sa faible toxicité, de son coût modéré, de sa pureté élevée, de sa facilité d'élimination et de ses conditions critiques peu exigeantes (**Leszczynska., 2007**).

La SFE s'inscrit dans une approche de chimie verte, en réduisant l'usage de solvants organiques et en accélérant l'extraction par rapport aux méthodes classiques. Toutefois, les huiles essentielles obtenues par SFE peuvent différer qualitativement et quantitativement de celles produites par hydrodistillation (**Pereira et Meireles., 2010**).

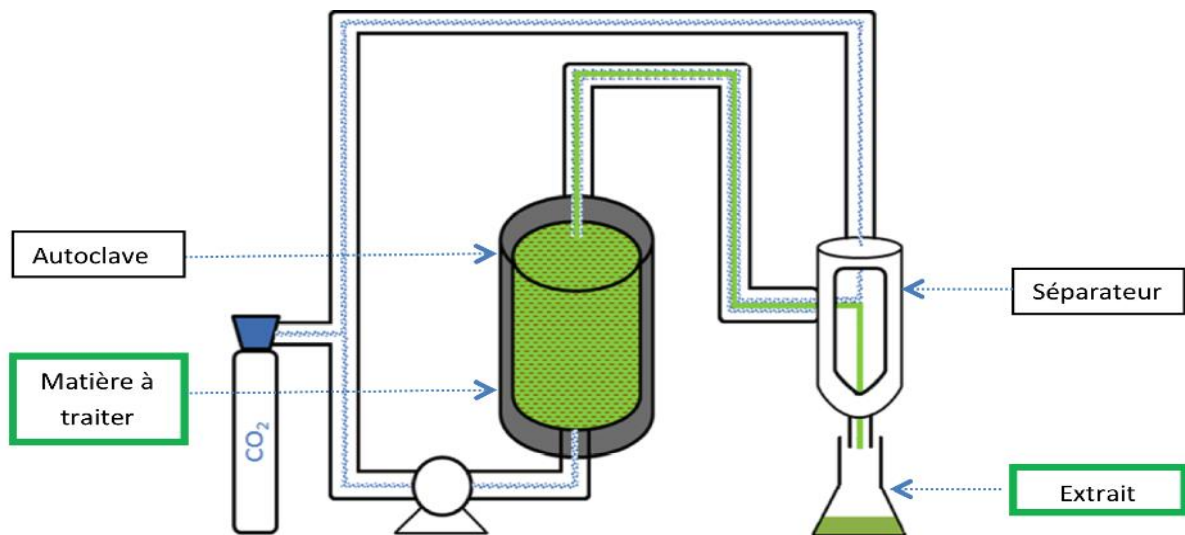


Figure 11. Extraction par CO₂ supercritique d’Huile Essentielle (Google image).

I.2. Les activités biochimiques et physiologiques des Huiles Essentielles

I.2.1. Activités biochimiques

I.2.1.1. Activité antimicrobienne

L’apparition constante de la résistance aux antibiotiques chez les micro-organismes pathogènes a conduit les chercheurs du monde entier à rechercher de nouveaux agents antimicrobiens plus efficaces. Dans cette optique, les potentiels antimicrobiens des huiles essentielles (HE) et de leurs constituants respectifs ont été largement étudiés (Aumeeruddy-Elalfi *et al.*, 2016).

I.2.1.1.1. Actions antibactériennes

Conner (1993) a découvert que les plantes telles que la cannelle, le clou de girofle, le piment de la Jamaïque, le thym, l’origan et le romarin présentaient un fort effet inhibiteur contre plusieurs agents pathogènes bactériens (Kim *et al.*, 1995).

Par exemple, la capacité antibactérienne des HE a été associée à une réduction du potentiel membranaire, à l’interruption des pompes à protons(H⁺) et à un épuisement en ATP (Turina *et al.*, 2006). De telles modifications de l’organisation cellulaire peuvent entraîner un effet en cascade, affectant ainsi d’autres organites cellulaires (Carson *et al.*, 2002). De plus, une étude menée par Cox *et al.* (1998 ; 2000) a démontré que l’huile essentielle d’arbre à thé inhibe la croissance d’*E. coli* et de *S. aureus* en modifiant la perméabilité cellulaire, en augmentant la fuite intracellulaire des ions K⁺ et en perturbant la respiration cellulaire.

De même, l'action antibactérienne de trois constituants d'HE, à savoir le thymol, le menthol et l'acétate de linalyle, contre *S. aureus* et *E. coli*, serait due à une perturbation des fractions lipidiques des membranes plasmiques bactériennes. En conséquence, la perméabilité membranaire serait altérée, entraînant la fuite de matériaux intracellulaires (**Trombetta et al., 2005**). Par ailleurs, il a été rapporté que les bactéries à Gram négatif présentent généralement une sensibilité moindre aux HE que les bactéries à Gram positif, en raison de la structure hydrophile de leur paroi cellulaire, qui entrave la perméation des composés hydrophobes à travers la membrane cellulaire (**Burt., 2004**).

I.2.1.1.2. Actions antifongiques

De nombreuses HE étudiées ont également montré de fortes propriétés antifongiques. Les extraits d'huiles essentielles de nombreuses plantes telles que le basilic, les agrumes, le fenouil, la citronnelle, l'origan, le romarin et le thym ont démontré une activité antifongique considérable contre une large gamme de pathogènes fongiques (**Kivanc et al., 1991**). Par exemple : les huiles essentielles d'origan et de thym figurent apparemment parmi les meilleurs inhibiteurs des pathogènes fongiques, en raison de la présence de composés phénoliques tels que le carvacrol et le thymol comme constituants principaux, qui pourraient perturber la membrane cellulaire des champignons. **Arora et Kaur (1999)** ont observé la sensibilité des huiles essentielles d'épices contre certains pathogènes fongiques et ont conclu que les extraits d'ail et de clou de girofle avaient une forte capacité à inhiber la croissance de *Candida acutus*, *C. albicans*, *C. apicola*, *C. catenulata*, *C. inconspicua*, *C. tropicalis*, *Rhodotorula rubra*, *Saccharomyces cerevisiae* et *Trigonopsis variabilis*.

L'HE de *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle a montré une action antifongique contre diverses espèces de *Candida* (*C. albicans*, *C. krusei*, *C. glabrata*, *C. tropicalis*, *C. parapsilosis* et *C. orthopsilosis*). Cette Huile a pu inhiber et contrôler les principaux facteurs de virulence, De plus, elle a montré une activité antifongique supérieure à celle de la citronnelle, constituant majoritaire identifié dans l'HE, probablement en raison d'effets synergiques entre les différents composants de l'HE (**De Toledo et al., 2016**).

Par ailleurs, dans l'étude de **Chen et al. (2013)**, la membrane cytoplasmique et les mitochondries ont été identifiées comme les principales cibles anti-*Candida* de l'HE de graines d'*Anethum graveolens* L. Ainsi, le traitement des cellules avec cette HE a entraîné des lésions membranaires et une réduction significative de la quantité d'ergostérol, causant des dommages à la membrane plasmique. Néanmoins, les activités des déshydrogénases mitochondriales ont été

significativement inhibées par l'HE d'*A. graveolens* via la perturbation du cycle de l'acide citrique et l'inhibition de la synthèse d'ATP dans les mitochondries. La formation d'espèces réactives de l'oxygène (ROS), résultant du dysfonctionnement mitochondrial, a également été identifiée comme l'événement clé dans la mort de *C. albicans* induite par l'HE.

Un certain nombre de composants d'HE ont également démontré des activités antifongiques remarquables, comme le thymol contre *Fusarium graminearum*, chez qui des dommages membranaires causés par la peroxydation lipidique et la perturbation de la biosynthèse de l'ergostérol (Gao et al., 2016).

I.2.1.1.3. Actions antivirales

Un virus est une petite particule (20 à 300 nm) composée uniquement de matériel génétique enveloppé de protéines et, parfois, de lipides (Böhme et al., 2013). Il infecte les cellules hôtes afin d'assurer sa propre réplication.

I.2.1.1.3.1 Expérience de type "Time-of-Addition" (temps d'ajout)

Les virus s'attachent, pénètrent et entrent dans la cellule hôte, où leur matériel génétique est répliqué, suivi de la production et de la libération de nouveaux virions (Schnitzler et al., 2010). Une action défavorable sur les cibles impliquées dans cette phase d'infection inhibe l'infectiosité virale (Figure 12). Les mécanismes d'action des huiles essentielles (HE), y compris ceux de leurs composants, contre les virus sont généralement déterminés par l'intermédiaire d'essais de type *time-of-addition*. Les cellules en culture sont préalablement traitées avec les HE pendant 1 heure avant l'infection virale (infection virale préalable).

Un résultat négatif indique que les HE n'affectent pas l'attachement viral par blocage des récepteurs cellulaires de l'hôte. Alternativement, les virus sont prétraités avec les HE pendant 1 heure, puis incubés simultanément avec les cellules hôtes (infection virale simultanée). Un résultat positif indique que les HE interfèrent avec les virions libres en modifiant la structure de leur enveloppe ou en masquant les protéines virales nécessaires à l'adsorption et à l'entrée du virus dans les cellules hôtes. Autrement, les HE sont ajoutées aux cellules infectées à différents moments du cycle d'infection virale (de la pénétration à la production de la progéniture virale) (infection virale postérieure). Cette méthode permet ainsi d'identifier le stade du cycle viral auquel les HE exercent leur activité antivirale. À ce jour, l'essai *time-of-addition* demeure la méthode la plus largement utilisée pour évaluer les propriétés inhibitrices intracellulaires et extracellulaires des HE. Dans l'ensemble, les HE et leurs composants agissent principalement de manière directe sur les virus libres (mode d'action extracellulaire). Plusieurs autres modes d'action existent également, lesquels peuvent dépendre du type d'HE.

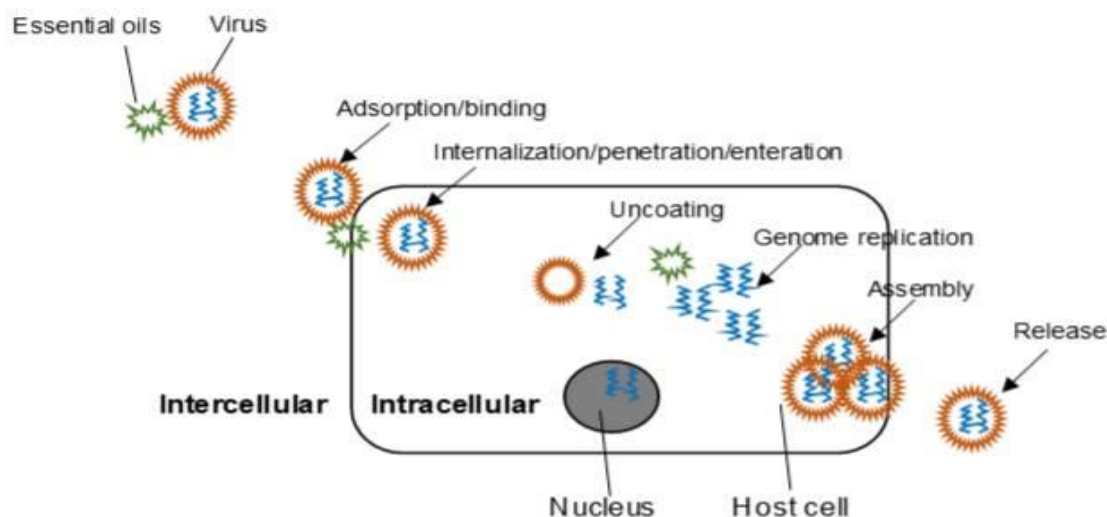


Figure 12. Ciblage possible des Huiles Essentielles pendant le cycle de vie viral (Li et Lei., 2020).

I.2.1.1.3.2. Altérations morphologiques

Le recours à un seul test ne fournit que des informations non spécifiques sur les mécanismes d'action. Par exemple, l'expérience de type *time-of-addition* ne permet pas de déterminer si les huiles essentielles (HE) influencent l'adsorption virale en détruisant ou en masquant le virus. Heureusement, la microscopie électronique en transmission (MET) a été utilisée pour visualiser les modifications structurales du virus. À l'aide de cette technique, Gilling et al. ont observé que le norovirus murin (virus non enveloppé) exposé à 4 % d'huile essentielle d'origan augmentait de taille, passant de 20–35 nm à 40–75 nm de diamètre, tout en conservant une morphologie intacte (Gilling et al., 2014). En revanche, un traitement avec 0,5 % de carvacrol entraînait une expansion du norovirus murin jusqu'à ~900 nm de diamètre, provoquant la désintégration de la capsid. Chez les virus non enveloppés, la capsid protège l'ARN viral contre la dégradation et permet l'initiation de l'infection par adsorption aux cellules hôtes (Cliver., 2009). Toutefois, même si la capsid du norovirus murin était partiellement dégradée, le virus pouvait rester infectieux, comme l'a montré le test de protection par RNase I, qui n'a révélé aucune réduction significative de l'ARN viral. Ces résultats suggèrent que le carvacrol interfère avec l'adsorption du virus aux cellules hôtes en se liant ou en masquant la capsid, plutôt qu'en causant des dommages structurels directs au virus.

I.2.1.1.3.3. Inhibition des protéines

L'hémagglutinine (HA), une protéine membranaire essentielle du virus de la grippe (IFV), permet au virus de pénétrer dans la cellule hôte et d'en sortir (Vimalanathan et Hudson., 2014). La HA peut provoquer l'agglutination des globules rouges, ce qui justifie l'usage courant du test d'inhibition de l'hémagglutination pour évaluer l'effet des huiles essentielles (HE) sur l'adsorption virale aux cellules hôtes. L'absence d'agglutination indique une inhibition de l'activité de la HA.

La neuraminidase (NA), autre protéine de surface importante dans l'infection initiale par l'IFV, est également ciblée par des médicaments synthétiques comme le zanamivir et l'oseltamivir. Globalement, les HE semblent agir préférentiellement sur la HA plutôt que sur la NA, bien que cela dépende du type d'HE ou de composé actif. Par exemple, l'HE de feuilles de cèdre inhibe fortement la HA du virus de la grippe, alors que deux de ses principaux composants, la thuyone et l' α -pinène, ne présentent pas cet effet (**Vimalanathan et Hudson., 2013**), les mécanismes spécifiques sous-jacents restant encore inconnus.

La protéine Tat (*trans-activator of transcription*) est essentielle à la transcription du VIH. Elle interagit avec l'ARN TAR (*trans-activation-responsive region*), interaction indispensable à la réplication du VIH-1. Le complexe Tat/ARN-TAR constitue donc une cible potentielle pour les inhibiteurs du VIH-1. Feriotto et al. ont analysé ce complexe traité par des HE à l'aide d'une électrophorèse sur gel et ont constaté que les HE de *Thymus vulgaris*, *Cymbopogon citratus* et *Rosmarinus officinalis* interagissaient directement avec la protéine Tat, déstabilisant ainsi le complexe Tat/ARN-TAR (**Feriotto et al., 2018**).

Dans une étude *in silico*, **Pajaro-Castro et al.** ont calculé les scores d'affinité de composants issus d'HE envers les protéines du virus de la dengue, puis identifié leurs interactions. Les résultats ont montré que la majorité des composants inhibaient le virus de la dengue en se liant à des domaines non polaires des protéines virales via des interactions hydrophobes (**Pajaro-Castro et al., 2015**). Des études *in silico* menées par Sharma et Kaur ont montré que le 1,8-cinéole, présent dans l'HE d'eucalyptus, se liait efficacement à la protéinase du SARS-CoV-2 via des interactions hydrophobes, des liaisons hydrogène et des interactions ioniques (**Sharma et Kaur., 2020**). L'isothymol, extrait de l'HE d'*Ammoides verticillata* (Desf.) Briq., a été identifié comme un bon inhibiteur de l'enzyme de conversion de l'angiotensine 2 (ACE2), récepteur du SARS-CoV-2, par liaison Pi-H (**Abdelli et al., 2020**). Toutefois, la généralisation de ces interactions à d'autres virus et HE, ainsi que l'influence de la polarité des composants des HE sur leur efficacité antivirale, restent à clarifier.

I.2.1.1.3.4. Autres mécanismes d'action

Au cours du processus d'infection, l'étape de décapsidation du virus de la grippe (IFV) nécessite un environnement endosomal et lysosomal acide (**Guinea et Carrasco., 2010**). L'étude des modifications du pH endosomal/lysosomal induites par l'application d'huiles essentielles (HE) permet d'évaluer leur effet sur les premières étapes du cycle de réplication virale. Par exemple, Garozzo et al. ont rapporté que l'HE de tea tree ainsi que son principal composant, le terpinen-4-ol, inhibaient la réplication virale en perturbant l'acidification du compartiment intralysosomal, essentielle à la décapsidation du virus (**Garozzo et al., 2011**).

Il est également établi que l'infection virale entraîne une déplétion intracellulaire du glutathion, accompagnée d'un changement du statut rédox. Certains composants dérivés des HE, comme l'oxyde de pipériténone, pourraient inhiber les phases tardives du cycle de vie du HSV-1 en ciblant les voies de signalisation rédox (**Civitelli et al., 2014**). De plus, des approches génétiques ont révélé que les HE peuvent également cibler des sites liés au génome viral (**Mori et al., 2016**). En fonction du type de virus, les mécanismes d'action peuvent varier selon l'HE utilisée (**Ralambondrainy et al., 2018**), probablement en raison des différences de composition chimique entre les HE (**Tableau 1**).

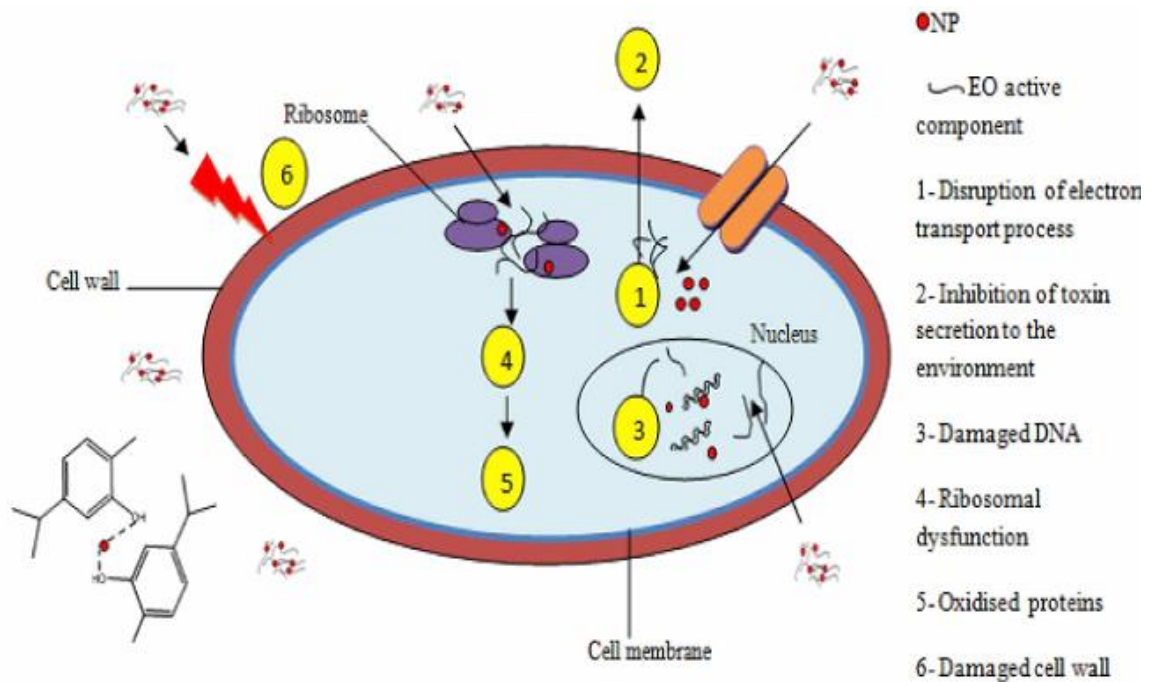


Figure 13. Modes d'action synergiques des NPs et des composés des huiles essentielles (**Sharmeen Jugreet.,2020**).

Tableau 1. Effet des huiles essentielles extraites de plantes médicinales sur les microorganismes pathogènes (Akthar et al., 2014).

Plant	Part used	Chemical compounds	Inhibited Microorganisms	References
<i>Cymbopogon citrates</i>	Fruit	Ethanolic compounds	<i>Enterobacteriaceae</i> , <i>S. aureus</i>	Grohs and Kunz, 2000
<i>Allium sativum</i>	Bulb	Isothiocynate	<i>Enterobacteriaceae</i> , <i>Candida</i> spp.	
<i>Thymus vulgaris</i>	Arial part	Thymol, Linalol, Carvacrol	<i>L. monocytogens</i> , <i>E. coli</i> , <i>S. typhimirium</i> , <i>S. aureus</i>	Lambert et al., 2001
<i>Pimpinella anisum</i>	Seed	Trans-anethole	<i>S. typhimirium</i> , <i>E. coli</i>	Elgayyar et al., 2001
<i>Origanum vulgare</i>	Arial part	Carvacrol, Thymol, γ -Terpinene	<i>L. monocytogens</i> , <i>E. coli</i> , Adeno virus, Polio virus	Ultee and Smid, 2001
<i>Feoniculum vulgare</i>	Seed	Trans-anethole	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Fusarium oxysporium</i> , <i>Aspergillus flavus</i>	Hammer et al., 2002
<i>Cinnamomum zelanicum</i>	Bark	Cinnamaldehyde	<i>Enterobacteriaceae</i>	Hood et al., 2003
<i>Amomum kerervanh</i>	Seed	Ethanolic compounds	<i>Enterobacteriaceae</i>	Burt, 2004
<i>Syzygium aromaticum</i>	Flower bud	Eugenol, Eugenylacetate	<i>Eneriobactericae</i> , <i>A. fumigatus</i> , <i>Candida</i> spp., Adeno virus, Polio virus	Lanciotti et al., 2004
<i>Zingiber officinale</i>	Rhizomes	Ethanolic compounds	<i>Enterobacteriaceae</i>	
<i>Artemisa arborescens</i>	Leaves	β -Triketone	<i>Herpes simplex virus</i>	Sinico et al., 2005
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Flower	Benzaylacetate, Linalool, α -pipene	<i>E.coli</i> , <i>S. typhimurm</i> , <i>B. cerus</i> , <i>S. aureus</i>	Oussalah et al., 2006
<i>Thymus vulgaris</i> , <i>Mentha piperita</i>	Arial part	1,8- Cineole, Eugenel	<i>S. aureus</i> , <i>S. typhimirium</i> <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Sokovic et al., 2009
<i>Salvia officinalis</i>	Arial part	1,8-Cineole-caphure, α -pipene	<i>S. aureus</i> , <i>E. coli</i>	Mulyaningsih et al., 2010
<i>Verbana officinalis</i>	Arial part	Borneol, Geranoil	<i>S. aureus</i> , <i>E. coli</i> , <i>S. typhimirium</i> , <i>L. monocytogens</i>	Shan et al., 2011

I.2.1.2. Activité antioxydante

Les antioxydants sont des composés capables de ralentir ou de retarder l'oxydation d'un matériau oxydable. Dans les systèmes biologiques, les matériaux à protéger sont le plus souvent les lipides,

les protéines, les glucides, et dans une moindre mesure, d'autres molécules organiques qui composent les tissus animaux ou végétaux (**Valgimigli et Pratt.,2012**).

L'activité antioxydante est l'un des sujets les plus intensivement étudiés dans la recherche sur les huiles essentielles, car l'oxydation endommage diverses substances biologiques et provoque par la suite de nombreuses maladies, notamment le cancer, les maladies du foie, la maladie d'Alzheimer, le vieillissement, l'arthrite, l'inflammation, le diabète, la maladie de Parkinson, l'athérosclérose et le SIDA (**Sepulveda et Watson., 2002**). Récemment, diverses études ont montré que les huiles essentielles sont des sources idéales d'antioxydants naturels (**Stadler et al., 1995**). Chez les eucaryotes, les radicaux hydroxyles (OH), très dommageables pour l'ADN mitochondrial, sont produits par les anions superoxydes (O_2^-) et le peroxyde d'hydrogène(H_2O_2) (**Figure 14**). L'ADN mitochondrial endommagé inhibe l'expression des protéines de la chaîne de transport des électrons, ce qui entraîne une accumulation d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) (**Van Houten et al., 2006**). Les radicaux libres générés par la membrane mitochondriale endommagée, lorsqu'ils sont combinés avec des huiles essentielles, produisent des radicaux phénoxy réactifs qui se combinent à leur tour avec les ROS et préviennent ainsi des dommages supplémentaires (**Azmi et al., 2006**).

L'huile essentielle de thym a montré le plus fort effet antioxydant, suivie par les feuilles de girofle, les feuilles de cannelle, le basilic, l'eucalyptus et la camomille (**Wei et Shibamoto., 2010**). L'huile essentielle de *Thymus spathulifolius* possédait aussi une activité antioxydante en raison de sa teneur élevée en thymol (36,5 %) et en carvacrol (29,8 %) (**Sokmen et al., 2004**). L'huile essentielle de soie de maïs égyptienne a montré une forte activité antioxydante, attribuée à sa teneur élevée en thymol (20,5 %) et en carvacrol (58,1 %) (**El-Ghorab et al., 2007**). Tepe et al. (2004) ont rapporté que les huiles essentielles de *Salvia cryptantha* et *Salvia multicaulis* présentent une activité antioxydante plus élevée que celle de l'acide ascorbique ou du BHT (butylhydroxytoluène) (**Tepe et al., 2004**). En outre, l'huile essentielle de *Curcuma zedoaria* s'est révélée être un excellent piègeur de radicaux libres (**Mau et al., 2004**). De nombreux composants aromatiques des huiles essentielles (**Wei et Shibamoto., 2010**), tels que les terpènes et les terpénoïdes, contribueraient à leur activité antioxydante.

Les activités des phénols monoterpéniques tels que le thymol et le carvacrol, qui sont des composés actifs des HE, ont été associées à leurs structures phénoliques et à leurs propriétés rédox, qui jouent un rôle fondamental dans la décomposition des peroxydes et la neutralisation des radicaux libres (**Burt., 2004**).

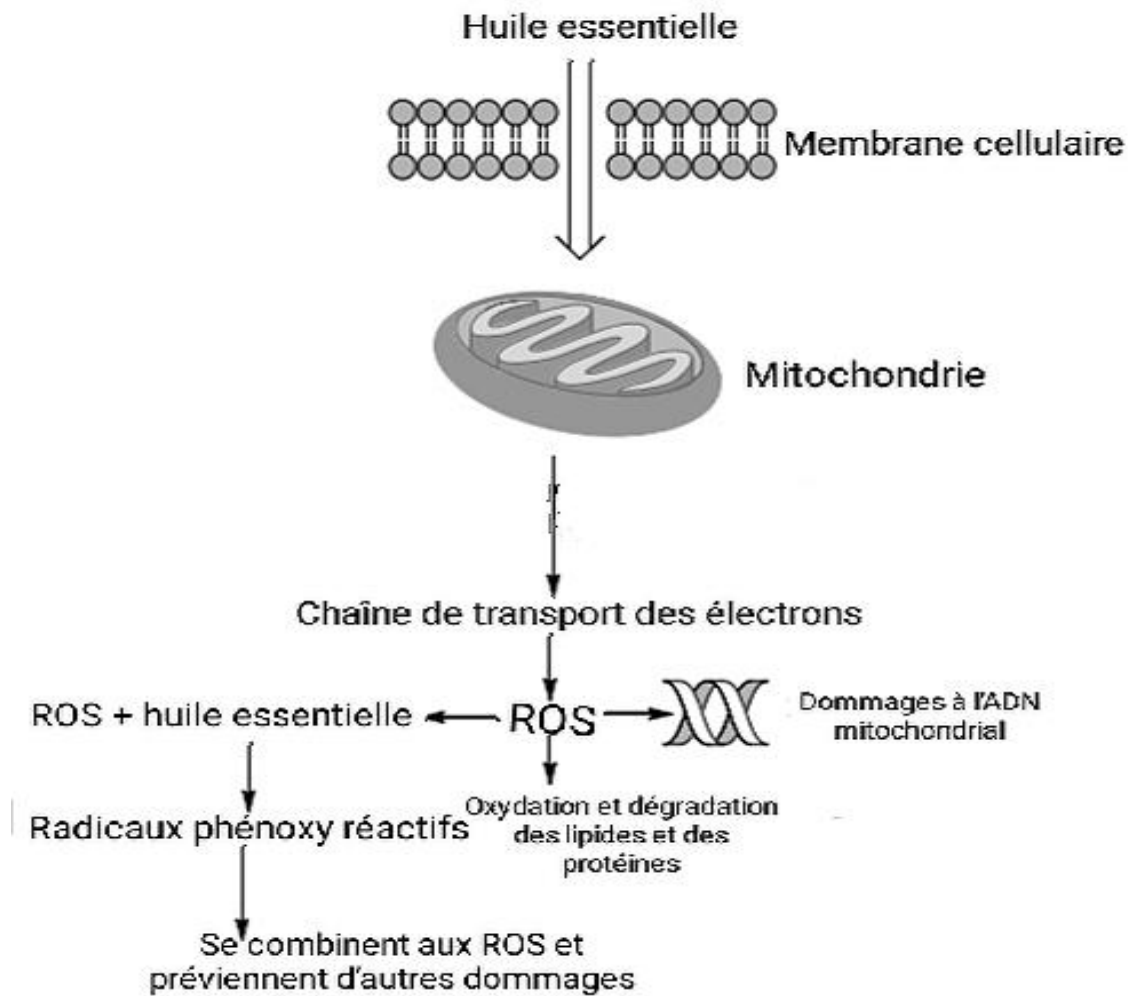


Figure 14. Mécanisme antioxydant des huiles essentielles (Yashika et al., 2013) (Modifiée)

I.2.1.3. Activité anti-Inflammatoire

L'inflammation est une réponse protectrice normale induite par une lésion tissulaire ou une infection. Elle a pour fonction de lutter contre les envahisseurs présents dans l'organisme (micro-organismes et cellules étrangères) et d'éliminer les cellules hôtes mortes ou endommagées (Stevenson et Hurst., 2007).

La réponse inflammatoire se caractérise par une augmentation de la perméabilité des cellules endothéliales, un afflux de leucocytes sanguins dans l'interstitium, une poussée oxydative (ou burst oxydatif), ainsi qu'une libération de cytokines [notamment les interleukines et le facteur de nécrose tumorale α (TNF- α)]. Parallèlement, on observe également une induction de l'activité de plusieurs enzymes (oxygénases, synthases de l'oxyde nitrique, peroxydases), ainsi qu'une activation du métabolisme de l'acide arachidonique. Ce processus s'accompagne également de l'expression de molécules d'adhésion cellulaire, telles que la molécule d'adhésion intercellulaire (ICAM) et la molécule d'adhésion des cellules vasculaires (VCAM) (Gomes et al., 2008).

Outre leur capacité à neutraliser les radicaux libres, certaines huiles essentielles ont également démontré une activité anti-Inflammatoire. Ces huiles ont démontré cliniquement une efficacité dans le traitement des maladies inflammatoires telles que les allergies, le rhumatisme ou l'arthrite. Par exemple, l'application cutanée de plusieurs HE, en particulier celle de géranium, a permis de supprimer les symptômes inflammatoires liés à l'accumulation de neutrophiles et à l'œdème.

L'huile essentielle de camomille est utilisée depuis des siècles pour ses propriétés anti-inflammatoires, notamment dans le traitement des symptômes associés à l'eczéma, à la dermatite et à d'autres formes d'irritation cutanée prononcée (**Kamatou et al., 2010**). D'autres huiles essentielles telles que celles d'eucalyptus, de romarin, de lavande ou de millefeuille, ainsi que certaines plantes comme le pin, le clou de girofle et la myrrhe, ont également été utilisées dans des formulations mixtes à des fins anti-inflammatoires (**Darsham et al., 2004**).

De plus, l'HE de *C. nardus* a montré une capacité à inhiber la libération de médiateurs (sérotonine et histamine) lors de la phase initiale de l'inflammation. Des huiles essentielles de menthe verte, de géranium et de citronnelle, inhibent la réaction d'adhésion des neutrophiles humains activés par le facteur de nécrose tumorale- α (TNF- α) à de faibles concentrations. Le cinnamaldéhyde et le linalol constituaient les principaux composés actifs responsables des effets anti-inflammatoires de l'huile essentielle des feuilles de *Cinnamomum osmophloeum Kanei*, elle a été attribué à l'inhibition de l'expression de molécules impliquées dans les voies de signalisation TLR4 et NLRP3 (**Sharmeen Jugreet.,2020**).

L'activité anti-inflammatoire des huiles essentielles pourrait être attribuée non seulement à leurs propriétés antioxydantes, mais aussi à leurs interactions avec les cascades de signalisation impliquant les cytokines et les facteurs de transcription régulateurs, ainsi qu'à leur influence sur l'expression des gènes pro-inflammatoires.

I.2.1.4. Activité anticancéreuse

La plupart des huiles essentielles (HE) ont été initialement identifiées et utilisées pour le traitement des maladies inflammatoires et oxydatives. Il est apparu que ces HE pourraient également présenter des effets anticancéreux, en raison du lien existant entre la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS), l'oxydation, l'inflammation et l'apparition de cancers (**Jackson et al., 2001**). Le stress oxydatif pouvait agir comme un agent endommageant l'ADN, augmentant ainsi le taux de mutations cellulaires et favorisant la transformation oncogénique. De plus, les ROS pourraient également activer spécifiquement certaines voies de signalisation, contribuant ainsi au développement tumoral via la régulation de la prolifération cellulaire, de

l'angiogenèse et de la métastase (**Storz., 2005**). Par conséquent, l'inflammation chronique a été associée à différentes étapes de la cancérogenèse, telles que la transformation cellulaire, la survie, la prolifération, l'invasion, l'angiogenèse et la métastase (**Mantovani., 2005**).

Les huiles essentielles (HE) et leurs composés actifs ont également été testés pour leurs activités suppressives du cancer sur plusieurs lignées cellulaires cancéreuses dans divers modèles expérimentaux. Parmi ces composés, un alcool sesquiterpénique présent dans les HE de camomille et d'autres plantes, à savoir l' α -bisabolol, s'est révélé être un puissant inducteur d'apoptose chez les cellules malignes du gliome humain. De plus, la dissipation du potentiel de membrane interne mitochondriale, ainsi que la libération du cytochrome C à partir des mitochondries dans ces cellules de gliome, ont indiqué que l'apoptose s'était produite par la voie intrinsèque. Par ailleurs, il a été démontré que l' α -bisabolol est non toxique, puisque la viabilité des cellules gliales (aussi appelées névroglie, sont des cellules du système nerveux qui entourent les neurones) normales n'a pas été affectée (**Cavaliere et al., 2004**). En outre, l'huile essentielle de *Thymus bovei Benth*, présentait une cytotoxicité significative contre l'adénocarcinome pulmonaire (A-549 C5), le cancer du côlon (LS-174-D3), et le carcinome cervical humain (HeLa R2) (**Hassan et al.,2018**).

Par ailleurs, les propriétés antitumorales du camphène, extrait de l'huile essentielle de *Piper cernuum*, sur des cellules de mélanome, Il a été démontré que ce composé induit l'apoptose par la voie intrinsèque dans les cellules de mélanome, principalement en provoquant un stress du réticulum endoplasmique, accompagné de la libération de Ca^{2+} , de HmgB1 et de calréticuline, d'une perte du potentiel de membrane mitochondriale, ainsi que d'une augmentation de l'activité de la caspase-3. Fait important, le camphène a montré une activité antitumorale en inhibant la croissance tumorale sous-cutanée de cellules de mélanome hautement agressives (**Girola et al.,2015**).

De plus, le mécanisme d'action du carvacrol, un monoterpène phénolique riche dans les HE d'origan et de thym. Il a été observé que le carvacrol induisait l'apoptose par perméabilisation de la membrane mitochondriale dans la lignée de cellules cancéreuses du sein d'origine métastatique (MDA-MB-231), provoquant la libération du cytochrome C, l'induction des caspases par clivage de la poly (ADP-ribose) polymérase (PARP), et la fragmentation de l'ADN (**Arunasree.,2010**). Par ailleurs, plusieurs composants d'HE associés à des médicaments de chimiothérapie se sont révélés avoir une cytotoxicité améliorée sur diverses lignées cellulaires cancéreuses. Par exemple, il a été démontré que le D-limonène potentialisait l'action antitumorale du docétaxel contre les cellules de carcinome prostatique humain (DU-145), sans être toxique pour les cellules épithéliales prostatiques normales. De plus, l'exposition des cellules DU-145 au traitement combiné D-limonène et docétaxel a conduit à une génération accrue d'espèces réactives de l'oxygène (ROS),

à une déplétion du glutathion, ainsi qu'à une augmentation de l'activité des caspases, comparativement au docétaxel seul (**Rabi et Bishayee., 2009**).

I.2.1.5. Activité antidiabétique

Il est bien établi que les plantes constituent une source riche en métabolites secondaires, notamment les flavonoïdes, les terpènes, les alcaloïdes et les coumarines, qui sont utiles pour le développement de nouveaux médicaments ou le traitement de maladies telles que le diabète et ses complications (**Singh et al., 2013**). Des traitements à base de plantes ont été utilisés chez des patients atteints de diabète insulino-dépendant et non insulino-dépendant, ainsi que dans des affections telles que la rétinopathie diabétique et la neuropathie diabétique (**Bnouham et al., 2006**).

Les flavonoïdes sont des composés polyphénoliques connus pour leur forte activité antioxydante. Des études ont également démontré les activités hypoglycémiantes des flavonoïdes, exercées par la prévention du stress oxydatif au niveau des cellules β -pancréatiques (**Sefi et al., 2010**).

Les terpènes ont la structure chimique de base est la molécule d'isoprène. Certains diterpènes, triterpènes et sesquiterpènes agissent en stimulant la libération d'insuline et en réduisant le stress oxydatif (**Afolayan et Sunmonu., 2011**), ce qui conduit à la normalisation de la glycémie. Également dotées d'une activité hypolipidémiant (Eliza et al., 2009), ces substances peuvent s'avérer bénéfiques dans le contrôle et le traitement du diabète.

Les coumarines sont des métabolites secondaires présents dans les plantes. Elles appartiennent à une classe de composants végétaux possédant de multiples activités biologiques, incluant des effets antioxydants, une modulation de la croissance et la prévention des maladies (**Thome et al., 2012**).

Les alcaloïdes exercent des effets antidiabétiques en stimulant la sécrétion d'insuline et en augmentant l'absorption du glucose sanguin dans les tissus périphériques ; ils pourraient également prévenir des complications du diabète telles que les lésions neuronales et rénales (**Yankuzo et al., 2011**).

En outre, le menthol, un monoterpène alimentaire naturel présent en tant que composant majeur de l'huile de *Mentha piperita* L., a été reconnu pour ses divers effets bénéfiques, notamment ses propriétés antidiabétiques (**Sharmeen.,2020**).

Les composés phénoliques d'origine végétale jouent un rôle important dans la prévention des complications du diabète, en réduisant la formation d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) et en protégeant la fonction rénale (**Soman et al., 2010**).

Par exemple, l'huile essentielle de *Pelargonium graveolens* L'Hér. Était efficace pour exercer un effet hypoglycémiant, réduire l'activité de peroxydation lipidique et améliorer le système de défense antioxydant. Par conséquent, l'huile essentielle de *P. graveolens* pourrait être utile dans la prévention des complications du diabète liées au stress oxydatif, suggérant ainsi qu'elle pourrait constituer une alternative plus sûre aux médicaments antihyperglycémiant classiques (**Boukhris et al., 2012**). Par ailleurs, l'huile essentielle des feuilles de *Melissa officinalis* L. réduisait de manière significative la glycémie plasmatique, en plus d'améliorer la tolérance au glucose. Ainsi qu'est un agent hypoglycémiant efficace à faibles doses, probablement en raison d'une absorption accrue du glucose et d'un métabolisme intensifié dans les tissus adipeux et le foie, ainsi que d'une inhibition de la gluconéogenèse hépatique (**Chung et al., 2010**)

I.2.1.5.1. L'effet des Huiles Essentielles sur le diabète influencé par les médiateurs inflammatoires :

Le diabète de type 2 (DT2) est un syndrome métabolique complexe caractérisé par un dysfonctionnement des cellules β pancréatiques, résultant d'une interaction entre des facteurs génétiques et environnementaux. La résistance à l'insuline, médiée par des interleukines et d'autres éléments inflammatoires, constitue l'un des principaux facteurs contribuant à la progression du DT2. De nombreuses huiles essentielles issues de plantes alimentaires présentent des effets bénéfiques contre diverses maladies chroniques.

Les composés d'huiles essentielles tels que la cinnamaldéhyde, le carvacrol, le zingérone, le sclaréol, le zérombone, le myrténol, la thuyone, le géraniol, le citral, l'eugénol, la thymoquinone, le thymol, le citronellol, l' α -terpinéol et le linalol démontrent de puissants effets antidiabétiques en modulant diverses voies de transduction du signal impliquées dans le métabolisme du glucose. Par ailleurs, ces composés permettent également de réduire de manière significative l'expression de TNF- α , IL-1 β , IL-4, IL-6, iNOS et COX-2. Les principales molécules de signalisation régulées par ces composés comprennent : AMPK, GLUT4, Caspase-3, PPAR γ , PPAR α , NF- κ B, p-I κ B α , MyD88, MCP-1, SREBP-1c, AGEs, RAGE, VEGF, Nrf2/HO-1 et SIRT-1.

Les composés d'huiles essentielles dérivés de plantes alimentaires possèdent un potentiel antidiabétique en influençant différentes voies de signalisation et cibles moléculaires liées au métabolisme du glucose, et pourraient s'avérer sûrs et bénéfiques contre le diabète et ses complications associées (**Gopalsamy et al., 2024**).

I.2.1.5.2. Impact des Huiles Essentielles sur le stress oxydatif et les enzymes dans le diabète sucré

Le stress oxydatif est impliqué dans le développement des deux types de diabète sucré (types 1 et 2), les traitements capables de réduire ce stress pourraient être utiles dans la gestion de cette maladie (**Abdollahi et al.,2013**).

L'augmentation des niveaux de radicaux libres inhibe les facteurs de transcription nucléaires qui régulent l'expression du gène de l'insuline (INS), tels que le facteur de transcription pancréatique et duodéal 1 (Pdx-1), un activateur du promoteur de l'INS, et le facteur de transcription V-maf musculoaponeurotic fibrosarcoma oncogene homolog A (MafA), réduisant ainsi la production d'INS au niveau de l'ARN messager (ARNm) (**Robertson.,2006**).

Le stress oxydatif compromet la fonction des cellules bêta via divers processus moléculaires. Cela entraîne une diminution significative de la production d'INS, altère l'incorporation des vésicules de proINS dans la membrane plasmique, et réduit leur exocytose en réponse à la présence de glucose dans la circulation. Il peut également induire des processus apoptotiques dans les cellules pancréatiques, conduisant à la mort des cellules bêta (**Yaribeygi et al.,2020**). Des voies moléculaires telles que la kinase activée par le stress/protéine c-Jun amino-terminal kinase (SAPK/JNK), le facteur nucléaire kappa B (NF-κB), les voies hexosamine, et la kinase prt38 MAPK (protéine kinase activée par les mitogènes) ont été identifiées comme activées par le stress oxydatif. Le dysfonctionnement des cellules bêta est fortement influencé par ces voies de signalisation activées par le stress (**Wang et Wang.,2017**).

Un signal transducteur de l'insuline (IST) altéré est causé par la phosphorylation sur la sérine des substrats du récepteur de l'insuline IRS-1 et IRS-2, due au stress oxydatif (**Paz et al.,1997**). En activant les voies de signalisation SAPK/JNK, les radicaux libres peuvent entraîner la phosphorylation de l'IRS-1 à la position 307 et réduire ainsi le signal transducteur normal. De plus, ils peuvent inhiber la transduction normale via les voies moléculaires dépendantes de la prt38 MAPK ; le blocage de cette voie a permis de restaurer une IST normale (**Kim et al.,2001**). L'hyperglycémie accroît le stress oxydatif dans les deux types de diabète sucré à travers divers mécanismes métaboliques, notamment une augmentation de la glycation, de la diacylglycérol, l'auto-activation du glucose, ainsi que l'activation des voies de la protéine kinase C et du cycle des polyols. Ce mécanisme contribue au développement et aux complications du diabète, car il augmente la peroxydation lipidique en générant davantage de radicaux libres et en diminuant les enzymes antioxydantes (**Nishikawa et al.,2001**).

Les phytoconstitués des huiles essentielles (HE) agissent souvent comme antioxydants via plusieurs mécanismes : en chélatant les métaux redox-actifs, en retardant la formation de radicaux libres, ou en les éliminant afin d'améliorer les défenses antioxydantes endogènes et de réduire l'auto-oxydation (Djeridane et al.,2006). Le traitement et le contrôle de la glycémie chez les patients atteints de diabète de type 2 et de prédiabète peuvent bénéficier de l'inhibition des enzymes α -amylase et α -glucosidase, responsables de la digestion des glucides. Cela peut réduire considérablement l'augmentation de la glycémie postprandiale. De nombreux agents hypoglycémisants naturels d'origine végétale, présentant peu ou pas d'effets indésirables, peuvent être trouvés dans le monde botanique (Tundis et al.,2010).

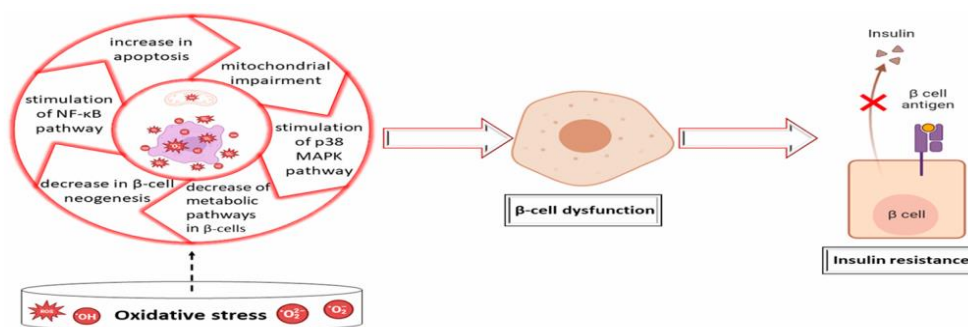


Figure 15. Processus moléculaires potentiels reliant le stress oxydatif et le dysfonctionnement des cellules bêta pouvant contribuer au développement du diabète sucré : facteur nucléaire kappa B (NF-κB) ; kinases activées par les mitogènes (MAPK). (Simona et al.,2023)

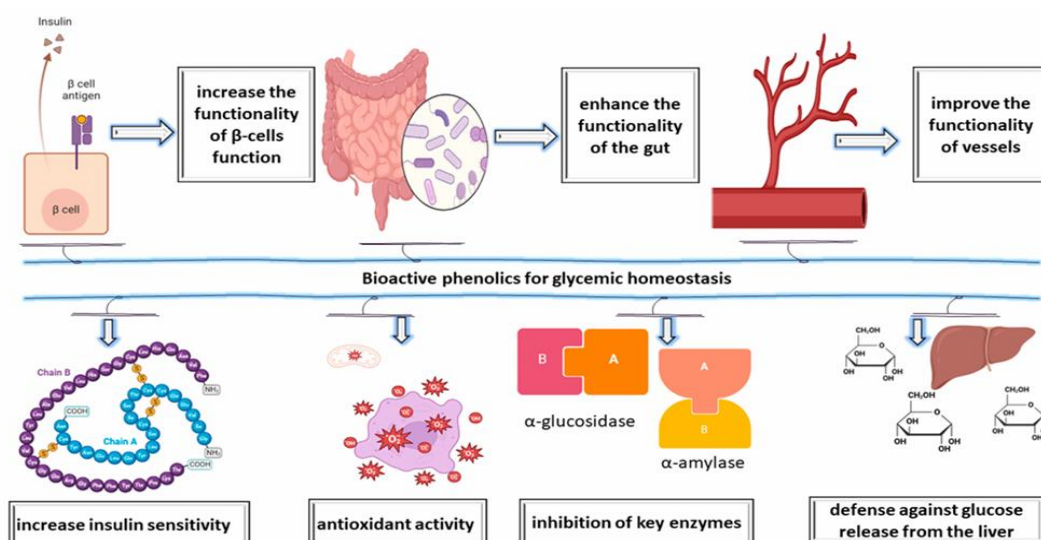


Figure 16. Révéler les bienfaits du contrôle glycémique et les propriétés fonctionnelles des composés phénoliques des plantes (Simona et al.,2023).

I.2.2. Activités physiologiques

I.2.2.1. Activité Anti-hyperpigmentation

L'enzyme tyrosinase est impliquée dans la catalyse de la formation de mélanine dans la peau humaine, ce qui conduit à une hyperpigmentation épidermique à l'origine de divers troubles dermatologiques tels que les taches de rousseur, le mélasma et les taches de vieillesse (**Kim et Uyama., 2005**). Les plantes et leurs métabolites secondaires ont été largement étudiés comme sources naturelles potentielles d'agents dépigmentants et éclaircissants pour la peau, avec un intérêt particulier pour leur potentiel anti-tyrosinase.

Les huiles essentielles (HE) végétales ont suscité une attention considérable en raison de leurs importantes propriétés anti-mélanogènes observées. Par exemple, l'huile essentielle des fleurs de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh inhibe considérablement l'activité de la tyrosinase et réduisait la synthèse de mélanine. Cette HE s'est également révélée être un piègeur intracellulaire de radicaux libres. Ainsi, la diminution de la production de mélanine était probablement due à l'inhibition de la voie de signalisation régulant l'activité de la tyrosinase ainsi qu'à la réduction des espèces réactives de l'oxygène (ROS) cellulaires, voire intracellulaires (**Huang et al.,2015**). L'huile essentielle de *Cinnamomum cassia* (L.) J. Presl et l'un de ses principaux constituants, le cinnamaldéhyde, ont été identifiés comme réduisant la teneur en mélanine et l'activité de la tyrosinase dans les cellules. En outre, ils ont contribué à la régulation négative de l'expression de la tyrosinase sans effets cytotoxiques sur des cellules de mélanome murin B16 stimulées par l'hormone α -mélanocyto-stimulante (α -MSH). Ces cellules ont également présenté une diminution des niveaux de substances réactives à l'acide thiobarbiturique (TBARS) et une restauration des activités de la catalase et du glutathion (**Chou et al., 2013**).

De même, l'effet anti-mélanogène de l'huile essentielle de menthe citronnée, ainsi que de l'un de ses principaux composés, le β -caryophyllène. Il a été constaté que cette HE diminuait, de manière dose-dépendante, le niveau de formation de mélanine dans les cellules de mélanome murin B16F10. Par ailleurs, le β -caryophyllène a permis de réduire la mélanogenèse en régulant négativement l'expression du facteur de transcription inducteur de mélanocytes (MITF), des protéines apparentées à la tyrosinase 1 et 2 (TRP-1 et TRP-2), ainsi que de la tyrosinase, contribuant ainsi à une réduction du contenu en mélanine (**Yang et al.,2015**).

I.2.2.2. Activité cardioprotectrice

Les huiles essentielles (HE) et leurs composants ont également été reconnus comme des candidats prometteurs en tant qu'agents thérapeutiques bénéfiques contre les maladies cardiovasculaires (MCV). La cinnamaldéhyde, un constituant aromatique, a été observé pour sa

capacité à réguler la contractilité vasculaire, à prévenir le développement de l'hypertension, et à éviter l'hyporéactivité aux agents vasodilatateurs (acétylcholine) ainsi que l'hyperréactivité aux agents vasoconstricteurs (KCl/Phényléphrine) dans des anneaux aortiques (**El-Bassossy et al.,2011**).

L'inhibition de l'enzyme de conversion de l'angiotensine (ECA) constitue l'une des approches les plus cruciales pour le contrôle de l'hypertension et de l'insuffisance cardiaque. L'effet inhibiteur remarquable du géraniol sur l'ECA, il a été suggéré qu'il pourrait contribuer à l'activité inhibitrice de l'HE de *Thymus. Bovei*. Le géraniol se liait à la cavité active de l'ECA via des interactions de liaison hydrogène entre le groupe hydroxyle du géraniol et le résidu d'acide aminé ASP-415. De plus, le géraniol agirait comme un inhibiteur non compétitif, en empêchant la formation du complexe enzyme-substrat, car il se lie à une cavité active différente de celle contenant le zinc (le zinc étant essentiel à l'activité catalytique de l'ECA).

Parmi d'autres exemples notables du potentiel cardioprotecteur des composants des HE figure l'effet antihypertenseur du 1,8-cinéole (un monoterpène oxygéné principal présent dans plusieurs HE). La diminution de la pression artérielle serait attribuable à la régulation de l'oxyde nitrique et du stress oxydatif (**Moon et al., 2014**).

I.2.2.3. Activité hépatoprotecteur

La capacité hépatoprotectrice des huiles essentielles (HE) a également été confirmée par une série d'études expérimentales. Par exemple, la capacité de l'huile essentielle de *Achillea biebersteinii* Afan. À améliorer les effets hépatotoxiques induits par le tétrachlorure de carbone (CCl₄). La bilirubine ainsi que plusieurs enzymes indicatrices, à savoir la phosphatase alcaline, la transaminase oxaloacétique sérique (SGOT), la gamma-glutamyl transférase (GGT) et la transaminase pyruvique sérique (SGPT), ont été utilisées pour évaluer l'hépatotoxicité. L'huile essentielle de *A. biebersteinii* a entraîné une réduction notable des niveaux élevés de ces paramètres liés à l'hépatotoxicité (**Al-Said et al.,2016**).

Les hépatocytes du groupe non traité présentaient une nécrose sévère et une dégradation des lobules hépatiques, tandis que des hépatocytes normaux ont été observés dans les groupes traités à l'huile essentielle. En outre, le niveau de malondialdéhyde (MDA) hépatique, résultant de la peroxydation lipidique, était significativement élevé chez les hépatocytes non traités, tandis que le prétraitement à l'huile essentielle entraînait une diminution significative de la concentration de MDA. Le potentiel hépatoprotecteur des huiles essentielles de deux épices couramment utilisées : *Salvia officinalis L.* et *Thymus capitatus*. L'hépatotoxicité induite par le paracétamol dans un modèle animal a été utilisée pour évaluer l'effet thérapeutique des huiles essentielles sur le foie. Une dose de 500 mg/kg de paracétamol a été administrée aux rats afin d'induire des lésions

hépatiques caractérisées par une élévation des activités de la lactate déshydrogénase (LDH) dans le sérum et le foie, ainsi qu'une diminution significative des niveaux de glutathion (GSH) dans le sang et le foie, en plus d'une réduction des activités de la superoxyde dismutase (SOD) et de la glutathion peroxydase (GPx).

Le prétraitement des rats avec les huiles essentielles (50 mg/kg par jour) pendant 15 jours, suivi de l'intoxication au paracétamol, a démontré que les huiles essentielles offraient une protection considérable contre l'augmentation induite des activités de la LDH hépatique et sérique, tout en freinant la diminution des taux de GSH. Une amélioration des activités de la GPx et de la SOD dans le foie et le sang. Ainsi, l'effet hépatoprotecteur des huiles essentielles a été attribué à leur potentiel antioxydant (**El-Banna et al., 2013**).

I.2.2.4. Activité neuroprotecteur

Les médicaments utilisés dans le traitement des troubles neurologiques sont principalement d'origine synthétique et s'accompagnent souvent d'effets secondaires sévères, y compris le développement d'une dépendance (**Bhatnagar., 2009**), ce qui suscite un intérêt croissant pour les plantes et les composés d'origine végétale. En particulier, le potentiel neuroprotecteur de diverses huiles essentielles (HE) a été reconnu (**Orhan et al., 2008**).

Plusieurs huiles essentielles, dotées d'une forte capacité antioxydante, peuvent être utilisées dans le traitement de troubles induits par les radicaux libres, notamment les maladies neurologiques et liées au vieillissement. Par exemple, l'huile essentielle de lavande a démontré un large éventail d'activités biologiques au niveau du système nerveux central (SNC), et son efficacité a été constatée dans la gestion de l'anxiété, du stress, de l'ischémie cérébrale et de la dépression. De plus, l'HE de lavande a été associée à une amélioration des fonctions cognitives et à des effets neuroprotecteurs dans la maladie d'Alzheimer, en raison de ses activités antioxydantes (**Xu et al., 2017**).

Les huiles essentielles d'*Angelica sinensis* et de *Sophora flavescens* agissent comme de puissants neuroprotecteurs. Elles renforcent les mécanismes de défense contre l'ischémie cérébrale, en augmentant notablement les processus antioxydants liés à la pathogénie des lésions, en réduisant les niveaux d'interleukine-1 β , de facteur de nécrose tumorale α (TNF- α), ainsi que le stress oxydatif. Ainsi, le cerveau a pu se rétablir de la lésion ischémique grâce à la restauration de l'homéostasie antioxydante après la reperfusion (**Li et al., 2012**). Par ailleurs, les effets de l'huile essentielle extraite des pelures de *Citrus limon* (*L.*) sur des enzymes clés liées aux affections neurodégénératives, à savoir la butyrylcholinestérase (BChE) et l'acétylcholinestérase (AChE). L'huile essentielle a montré une inhibition des activités des enzymes BChE et d'AChE, ainsi que les activités antioxydantes et anti-péroxydation lipidique, sont considérées comme des

mécanismes possibles contribuant à l'usage de cette huile essentielle dans la prévention et la gestion de la neurodégénérescence induite par le stress oxydatif (**Oboh et al.,2014**).

De même, l'activité inhibitrice des BChE et AChE de dix-neuf huiles essentielles extraites notamment de (*Anethum graveolens*, *Foeniculum vulgare*, *Melissa officinalis*, *Mentha spp.*, *Lavandula officinalis*, *Ocimum basilicum*, *Origanum spp.*, *Salvia spp.* Et *Satureja cuneifolia*), ainsi que de leurs composants individuels. La majorité des huiles essentielles présentaient une très forte activité inhibitrice (plus de 80 %) contre les deux enzymes cholinestérasiques (**Orhan et al., 2008**).

I.2.2.5. Activité antispasmodique

Les muscles lisses constituent un élément clé de la structure interne de plusieurs organes abdominaux, notamment l'estomac, l'intestin, la vessie ou l'utérus. Ils reçoivent une innervation du système nerveux autonome, mais également des stimuli autocrines ou paracrines (**Kuo et Ehrlich.,2015**). Récemment, des progrès considérables ont été réalisés pour comprendre en détail, au niveau moléculaire, la physiologie complexe de la contraction des muscles lisses. Le couplage excitation-contraction se produit lorsque les ions Ca^{2+} pénètrent dans les cellules musculaires lisses à partir de l'extérieur par l'intermédiaire des canaux calciques voltage-dépendants situés dans le sarcolemme. Ils sont également libérés à partir des réserves intracellulaires via les récepteurs de l'inositol 1,4,5-triphosphate (IP_3R), localisés sur le réticulum endoplasmique (RE) (**Sanders.,2008**). La libération de calcium à partir du RE est déclenchée par la liaison d'agonistes tels que l'acétylcholine ou l'histamine à des récepteurs couplés aux protéines G (GPCR) situés sur la membrane des cellules musculaires lisses. Ces récepteurs activent la phospholipase C (PLC), qui génère l' IP_3 . Après l'élévation de la concentration intracellulaire de calcium, les ions Ca^{2+} se lient à la calmoduline (CaM) et phosphorylent la myosine kinase à chaîne légère (MLCK), entraînant ainsi l'activation de l'appareil contractile (**Sanders et al.,2012**).

Ainsi, l'identification et la caractérisation de nombreuses cibles moléculaires impliquées dans la contraction des muscles lisses ont conduit au développement de divers médicaments capables de réduire l'hypercontractilité responsable des crampes et des coliques des organes abdominaux. Parmi les nouvelles molécules candidates, les huiles essentielles suscitent un intérêt croissant en raison de leur composition chimique complexe et de leurs multiples mécanismes pharmacologiques : inhibition des canaux calciques voltage-dépendants, modulation des canaux potassiques, antagonisme des récepteurs cholinergiques et modulation de l'adénosine monophosphate cyclique intracellulaire (AMPC) (**Figure 17**).

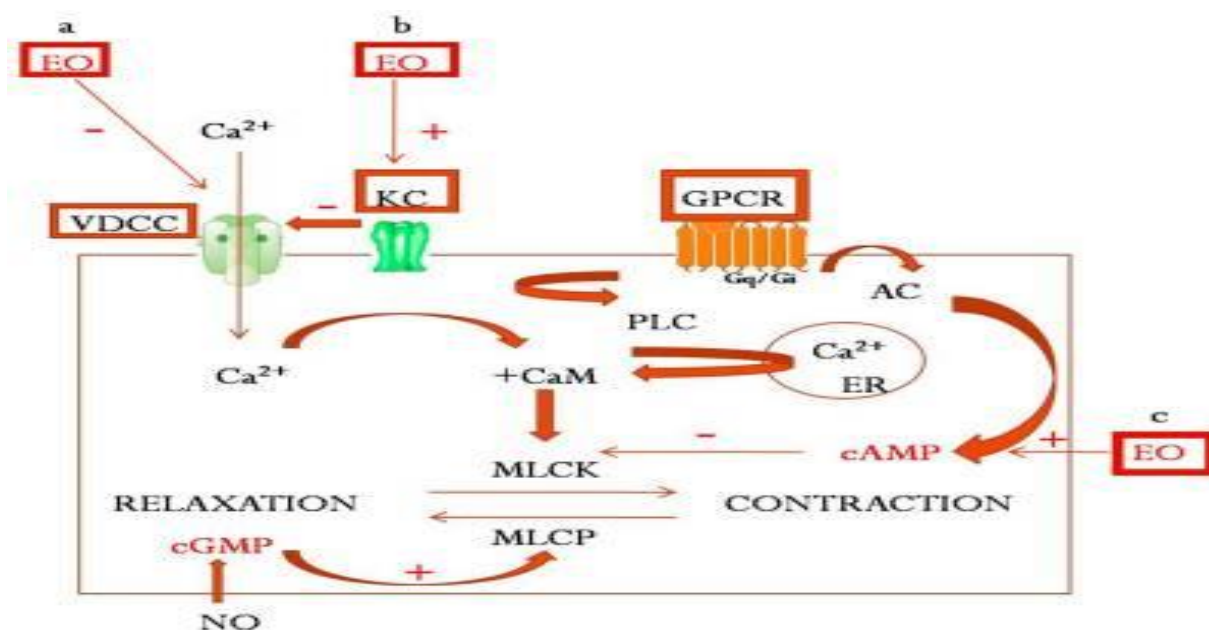


Figure 17. Principaux mécanismes de l'effet antispasmodique des huiles essentielles : **a.** inhibition des canaux calciques dépendants du voltage (VDCC) ; **b.** modulation des canaux potassiques (KC) ; **c.** modulation de l'AMPc intracellulaire. **HE** : huile essentielle (EO – essential oil). **CCDV** : canal calcique dépendant du voltage (VDCC – voltage-dependent calcium channel). **CP** : canal potassique (KC – potassium channel). **RCPG** : récepteurs couplés aux protéines G (GPCR – G-protein coupled receptors). **CaM** : calmoduline. **PLC** : phospholipase C. **AC** : adénylyl cyclase. **MLCK** : kinase des chaînes légères de la myosine. **MLCP** : phosphatase des chaînes légères de la myosine. **RE** : réticulum endoplasmique (ER – endoplasmic reticulum). **GMPC** : guanosine monophosphate cyclique (cGMP – cyclic guanosine monophosphate). **AMPc** : adénosine monophosphate cyclique (cAMP – cyclic adenosine monophosphate). **NO** : monoxyde d'azote (nitric oxide). (Simona et al.,2019).

I.2.2.5.1. Inhibition des canaux calciques voltage-dépendants

L'ouverture des canaux calciques voltage-dépendants (CCVD) est directement responsable de l'entrée de Ca^{2+} dans les cellules musculaires lisses, ce qui déclenche en partie le mécanisme contractile. Ainsi, l'inhibition des CCVD présente un fort potentiel pour induire une relaxation des muscles lisses, un mécanisme déjà exploité par plusieurs médicaments antispasmodiques tels que le pinavérium (Evangelista.,2004). Les huiles essentielles ont été étudiées pour leur effet antispasmodique, l'inhibition des canaux calciques voltage-dépendants étant le mécanisme d'action le plus fréquemment rapporté.

Les fractions organiques riches en huiles essentielles d'*Origanum majorana* exerçaient un effet spasmolytique constant sur l'iléon isolé de rat et de lapin, ce qui suggère un effet de blocage des canaux calciques (Makrane et al.,2018). Rasheed et al. ont démontré, dans une expérience sur le jéjunum isolé de lapin, que l'huile essentielle de *Rosa indica* induisait une relaxation de l'organe, avec un effet similaire à celui du vérapamil, un dérivé de la phénylalkylamine appartenant à la classe des inhibiteurs des canaux calciques (Rasheed et al., 2015). L'étude de Souza et al. a identifié le même mécanisme pour l'huile essentielle d'*Ocimum selloi*, qui a réduit les contractions de l'iléon isolé de cobaye induites par le carbachol (Souza et al., 2015). D'autres études se sont concentrées sur les composants individuels des huiles essentielles. Amato et al. ont montré que le

menthol (0,1 mM–30 mM) réduisait de manière concentration-dépendante la contractilité du muscle circulaire du côlon humain, agissant par un effet antagoniste sur les canaux calciques de type L (**Amato et al.,2014**).

Des études électrophysiologiques ont montré que le menthol était capable d'inhiber l'entrée du calcium via les canaux activés à bas voltage, tout en renforçant l'inactivation des canaux activés à haut voltage (**Oz et al.,2017**). Un autre monoterpène, le (-) -carvone, a été testé par Souza et al. Sur l'iléon de cobaye afin de déterminer le mécanisme de son effet spasmolytique ; il s'est révélé être près de 100 fois plus puissant que le vérapamil, un inhibiteur bien connu des canaux calciques, avec un mode d'action similaire (**Souza et al.,2013**). Devi et al. Ont étudié l'effet antispasmodique d'un autre terpène, le citral, principal composant de l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus*, sur l'iléon de lapin ; les résultats ont montré une réduction marquée des contractions induites par le CaCl₂, similaire à celle observée avec le vérapamil (**Devi et al.,2013**).

I.2.2.5.2. Modulation des canaux potassiques

Les canaux potassiques sont largement répartis dans les tissus humains et animaux, jouant des rôles physiologiques importants tels que la régulation du tonus des muscles lisses (**Tian et al.,2014**). De manière générale, l'activation des canaux potassiques voltage-dépendants induit une hyperpolarisation de la membrane cellulaire, entraînant une désactivation secondaire des canaux calciques et, par conséquent, une relaxation des muscles lisses. Seules quelques études ont examiné l'effet des huiles essentielles sur les canaux potassiques situés au niveau des muscles lisses des organes internes.

Mehmood et al. Ont montré qu'un extrait brut de *Matricaria chamomilla L.*, contenant des sesquiterpènes (notamment le bisabolol) et des flavonoïdes, produisait un effet antispasmodique significatif sur le jéjunum isolé de lapin. L'effet observé sur les contractions induites par une faible concentration de K⁺ a été complètement inhibé par la 4-aminopyridine, suggérant que l'activation des canaux potassiques était responsable de la relaxation du muscle lisse (**Mehmood et al.,2015**). Khan et al. Ont démontré qu'un extrait brut de *Salvia officinalis*, riche en huiles essentielles (thuyone, 1,8-cinéole, camphre, linalol), induisait une relaxation dose-dépendante du jéjunum isolé de lapin via une activation des canaux potassiques (**Khan et al.,2011**).

I.2.2.5.3. Antagonisme des récepteurs cholinergiques

Le système nerveux parasympathique joue un rôle essentiel dans la régulation de la motilité gastro-intestinale. Les récepteurs muscariniques situés directement sur les cellules musculaires

lisses peuvent induire leur contraction en réponse à l'acétylcholine, mais des récepteurs nicotiques ont également été identifiés sur les neurones du système nerveux entérique. Les recherches portant sur l'effet des huiles essentielles sur les récepteurs cholinergiques des muscles lisses sont extrêmement rares, seules quelques études ayant été publiées à ce jour.

Amato et al. ont constaté que le menthol induisait une relaxation de l'estomac isolé de souris en inhibant les récepteurs nicotiques du système nerveux entérique, réduisant ainsi la libération d'acétylcholine par les nerfs entériques (Amato et al., 2014). L'étude de Lozon et al. a examiné les effets de la vanilline, du pulégone, de l'eugénol, de la carvone, du carvacrol, du carveol, du thymol, de la thymoquinone, de la menthone et du limonène sur les récepteurs cholinergiques nicotiques humains exprimés dans des ovocytes de *Xenopus*. Le carveol a montré l'inhibition la plus puissante sur la sous-unité $\alpha 7$ du récepteur nicotinique. Les interactions moléculaires entre les composés terpéniques des huiles essentielles et les récepteurs cholinergiques nicotiques ont été étudiées par des techniques électrophysiologiques, qui ont révélé que le menthol provoquait un raccourcissement du temps d'ouverture et un allongement du temps de fermeture des canaux des récepteurs nicotiques humains $\alpha 4\beta 2$ (Lozon et al., 2016).

I.2.2.5.4. Modulation de l'adénosine monophosphate cyclique (AMPC) intracellulaire

Les principaux seconds messagers intracellulaires, l'AMPC et le GMPc, sont directement impliqués dans la relaxation du muscle lisse. L'AMPC est généré par l'adénylate cyclase, principalement suite à l'activation des récepteurs bêta-adrénergiques. Le GMPc, quant à lui, est produit par la guanylate cyclase soluble activée par l'oxyde nitrique ou d'autres médiateurs. L'AMPC et le GMPc activent respectivement les protéines kinases PKA et PKG, qui peuvent induire une relaxation des muscles lisses soit en favorisant l'expulsion du calcium hors de la cellule, soit en activant la myosine phosphatase (MLCP), laquelle inhibe la kinase des chaînes légères de la myosine (MLCK). Les concentrations d'AMPC et de GMPc sont considérablement réduites par l'action des phosphodiésterases (PDE), enzymes responsables de leur dégradation en métabolites inactifs (Kuo et Ehrlich., 2015).

De nombreuses études ont exploré les effets des huiles essentielles sur les mécanismes intracellulaires de la relaxation du muscle lisse. Une étude de Sandor et al. a examiné les effets de l'huile essentielle et de l'extrait de *Chamaemelum nobile* L (Sandor et al., 2018). (Camomille romaine) sur l'iléon de cobaye isolé et sur des préparations gastro-intestinales de rat. L'huile essentielle a induit une relaxation significative des organes isolés contractés par l'histamine, ce qui suggère un mécanisme antispasmodique intracellulaire. De plus, l'huile essentielle de

Lavandula angustifolia induisait une relaxation de l'iléon isolé de cobaye via une élévation du taux intracellulaire d'AMPc (**Lis-Balchin et Hart.,1999**).

Les effets des composants individuels des huiles essentielles sur les mécanismes intracellulaires de l'action antispasmodique ont été moins étudiés. Leal-Cardoso et al. ont constaté que l'eugénol (1–2000 µM) relaxait l'iléon de rat isolé précontracté au KCl, ce qui suggère un mécanisme intracellulaire (**Leal-Cardoso et al.,2002**).

I.3. Domaines d'utilisation des Huiles Essentielles

Les huiles essentielles (HE) sont largement reconnues pour leurs puissantes activités thérapeutiques. Toutefois, en raison de leur volatilité élevée, de leur nature hydrophobe et de leur sensibilité à l'oxydation, leurs applications demeurent souvent limitées. Avec l'avènement de techniques émergentes telles que les micro- et nanotechnologies, des applications étendues des HE se sont concrétisées dans divers domaines (**Sharmeen.,2020**).

I.3.1. Industrie alimentaire

I.3.1.1. Préservation des aliments et des boissons

Face à la montée des maladies non transmissibles liées aux additifs alimentaires chimiques et à la résistance antimicrobienne (**Faleiro., 2011**), les huiles essentielles (HE) offrent une alternative naturelle prometteuse dans l'agroalimentaire. Dotées de propriétés antimicrobiennes et antioxydantes, elles sont efficaces contre des pathogènes tels qu'*Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* ou *Salmonella enterica* (**Friedman et al., 2002**). Leur encapsulation en nanoémulsions améliore leur stabilité, leur efficacité biologique et masque leur goût prononcé (**Ataei et al., 2020**). Par exemple, l'HE d'anis encapsulée s'est révélée plus performante contre *E. coli* et *Listeria* que l'huile brute (**Topuz et al., 2016**), et des terpènes nanoencapsulés ont permis une inactivation microbienne dans les jus sans en altérer le goût.

Les HE sont aussi utilisées pour lutter contre les moisissures et prévenir la formation de mycotoxines, ainsi que pour freiner l'oxydation lipidique dans les produits gras. Certaines, comme celles d'origan, de nigelle ou de Zenyan, montrent une activité antioxydante équivalente voire supérieure à celle des antioxydants de synthèse (**Terenina et al., 2011**). En plus de leurs fonctions conservatrices, elles sont prisées pour leurs qualités aromatiques : leur encapsulation permet de préserver les arômes volatils lors de la transformation et du stockage (**Erkan et al., 2012**). L'HE de citron, par exemple, est souvent utilisée comme agent aromatisant (**Miner et Bauer., 2016**).

Ainsi, les HE combinent des fonctions de conservation, de sécurité sanitaire et d'amélioration sensorielle des aliments.

I.3.1.2. L'emballage actif

L'emballage actif ou intelligent constitue une avancée majeure dans l'industrie agroalimentaire, notamment grâce à la libération contrôlée de composants actifs comme les huiles essentielles (HE), qui agissent comme agents antimicrobiens ou antioxydants. Les formes principales de ces emballages sont les films, appliqués en feuilles minces, et les revêtements formés directement sur les aliments (**Ribeiro et al., 2017**). Les emballages comestibles, consommables avec les aliments, gagnent également en intérêt (**Embuscado et Huber., 2009**). Plusieurs études ont mis en évidence l'efficacité des HE intégrées dans ces matériaux (**Rincón et al., 2019**). Des films de chitosane avec de l'huile essentielle de cannelle ont montré une activité antibactérienne notable, tandis que l'ajout d'HE d'agrumes à des films de gélatine de peau de poisson a amélioré la barrière à l'humidité et apporté une activité antioxydante.

Des sachets antimicrobiens contenant des HE telles que la cannelle, la citronnelle ou l'origan ont permis de prolonger la durée de conservation post-récolte de la papaye sans en altérer la maturation. Par ailleurs, des revêtements à base de chitosane et d'huile de thym ont prolongé la conservation des fraises tout en maintenant leur qualité (**Ojagh et al., 2010**). Des films à base d'amidon de manioc et d'huile de cannelle ont également limité la croissance microbienne dans des boulettes de viande pendant 96 heures (**Iamareerat et al., 2018**). L'intégration de complexes HE de cannelle/cyclodextrine dans des nanofibres électrofilées a permis la création de films antimicrobiens efficaces, prolongeant la fraîcheur des fraises tout en préservant leurs qualités sensorielles (**Wen et al., 2016**).

I.3.2. Application biomédicale

Les systèmes de nanolivraison offrent un potentiel considérable en biomédecine, grâce à leur capacité à assurer une libération contrôlée et prolongée des médicaments, une pénétration tissulaire accrue, une internalisation cellulaire efficace, et une protection des agents thérapeutiques dans les environnements extra- et intracellulaires. Ces avantages ouvrent la voie à l'utilisation de composés bioactifs, tels que les huiles essentielles (HE), en pharmacie et en médecine. Divers systèmes à base de polymères ou de lipides (nanoémulsions, microémulsions, liposomes, nanocapsules lipidiques solides), ainsi que les complexes d'inclusion avec les cyclodextrines ont été étudiés pour encapsuler les HE (**Bilia et al., 2014**). Par exemple, l'encapsulation de l'HE d'origan dans des nanoparticules de chitosane permet une libération rapide suivie d'une libération prolongée (**Hosseini et al., 2013**).

Les HE peuvent voir leur efficacité antimicrobienne renforcée par des interactions synergiques, notamment avec d'autres HE, des antibiotiques ou des nanoparticules. La nano-encapsulation du thymol a ainsi amélioré son action antimicrobienne. De plus, une synergie significative a été observée entre le cinnamaldéhyde et les NPs d'argent contre *Bacillus cereus* et *Clostridium perfringens* (Li K et al., 2012). Des nanoparticules lipidiques contenant de l'HE d'eucalyptus ou de romarin ont montré des propriétés intéressantes pour la cicatrisation des plaies, en raison de leur biocompatibilité, de leur bioadhésivité et de leur effet antimicrobien (Saporito et al., 2017). L'huile d'olive, riche en acide oléique, utilisée comme transporteur lipidique, a également montré une synergie avec l'HE d'eucalyptus pour la réparation des tissus. Par ailleurs, l'HE de Romarin (*Rosmarinus officinalis*) encapsulée dans des nanoparticules inhibe fortement la formation de biofilms de *Candida albicans* et *C. tropicalis* sur les cathéters, ce qui représente une avancée pour la prévention des infections nosocomiales. L'association d'HE et de chimiothérapies dans des nanovecteurs pourrait renforcer l'efficacité anticancéreuse. Une étude a montré que la nanoémulsion de camphre associée à l'ifosfamide avait une cytotoxicité supérieure contre les cellules cancéreuses du sein (MCF-7) et du col de l'utérus (HeLa) (AlMotwaa et al., 2019).

I.3.3. Applications agricoles

Les applications agricoles des huiles essentielles (HE) dérivées de plantes ont suscité un intérêt croissant en tant qu'alternatives écologiques aux produits chimiques traditionnels, en raison de leur biodégradabilité et de leur faible impact environnemental.

I.3.3.1. Comme insecticides

Les plantes offrent une variété de composés bioactifs aux effets insecticides, répulsifs et régulateurs de croissance, constituant une alternative prometteuse aux insecticides synthétiques pour la gestion post-récolte (Antunes et Cavaco., 2010). Les huiles essentielles (HE) de clou de girofle, romarin, menthe, etc., sont utilisées pour le contrôle des ravageurs (Isman et Singh., 2010). Plusieurs HE, dont celles de genévriers, de curcuma, de *Juniperus virginiana* et de *Satureja pilosa*, ont démontré des activités insecticides et répulsives contre divers insectes nuisibles (Yohana et al., 2022). Ces résultats soutiennent leur utilisation potentielle comme biopesticides sûrs et écologiques.

I.3.3.2. Comme herbicides

L'allélopathie, interaction chimique naturelle entre plantes, offre une alternative prometteuse à la gestion des mauvaises herbes en agriculture biologique. Les huiles essentielles (HE) et autres métabolites secondaires sont utilisées comme bioherbicides (Semerdjieva et al., 2022). Les

composés volatils des plantes aromatiques inhibent la croissance de plantes concurrentes (**Mirmostafae et al., 2020**). Les HE d'origan et de romarin ont réduit la germination des mauvaises herbes, montrant leur efficacité comme alternative au désherbage manuel (**Frabboni et al., 2019**).

I.3.3.3. Comme bactéricides et fongicides

Les bactéries sont responsables de nombreuses maladies des plantes, entraînant des pertes économiques importantes en réduisant la durée de conservation des produits agricoles. L'usage excessif de bactéricides chimiques et d'antibiotiques a favorisé l'émergence de résistances chez les bactéries pathogènes. Les plantes médicinales riches en substances antimicrobiennes, sont de plus en plus étudiées comme alternatives efficaces et sûres. Par exemple, Semerdjieva et al. ont montré que les huiles essentielles de *Juniperus oxycedrus L.* présentent une activité antimicrobienne équilibrée contre divers pathogènes tels que *Botrytis cinerea*, *Fusarium spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Colletotrichum spp* et *Cylindrocarpon pauciseptatum* (**Semerdjieva et al., 2020**).

I.3.4. Applications textiles

Les textiles fonctionnels à activité antimicrobienne suscitent un intérêt croissant, notamment dans les domaines des soins personnels et des textiles d'intérieur. Les textiles non tissés jetables dotés de propriétés antimicrobiennes sont actuellement utilisés pour développer des matériaux fonctionnels. Parmi les techniques appliquées, la microencapsulation des agents antimicrobiens dans la matrice des fibres est couramment employée. Des microcapsules contenant de l'huile essentielle de *Thymus vulgaris L.* ont ainsi été élaborées pour produire des textiles antimicrobiens destinés à des pansements et bandages (**Karagonlu et al., 2018**). En parallèle, l'adsorption de parfums sur des supports solides est d'intérêt dans l'industrie textile, bien que les fragrances volatiles puissent disparaître au lavage. La microencapsulation permet de limiter cette perte, comme le montre l'encapsulation de l'huile essentielle de lavande, qui prolonge la tenue du parfum sur les textiles (**Khajavi et al., 2013**).

I.3.5. Application cosmétique

L'utilisation des huiles essentielles (HE) et des extraits de plantes dans les cosmétiques est ancienne, notamment pour leurs fonctions aromatiques et thérapeutiques. Des plantes comme *Cedrus libani*, *Ocimum kilimandscharicum*, *Artemisia annua*, *Acacia vestita*, *Piper angustifolium*, *Sassafras albidum* et *Rosmarinus officinalis* produisent des HE contenant du camphre, utilisé depuis l'Antiquité en Asie pour des usages médicaux, culinaires et cosmétiques (**Zheljzakov et al., 2022**).

La demande croissante des consommateurs pour des cosmétiques naturels et écologiques a stimulé le marché des produits à base de plantes (**Guzmán et al., 2021**). Grâce à leurs propriétés anti-inflammatoires, antimicrobiennes et antioxydantes, les HE sont intégrées dans une variété de produits, allant des soins de la peau aux soins capillaires et à la parfumerie (**Guzmán et al., 2021**).

Des HE comme celles de romarin et de camomille, ajoutées aux shampoings, favorisent la santé du cuir chevelu, stimulent la croissance des cheveux et préviennent leur chute (**Abelan et al., 2022**). Par exemple, l'HE de menthe poivrée (*Mentha piperita*) est efficace à faible dose pour stimuler la croissance capillaire (**Oh et al., 2014**).

En soin de la peau, les HE préviennent l'acné en inhibant *Propionibacterium acnes*, comme l'HE de citronnelle (**Lertsatitthanakorn et al., 2006**), et sont utilisées dans les crèmes solaires pour leurs propriétés de protection contre les UV et le vieillissement cutané (**Lohani et al., 2019**).

I.4. Modes d'utilisation des Huiles Essentielles

Les modes d'utilisation des huiles essentielles sont très divers. Leur utilisation thérapeutique au quotidien pour les petits bobos du quotidien. N'oubliez pas que pour une goutte d'huile essentielle, il faut plusieurs kilos de plante, elles nous offrent leur pouvoir donc prenons-en conscience et respectons leur don en ne les utilisant pas en excès. Chaque huile essentielle peut avoir un ou plusieurs modes d'utilisation plus adaptés selon sa composition et ses propriétés mais également selon nos besoins.

I.4.1. Voie orale

La voie orale permet d'agir vite et fort. Cependant elle nécessite les conseils d'un professionnel de santé. Ne prenez jamais d'huiles essentielles par voie orale sans avoir des indications précises. Elles sont utilisées pour la prévention des infections.

L'utilisation des huiles essentielles par voie orale doit être combinée avec d'autres substances. Elle nécessite la dilution sur un support comme du miel, de la mie de pain, une pastille neutre, une capsule, un suppositoire ou ovule. Les oléocaps de pranarôm qui sont des gélules d'huiles essentielles déjà préparées pour agir efficacement et en toute sécurité.

I.4.2. Application cutanée (sur la peau)

L'application cutanée permet aux huiles d'être absorbées par la peau et d'entrer dans la circulation sanguine progressivement, votre peau absorbera le nécessaire. Par contre, elles sont contre-indiquées sur les muqueuses (nez, oreilles, yeux, parties génitales et anus).

De plus, il faudra faire attention aux huiles dermocaustiques (qui entraîne des brûlures), les huiles photosensibilisantes (qui entraîne une réaction anormale de la pigmentation à l'exposition au soleil) et il faudra toujours tester une huile essentielle nouvelle dans le pli du coude pour vérifier que vous n'êtes pas allergique.

L'utilisation des huiles essentielles par voie cutanée pour :

- Soulager un symptôme local (acné, psoriasis, hématome, douleur, etc).
- Soutenir l'organisme dans sa détoxification et son auto-guérison.
- Travailler sur les plans émotionnel et énergétique.

Elles devront être diluées dans de l'huile végétale entre 1 % à 20 % suivant l'huile essentielle choisie et l'action désirée.

I.4.3. Diffusion atmosphérique

C'est le mode le plus facile et le plus sûr à utiliser. Les huiles essentielles entreront en contact avec vos cellules nasales et passeront via vos poumons pour entrer dans votre organisme.

L'utilisation de ces huiles par voie nasale pour :

- Assainir l'atmosphère, permettant d'éviter les contagions en période d'épidémie.
- Purifier la respiration.
- Se relaxer, se concentrer, se motiver, anti-déprime.
- Travailler sur les plans émotionnel et énergétique.

Les huiles essentielles doivent être utilisées comme suit :

- En spray, sur un mouchoir, sur un morceau de bois ou un galet, 5 gouttes suffisent pour profiter des bienfaits des huiles essentielles.
- À l'aide d'un diffuseur, vous pourrez faire profiter tous les membres de votre famille des bienfaits de l'huile essentielle choisie et elle purifiera par la même occasion l'air ambiant. Attention toutefois à utiliser un diffuseur à froid, car les huiles essentielles ne supportent pas la chaleur.
- 20 minutes de diffusion 3x/jour, sont suffisantes pour ne pas saturer l'air (**Mélanie Garcia., [www. Lavieestbelleunaturel.com](http://www.Lavieestbelleunaturel.com)**).

I.5. Les Plantes plus couramment utilisées pour extraction des Huiles Essentielles

Il existe 800 000 plantes sur terre dont 10% sont aromatiques, c'est -à-dire qu'elles contiennent des petites glandes remplies d'une essence aromatique (**Mélanie Garcia., [www. Lavieestbelleaunaturel.com](http://www.Lavieestbelleaunaturel.com)**). De nombreuses plantes existant dans le monde sont rapportées comme étant utilisées en aromathérapie en voici quelques-unes :

Tableau 2. Les plantes plus riches en Huiles Essentielles.						
Plante	Famille	Caractéristiques biochimiques	Propriétés thérapeutiques	Domaines d'utilisation	Les activités	Références
Sauge sclarée (<i>Salvia sclarea</i> Linn.)	Lamiacées	Son huile essentielle contient principalement du linalol, de l'acétate de linalyle, de l'alpha-terpinéol, du germacrène D et du géranyl	-Traiter les troubles liés à l'utérus et au cycle menstruel -Soulager les tensions, les crampes musculaires -Possède des effets sédatifs et aphrodisiaques -Bonne pour tous types de peau, aide contre acné, rides et cellulite.	Médicinal et cosmétique	Antimicrobienne	(Price., 1993) (Lis-Balchin., 2006) (Sienkiewicz et al.,2015)
Eucalyptus (<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.)	Myrtacées	Ses constituants majeurs tels que le cinéole (70–85 %), l'aromadendrène, le limonène, le terpène, le cymène, le phellandrène et le pinène	-Système nerveux (névralgie, maux de tête, fatigue). - Système immunitaire (rougeole, grippe, rhume, varicelle).	-Médical et thérapeutique -Cosmétique -Aromathérapie	-Antioxydante. -Anti-Inflammatoire. -Antiproliférative. -Antibactérienne.	(Price., 1993) (Mulyaning et al.,2011)

			<p>-Système génito-urinaire (leucorrhées, cystites).</p> <p>-Système respiratoire (infections de la gorge, catarrhe, toux, bronchite, asthme, sinusite).</p> <p>- Dermatologie (plaies, coupures, brûlures, herpès, poux, piqûres d'insectes).</p> <p>-Traitement de l'arthrite rhumatoïde, des douleurs musculaires et articulaires.</p>			Aazza et al.,2011).
<p>Géranium (<i>Pelargonium graveolens</i> L'Hérit)</p>	Géraniacées	<p>Composés chimiques actifs (eugénol, acide géranique, citronellol, géraniol, linalol, formiate de citronellyle, citral, myrténol, terpinéol, méthone et sabinène).</p>	<p>-Traitement de la dermatite, l'eczéma, vieillissement cutané, certaines infections fongiques, l'anxiété, l'endométriose, infections de la gorge, diabète, troubles associés à la ménopause et troubles liés au stress.</p> <p>-Effets sédatifs (système nerveux).</p> <p>-Gestion de la douleur (cancers de l'utérus et du sein).</p>	<p>-Parfumerie et produits d'hygiène.</p> <p>-Médical et thérapeutique.</p> <p>-Aromathérapie.</p> <p>-Alimentaire.</p>	<p>-Antibactérienne.</p> <p>-Insecticide.</p>	<p>(Price., 1993</p> <p>(Lawless., 1995).</p>
<p>Lavande (<i>Lavandula officinalis</i> Chaix).</p>	Lamiacées	<p>Composés actifs (camphre, terpinen-4-ol, linalol, acétate de linalyle, bêta-ocimène et 1,8-cinéole).</p>	<p>-Effets sédatifs et action narcotique (réduire l'agressivité, anxiété et troubles du sommeil, améliorer la sensation de bien-être et maintenir l'éveil mental).</p> <p>- Traitement des abrasions, brûlures, stress, céphalées, dysménorrhée primaire et divers problèmes cutanés.</p> <p>-Favorise la régénération cellulaire, soulage les douleurs musculaires et stimule le système immunitaire.</p>	<p>-Médical et thérapeutique.</p> <p>-Aromathérapie.</p>	<p>-Antibactérienne.</p> <p>-Antifongique.</p>	<p>(Price., 1993).</p> <p>(Koulivand et al., 2013).</p> <p>(Kim et al., 2011).</p> <p>(Ou et al., 2012</p>

Citron (<i>Citrus limon</i> Linn)	Rutacées	<p>-Riche en terpènes (D-limonène et L-limonène (90%)).</p> <p>-On retrouve également des traces de phellandrène, de pinène et de sesquiterpènes.</p> <p>-Composés oxygénés (aldéhyde citral (10%)).</p>	<p>-Traite les imperfections liées à une peau grasse, stimule le système immunitaire, accroître la production de globules blancs, neutralise l'acidité gastrique et soulage les ulcères (grâce à l'acide citrique), facilite la digestion en formant des carbonates et bicarbonates de potassium et de calcium, soulage les douleurs lors de la première phase de l'accouchement et gestion des nausées et vomissements.</p>	<p>-Médical et thérapeutique.</p> <p>-Aromathérapie.</p> <p>-Alimentaire.</p>	<p>-Antiseptique</p> <p>-Astringente</p> <p>-Détoxifiante</p>	<p>(Price., 1993).</p> <p>(Tisserand et al., 2013).</p> <p>(Lawless., 1995</p> <p>(Watanabe et al., 2015)</p>
Menthe poivrée (<i>Mentha piperita</i> Linn)	Lamiacées	<p>Constituants volatils (carvacrol, menthol (44%), carvone, acétate de méthyle, limonène et menthone).</p>	<p>-Soulage les douleurs liées au cycle menstruel, les spasmes et les affections arthritiques.</p> <p>-Stimulante du système nerveux, vasoconstrictrices, décongestionnantes et stomachiques</p> <p>-Traitement du syndrome de l'intestin irritable.</p> <p>-Soulage les maux de tête.</p> <p>-Calme les démangeaisons dues à l'herpès, la teigne, la gale, le sumac vénéneux et le chêne toxique.</p> <p>- Lutte contre les infections bactériennes, fongiques et virales.</p> <p>-Décongestionne les voies nasales et pulmonaires.</p>	<p>-Médical et thérapeutique.</p> <p>-Aromathérapie.</p>	<p>Anti-inflammatoire, analgésique, anti-infectieuse, antimicrobienne, antiseptique, antispasmodique, astringente, digestive, carminative et fongicide.</p>	<p>(Tassou et al., 1995)</p>
Camomille romaine	Astéracées	<p>-Principaux constituants (esters de l'acide angélique, de l'acide</p>	<p>-Traitement de divers maux humain (rhume des foins, inflammations, spasmes</p>	<p>-Médical et thérapeutique.</p>	<p>-Anxiolytique.</p>	<p>(Srivastav et al., 2010)</p>

<p>(<i>Anthemis nobilis</i> Linn)</p>		<p>tiglique et de l'acide 2-méthylbutanoïque). -Riche en chamazulène (un sesquiterpénoïde), pinocarvone, farnésol, pinène, bisabolol, cinéole, pinocarvéol, bêta-caryophyllène, azuulène, camphène et myrcène.</p>	<p>musculaires, troubles menstruels, ulcères, plaies, troubles gastro-intestinaux, douleurs rhumatismales et hémorroïdes). -Atténuer la dépression, l'inquiétude et l'hyperactivité mentale. -Aide à la relaxation et au sommeil. -Soulage les maux de tête, l'insomnie et les troubles menstruels (crampes, tensions). -Utile contre le psoriasis, l'eczéma, les furoncles, les coups de soleil, les boutons de fièvre, les douleurs articulaires, arthrite, entorses et piqûres d'insectes).</p>	<p>-Cosmétique. -Aromathérapie.</p>	<p>-Antistress.</p>	<p>(Lawless., 1995).</p>
<p>Romarin (<i>Rosmarinus officinalis</i> Linn)</p>	<p>Lamiacées</p>	<p>Les constituants actifs (acétate de bornyle, bornéol ainsi que d'autres esters, camphre, cinéole, pinène et camphène)</p>	<p>-Système digestif (soulageant les symptômes de l'indigestion, de la constipation et de la colite). -Système cardiovasculaire (régularise la tension artérielle et ralentit le durcissement des artères). -Soulage les douleurs rhumatismales. -Système nerveux (hystérie et paralysie). -Tonifie la peau, apaise les crampes menstruelles, stimule la pousse des cheveux, traite les pellicules et les cheveux gras, active la circulation du cuir chevelu.</p>	<p>-Médical et thérapeutique. -Cosmétique. -Aromathérapie.</p>	<p>Antioxydante.</p>	<p>(Svoboda et Deans., 1992). (Jimbo et al., 2009) (Al-Sereiti et al., 1999).</p>

<p>Arbre à thé (<i>Melaleuca alternifolia</i> <i>Cheel</i>)</p>	<p>Myrtacées</p>	<p>Principal constituant est le terpinène-4-ol (un terpène alcoolique à l'arôme frais). Alpha-sabinène, cinéole.</p>	<p>-Traitement (herpès, abcès, cloques, acné, herpès labial, brûlures, piqûres insectes, pellicules et peaux grasses). -Traitement de troubles respiratoires (tuberculose, toux, bronchite, asthme, catarrhe et coqueluche). -Traitement de la vaginite, de la cystite du prurit, rhume, fièvre, grippe et varicelle.</p>	<p>Médical et thérapeutique.</p>	<p>-Antivirale. -Antibactérien. -Antifongique. Immunostimulante. -Antiseptique. -Anti-inflammatoire. -Insecticide.</p>	<p>(Koh et al., 2002). (Pazyar et al., 2013)</p>
<p>Ylang-ylang (<i>Cananga odorata</i>)</p>	<p>Annonacées</p>	<p>Constituants chimiques (acétate de géranyle, linalol, géraniol, farnésol, acétate de benzyle, géraniol, méthylchavicol, bêta-caryophyllène, eugénol, pinène et farnésène).</p>	<p>-Ralentir le rythme cardiaque et la respiration rapide (situations de choc et de traumatisme). -Utile pour les femmes post-ménopausées. -Réduction de l'anxiété et l'amélioration de l'estime de soi. -Bénéfique pour les peaux sèches que grasses. -Traitement (dépression, hypertension, frigidité, stress et palpitations).</p>	<p>Médical et thérapeutique.</p>	<p>Antidépresseive</p>	<p>(Hongratanaworakit et Buchbauer, 2006). (Evans., 2000) Gnatta et al., 2014).</p>

Les approches modernes en matière de production et d'utilisation ont conduit à une attention accrue portée à la qualité, à la sécurité et à l'efficacité des PMA et de leurs produits dérivés. Ces plantes continueront également de jouer un rôle fondamental dans la recherche de nouvelles sources de médicaments et de composés bioactifs majeurs (Akos Mâthé et al., 2015).

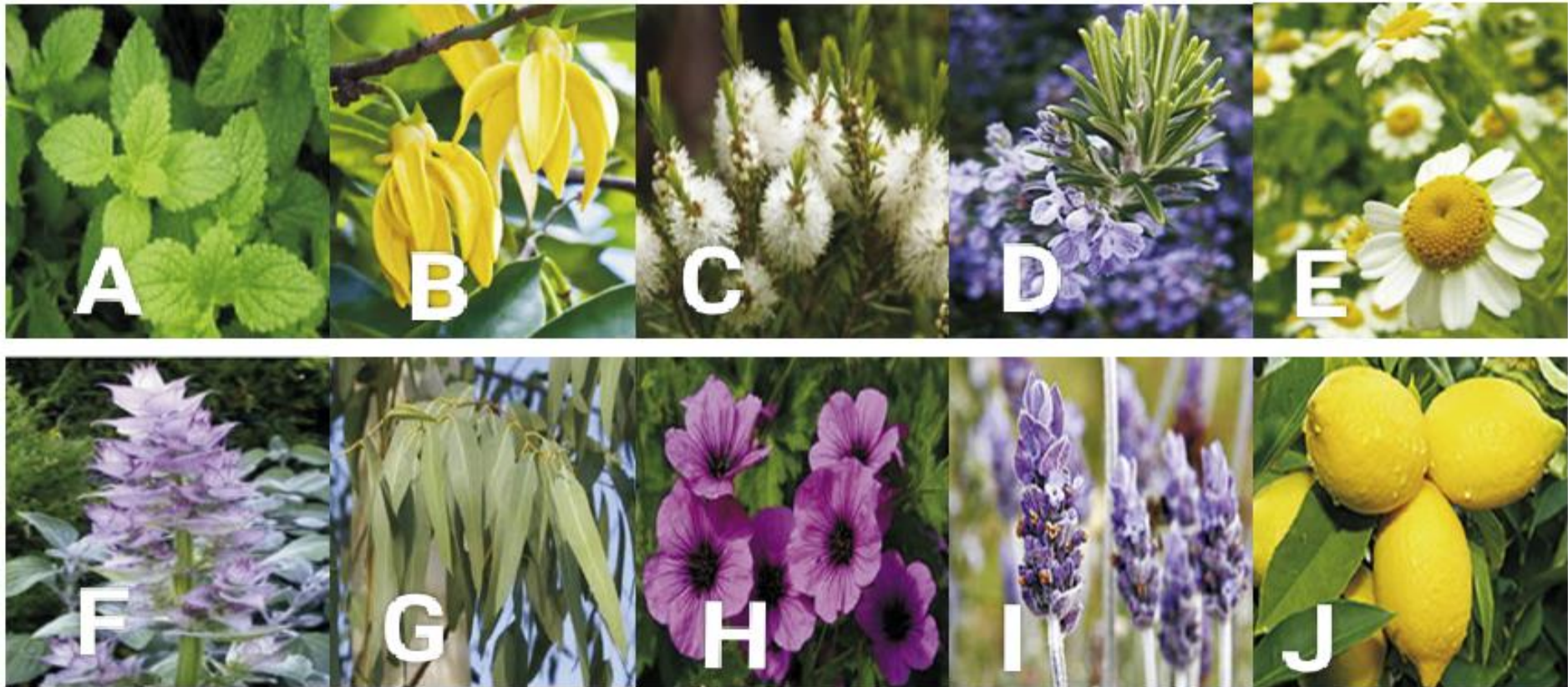


Figure 18. Quelques plantes aromatiques utilisées en aromathérapie. **A.** Menthe poivrée. **B.** Ylang-ylang. **C.** Arbre à thé. **D.** Romarin. **E.** Camomille romaine. **F.** Saugé sclarée. **G.** Eucalyptus. **H.** Géranium. **I.** Lavande. **J.** Citron (Babar et al., 2015).

I.6. Toxicité des Huiles Essentielles (HE)

Les risques pour la santé évoqués incluent des effets tels que des troubles respiratoires, une irritation cutanée, des propriétés cancérigènes, une toxicité reproductive ou une toxicité organique. Une évaluation rigoureuse des risques doit être envisagée, comprenant l'identification du risque, l'évaluation dose-réponse, la durée d'exposition ainsi que le mécanisme de toxicité.

Les HE ont toujours été utilisées dans les pratiques médicinales traditionnelles, ce qui conduit beaucoup de personnes à les considérer comme sûres. Toutefois, certaines essences toxiques ont été délibérément utilisées pour leurs effets spécifiques. Par exemple, l'huile de menthe pouliot (*pennyroyal*) est connue pour induire des avortements et des hallucinations, tandis que l'huile de citron est considérée comme psychédélique (Laios et al., 2019). Le potentiel des HE à remplacer les antibiotiques est reconnu comme étant sûr, fort d'une longue tradition en phytothérapie. Dans de nombreux cas, les huiles très aromatiques étaient administrées à faibles concentrations, ce qui ne provoquait pas de dommages, en raison notamment de leur difficulté à être ingérées en grandes quantités. Néanmoins, des cas d'intoxication aux HE ont été recensés (Woolf., 1999). L'évaluation de la toxicité est complexifiée par la forte variabilité de la composition en substances actives, pouvant atteindre plusieurs centaines de composés pour un seul type d'huile (Izgi et al., 2017). Peu d'articles ont proposé des mécanismes de toxicité. De manière générale, les mécanismes des effets cytotoxiques des HE incluent la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS), le blocage des canaux sodiques (par exemple, pour le thymol : IC50 de 150 µM sur les cellules musculaires squelettiques), la perturbation du cycle cellulaire, des dommages mitochondriaux, des altérations de l'ADN, ainsi que l'activation de la cascade NF-kB conduisant à l'apoptose (Haeseler et al., 2002).

Des études menées sur des spermatozoïdes ont confirmé que la mobilité spermatique est le paramètre le plus sensible à la dose d'HE, tandis que l'intégrité membranaire est peu affectée à une concentration de 0,6 mg/mL d'huile essentielle de *Melaleuca alternifolia* (Elmi et al., 2019). D'autres huiles, telles que *Rosmarinus officinalis* et *Thymus capitatus*, ont montré des effets similaires (Touazi et al., 2018).

Atsumi et al. ont montré que la structure moléculaire joue un rôle dans la toxicité des principes actifs. L'eugénol, principal composant de l'HE de clou de girofle, présente des effets cytotoxiques beaucoup plus marqués dans sa forme isomère (Atsumi et al., 2005). De plus, les effets toxiques des HE peuvent également être attribués à des composants mineurs, plutôt qu'aux composés les plus abondants (Radulovic et al., 2017).

Bien que de nombreuses recherches aient été menées sur le potentiel antibiotique des HE, peu d'études ont exploré leurs interactions avec les acides nucléiques. Les études disponibles mettent en évidence deux phénomènes :

- Premièrement, un effet géno-protecteur contre les xénobiotiques, les HE ayant démontré leur capacité à prévenir les mutations et aberrations de l'ADN (**Kalemba-Drozd et Cierniak., 2019**).
- Deuxièmement, une génotoxicité principalement observée avec les HE connues pour leur toxicité, telles que *Syzygium aromaticum*, *Artemisia absinthium* ou *Salvia divinorum*. Le modèle eucaryote *Saccharomyces cerevisiae* a été utilisé pour analyser les effets génotoxiques des HE d'*Origanum compactum*, *Artemisia herba-alba* et *Cinnamomum camphora*. Les résultats principaux suggèrent que les HE seules entraînent des mutations cytoplasmiques légères, mais aucune altération dans le noyau. En combinaison avec des agents mutagènes (UVB et 8-méthoxypsoralène avec rayonnement UVA, ou méthylméthane sulfonate), les mutations cytoplasmiques et les dommages mitochondriaux augmentent significativement, mais aucune mutation nucléaire n'a été observée avec ces traitements combinés (**Bakkali et al., 2006**).

**Synthèse des travaux
préalables sur certaines
Huiles Essentielles**

II. Synthèse de quelques travaux sur certaines Huiles Essentielles

II.1. Quelques travaux de recherche sur les Huiles Essentielles

De nombreuses études et recherches ont été menées sur les plantes aromatiques provenant de différentes régions du monde, utilisées à diverses fins dans plusieurs domaines tels que l'agriculture, l'alimentation, la cosmétique, etc. Une variation notable dans la composition chimique et les activités biologiques des huiles essentielles extraites a été observée, en raison de plusieurs facteurs environnementaux et géographiques. Parmi ces études, on peut citer les suivantes :

	Plante	Lieu	Partie de plante extraite	Méthode d'extraction d'huile essentielle	Objectif de recherche	Les effets	Domaine d'utilisation	L'auteur et l'année
1	Eucalyptus globulus	L'arboretum de Derguina à Béjaïa -Algérie	Feuilles	Hydrodistillation avec un appareil de type Clevenger	-Composition chimique -L'activité antibactérienne et antioxydante	-Faible activité antioxydante. -Contre les bactéries à Gram négatif	Pharmaceutique (dentifrices et bains de bouche).	Lila Harkat-Madouri et <i>al.</i> , 2015
2	Eucalyptus globulus	La région de Sfax, située au centre de la Tunisie	Feuilles	Hydrodistillation avec un appareil de type Clevenger	-Composition chimique -Activité antioxydante	Faible activité antioxydante.	Médical et thérapeutique	Amel Jerbi et <i>al.</i> , 2017
3	Menthe pouliot	Tersa (Delta du milieu, Égypte)	Feuilles	Distillation à la vapeur d'eau.	-Composition chimique.	Modérée à faible activité antioxydante.	Alimentaire.	Ahmed H. El-Ghorab., 2006

					-Activité antioxydante.			
4	Menthe pouliot	Région de Bouira (Algérie)	Feuilles	Distillation à la vapeur d'eau.	-Composition chimique. -Activité antimicrobienne, antioxydante et insecticide.	-Très efficace contre les bactéries à Gram (+) -Bonne activité contre certaines bactéries à Gram (-) -Activité insecticide puissante -Potentiel antioxydant notable	-Alimentaire -Pharmaceutique -Cosmétique -Agronomique	Meriem Abdelli et <i>al.</i> , 2016
5	Laurier noble	-Ariana, Tunis, Tunisie -Tizi-Ouzou, Algérie -Marrakech, Maroc	Feuilles	Hydrodistillation	-Composition chimique. -Activité insecticide.	Activité insecticide plus élevée	Agronomique	Jouda Mediouni Ben Jemâa et <i>al.</i> , 2012

II.2. Analyse et interprétation de la synthèse

II.2.1. Travaux sur *Eucalyptus globulus*

En comparant la composition chimique de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* provenant de deux régions d'Afrique du Nord, on constate une différence notable dans la teneur en 1,8-cinéole, bien que la même méthode d'extraction. En Algérie, cette espèce végétale présente une concentration plus élevée de ce composé, atteignant 55,29 % (**Tableau 4**), tandis qu'en Tunisie, la même plante ne contient que 48,2 % (**Tableau 5**). Cette variation peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment les conditions climatiques, la nature du sol, ou encore les méthodes de récolte dans chaque pays.

Dans une même étude comparative entre l'Algérie et la Tunisie, il a été observé que l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* présente dans les deux cas une activité antioxydante relativement faible. En revanche, les extraits de la plante (non volatils) affichent une activité antioxydante beaucoup plus élevée, ce qui suggère que certains composés phénoliques ou flavonoïdes non extraits par hydrodistillation contribuent fortement à cette activité. Par ailleurs, il a été démontré que la méthode d'extraction joue un rôle déterminant dans le rendement et la qualité biologique de l'huile.

Tableau 4. Composition chimique de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* (Algérie) (**Lila Harkat-Madouri et al., 2015**).

Compounds	Type	KI	Composition (%)		
			HD	HD ^a	SFE ^b
α -pinene	M	920	4.61	–	–
β -pinene	M	1122	0.07	9.25	3.50
<i>o</i> -Ocymene	M	1026	1.83	–	–
Total M	M		6.51	–	–
Isovaleraldehyde	OM	660	10.04	–	–
2-pentanone-4-hydroxy-4- methyl	OM	837	1.69	–	–
1,8-Cineole	OM	1033	55.29	36.68	21.01
Linalool	OM	1096	0.10	–	–
2-pinen-4-ol	OM	1145	0.07	–	–
4-Terpineol	OM	1181	0.70	–	–
L-Pinocarvone	OM	1162	0.10	–	–
α -Terpineol	OM	1196	5.46	–	–
Crypton	OM	1189	3.10	–	–
Cuminal	OM	1243	0.42	–	–
E-Neral	OM	1268	0.63	–	–
Phelandral	OM	1279	0.10	–	–
Piperitone	OM	1255	0.25	–	–
<i>p</i> -cymenol	OM	1297	0.45	–	–
Total OM			78.58	–	–
TOTAL (M + OM)			85.09	–	–
Aromadendrene	S	1462	0.02	6.33	5.30
Allo-Aromadendrene	S	1440	0.04	1.45	1.06
Ledene	S	1490	0.28	–	–
Total S			0.34	–	–
β Caryophyllene-oxide	OS	1551	0.14	–	–
Epiglobulol	OS	1563	0.21	1.00	0.32
Spathulenol	OS	1577	7.44	–	–
Caryophyllene-oxide	OS	1586	1.66	–	–
Globulol	OS	1589	2.96	5.11	1.23
Eudesmol	OS	1626	0.98	0.92	0.47
Total OS			13.39	8.77	2.75
TOTAL (S + OS)			98.82	–	–

Concentration (%) : pourcentage des concentrations basé sur l'intégration de la surface des pics chromatographiques. **HD** : hydrodistillation, **HDA** : hydrodistillation selon **Topiar et al. (2015)** SFE : extraction au fluide supercritique de CO₂ selon **Topiar et al. (2015)**, **KI** : l'indice de Kováts, **M** : monoterpènes. **S** : sesquiterpènes. **OM** : monoterpènes oxygénés. **OS** : sesquiterpènes oxygénés (**Topiar et al., 2015**).

Tableau 5. Composition chimique de l'huile essentielle d'Eucalyptus globulus (Tunisie) (**Amel Jerbi et al., 2017**).

No.	Components	Tr	RI	(%)
1	α -Pinene	5.04	941	16.1
2	Camphene	5.75	955	0.1
3	β -Pinene	6.12	982	0.4
4	Myrcene	6.53	993	0.3
5	α -Phellandrene	6.89	1006	0.1
6	α -Terpinene	7.15	1020	0.2
7	<i>p</i> -Cymene	8.29	1028	8.8
8	1,8-Cineole	9.34	1034	48.2
9	γ -Terpinene	11.39	1063	8.9
10	Terpinolene	12.27	1090	0.3
11	<i>p</i> -Cymenene	12.96	1091	0.2
12	trans-Pinocarveol	13.59	1141	1.5
13	Pinocarvone	14.6	1164	0.5
14	Borneol	18.13	1167	0.2
15	4-Terpineol	18.56	1179	3.0
16	α -Terpineol	18.83	1191	1.8
17	Carvacrol	24.02	1301	0.2
18	Aromadendrene	24.93	1440	1.7
19	Alloaromadendrene	26.40	1462	0.2
20	Viridiflorene	29.15	1495	0.2
21	Germacrene B	29.39	1557	1.0
22	Globulol	30.12	1584	3.8
23	Viridiflorol	30.44	1591	0.7
24	5-epi-7-epi- α -eudesmol	30.85	1603	0.2
25	Valerianol	32.94	1656	0.1
	Monoterpene hydrocarbons			35.4
	Oxygenated monoterpenes			55.4
	Sesquiterpene hydrocarbons			3.1
	Oxygenated sesquiterpenes			4.8
	Total			98.7

II.2.2. Travaux sur Menthe pouliot

L'huile essentielle de *Mentha pulegium* L. provenant d'Algérie et celle provenant d'Égypte présentent des différences notables dans leur composition chimique. En Algérie, l'huile essentielle est dominée par la pulégone (70,66 %), suivie du néomenthol (11,21 %) et de la menthone (2,63 %) (**Tableau 6**). Cette forte concentration en pulégone classe clairement l'huile dans le chémotype pulégone. En revanche, en Égypte, l'huile essentielle étudiée contient une proportion plus modérée

de pulégone (43,5 %), accompagnée d'une concentration plus élevée en pipéritone (12,2 %) et en p-menthane-1,2,3-triol (6,5 %) (**Tableau 7**). Ces différences peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment les conditions climatiques, le sol, la saison de récolte, l'âge des plantes. L'environnement algérien semble favoriser une production plus élevée de pulégone, tandis que dans le Delta du Milieu en Égypte, la pipéritone est plus abondante. En résumé, bien que les deux huiles appartiennent au chémotype pulégone, l'huile algérienne est plus riche en ce composé, alors que les conditions locales en Égypte semblent favoriser une teneur plus importante en pipéritone. Dans une même étude comparative entre l'Algérie et l'Égypte, il a été observé que l'huile essentielle de *Mentha pulegium* L présente dans les deux cas une activité antioxydante notable, bien que la même méthode d'extraction (distillation à la vapeur). La méthode d'extraction joue un rôle déterminant dans le rendement et la qualité biologique de l'huile.

Tableau 6. Composition chimique de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* L. par GC-MS (Algérie) (Meriem Abdelli et al., 2016).

No.	Compounds	RI	Ps (%)
1	α -thujene	941	0.01
2	α -pinene	946	0.39
3	3-methyl-cyclohexanone	957	0.09
4	sabinene	977	0.1
5	β -pinene	979	0.29
6	1-octen-3-ol	982	0.03
7	3-octanone	988	0.31
8	myrcene	992	0.05
9	3-octanol	997	0.91
10	p-mentha-1(7),8-diene	1002	0.02
11	p-cymene	1022	0.01
12	limonene	1026	1.09
13	1,8-cineole	1028	0.11
14	p-mentha-3.8-diene	1066	0.03
15	terpinolene	1085	0.02
16	3-octanol acetate	1123	0.1
17	cis- β -terpineol	1146	0.05
18	menthone	1151	2.63
19	neo-menthol	1164	11.21
20	menthol	1167	1.5
21	cis-isopulegone	1174	2.33
22	iso-menthol	1179	0.6
23	neoisomenthol	1186	0.91
24	myrtenal	1191	0.05
25	pulegone	1250	70.66
26	cis-piperitone epoxide	1252	0.39
27	piperitone	1254	0.24
28	neo-menthyl acetate	1272	0.18
29	menthyl acetate	1291	0.03
30	iso-menthyl acetate	1303	0.19
31	piperitenone	1335	1.58
32	α -copaene	1367	0.02
33	β -bourbonene	1376	0.08
34	β -caryophyllene	1409	0.39
35	α -humulene	1444	0.65
36	germacrene D	1471	0.09
37	δ -cadinene	1515	0.02
38	caryophyllene oxide	1576	0.09
39	humulene epoxide II	1603	0.12
Total identified			97.48

RI : Indice de rétention de Kovats (colonne HP-5MS), **Ps** : Pourcentage moyen de chaque composé.

Tableau 1. Composés volatils identifiés dans l'huile essentielle de *Mentha pulegium* L (Égypte) (Ahmed H. El-Ghorab., 2006).

Compounds	KI	Conc.
Butanal, 3-methyl	697	0.295
α -Pinene	928	0.103
β -Phellandrene	940	0.230
β -Myrcene	971	0.339
3-Octanol	984	0.155
Limonene	1018	1.311
Eucalyptol	1040	0.285
Ocimene	1043	0.351
Benzene acetaldehyde	1051	0.245
2-Cyclohexe-1-one-3-methyl	1063	0.123
Sabinenehydrate	1068	0.321
Linalool oxide (<i>trans</i>)	1085	0.453
Acetic acid isoamyl ester	1091	0.233
Pentanoic acid pentyl ester	1094	0.074
Phenyl ethyl alcohol	1110	2.345
2-Octanol acetate	1114	0.248
Limonene oxide (<i>trans</i>)	1139	0.121
Menth-2-en-1-ol (<i>trans</i>)	1140	0.130
Citronellal	1153	0.120
Karahanaenone	1155	0.113
Pinocamphone (<i>trans</i>)	1160	0.004
Pinocamphone (<i>cis</i>)	1173	0.421
Dihydro carveol (NEO)	1192	0.456
Carveol (<i>trans</i>)	1217	0.832
Pulegone	1237	43.455
Piperitone	1252	12.198
Geraniol	1255	0.385
Guaicol acetate (ortho)	1263	0.392
Ambersage	1264	0.100
Thymol acetate	1355	1.621
2-Cyclohexe-1-one-2-hydroxy-3-methyl-6-methyl ethyl	1371	2.730
Carvacrol acetate	1371	2.567
1-Hydroxy-p-meth-3-one	1392	1.029
γ -Elemenene	1433	3.637
p-Menthene-1,3-diol	1445	0.417
β -Humulene	1440	0.207
Caryophyllene (9-EPI-E)	1467	0.231
γ -Gurjunene	1473	1.235
p-Menthane-1,2,3-triol	1472	6.512
γ -Muurolene	1477	1.234
β -Selinene	1485	1.781
Isomenthyl acetate	1488	0.234
Guaiene (<i>cis</i> - β)	1490	3.027
Bicyclogermacrene	1494	1.220
α -Muurolene	1499	0.165
β -Guaiene (<i>trans</i>)	1500	0.654
α -Farnesene (E, E)	1508	0.374
1-Hydroxy-1,7-dimethyl-4-iso propyl-2,7-cyclodecadiene	1580	0.347
Caryophyllene oxide	1581	0.440
Khusinol	1620	0.071
n-Hexadecanoic acid	1754	1.321
Phytol	1949	0.912
Heptacosane	2130	2.186

En total (travaux 1,2,3 et 4), l'extraction par distillation à la vapeur d'eau apparaît comme la technique la plus efficace, car elle permet de préserver un plus large spectre de composés bioactifs (antioxydants naturels), ce qui se traduit par une activité antioxydante plus élevée par rapport à l'hydrodistillation.

II.2.3. Travaux sur Laurier noble

Cinquante et un, cinquante-cinq et quarante composés ont été identifiés respectivement dans les huiles essentielles provenant de Tunisie, d'Algérie et du Maroc, représentant respectivement 87,84 %, 96,9 % et 89,75 % du contenu total (**Tableau 8**).

D'un point de vue qualitatif, les huiles obtenues des trois pays présentent des compositions similaires ; les principaux composés communs sont le 1,8-cinéole, le linalol et l'isovaléraldéhyde. Ainsi, le lieu de récolte (pays) n'a pas d'effet majeur sur la composition chimique des huiles essentielles, mais influence leur teneur relative. Les constituants des huiles sont présents en proportions variables. Néanmoins, certains composants ne sont présents que dans l'une ou l'autre des huiles. À cet égard, le 2-carène (5,62 %), le 4-terpinéol (1,52 %) et l'acétate de bornyle (0,52 %) sont uniquement présents dans l'huile marocaine, tandis que le pentane (2,14 %), le phénol (1,73 %) et le terpinène (0,92 %) sont retrouvés à des niveaux élevés uniquement dans l'huile algérienne. L'huile tunisienne se caractérise par la présence de camphre (2,66 %), de terpinéol-1-ol (1,47 %), de 2-norbornanone (1,20 %) et d'éremophilène (0,67 %) (**J. Mediouni Ben Jemâa et al., 2012**).

Tableau 7. Composition en pourcentage des huiles essentielles de *Laurus nobilis* récoltées en Tunisie, en Algérie et au Maroc (Les composés majeurs et prédominants sont indiqués en gras) (J. Mediouni Ben Jemâa et al., 2012).

Components	RT	KI	Tunisia	Algeria	Morocco
Isohexane	2.06	636	0.35	0.33	0.41
Pentane	2.14	663	0.47	2.14	—
Isovaleraldehyde	2.27	701	9.65	8.82	10.47
Cyclopentane	2.5	716	0.11	0.10	—
1,3-pentadiene	2.62	724	—	—	0.02
Heptanen	3.29	766	0.03	0.03	—
α -thujene	8.65	921	0.22	0.44	0.33
α-pinene	8.88	930	2.52	4.58	4.31
Camphene	9.27	945	0.41	0.25	0.42
β-phellandrene	10.13	977	3.85	5.71	—
β-pinene	10.19	980	1.39	1.95	1.92
β-myrcene	10.61	995	0.30	0.87	0.80
ι -phellandrene	11	1006	—	—	0.19
α -phellandrene	11.01	1006	—	0.11	—
Δ 3-carene	11.16	1010	0.11	0.42	0.19
α -terpinene	11.38	1014	0.11	0.28	0.32
1,8-cineole	12.05	1029	24.55	34.62	38.86
β -Ocimene	12.07	1030	0.04	0.28	—
γ-terpinene	12.68	1045	0.26	0.22	0.62
Trans-sabinene hydrate	12.96	1050	0.14	0.08	0.30
α -terpinolene	13.57	1063	—	0.15	0.20
2-norbornanone	13.60	1064	1.20	—	—
Linalool	14.28	1080	17.67	12.57	9.45
Cis-sabinene hydrate	14.64	1087	—	—	0.08
1-terpineol	14.67	1087	—	0.04	—
2-cyclohexen-1-ol	14.71	1089	0.08	—	—
Camphor	15.39	1111	2.66	—	—
Tepinene	16.30	1125	—	0.92	—
4-terpienol	16.31	1125	—	—	1.52
Tepinen-1-ol	16.33	1126	1.47	—	—
α-terpineol	16.72	1189	1.29	0.90	5.83
2-pinen-10-ol	16.84	1196	0.14	—	—
Esdragole	16.85	1197	—	0.12	—
Cis-geraniol	17.70	1229	0.10	0.08	0.14
Linalyl acetate	18.45	1257	0.69	0.41	—
Pulegone	18.03	1264	—	—	0.05
Vertiverol	18.1	1266	—	—	0.08
Endobornyl acetate	19.29	1292	—	0.15	—
α -fenchyl acetate	19.30	1288	0.40	—	—
1-bornyl acetate	19.31	1293	—	—	0.52
2-undecanone	19.48	1297	0.09	—	0.06
Phenol	19.92	1312	0.30	1.73	—
2-carene	21.11	1358	—	—	5.62
Camphene	21.14	1357	7.21	8.91	—
Eugenol	21.33	1367	2.18	—	1.42
Nerylacetate	21.36	1368	—	—	0.13
γ -phenylpropyl acetate	21.57	1376	—	0.09	—
Geraniol acetate	21.86	1386	0.08	—	—
β -elemene	22.15	1398	0.08	0.31	0.16
Eugenylmethylether	22.67	1415	12.40	2.84	3.93
α -gurjunene	22.61	1414	—	0.10	—
Trans-caryophyllene	22.87	1426	—	—	0.05
β -caryophyllene	22.89	1426	0.27	—	—
Trans-β-caryophyllene	22.91	1428	—	0.74	—
α-guaiene	23.34	1443	0.10	0.8	—
Cinnamyl acetate	23.47	1448	—	—	0.06
Iso-eugenol	23.63	1455	—	—	0.03
α -caryophyllene	23.74	1459	0.08	—	—
Epizonaren	23.79	1461	—	0.06	—
Aromadendrene	23.91	1467	—	0.23	—
Ethyl-cinnamate	23.99	1468	—	—	0.25
Cinnamic acidethyl ester	24	1469	—	0.11	—
Cyclodecene	24.08	1471	0.08	—	—
Germacene-D	24.41	1486	—	0.18	—
β -selinene	24.53	1489	—	0.04	0.18
Naphtalene	24.55	1490	0.27	0.19	—
α -berganotene	24.66	1494	—	0.19	—
Methyl cis-isoegenol	24.77	1499	—	—	0.16
Eremophilene	24.79	1499	0.67	—	—
Lepidozene	24.79	1500	—	0.39	—
Germacrene	24.99	1508	—	—	0.1
α -amorphene	25.20	1518	—	0.19	—
β -elemene	25.09	1511	0.17	—	—
Δ -cadinene	25.41	1526	0.10	0.09	—

β - isoprpyl	26.04	1554	0.05	—	—
Elemicin	26.15	1558	—	—	0.14
Benzene	26.17	1558	0.28	0.24	—
Spathulenol	26.80	1587	1.12	1.66	0.16
Globulol	26.89	1591	—	—	0.23
Caryophyllene epoxide	26.92	1592	—	0.47	—
Veridiflorol	27.09	1599	0.11	0.13	—
Ledol	27.35	1612	—	0.13	—
Δ -gurjunene	27.36	1612	0.09	—	—
Allo spathullenol	27.49	1625	—	0.08	—
β -maaliene	27.71	1626	—	—	0.04
β -gurjunene	27.94	1636	0.23	—	—
Caryophyllene	27.94	1636	—	0.09	—
Isospathulenol	28.12	1644	0.12	0.12	—
γ -cadinene	28.19	1646	—	0.07	—
2-naphthalenemethanol	28.43	1658	0.50	—	—
α -cadinol	18.48	1660	—	0.15	—
Ledene	28.51	1661	0.70	—	—
Total			87.84	96.9	89.75

- **Activité insecticide**

Dans les tests sur papier filtre, l'huile marocaine à 0,04 ml/cm² a montré la plus forte activité répulsive contre les adultes de *R. dominica* après une heure d'exposition. Le pourcentage de répulsion était de 87,5 %, contre respectivement 62,5 % et 57,5 % pour les huiles tunisienne et algérienne. L'activité maximale (100 % de répulsion) a été observée à la concentration la plus élevée (0,12 ml/cm²) après 3 et 5 heures d'exposition pour l'huile tunisienne, et après 1 heure pour l'huile marocaine.

Les propriétés insecticides dépendaient de l'origine géographique des huiles, puisque ce sont les composants majeurs qui déterminent leurs propriétés biologiques.

Des études antérieures ont rapporté que l'origine géographique, les variations saisonnières et de maturité, la variation génétique, les stades de croissance, la partie de la plante utilisée, ainsi que les conditions de séchage et de stockage après récolte peuvent influencer la composition des huiles essentielles. En outre, des facteurs climatiques tels que la chaleur et la sécheresse ont été associés aux profils des huiles essentielles. De plus, **Vokou et al. (1993)** ont souligné que l'altitude constitue un autre facteur environnemental important influençant le contenu et la composition chimique des huiles essentielles.

Les résultats présentés dans cet article ont montré une variation significative des activités répulsives et fumigènes des huiles essentielles de *L. nobilis* selon les régions. L'huile marocaine s'est révélée plus active contre *R. dominica* et *T. castaneum* que les huiles tunisienne et algérienne.

Le potentiel insecticide supérieur de l'huile marocaine pourrait être attribué à ses teneurs élevées en composants majeurs tels que le 1,8-cinéole (38,86 %), l'isovaléraldéhyde (10,47 %), le linalol (9,45 %) et l' α -terpinéol (5,83

En résumé, on peut avancer que les variations des activités insecticides des trois huiles essentielles de *L. nobilis* contre *R. dominica* et *T. castaneum* pourraient être liées aux différences dans les concentrations des composants actifs selon les régions. L'étude comparative a révélé que la composition chimique variait en fonction de l'origine géographique des huiles, et que ces variations étaient principalement quantitatives plutôt que qualitatives. Par ailleurs, nous avons trouvé que le 1,8-cinéole est le principal terpène présent dans l'huile essentielle des feuilles de *L. nobilis* et qu'il est donc impliqué dans les propriétés insecticides observées.

Dans les pays du Maghreb, l'utilisation de l'huile essentielle de *L. nobilis* comme agent de lutte biologique pourrait contribuer à accroître la valeur économique de cette plante. La présente étude a démontré que la composition des huiles essentielles de *L. nobilis* provenant de Tunisie, d'Algérie et du Maroc présente un profil similaire à celui publié pour d'autres régions géographiques, mais que l'huile du Maroc se distingue par une activité plus élevée contre deux espèces majeures de ravageurs (**J. Mediouni Ben Jemâa et al., 2012**).

II.3. Facteurs influençant la variabilité chimique et l'efficacité des huiles essentielles

II.3.1. Facteurs endogènes

Il s'agit de facteurs liés à la plante elle-même, tels que la partie de la plante où les huiles essentielles sont produites et accumulées, l'âge de la plante au moment de l'extraction de l'huile, ainsi que les caractéristiques génétiques qui régulent la sécrétion des huiles essentielles chez les plantes. Parmi lesquels :

- L'âge de la plante et les tissus responsables de la production de l'huile essentielle.
- La partie de la plante responsable de la production et du stockage de l'huile essentielle.
- La variation des géotypes au sein des espèces végétales.
- La densité de plantation.

II.3.2. Les facteurs exogènes

Ce sont des facteurs environnementaux qui influencent la croissance des plantes, la composition des huiles essentielles, leur rendement ainsi que leur efficacité. Ces facteurs incluent la lumière, les précipitations, la localisation géographique (altitude et latitude), ainsi que les caractéristiques du sol (pH et composition). Parmi lesquels :

- L'intensité lumineuse et la température.
- La disponibilité en eau.
- L'altitude et la latitude.
- Le type de sol et sa composition.
- Les variations saisonnières.
- Le traitement du matériau végétal avant l'extraction de l'huile.
- La méthode d'extraction de l'huile.
- Les conditions de stockage des huiles essentielles (**Lydia Mugao., 2024**).

Conclusion

Conclusion

Au terme de cette étude, il apparaît clairement que les huiles essentielles constituent une ressource naturelle précieuse aux multiples vertus biochimiques et physiologiques. Grâce à leur richesse en composés actifs, notamment les terpènes, terpénoïdes et phénols, elles présentent un large éventail d'activités biologiques, telles que des propriétés antimicrobiennes, antioxydantes, anti-inflammatoires, anticancéreuses, antidiabétiques, et bien d'autres. Les mécanismes d'action de ces huiles, complexes et parfois synergiques, justifient l'intérêt croissant pour leur utilisation en médecine alternative et complémentaire.

Par ailleurs, la diversité des méthodes d'extraction, qu'elles soient traditionnelles ou innovantes, influence significativement la qualité et la composition des huiles obtenues, soulignant l'importance d'un choix méthodologique adapté selon l'usage visé.

Les huiles essentielles trouvent aujourd'hui des applications variées dans de nombreux domaines. En aromathérapie, elles sont utilisées pour leurs effets bénéfiques sur le système nerveux, la gestion du stress, de l'anxiété et des troubles du sommeil. En cosmétique, elles entrent dans la composition de soins pour la peau, les cheveux et les produits d'hygiène corporelle grâce à leurs propriétés purifiantes, cicatrisantes et anti-âge. Dans l'agroalimentaire, certaines huiles sont employées comme agents aromatisants ou conservateurs naturels. En agriculture, elles sont à l'étude comme alternatives écologiques aux pesticides chimiques. Leur potentiel est de plus en plus exploré dans le domaine pharmaceutique, notamment pour développer des traitements naturels contre les infections, l'inflammation, ou certaines pathologies chroniques.

En somme, les huiles essentielles, par leur efficacité prouvée et leur profil naturel, offrent un potentiel thérapeutique considérable. Toutefois, leur usage nécessite une meilleure compréhension des doses, des interactions, et des effets à long terme. Des recherches plus approfondies sont donc essentielles pour garantir leur intégration sûre et efficace dans des protocoles de soins modernes.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques



Aazza S, Lyoussi B, Meg'ias C, Cort'es-Giraldo I, Vioque J, Figueiredo AC, et al. Anti-oxidant, anti-inflammatory and anti-proliferative activities of Moroccan commercial essential oils. *Nat Prod Commun* 2014; 9(4): 587-94.

Abdallah HM, Ezzat SM. Effect of the method of preparation on the composition and cytotoxic activity of the essential oil of *Pituranthos tortuosus*. *Z Naturforsch C* 2011; 66: 143-8.

Abdelli, I.; Hassani, F.; Brikci, S.B.; Ghalem, S. In silico study the inhibition of angiotensin converting enzyme 2 receptor of COVID-19 by *Ammoides verticillata* components harvested from Western Algeria. *J. Biomol. Struct. Dyn.* 2020, 1–14. [CrossRef] [PubMed].

Abdollahi, M.; Farshchi, A.; Nikfar, S.; Seyedifar, M. Effect of Chromium on Glucose and Lipid Profiles in Patients with Type 2 Diabetes; a Meta-Analysis Review of Randomized Trials. *J. Pharm. Pharm. Sci.* 2013, 16, 99–114. [CrossRef]

Abelan, U.S.; de Oliveira, A.C.; Cacoci, É.S.P.; Martins, T.E.A.; Giacon, V.M.; Velasco, M.V.R.; Lima, C.R.R.d.C. Potential use of essential oils in cosmetic and dermatological hair products: A review. *J. Cosmet. Dermatol.* 2022, 21, 1407–1418. [CrossRef].

Afolayan AJ, Sunmonu TO. *Artemisia afra* Jacq. ameliorates oxidative stress in the pancreas of streptozotocin-induced diabetic Wistar rats. *Biosci Biotechnol Biochem* 2011. 75(11):2083-2086.

Afoulous S, Ferhout H, Raelison EG, Valentin A, Moukarzel B, Couderc F, Bouajila J. Chemical composition and anticancer, anti-inflammatory, antioxidant and antimalarial activities of leaves essential oil of *Cedrelopsis grevei*. *Food Chem Toxicol* 2013; 56: 352-62.

Ahmed H. El-Ghorab (2006): The Chemical Composition of *the Mentha pulegium L.* Essential Oil from Egypt and its Antioxidant Activity, *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 9:2, 183-195: <http://dx.doi.org/10.1080/0972060X.2006.10643491>.

Akrout A, Gonzalez LA, El Jani H, Madrid PC. Antioxidant and antitumor activities of *Artemisia campestris* and *Thymelaea hirsuta* from southern Tunisia. *Food Chem Toxicol* 2011; 49: 342-7.

AlMotwaa, S. M., Alkhatib, M. H., & Alkreaty, H. M. (2019). Nanoemulsion-based camphor oil carrying ifosfamide: preparation, characterization, and *in-vitro* evaluation in cancer cells. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 10, 2018–2026.

Al-Said, M. S., Mothana, R. A., Al-Yahya, M. M., Rafatullah, S., Al-Sohaibani, M. O., Khaled, J. M., et al. (2016). GC-MS analysis: *In vivo* hepatoprotective and antioxidant activities of the

essential oil of *Achillea biebersteinii* afan. Growing in Saudi Arabia. Evidence-based Complementary and alternative medicine <https://doi.org/10.1155/2016/1867048> 2016.

Al-Sereiti MR, Abu-Amer KM, Sen P. Pharmacology of rosemary (*Rosmarinus officinalis* Linn.) and its therapeutic potentials. In *dian J Exp Biol* 1999; 37: 124-30.

Amato A., Liotta R., Mulè F. Effects of menthol on circular smooth muscle of human colon: Analysis of the mechanism of action. *Eur. J. Pharmacol.* 2014;740:295–301. doi: 10.1016/j.ejphar.2014.07.018. [DOI] [PubMed] [Google Scholar].

Amato A., Serio R., Mulè F. Involvement of cholinergic nicotinic receptors in the menthol-induced gastric relaxation. *Eur. J. Pharmacol.* 2014;745:129–134. doi: 10.1016/j.ejphar.2014.10.012. [DOI] [PubMed] [Google Scholar].

Amel Jerbi, Amal Derbali, Abdelfatteh Elfeki & Majed Kammoun (2017) Essential Oil Composition and Biological Activities of *Eucalyptus globulus* Leaves Extracts from Tunisia, *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 20:2, 438-448, DOI: 10.1080/0972060X.2017.1304832

Antunes, M.D.C.; Cavaco, A.M. The use of essential oils for postharvest decay control. A review. *Flavour Fragr. J.* 2010, 25, 351–366. [CrossRef].

Arunasree, K. M. (2010). Anti-proliferative effects of carvacrol on a human metastatic breast cancer cell line, MDA-MB 231. *Phytomedicine*, 17, 581–588.

Ataei, S., Azari, P., Hassan, A., Pinguan-Murphy, B., Yahya, R., & Muhamad, F. (2020). Essential Oils-Loaded Electrospun Biopolymers: A Future Perspective for Active Food Packaging. *Advances in Polymer Technology*. <https://doi.org/10.1155/2020/9040535> 2020.

Atsumi, T.; Fujisawa, S.; Tonosaki, K. A comparative study of the antioxidant/prooxidant activities of eugenol and isoeugenol with various concentrations and oxidation conditions. *Toxicol. Vitro*. 2005, 19, 1025–1033. [CrossRef]

Aumeeruddy-Elalfi, Z., Gurib-Fakim, A., & Mahomoodally, M. F. (2016). Chemical composition, antimicrobial and antibiotic potentiating activity of essential oils from 10 tropical medicinal plants from Mauritius. *Journal of Herbal Medicine*, 6, 88–95.

Azmi AS, Bhat SH, Hanif S and Hadi S, Plant polyphenols mobilize endogenous copper in human peripheral lymphocytes leading to oxidative DNA breakage: a putative mechanism for anticancer properties. *FEBS letters* 580: 533-538 (2006).

B

B. Sharmeen Jugreeta, Shanoo Suroowana, R.R. Kannan Rengasamyb, M. Fawzi Mahomoodally. Chemistry, bioactivities, mode of action and industrial applications of essential oils, [https://doi.org/10.1016/j.tifs.\(2020\).04.025](https://doi.org/10.1016/j.tifs.(2020).04.025).

Babar Ali, Naser Ali Al-Wabel, Saiba Shams, Aftab Ahamad, Shah Alam Khan, Firoz Anwar, Essential oils used in aromatherapy: A systemic review. *AsianPacJTropBiomed* 2015 ; ▪ (▪) :1–11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.05.007>

Bagora Bayala¹, Imaël HN Bassole, Riccardo Scifo, Charlemagne Gnoula, Laurent More, Jean-Marc A Lobaccaro, Jacques Simpire. Anticancer activity of essential oils and their chemical components - a review, *Am J Cancer Res* 2014;4(6):591-607.

Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, Idaomar M. Biological effects of essential oils--a review. *Food Chem Toxicol* 2008; 46: 446-75.

Bakkali, F.; Averbeck, S.; Averbeck, D.; Zhiri, A.; Baudoux, D.; Idaomar, M. Antigenotoxic effects of three essential oils in diploid yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) after treatments with UVC radiation, 8-MOP plus UVA and MMS. *Mutat. Res.-Genet. Toxicol. Environ. Mutagenesis* 2006, 606, 27–38. [CrossRef]

Bayala B, Bassole IHN, Gnoula C, Nebie R, Yonli A, Morel L, Figueredo G, Nikiema JB, Lobaccaro JMA, Simpire J. Chemical composition, antioxidant, anti-inflammatory and anti-proliferative activities of essential oils of plants from burkina faso. *PLoS One* 2014; 9: e92122.

Bhatnagar, Maheep (2009). Novel Leads from Herbal Drugs for Neurodegenerative Diseases. In K. G. Ramawat (Ed.). *Herbal Drugs: Ethnomedicine to Modern Medicine* (pp. 221–238). (In: Ramawat K. (eds)). Berlin, Heidelberg: Springer In press.

Bilia, A. R., Guccione, C., Isacchi, B., Righeschi, C., Firenzuoli, F., & Bergonzi, M. C. (2014). Essential oils loaded in nanosystems: a developing strategy for a successful therapeutic approach. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. <https://doi.org/10.1155/2014/651593> 2014.

Böhme, K.; Velázquez, J.B.; Calo-Mata, P.; Aubourg, S.P. Antibacterial, Antiviral and Antifungal Activity of Essential Oils: Mechanisms and Applications. In *Antimicrobial Compounds*; Springer Science and Business Media LLC: Berlin/Heidelberg, Germany, 2013; pp. 51–81.

Bou DD, Lago JHG, Figueiredo CR, Matsuo AL, Guadagnin RC, Soares MG, Sartorelli P. Chemical composition and cytotoxicity evaluation of essential oil from leaves of *Casearia*

sylvestris, its main compound α -zingiberene and derivatives. *Mol Basel Switz* 2013 ; 18 : 9477-87.

Boukhatem M.N. (2018). *Plantes Aromatique et Médicinale : le Géranium Odorant. Description Botanique, Composition Chimique et Vertus Thérapeutiques.* Editions Universitaires Européennes. ISBN : 6202277475.

Boukhatem Mohamed Nadjib, FERHAT Amine et KAMELI Abdelkrim. Méthodes D'extraction Et De Distillation Des Huiles Essentielles : Revue De Littérature, *Revue Agrobiologia* (2019) 9(2) : 1653-1659.

Boukhris, M., Bouaziz, M., Feki, I., Jemai, H., El Feki, A., & Sayadi, S. (2012). Hypoglycemic and antioxidant effects of leaf essential oil of *Pelargonium graveolens* L'Hér. in alloxan induced diabetic rats. *Lipids in health and disease*, 11, 81. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-11-81>.

Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review. *International journal of food microbiology*, 94, 223–253.

C

Cai L, Ye H, Li X, Lin Y, Yu F, Chen J, Li H, Liu X. Chemical constituents of volatile oil from *pyrolae herba* and antiproliferative activity against SW1353 human chondrosarcoma cells. *Int J Oncol* 2013; 42: 1452-8.

Caissard J.-C., Joly C., Bergougoux V., Hugueney P., Mauriat M. and Baudino S. – 2004 – Secretion mechanisms of volatile organic compounds in specialized cells of aromatic plants – *Recent Research of Development and Cell Biology*, 2: 1-15

Carnesecchi S, Schneider Y, Ceraline J, Duranton B, Gosse F, Seiler N, Raul F. Geraniol, a component of plant essential oils, inhibits growth and polyamine biosynthesis in human colon cancer cells. *J Pharmacol Exp Ther* 2001; 298: 197-200.

Carson, C. F., Mee, B. J., & Riley, T. V. (2002). Mechanism of action of *Melaleuca al ternifolia* (tea tree) oil on *Staphylococcus aureus* determined by time-kill, lysis, leakage, and salt tolerance assays and electron microscopy. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 46, 1914–1920.

Cavalieri, E., Mariotto, S., Fabrizi, C., De Prati, A. C., Gottardo, R., Leone, S., et al. (2004). α -Bisabolol, a nontoxic natural compound, strongly induces apoptosis in glioma cells. *Biochemical and biophysical research communications*, 315, 589–594.

Chenni Mohammed, Douniazad El Abed. Procédés d'extraction des produits bioactifs : *PhytoChem & BioSub Journal* Vol. 11(1) 2017 ISSN 2170-1768.

Chidambara Murthy KN, Jayaprakasha GK, Patil BS. D-limonene rich volatile oil from blood oranges inhibits angiogenesis, metastasis and cell death in human colon cancer cells. *Life Sci* 2012; 91: 429-39.

Chou, S. T., Chang, W. L., Chang, C. T., Hsu, S. L., Lin, Y. C., & Shih, Y. (2013). Cinnamomum cassia essential oil inhibits α -MSH-induced melanin production and oxidative stress in murine B16 melanoma cells. *International journal of molecular sciences*, 14, 19186–19201.

Chung, M. J., Cho, S. Y., Bhuiyan, M. J. H., Kim, K. H., & Lee, S. J. (2010). Anti-diabetic effects of lemon balm (*Melissa officinalis*) essential oil on glucose- and lipid-regulating enzymes in type 2 diabetic mice. *British journal of nutrition*, 104, 180–188.

Civitelli, L. ; Panella, S. ; Marcocci, M.E. ; De Petris, A. ; Garzoli, S. ; Pepi, F. ; Vavala, E. ; Ragno, R. ; Nencioni, L. ; Palamara, A. ; et al. *In vitro* inhibition of herpes simplex virus type 1 replication by *Mentha suaveolens* essential oil and its main component piperitenone oxide. *Phytomedicine* 2014, 21, 857–865. [CrossRef].

Cliver, D.O. Capsid and Infectivity in Virus Detection. *Food Environ. Virol.* 2009, 1, 123–128. [CrossRef].

D

Darsham, S.; Doreswamug, R. Patented anti-inflammatory plant drug development from traditional medicine. *Phytother. Res.* 2004, 18, 343-357.

De Toledo, L., Ramos, M., Spósito, L., Castilho, E., Pavan, F., Lopes, É., et al. (2016). Essential oil of *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle: a strategy to combat fungal infections caused by *Candida species*. *International journal of molecular sciences*, 17, 1252.

Deschamp S. 60 huiles essentielles de plantes. Paris, Éditions Arys. La Vie Naturelle, HS 17 nationales. 1990.

Devi R.C., Sim S.M., Ismail R. Spasmolytic effect of citral and extracts of *Cymbopogon citratus* on isolated rabbit ileum. *J. Smooth Muscle Res.* 2011; 47:143–156. doi: 10.1540/jsmr.47.143. [DOI] [PubMed] [Google Scholar].

Djeridane, A.; Yousfi, M.; Nadjemi, B.; Boutassouna, D.; Stocker, P.; Vidal, N. Antioxidant Activity of Some Algerian Medicinal Plants Extracts Containing Phenolic Compounds. *Food Chem.* 2006, 97, 654–660.

Do N Fontes JE, Ferraz RPC, Britto ACS, Carvalho AA, Moraes MO, Pessoa C, Costa EV, Bezerra DP. Antitumor effect of the essential oil from leaves of *Guatteria pogonopus* (Annonaceae). *Chem Biodivers* 2013; 10: 722-9.

E

El-Banna, H., Soliman, M., & Al-Wabel, N. (2013). Hepatoprotective effects of *Thymus* and *Salvia* essential oils on paracetamol-induced toxicity in rats. *Journal of Physiology and Pharmacology Advances*, 3, 41–47.

El-Bassossy, H. M., Fahmy, A., & Badawy, D. (2011). Cinnamaldehyde protects from the hypertension associated with diabetes. *Food and Chemical Toxicology*, 49, 3007–3012.

El-Ghorab A, El-Massry KF and Shibamoto T, Chemical composition of the volatile extract and antioxidant activities of the volatile and nonvolatile extracts of Egyptian corn silk (*Zea mays* L.). *J Agric Food Chem* 55: 9124-9127 (2007).

Eliza J, Daisy P, Ignacimuthu S, Duraipandiyan V. Normoglycemic and hypolipidemic effect of costunolide isolated from *Costus speciosus* (Koen ex. Retz.) Sm. in streptozotocin-induced diabetic rats. *Chem Biol Interact* 2009. 179(2- 3):329-334.

Elmi, A.; Ventrella, D.; Barone, F.; Carnevali, G.; Filippini, G.; Pisi, A.; Benvenuti, S.; Scozzoli, M.; Bacci, M.L. *In vitro* effects of *tea tree* oil (*Melaleuca Alternifolia* essential oil) and its principal component terpinen-4-ol on swine spermatozoa. *Molecules* 2019, 24, 1071. [CrossRef] [PubMed]

El-Najjar N, Chatila M, Moukadem H, Vuorela H, Ocker M, Gandesiri M, Schneider-Stock R, Gali-Muhtasib H. Reactive oxygen species mediate thymoquinone-induced apoptosis and activate ERK and JNK signaling. *Apoptosis* 2010; 15: 183-95.

Embuscado, M. E., & Huber, K. C. (2009). *Edible films and coatings for food applications*, 222. London New York: Springer.

Erkan, N., Ayranci, G., & Ayranci, E. (2012). Lipid oxidation inhibiting capacities of blackseed essential oil and *rosemary* extract. *European journal of lipid science and technology*, 114, 175–184.

Essien EE, Ogunwande IA, Setzer WN, Ekundayo O. Chemical composition, antimicrobial, and cytotoxicity studies on *S. erianthum* and *S. macranthum* essential oils. *Pharm Biol* 2012;50: 474-80.

Evangelista S. Quaternary ammonium derivatives as spasmolytics for irritable bowel syndrome. *Curr. Pharm. Des.* 2004;10:3561–3568. doi: 10.2174/1381612043382972. [DOI] [PubMed] [Google Scholar].

Evans WC. Trease and Evans pharmacognosy. 4th ed. London: WB Saunders Co; 2000.

F

Faleiro, M. L. (2011). The mode of antibacterial action of essential oils. *Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances*, 2, 1143–1156.

Farhat, A. (2010). Vapo-diffusion assistée par micro-ondes : conception, optimisation et application. Thèse de Doctorat en Sciences (option : Sciences des Procédés, Sciences des Aliments), Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse (France) & Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès (Tunisie).

Ferhat, M. A., Boukhatem, M. N., Hazzit, M., & Chemat, F. (2016). Rapid extraction of volatile compounds from *Citrus* fruits using a microwave dry distillation. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 8(3), 753-781.

Ferhat, M. A., Meklati, B. Y., Visinoni, F., Vian, M. A., & Chemat, F. (2008). Solvent free microwave extraction of essential oils. *Green chemistry in the teaching laboratory. Chimica Oggi*, 21-23.

Ferriotto, G.; Marchetti, N.; Costa, V.; Beninati, S.; Tagliati, F.; Mischiati, C.; Giordana, F.; Nicola, M.; Valentina, C.; Simone, B.; et al. Chemical Composition of Essential Oils from *Thymus vulgaris*, *Cymbopogon citratus*, and *Rosmarinus officinalis*, and Their effects on the HIV-1 Tat Protein Function. *Chem. Biodivers.* 2018, 15. [CrossRef] [PubMed].

Ferraz RPC, Cardoso GMB, da Silva TB, Fontes JE do N, Prata AP do N, Carvalho AA, Moraes MO, Pessoa C, Costa EV, Bezerra DP. Antitumour properties of the leaf essential oil of *Xylopiia frutescens* Aubl. (Annonaceae). *Food Chem* 2013; 141: 196-200.

Fogang HPD, Maggi F, Tapondjou LA, Womeni HM, Papa F, Quassinti L, Bramucci M, Vitali LA, Petrelli D, Lupidi G, Vittori S, Barboni L. *In vitro* Biological Activities of Seed Essential Oils from the Cameroonian Spices *Afrotyrax lepidophyllus* Mildbr. and *Scorodophloeus zenkeri* Harms Rich in Sulfur-Containing Compounds. *Chem Biodivers* 2014; 11: 161-9.

Frabboni, L., Tarantino, A., Petrucci, F., & Disciglio, G. (2019). Bio-herbicide effects of oregano and rosemary essential oils on chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) crop in organic farming system. *Agronomy*, 9, 475. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090475>.

Friedman, M., Philip, R. H., & Robert, E. M. (2002). Bactericidal activities of plant essential oils and some of their isolated constituents against *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, and *Salmonella enterica*. *Journal of food protection*, 65, 1545–1560.

G

Gao, T., Zhou, H., Zhou, W., Hu, L., Chen, J., & Shi, Z. (2016). The fungicidal activity of thymol against *Fusarium graminearum* via inducing lipid peroxidation and disrupting ergosterol biosynthesis. *Molecules*, 21, 770. <https://doi.org/10.3390/molecules21060770>.

Garozzo, A.; Timpanaro, R.; Stivala, A.; Bisignano, G.; Castro, A. Activity of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil on Influenza virus A/PR/8: Study on the mechanism of action. *Antivir. Res.* 2011, 89, 83–88. [CrossRef].

Gasmi J, Thomas Sanderson J. Jacaric acid and its octadecatrienoic acid geoisomers induce apoptosis selectively in cancerous human prostate cells: a mechanistic and 3-D structure–activity study. *Phytomedicine* 2013 ; 20 : 734-42.

Gattefossé RM. Aromathérapie : les huiles essentielles, hormones végétales. Paris, Librairie des Sciences, Girardot et Cie. 187 pages, 1937.

Gavahian, M., & Chu, Y. H. (2018). Ohmic accelerated steam distillation of essential oil from *lavender* in comparison with conventional steam distillation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 50, 34-41.

Gersbach PV: The essential oil secretory structures of *Prostanthera ovalifolia* (Lamiaceae). *Ann Bot (Lond)* 2002, 89:255-260.

Gilling, D.; Kitajima, M.; Torrey, J.; Bright, K.R. Antiviral efficacy and mechanisms of action of *oregano* essential oil and its primary component carvacrol against murine norovirus. *J. Appl. Microbiol.* 2014,116, 1149–1163. [CrossRef]

Girola, N., Figueiredo, C. R., Farias, C. F., Azevedo, R. A., Ferreira, A. K., Teixeira, S. F., et al. (2015). Camphene isolated from essential oil of *Piper cernuum* (Piperaceae) induces intrinsic apoptosis in melanoma cells and displays antitumor activity *in vivo*. *Biochemical and biophysical research communications*, 467, 928–934.

Gnatta JR, Piason PP, Lopes Cde L, Rogenski NM, Silva MJ. [Aromatherapy with *ylang ylang* for anxiety and self-esteem: a pilot study]. *Rev Esc Enferm USP* 2014; 48(3): 492-9. Portuguese.

Godlewska, K.; Ronga, D.; Michalak, I. Plant extracts-importance in sustainable agriculture. *Ital. J. Agron.* 2021, 16, 1851.

Golmakani, M. T., & Rezaei, K. (2008). Comparison of microwave-assisted hydrodistillation with the traditional hydrodistillation method in the extraction of essential oils from *Thymus vulgaris L.* Food Chemistry, 109(4), 925-930.

Gomes, A.; Fernandes, E.; Lima, J.L.F.C.; Mira, L.; Corvo, M.L. Molecular mechanisms of antiinflammatory activity mediated by flavonoids. Curr. Med. Chem. 2008, 15, 1586-1605.

Gopalsamy Rajiv Gandhi , Varghese Edwin Hillary , Poovathumkal James Antony , Linda L D Zhong , Devarajan Yogesh , Neenthamadathil Mohandas Krishnakumar , Stanislaus Antony Ceasar , Ren-You Gan. A systematic review on anti-diabetic plant essential oil compounds: Dietary sources, effects, molecular mechanisms, and safety, 2024;64(19):6526-6545.

Goudjil Bilal, Mohamed. (2016). "Composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydante de trois plantes aromatiques." UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA FACULTE.

Guenther, E. The Essential Oils; D. Van Nostrand Company Inc.: New York, NY, USA, 1948; p. 427. [[Google Scholar](#)].

Guinea, R.; Carrasco, L. Requirement for vacuolar proton-ATPase activity during entry of influenza virus into cells. J. Virol. 1995, 69, 2306–2312. [CrossRef] [PubMed].

Guzmán, E.; Lucia, A. Essential oils and their individual components in cosmetic products. Cosmetics 2021, 8, 114.

H

Haeseler, G.; Maue, D.; Grosskreutz, J.; Bufler, J.; Nentwig, B.; Piepenbrock, S.; Dengler, R.; Leuwer, M. Voltage-dependent block of neuronal and skeletal muscle sodium channels by thymol and menthol. Eur. J. Anaesthesiol. 2002, 19, 571–579. [CrossRef] [PubMed]

Han SH, Hur MH, Buckle J, Choi J, Lee MS. Effect of aroma therapy on symptoms of dysmenorrhea in college students: a randomized placebo-controlled clinical trial. J Altern Complement Med 2006; 12(6): 535-41.

Hassan, S., Berchová-Bímová, K., Šudomová, M., Malaník, M., Šmejkal, K., & Rengasamy, K. (2018). *In Vitro* Study of Multi-Therapeutic Properties of *Thymus bovei Benth.* Essential Oil and Its Main Component for Promoting Their Use in Clinical Practice. Journal of clinical medicine, 7, 283. <https://doi.org/10.3390/jcm7090283>.

Hernandez Ochoa LR. Substitution de solvants et matieres actives de synthese par une combine “solvant/actif” d’origine vegetale [Internet]. 2005 [cited 2013 Jul 27]. Available from:

<http://www.youscribe.com/catalogue/ressources-pedagogiques/education/etudes-superieures/n-d-ordre-these-1667992>. 603.

Hongratanaworakit T, Buchbauer G. Relaxing effect of *ylang ylang* oil on humans after transdermal absorption. *Phytother Res* 2006; 20: 758-63.

Hosseini, S. F., Zandi, M., Rezaei, M., & Farahmandghavi, F. (2013). Two-step method for encapsulation of *oregano* essential oil in chitosan nanoparticles: Preparation, characterization and *in vitro* release study. *Carbohydrate Polymers*, 95, 50–56.

Huang, H. C., Ho, Y. C., Lim, J. M., Chang, T. Y., Ho, C. L., & Chang, T. M. (2015). Investigation of the anti-melanogenic and antioxidant characteristics of *Eucalyptus camaldulensis* flower essential oil and determination of its chemical composition. *International journal of molecular sciences*, 16, 10470–10490.

Hubert, R. (1992). *Epices et aromates*. Edition Tec & Doc, Lavoisier, France.

Hussain AI, Anwar F, Nigam PS, Ashraf M, Gilani AH. Seasonal variation in content, chemical composition and antimicrobial and cytotoxic activities of essential oils from four *Mentha* species. *J Sci Food Agric* 2010; 90:1827-36.

Hyldgaard, M., Mygind, T., Meyer, R.L., 2012. Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Front. Microbiol.* 3, 12.

I

Iamareerat, B., Singh, M., Sadiq, M. B., & Anal, A. K. (2018). Reinforced cassava starch based edible film incorporated with essential oil and sodium bentonite nanoclay as food packaging material. *Journal of food science and technology*, 55, 1953–1959.

Isman, M.B.; Singh, B. *Botanical Insecticides, Deterrents, Repellents and Oils*; CABI: Oxfordsh, UK, 2010; pp. 433–445.

Izgi, M.N.; Telci, I.; Elmastas, M. Variation in essential oil composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) varieties cultivated in two different ecologies. *J. Essent. Oil Res.* 2017, 29, 494–498. [CrossRef]

J

Jackson AL, Loeb LA. The contribution of endogenous sources of DNA damage to the multiple mutations in cancer. *Mutat Res* 2001; 477: 7-21.

Jimbo D, Kimura Y, Taniguchi M, Inoue M, Urakami K. Effect of aromatherapy on patients with Alzheimer's disease. *Psychogeriatrics* 2009; 9: 173-9.

José-Luis Ríos. Essential Oils: What They Are and How the Terms Are Used and Defined: Spain, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00001-8>

Jouda Mediouni Ben Jemâaa, Nesrine Tersima, Karima Taleb Toudertb, Mohamed Larbi Khouja. Insecticidal activities of essential oils from leaves of *Laurus nobilis* L. from Tunisia, Algeria and Morocco, and comparative chemical composition, Journal of Stored Products Research 48 (2012) 97e104.

K

Kalemba-Drozd, M.; Cierniak, A. Antioxidant and genoprotective properties of extracts from edible flowers. J. Food Nutr. Res. 2019, 58, 42–50.

Kamatou, G.P.P.; Viljoen, A.M. A review of the application and pharmacological properties of α -bisabolol and α -bisabolol-rich oils. J. Am. Oil Chem. Soc. 2010, 87, 1-7.

Karagonlu, S., Başal, G., Ozyıldız, F., & Uzel, A. (2018). Preparation of *Thyme* Oil Loaded Microcapsules for Textile Applications. International Journal of New Technology and Research, 4, 1–8.

Keawsa-ard S, Liawruangrath B, Liawruangrath S, Teerawutgulrag A, Pyne SG. Chemical constituents and antioxidant and biological activities of the essential oil from leaves of *Solanum spirale*. Nat Prod Commun 2012; 7: 955-8.

Khajavi, R., Ahrari, M., Toliyat, T., & Bahadori, L. (2013). Molecular encapsulation of *lavender* essential oil by beta-cyclodextrin and dimethyl dihydroxy ethylene urea for fragrance finishing of cotton fabrics. Asian J Chem, 25, 459–465.

Khan A., Najeeb-ur-Rehman, Alkharfy K.M., Gilani A.H. Antidiarrheal and antispasmodic activities of *Salvia officinalis* are mediated through activation of K⁺ channels. Bangladesh J. Pharmacol. 2011; 6:111–116. doi: 10.3329/bjp.v6i2.9156. [\[DOI\]](#) [\[Google Scholar\]](#).

Kim HS, Lee EH, Ko SR, Choi KJ, Park JH, Im DS. Effects of ginsenosides Rg3 and Rh2 on the proliferation of prostate cancer cells. Arch Pharm Res 2004; 27: 429-35.

Kim J, Marshall MR, Wei C (1995). Antibacterial activity of some essential oils components against five foodborne pathogens. J. Agric. Food Chem. 43(11): 2839-2845.

Kim S, Kim HJ, Yeo JS, Hong SJ, Lee JM, Jeon Y. The effect of *lavender* oil on stress, bispectral index values, and needle insertion pain in volunteers. J Altern Complement Med 2011; 17: 823-6.

Kim, J.K.; Kim, Y.J.; Fillmore, J.J.; Chen, Y.; Moore, I.; Lee, J.; Yuan, M.; Li, Z.W.; Karin, M.; Perret, P.; et al. Prevention of Fat-Induced Insulin Resistance by Salicylate. *J. Clin. Investig.* 2001, 108, 437–446. [CrossRef]

Kim, Y. J., & Uyama, H. (2005). Tyrosinase inhibitors from natural and synthetic sources: structure, inhibition mechanism and perspective for the future. *Cellular and molecular life sciences*, 62, 1707–1723.

Kivanc M, Akgul A, Dogan A (1991). Inhibitory and stimulatory effects of *cumin*, *oregano* and their essential oils on growth and acid production of *Lactobacillus plantarum* and *Leuconostoc mesenteroides*. *Int. J. Food Microbiol.* 13(1): 81-85.

Koh KJ, Pearce AL, Marshman G, Finlay-Jones JJ, Hart PH. *Tea tree* oil reduces histamine-induced skin inflammation. *Br J Der matol* 2002; 147: 1212-7.

Koulivand PH, Ghadiri MK, Gorji A. *Lavender* and the nervous system. *Evid Based Complement Altern Med* 2013; [http:// dx.doi.org/10.1155/2013/681304](http://dx.doi.org/10.1155/2013/681304).

Kpoviessi S, Bero J, Agbani P, Gbaguidi F, Kpadonou-Kpoviessi B, Sinsin B, Accrombessi G, Frédéric M, Moudachirou M, Quetin-Leclercq J. Chemical composition, cytotoxicity and *in vitro* antitrypanosomal and antiplasmodial activity of the essential oils of four *Cymbopogon* species from Benin. *J Ethnopharmacol* 2014; 151: 652-9.

Kuo I.Y., Ehrlich B.E. Signaling in Muscle Contraction. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.* 2015;7:a006023. doi: 10.1101/cshperspect. a006023. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar].

Kuo I.Y., Ehrlich B.E. Signaling in Muscle Contraction. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.* 2015;7:a006023. doi: 10.1101/cshperspect. a006023. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar].

L

Lahlou M. Essential oils and fragrance compounds: bioactivity and mechanisms of action. *J Flavour Fragr* 2004; 19: 159-65.

Laios, K.; Lytsikas-Sarlis, P.; Manes, K.; Kontaxaki, M.I.; Karamanou, M.; Androustos, G. Drugs for mental illnesses in ancient greek medicine. *Psychiatrike* 2019, 30, 58–65. [CrossRef] 69.

Woolf, A. Essential oil poisoning. *J. Toxicol. Clin. Toxicol.* 1999, 37, 721–727. [CrossRef]

Lardry JM, Haberkorn V. Les formes galéniques destinées à l’usage externe. *Kinésithérapie, Les Annales*, n° 16, avril 2003, 21-5.

- Lardry, J. M., & Haberkorn, V. (2007). L'aromathérapie et les huiles essentielles. *Kinésithérapie, la revue*, 7(61), 14-17.
- Lawless J. *The illustrated encyclopedia of essential oils: the complete guide to the use of oils in aromatherapy & herbalism*. Rockport: Element Books Ltd; 1995.
- Leal-Cardoso J.H., Lahlou S., Coelho-de-Souza A.N., Criddle D.N., Pinto Duarte G.I.B., Santos M.A.V., Magalhães P.J.C. Inhibitory actions of eugenol on rat isolated ileum. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 2002; 80:901–906. doi: 10.1139/y02-117. [DOI] [PubMed] [Google Scholar].
- Lertsatitthanakorn, P.; Taweechaisupapong, S.; Aromdee, C.; Khunkitti, W. *In vitro* bioactivities of essential oils used for acne control. *Int. J. Aromather.* 2006, 16, 43–49. [CrossRef].
- Leszczynska, D. (2007). *Management de l'innovation dans l'industrie aromatique : Cas des PME de la région de Grasse*. Editions l'Harmattan, Paris, France.
- Li YL, Yeung CM, Chiu LCM, Cen YZ, Ooi VEC. Chemical composition and antiproliferative activity of essential oil from the leaves of a medicinal herb, *Schefflera heptaphylla*. *Phytother Res* 2009; 23: 140-2.
- Li, A., Han, L., & Han, C. C. (2012). Antioxidant and neuroprotective activities of essential oil isolated from Chinese herb pairs of *Angelica sinensis* and *Sophora flavescens*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2, 1–4.
- Li, K. K., Yin, S. W., Yang, X. Q., Tang, C. H., & Wei, Z. H. (2012). Fabrication and characterization of novel antimicrobial films derived from thymol-loaded zein–sodium caseinate (SC) nanoparticles. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60, 11592–11600.
- Lila Harkat-Madouria, b, Boudria Asmaa, Khodir Madania, Zakia Bey-Ould Si Saida, Peggy Rigouc, Daniel Grenierd, Hanane Allaloua, Hocine Reminia, Abdennour Adjaouda, Lila Boulekbache-Makhloufa, Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of essential oil of *Eucalyptus globulus* from Algeria. *Industrial Crops and Products* 78 (2015) 148–153.
- Lis-Balchin M. *Aromatherapy: a guide for healthcare professionals*. London: Pharmaceutical Press; 2006.
- Lis-Balchin M., Hart S. Studies on the mode of action of the essential oil of Lavender (*Lavandula angustifolia* P. Miller) *Phytother. Res.* 1999; 13:540–542. doi: 10.1002/(SICI)1099-1573(199909)13:6<#x0003c; 540: AID-PTR523<#x0003e;3.0.CO;2-I. [DOI] [PubMed] [Google Scholar].

Lohani, A.; Mishra, A.K.; Verma, A. Cosmeceutical potential of *geranium* and *calendula* essential oil: Determination of antioxidant activity and *in vitro* sun protection factor. J. Cosmet. Dermatol. 2019, 18, 550–557. [CrossRef] [PubMed].

Loizzo MR, Tundis R, Menichini F, Saab AM, Statti GA, Menichini F. Antiproliferative effects of essential oils and their major constituents in human renal adenocarcinoma and amelanotic melanoma cells. Cell Prolif 2008; 41: 1002- 12.

Loizzo MR, Tundis R, Menichini F, Saab AM, Statti GA, Menichini F. Cytotoxic activity of essential oils from labiatae and lauraceae families against *in vitro* human tumor models. Anticancer Res 2007; 27: 3293-9.

Lozon Y., Sultan A., Lansdell S.J., Prytkova T., Sadek B., Yang K.-H.S., Howarth F.C., Millar N.S., Oz M. Inhibition of human $\alpha 7$ nicotinic acetylcholine receptors by cyclic monoterpene carveol. Eur. J. Pharmacol. 2016 ;776 :44–51. Doi : 10.1016/j.ejphar.2016.02.004. [DOI] [PubMed] [Google Scholar].

Lucchesi, M. E. (2005). Extraction sans solvant assistée par micro-ondes : conception et application à l'extraction des huiles essentielles. Thèse de Doctorat en Sciences (option : Chimie), Faculté des Sciences et Technologies, Université de la Réunion, France.

Lydia Mugao. Factors influencing yield, chemical composition and efficacy of essential oils. International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation. Vol. 05; 2024; P. 169-178.

M

Makrane H., Aziz M., Mekhfi H., Ziyat A., Bnouham M., Abdelkhaleq L., Gressier B., Eto B. Antispasmodic and Myorelaxant Activity of Organic Fractions from *Origanum majorana L.* on Intestinal Smooth Muscle of Rodents. European J. Med. Plants. 2018; 23:1–11. doi: 10.9734/EJMP/2018/41075. [DOI] [Google Scholar].

Manjamalai A, Kumar MJM, Grace VMB. Essential oil of *Tridax procumbens L* induces apoptosis and suppresses angiogenesis and lung metastasis of the B16F-10 cell line in C57BL/6 mice. Asian Pac J Cancer Prev 2012; 13: 5887-95.

Mantovani A. Cancer: inflammation by remote control. Nature 2005; 435: 752-3.

Màthé A. (Ed). (2015). Medicinal and Aromatic Plants of the World: Scientific, Production, Commercial and Utilization Aspects (Vol. 1). Springer Science+Business Media <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9810-5>

- Mau JL, Lai EYC, Wang NP, Chen CC, Chang CH and Chyau CC, Composition and antioxidant activity of the essential oil from *Curcuma zedoaria*. Food Chem 82: 583-591 (2003).
- Mehmood M.H., Munir S., Khalid U.A., Asrar M., Gilani A.H. Antidiarrhoeal, antisecretory and antispasmodic activities of *Matricaria chamomilla* are mediated predominantly through K⁺-channels activation. BMC Complement. Altern. Med. 2015; 15:75. doi: 10.1186/s12906-015-0595-6. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar].
- Mélanie Garcia., La vie est belle au naturel. www. Lavieestbelleaunaturel.com.
- Meriem Abdellia, Houria Moghrania, Assia Abounb, Rachida Maachia, Algerian *Mentha pulegium* L. leaves essential oil: Chemical composition, antimicrobial, insecticidal and antioxidant activities. Industrial Crops and Products 94 (2016) 197–205.
- Mérillon, J.-M.; Rivière, C. Natural Antimicrobial Agents; Springer International Publishing AG: Cham, Switzerland, 2018.
- Miner, K., & Bauer, W. (2016). Consumer Acceptability of Lemon Essential Oil as a Lemon Juice Substitute or Flavor Enhancer: A Pilot Study. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, 116, A46. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2016.06.151>.
- Mirmostafae, S., Azizi, M., & Fujii, Y. (2020). Study of Allelopathic Interaction of Essential Oils from Medicinal and Aromatic Plants on Seed Germination and Seedling Growth of Lettuce. Agronomy, 10, 163. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020163>.
- Mohd Sayeed Akthar, Birhanu Degaga and Tanweer Azam. Antimicrobial activity of essential oils extracted from medicinal plants against the pathogenic microorganisms. Issues in Biological Sciences and Pharmaceutical Research Vol.2 (1), pp. 001-007, January 2014.
- Moon, H. K., Kang, P., Lee, H. S., Min, S. S., & Seol, G. H. (2014). Effects of 1, 8-cineole on hypertension induced by chronic exposure to nicotine in rats. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 66, 688–693.
- Mori, K.; Obossou, E.K.; Suwa, S.; Miura, S.; Oh, S.; Jinbo, N.; Ishibashi, Y.; Shikamoto, Y.; Hosono, T.; Toda, T. Human Immunodeficiency virus type 1 (hiv-1) reverse transcriptase inhibitory effect of *Cymbopogon nardus* essential oil. Int. J. Adv. Res. 2016, 2, 7–13.
- Mulyaningsih S, Youns M, El-Readi MZ, Ashour ML, Nibret E, Sporer F, Herrmann F, Reichling J, Wink M. Biological activity of the essential oil of *Kadsura longipedunculata* (Schisandraceae) and its major components. J Pharm Pharmacol 2010; 62: 1037-44.

N

Ni X, Suhail MM, Yang Q, Cao A, Fung KM, Postier RG, Woolley C, Young G, Zhang J, Lin HK. Frankincense essential oil prepared from hydrodistillation of *Boswellia sacra* gum resins induces human pancreatic cancer cell death in cultures and in a xenograft murine model. BMC Complement Altern Med 2012; 12: 253.

Nishikawa, T.; Edelstein, D.; Du, X.L.; Yamagishi, S.; Matsumura, T.; Kaneda, Y.; Yorek, M.A.; Beebe, D.; Oates, P.J.; Hammes, H.P.; et al. Normalizing Mitochondrial Superoxide Production Blocks Three Pathways of Hyperglycaemic Damage. Nature 2000, 404, 787–790. [CrossRef]

O

Oboh, G., Olasehinde, T. A., & Ademosun, A. O. (2014). Essential oil from *lemon* peels inhibits key enzymes linked to neurodegenerative conditions and pro-oxidant induced lipid peroxidation. Journal of oleo science, 63, 373–381.

Oh, J.Y.; Park, M.A.; Kim, Y.C. *Peppermint* oil promotes hair growth without toxic signs. Toxicol. Res. 2014, 30, 297–304. [CrossRef].

Ojagh, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H., & Hosseini, S. M. H. (2010). Development and evaluation of a novel biodegradable film made from *chitosan* and *cinnamon* essential oil with low affinity toward water. Food Chemistry, 122, 161–166.

Olivero-Verbel, J., González-Cervera, T., Güette-Fernandez, J., Jaramillo-Colorado, B., & Stashenko, E. (2010). Chemical composition and antioxidant activity of essential oils isolated from Colombian plants. Brasileira de Farmacognosia, 20(4), 568-574.

Orhan, I., Kartal, M., Kan, Y., & Şener, B. (2008). Activity of essential oils and individual components against acetyl and butyrylcholinesterase. Festschrift fuer Naturforschung C, 63, 547–553.

OSimpson BB, Conner-Ogorzaly M (1986) Economic botany. McGraw-Hill, New York.

Ou MC, Hsu TF, Lai AC, Lin YT, Lin CC. Pain relief assessment by aromatic essential oil massage on outpatients with primary dysmenorrhea: a randomized, double-blind clinical trial. J Obstet Gynaecol Res 2012; 38(5): 817-22.

Oz M., El Nebrisi E.G., Yang K.-H.S., Howarth F.C., Al Kury L.T. Cellular and Molecular Targets of Menthol Actions. Front. Pharmacol. 2017; 8:472. doi: 10.3389/fphar.2017.00472. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar].

P

Paik SY, Koh KH, Beak SM, Paek SH, Kim JA. The essential oils from *Zanthoxylum schinifolium* pericarp induce apoptosis of HepG2 human hepatoma cells through increased production of reactive oxygen species. *Biol Pharm Bull* 2005; 28: 802-7

Pajaro-Castro, N.; Flechas, M.C.; Ocazonez, R.; Stashenko, E.; Olivero-Verbel, J. Potential interaction of components from essential oils with dengue virus proteins. *Bol. Latinoam. Caribe Plantas Med. Aromat.* 2015,14, 141–155.

Pavel Horoky, Sylvie Skalickova, Kristyna Smerkova, and Jiri Skladanka. Essential Oils as a Feed Additives: Pharmacokinetics and Potential Toxicity in Monogastric Animals, *Animals* 2019, 9, 352.

Paz, K.; Hemi, R.; LeRoith, D.; Karasik, A.; Elhanany, E.; Kanety, H.; Zick, Y. A Molecular Basis for Insulin Resistance. Elevated Serine/Threonine Phosphorylation of IRS-1 and IRS-2 Inhibits Their Binding to the Juxtamembrane Region of the Insulin Receptor and Impairs Their Ability to Undergo Insulin-Induced Tyrosine Phosphorylation. *J. Biol. Chem.* 1997, 272, 29911–29918. [CrossRef]

Pazyar N, Yaghoobi R, Bagherani N, Kazerouni A. A review of applications of *tea tree* oil in dermatology. *Int J Dermatol* 2013; 52: 784-90.

Pereira, C. G., & Meireles, M. A. A. (2010). Supercritical fluid extraction of bioactive compounds: fundamentals, applications and economic perspectives. *Food and Bioprocess Technology*, 3(3), 340-372.

Pichersky E, Noel JP, Dudareva N. Biosynthesis of plant volatiles: nature's diversity and ingenuity. *Science* 2006; 311: 808-11.

Price S. *The aromatherapy workbook*. London: Thorsons; 1993.

Q

Quassinti L, Lupidi G, Maggi F, Sagratini G, Papa F, Vittori S, Bianco A, Bramucci M. Antioxidant and antiproliferative activity of *Hypericum hircinum* L. subsp. majus (Aiton) N. Robson essential oil. *Nat Prod Res* 2013; 27:862-8.

R

- Raaman, N. (2006). Phytochemical techniques. New India Publishing, New Delhi, Inde. Masango, P. (2005). Cleaner production of essential oils by steam distillation. *Journal of Cleaner Production*, 13(8), 833-839.
- Rabi, T., & Bishayee, A. (2009). d-Limonene sensitizes docetaxel-induced cytotoxicity in human prostate cancer cells: Generation of reactive oxygen species and induction of apoptosis. *Journal of carcinogenesis*, 8, 9. <https://doi.org/10.4103/1477-3163.51368>.
- Radulovic, N.S.; Gencic, M.S.; Stojanovic, N.M.; Randjelovic, P.J.; Stojanovic-Radic, Z.Z.; Stojiljkovic, N.I. Toxic essential oils. Part V: Behaviour modulating and toxic properties of thujones and thujone-containing essential oils of *Salvia officinalis L.*, *Artemisia absinthium L.*, *Thuja occidentalis L.* and *Tanacetum vulgare L.* *Food Chem. Toxicol.* 2017, 105, 355–369. [CrossRef]
- Ralambondrainy, M.; Belarbi, E.; Viranaicken, W, W, W, W, W.; Baranauskienė, R.; Venskutonis, P.R.; Desprès, P.; Roques, P.; El Kalamouni, C.; Sélambarom, J. *In vitro* comparison of three common essential oils mosquito repellents as inhibitors of the Ross River virus. *PLoS ONE* 2018, 13, e0196757. [CrossRef].
- Rasheed H.M., Khan T., Wahid F., Khan R., Shah A.J. Chemical Composition and Vasorelaxant and Antispasmodic Effects of Essential Oil from *Rosa indica L.* Petals. *Evid. Based Complement. Alternat. Med.* 2015; 2015:279247. doi: 10.1155/2015/279247. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar].
- Rashid S, Rather MA, Shah WA, Bhat BA. Chemical composition, antimicrobial, cytotoxic and antioxidant activities of the essential oil of *Artemisia indica Willd.* *Food Chem* 2013; 138: 693-700.
- Rasoanaivo P, Fortuné Randriana R, Maggi F, Nicoletti M, Quassinti L, Bramucci M, Lupidi G, Petrelli D, Vitali LA, Papa F, Vittori S. Chemical composition and biological activities of the essential oil of *Athanasia brownii Hochr.* (Asteraceae) endemic to Madagascar. *Chem Biodivers* 2013; 10: 1876-86.
- Ribeiro-Santos, R., Andrade, M., de Melo, N. R., & Sanches-Silva, A. (2017). Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends. *Trends in food science & technology*, 61, 132–140.
- Rincón, E., Serrano, L., Balu, A. M., Aguilar, J. J., Luque, R., & García, A. (2019). Effect of Bay Leaves Essential Oil Concentration on the Properties of Biodegradable Carboxymethyl Cellulose-Based Edible Films. *Materials*, 12, 2356. <https://doi.org/10.3390/ma12152356>.

Robertson, R.P. Oxidative Stress and Impaired Insulin Secretion in Type 2 Diabetes. *Curr. Opin. Pharmacol.* 2006, 6, 615–619. [CrossRef]

Rostagno, M. A. & M. Prado, J. (2013). Natural products, extraction principles and applications. RCS publishing.

S

Saab AM, Guerrini A, Sacchetti G, Maietti S, Zeino M, Arend J, Gambari R, Bernardi F, Efferth T. Phytochemical analysis and cytotoxicity towards multidrug-resistant leukemia cells of essential oils derived from Lebanese medicinal plants. *Planta Med* 2012; 78: 1927-31.

Sanders K.M. Regulation of smooth muscle excitation and contraction. *Neurogastroenterol. Motil.* 2008; 20:39–53. doi: 10.1111/j.1365-2982.2008.01108.x. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar].

Sanders K.M., Koh S.D., Ro S., Ward S.M. Regulation of gastrointestinal motility—insights from smooth muscle biology. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 2012; 9:633–645. doi: 10.1038/nrgastro.2012.168. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar].

Sándor Z., Mottaghipisheh J., Veres K., Hohmann J., Bencsik T., Horváth A., Kelemen D., Papp R., Barthó L., Csupor D. Evidence supports tradition: The *in vitro* effects of *Roman Chamomile* on smooth muscles. *Front. Pharmacol.* 2018; 9:1–11. doi: 10.3389/fphar.2018.00323. [DOI] [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar].

Santos, F.A.; Rao, V.S.N. Antiinflammatory and antinociceptive effects of 1,8-cineole a terpenoid oxide present in many plants essential oils. *Phytother. Res.* 2000, 14, 240-244.

Saporito, F., Sandri, G., Bonferoni, M. C., Rossi, S., Boselli, C., Cornaglia, A. I., et al. (2017). Essential oil-loaded lipid nanoparticles for wound healing. *International journal of nanomedicine*, 13, 175–186.

Schnitzler, P.; Astani, A.; Reichling, J. Antiviral effects of Plant-Derived Essential Oils and Pure Oil Components. In *Lipids and Essential Oils as Antimicrobial Agents*; John Wiley and Sons: Hoboken, NJ, USA, 2010; pp. 239–254.

Seal S, Chatterjee P, Bhattacharya S, Pal D, Dasgupta S, Kundu R, Mukherjee S, Bhattacharya S, Bhuyan M, Bhattacharyya PR, Baishya G, Barua NC, Baruah PK, Rao PG, Bhattacharya S. Vapor of volatile oils from *Litsea cubeba* seed induces apoptosis and causes cell cycle arrest in lung cancer cells. *PLoS One* 2012; 7: e47014

- Sefi M, Fetoui H, Makni M, Zeghal N. Mitigating effects of antioxidant properties of *Artemisia campestris* leaf extract on hyperlipidemia, advanced glycation end products and oxidative stress in alloxan-induced diabetic rats. *Food Chem Toxicol* 2010. 48(7):1986-1993.
- Semerdjieva, I.; Atanasova, D.; Maneva, V.; Zheljazkov, V.; Radoukova, T.; Astatkie, T.; Dincheva, I. Allelopathic effects of Juniper essential oils on seed germination and seedling growth of some weed seeds. *Ind. Crops Prod.* 2022, 180, 114768. [CrossRef].
- Semerdjieva, I.B.; Shiwakoti, S.; Cantrell, C.L.; Zheljazkov, V.D.; Astatkie, T.; Schlegel, V.; Radoukova, T. Hydrodistillation extraction kinetics regression models for essential oil yield and composition in *Juniperus virginiana*, *J. excelsa*, and *J. sabina*. *Molecules* 2019, 24, 986. [CrossRef].
- Semerdjieva, I.B.; Zheljazkov, V.; Cantrell, C.L.; Astatkie, T.; Ali, A. Essential oil yield and composition of the Balkan endemic *Satureja pilosa* Velen. (Lamiaceae). *Molecules* 2020, 25, 827. [CrossRef].
- Semerdjieva, I.B.; Zheljazkov, V.D.; Dincheva, I.; Astatkie, T.; Kačániová, M. Chemotypes of *Juniperus oxycedrus* in Bulgaria and the antimicrobial activity of galbuli essential oils. *Ind. Crops Prod.* 2020, 158, 113005. [CrossRef].
- Sepulveda R and Watson R, Treatment of antioxidant deficiencies in AIDS patients. *Nutr Res* 22: 27-37 (2002).
- Sharma, A.D.; Kaur, I. Eucalyptol (1,8 cineole) from *Eucalyptus* Essential Oil a Potential Inhibitor of COVID 19 Corona Virus Infection by Molecular Docking Studies. *EuropePMC* 2020. Available online: <https://europepmc.org/article/ppr/ppr138242> (accessed on 31 March 2020).
- Sharmeen Jugreeta B, Shanoo Suroowana, R.R. Kannan Rengasamyb, M. Fawzi Mahomoodallyc, d, Chemistry, bioactivities, mode of action and industrial applications of essential oils <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.025>.
- Sienkiewicz M, Głowacka A, Poznanska-Kurowska K, Kaszuba A, Urbaniak A, Kowalczyk E. The effect of *clary sage* oil on *staphylococci* responsible for wound infections. *Postepy Dermatol Alergol* 2015; 32(1): 21-6.
- Sigurdsson S, Ogmundsdottir HM, Gudbjarnason S. The cytotoxic effect of two chemotypes of essential oils from the fruits of *Angelica archangelica* L. *Anticancer Res* 2005; 25: 1877-80.
- Simona Gabriela Bungau, Cosmin Mihai Vesa, Delia Mirela Tit, Mihaela Cristina Brisc, Cristian Bustea, Anamaria Lavinia Purza and Andrei-Flavius Radu. Antioxidant and Hypoglycemic

Potential of Essential Oils in Diabetes Mellitus and Its Complications, *Int. J. Mol. Sci.* 2023, 24, 16501

Singh R, Kaur N, Kishore L, Gupta GK. Management of diabetic complications: a chemical constituents-based approach. *J Ethnopharmacol* 2013. 150(1):51-70.

Sokmen A, Gulluce M, Askin Akpulat H, Daferera D, Tepe B, Polissiou M, Sokmen M and Sahin F, The *in vitro* antimicrobial and antioxidant activities of the essential oils and methanol extracts of endemic *Thymus spathulifolius*. *Food Contr* 15: 627-634 (2004).

Soman S, Rauf AA, Indira M, Rajamanickam C. Antioxidant and antiglycative potential of ethyl acetate fraction of *Psidium guajava* leaf extract in streptozotocin-induced diabetic rats. *Plant Foods Hum Nutr* 2010. 65(4):386-391.

Sonwa, M.M., 2000. Isolation and Structure Elucidation of Essential Oil Constituents. Comparative Study of the Oils of *Cyperus alopecuroides*, *Cyperus papyrus*, and *Cyperus rotundus*. Ph.D. degree, University of Hamburg, Germany.

Souza F.V.M., Da Rocha M.B., De Souza D.P., Marçal R.M. Carvone: Antispasmodic effect and mode of action. *Fitoterapia*. 2013; 85:20–24. doi: 10.1016/j.fitote.2012.10.012. [DOI] [PubMed] [Google Scholar].

Souza S.D.F., Franca C.S.L., Niculau E.S., Costa L.C.B., Pinto J.E.B., Alves P.B., Marçal R.M. Antispasmodic effect of *Ocimum selloi* essential oil on the guinea-pig ileum. *Nat. Prod. Res.* 2015; 29:2125–2128. doi: 10.1080/14786419.2014.989392. [DOI] [PubMed] [Google Scholar].

Srivastava JK, Shankar E, Gupta S. Chamomile: an herbal medicine of the past with bright future. *Mol Med Rep* 2010; 3(6): 895-901.

Stadler RH, Markovic J and Turesky RJ, *in vitro* anti- and pro-oxidative effects of natural polyphenols. *Biol Trace Elem Res* 47: 299-305 (1995).

Stevenson, D.E.; Hurst, R.D. Polyphenolic phytochemicals-just antioxidants or much more? A review. *Cell. Mol. Life Sci.* 2007, 64, 2900-2916.

Storz P. Reactive oxygen species in tumor progression. *Front Biosci* 2005; 10: 1881-96.

Su YC, Hsu KP, Wang EIC, Ho CL. Composition and *in vitro* anticancer activities of the leaf essential oil of *Neolitsea variabilissima* from Taiwan. *Nat Prod Commun* 2013; 8: 531-2.

Suhail MM, Wu W, Cao A, Mondalek FG, Fung KM, Shih PT, Fang YT, Woolley C, Young G, Lin HK. *Boswellia sacra* essential oil induces tumor cell-specific apoptosis and suppresses tumor

aggressiveness in cultured human breast cancer cells. *BMC Complement Altern Med* 2011; 11: 129.

Sun H, Sun C, Pan Y. Cytotoxic activity and constituents of the volatile oil from the roots of *Patrinia scabra* Bunge. *Chem Biodivers* 2005; 2: 1351-7.

Sun XY, Zheng YP, Lin DH, Zhang H, Zhao F, Yuan CS. Potential anti-cancer activities of Furanodiene, a Sesquiterpene from *Curcuma wenyujin*. *Am J Chin Med* 2009; 37: 589-96.

Svoboda KP, Deans SG. A study of the variability of *rosemary* and *sage* and their volatile oils in British market: their anti-oxidative properties. *Flavour Fragr J* 1992 ; 7 : 81-7.

I

Tassou CC, Drosinos EH, Nychas GJ. Effects of essential oil from mint (*Mentha piperita*) on *Salmonella enteritidis* and *Listeria monocytogenes* in model food system at 4 degrees and 10 degrees C. *J Appl Bacteriol* 1995; 78: 593-600.

Tepe B, Donmez E, Unlu M, Candan F, Daferera D, Vardar-Unlu G, Polissiou M and Sokmen A, Antimicrobial and antioxidative activities of the essential oils and methanol extracts of *Salvia cryptantha* (Montbret et Aucher ex Benth.) and *Salvia multicaulis* (Vahl). *Food Chem* 84: 519-525 (2004).

Terenina, M. B., Misharina, T. A., Krikunova, N. I., Alinkina, E. S., Fatkulina, L. D., & Vorob'yova, A. K. (2011). *Oregano* essential oil as an inhibitor of higher fatty acid oxidation. *Applied biochemistry and microbiology*, 47, 445–449.

Thome RG, Santos HB, Santos FV, Oliveira RJ, Camargos LF, Pereira MN, Longatti TR, Souto CM, Franco CS, Schüffner RO, et al. Evaluation of healing wound and genotoxicity potentials from extracts hydroalcoholic of *Plantago major* and *Siparuna guianensis*. *Exp Biol Med* (Maywood) 2012. 237(12):1379-1386.

Tian C., Zhu R., Zhu L., Qiu T., Cao Z., Kang T. Potassium Channels: Structures, Diseases, and Modulators. *Chem. Biol. Drug Des.* 2014; 83:1–26. doi: 10.1111/cbdd.12237. [[DOI](#)] [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)].

Tisserand R, Young R. *Essential oil safety: a guide for health care professional*. 2nd ed. London: Churchill Livingstone; 2013.

Tongnuanchan, P., & Benjakul, S. (2014). Essential oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. *Journal of Food Science*, 79(7), R1231-R1249.

- Topiar, M., Sajfrtova, M., Pavela, R., Machalova, Z., 2015. Comparaison of fractionation techniques of CO₂ extracts from *Eucalyptus globulus*—composition and insecticidal activity. *J. Supercrit. Fluids* 97, 202–210.
- Topuz, O. K., Özvural, E. B., Zhao, Q., Huang, Q., Chikindas, M., & Gölükçü, M. (2016). Physical and antimicrobial properties of anise oil loaded nanoemulsions on the survival of foodborne pathogens. *Food chemistry*, 203, 117–123.
- Touazi, L.; Aberkane, B.; Bellik, Y.; Moula, N.; Iguer-Ouada, M. Effect of the essential oil of *Rosmarinus officinalis* (L.) on rooster sperm motility during 4 °C short-term storage. *Vet. World* 2018, 11, 590–597. [CrossRef] [PubMed]
- Trombetta, D., Castelli, F., Sarpietro, M. G., Venuti, V., Cristani, M., Daniele, C., et al. (2005). Mechanisms of antibacterial action of three monoterpenes. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 49, 2474–2478.
- Tundis, R.; Loizzo, M.R.; Menichini, F. Natural Products as Alpha-Amylase and Alpha-Glucosidase Inhibitors and Their Hypoglycaemic Potential in the Treatment of Diabetes: An Update. *Mini Rev. Med. Chem.* 2010, 10, 315–331. [CrossRef]
- Turina, A. D. V., Nolan, M. V., Zygadlo, J. A., & Perillo, M. A. (2006). Natural terpenes: self-assembly and membrane partitioning. *Biophysical chemistry*, 122, 101–113.
- Turner GW, Gershenzon J, Croteau RB: Development of peltate glandular trichomes of *peppermint*. *Plant Physiol* 2000, 124:665-680.

V

- Valgimigli, L.; Pratt, D. A. Antioxidants in chemistry and biology. In *Encyclopedia of Radicals in Chemistry, Biology and Materials*; Chatgililoglu, C., Studer, A., Eds.; Wiley: Chirchester, UK, 2012; Vol. 3, pp 1623–1677.
- Valnet J. *Aromathérapie : traitement des maladies par les essences de plantes*. Éditions Maloine, 10e édition, 1984, 544 pages.
- Van de Braak, S.A.A.J., Leijten, G.C.J.J., 1999. *Essential Oils and Oleoresins: A Survey in the Netherlands and other Major Markets in the European Union*. CBI, Centre for the Promotion of Imports from Developing Countries, Rotterdam, p. 116.
- Van Houten B, Woshner V and Santos JH, Role of mitochondrial DNA in toxic responses to oxidative stress. *DNA repair* 5: 145-152 (2006).

Vimalanathan, S.; Hudson, J. Anti-influenza virus activity of essential oils and vapors. *Am. J. Essent. Oil* 2014, 2, 47–53.

Vimalanathan, S.; Hudson, J. The Activity of *Cedar* Leaf oil Vapor Against Respiratory Viruses: Practical Applications. *J. Pharm. Sci.* 2013. [CrossRef].

W

Wagner GJ, Wang E, Shepherd RW: New approaches for studying and exploiting an old protuberance, the plant trichome. *Ann Bot (Lond)* 2004, 93:3-11.

Walia M, Mann TS, Kumar D, Agnihotri VK, Singh B. Chemical Composition and *In Vitro* Cytotoxic Activity of Essential Oil of Leaves of *Malus domestica* Growing in Western Himalaya (India). *Evid Based Complement Alternat Med* 2012; 2012: 649727.

Wang, J.; Wang, H. Oxidative Stress in Pancreatic Beta Cell Regeneration. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2017, 2017, 1930261. [CrossRef]

Wang, Z., Ding, L., Li, T., Zhou, X., Wang, L., Zhang, H., & He, H. (2006). Improved solvent free microwave extraction of essential oil from dried *Cuminum cyminum* L. And *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. *Journal of Chromatography A*, 1102(1), 11-17.

Watanabe E, Kuchta K, Kimura M, Rauwald HW, Kamei T, Imanishi J. Effects of bergamot (*Citrus bergamia* (Risso) Wright & Arn.) essential oil aromatherapy on mood states, parasympathetic nervous system activity, and salivary cortisol levels in 41 healthy females. *Forsch Komplementmed* 2015; 22(1): 43-9.

Wen, P., Zhu, D. H., Wu, H., Zong, M. H., Jing, Y. R., & Han, S. Y. (2016). Encapsulation of *cinnamon* essential oil in electrospun nanofibrous film for active food packaging. *Food Control*, 59, 366–376.

Wissal Dhifi, Sana Bellili, Sabrine Jazi, Nada Bahloul and Wissem Mnif, Essential Oils' Chemical Characterization and Investigation of Some Biological Activities: A Critical Review, *Medicines* 2016, 3, 25; doi:10.3390/medicines3040025.

Wu S, Wei FX, Li HZ, Liu XG, Zhang JH, Liu JX. [Chemical composition of essential oil from *Thymus citriodorus* and its toxic effect on liver cancer cells]. *Zhong Yao Cai* 2013 ; 36 : 756-9.

X

Xu, P., Wang, K., Lu, C., Dong, L., Gao, L., Yan, M., et al. (2017). The protective effect of *lavender* essential oil and its main component linalool against the cognitive deficits induced by D-

galactose and aluminum trichloride in mice. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. <https://doi.org/10.1155/2017/7426538> 2017.

Y

Yang, C. H., Huang, Y. C., Tsai, M. L., Cheng, C. Y., Liu, L. L., Yen, Y. W., et al. (2015). Inhibition of melanogenesis by β -caryophyllene from *lime mint* essential oil in mouse B16 melanoma cells. International journal of cosmetic science, 37, 550–554.

Yankuzo H, Ahmed QU, Santosa RI, Akter SF, Talib NA. Beneficial effect of the leaves of *Murraya koenigii* (Linn.), Spreng (Rutaceae) on diabetes-induced renal damage *in vivo*. J Ethnopharmacol 2011. 135(1):88-94.

Yaribeygi, H.; Sathyapalan, T.; Atkin, S.L.; Sahebkar, A. Molecular Mechanisms Linking Oxidative Stress and Diabetes Mellitus. Oxid. Med. Cell. Longev. 2020, 2020, 8609213. [CrossRef] [PubMed]

Yavari Kia P, Safajou F, Shahnazi M, Nazemiyeh H. The effect of lemon inhalation aromatherapy on nausea and vomiting of pregnancy: a double-blinded, randomized, controlled clinical trial. Iran Red Crescent Med J 2014; 16(3): e14360.

Yohana, R.; Chisulumi, P.S.; Kidima, W.; Tahghighi, A.; Maleki-Ravasan, N.; Kweka, E.J. Antimosquito properties of *Pelargonium roseum* (Geraniaceae) and *Juniperus virginiana* (Cupressaceae) essential oils against dominant malaria vectors in Africa. Malar. J. 2022, 21, 219. [CrossRef].

Yousefzadi M, Riahi-Madvar A, Hadian J, Rezaee F, Rafiee R, Biniiaz M. Toxicity of essential oil of *Satureja khuzistanica*: *In vitro* cytotoxicity and anti-microbial activity. J Immunotoxicol 2014; 11: 50-5.

Yousuf Dar M, Shah WA, Mubashir S, Rather MA. Chromatographic analysis, anti-proliferative and radical scavenging activity of *Pinus wallichiana* essential oil growing in high altitude areas of Kashmir, India. Phytomedicine 2012;19: 1228-33.

Yu JQ, Liao ZX, Cai XQ, Lei JC, Zou GL. Composition, antimicrobial activity and cytotoxicity of essential oils from *Aristolochia mollissima*. Environ Toxicol Pharmacol 2007; 23: 162-7.

Z

Zheljzakov, V.D.; Cantrell, C.L.; Jeliaskova, E.A.; Astatkie, T.; Schlegel, V. Essential Oil Yield, Composition, and Bioactivity of Sagebrush Species in the Bighorn Mountains. Plants 2022, 11, 1228. [CrossRef].

Zu Y, Yu H, Liang L, Fu Y, Efferth T, Liu X, Wu N. Activities of ten essential oils towards *Propionibacterium acnes* and PC-3, A-549 and MCF-7 cancer cells. Mol Basel Switz 2010; 15: 3200-10.

Site Web:

<https://guy-chaumeton.pagesperso-orange.fr/2dtp02chc.htm>

ملخص

تُعدّ الزيوت العطرية مستخلصات مركّزة، متطايرة، كارهة للماء ومعقّدة، يتم الحصول عليها من النباتات العطرية. وتشتهر بخصائصها العلاجية، حيث تُستخدم في الطب التقليدي منذ قرون. يهدف هذا العمل إلى دراسة مختلف الأنشطة البيولوجية والفسولوجية للزيوت العطرية. وقد تبيّن أنّ هذه الزيوت تتمتع بخصائص مضادة للميكروبات، ومضادة للأكسدة، ومضادة للالتهابات،... الخ، كما تُسهم في تفتيح البشرة. إضافةً إلى ذلك، فإن لها دوراً وقائياً في الحماية من الأمراض القلبية الوعائية. تُبرز الأبحاث الإمكانيات العلاجية للزيوت العطرية بوصفها بديلاً طبيعياً محتملاً للأدوية الكيميائية.

Abstract

Essential oils (EOs) are concentrated, volatile, hydrophobic, and complex extracts obtained from aromatic plants. They are known for their therapeutic properties and are used in traditional medicine. The aim of this work is to study the various biological and physiological activities of essential oils. The findings show that EOs exhibit antimicrobial, antioxidant, anti-inflammatory, ...etc, and skin-lightening activities. They also have a protective effect against cardiovascular diseases. The researches demonstrate the therapeutic potential of EOs as a natural alternative to chemical drugs.

Résumé

Les huiles essentielles (HE) sont des extraits concentrés, volatils, hydrophobes et complexes obtenus à partir de plantes aromatiques. Elles sont connues pour leurs propriétés thérapeutiques et sont utilisées dans la médecine traditionnelle. Le but de ce travail est d'étudier les différentes activités biologiques et physiologiques des huiles essentielles. Il ressort que les HE possèdent une activité antimicrobienne, antioxydante, anti-inflammatoire, ...etc, et d'éclaircissement de la peau. Elles jouent également un rôle protecteur contre les maladies cardiovasculaires. Les recherches démontrent le potentiel thérapeutique des HE comme alternative naturelle aux médicaments chimiques.