

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

École Normale Supérieure de l'Enseignement Technologique de
Skikda



Département de : Sciences de la nature

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat

Domaine : Sciences de la nature et vie

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Biodiversité et valorisation des ressources naturelles

Présentée par

M^{me} : CHERIBOT CHERIF Maroua

Thème :

**Contribution à l'étude phytochimique et évaluation des activités
biologiques de l'huile essentielle de *Cinnamomum camphora***

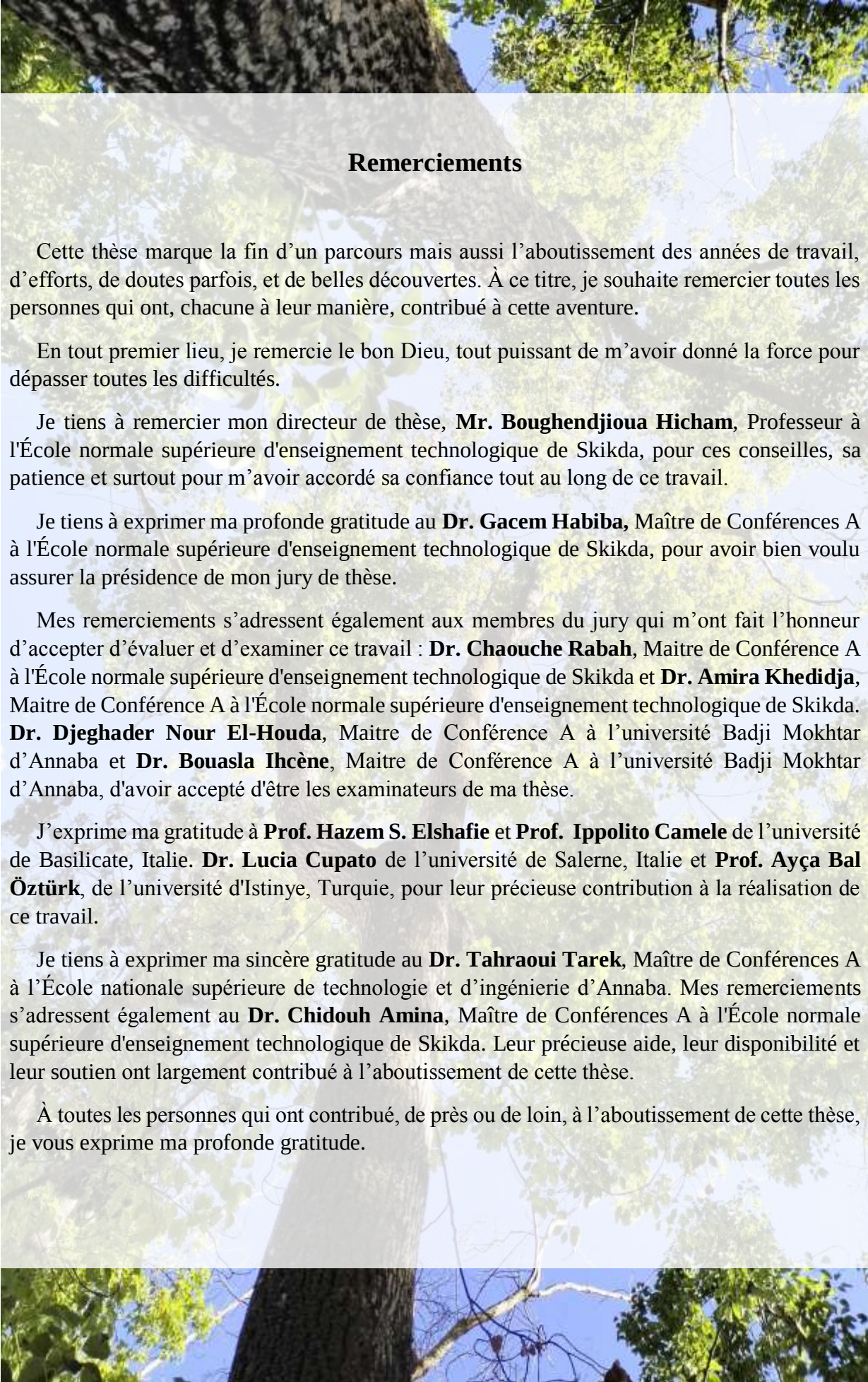
Soutenue publiquement le : 24/05/2026

devant le jury composé de :

Nom	Grade	Établissement	Qualité
Mr. Boughendjioua Hicham	Professeur	ENSET-Skikda	Directeur de thèse
Mme. Gacem Habiba	MCA	ENSET-Skikda	Président
Mr. Chaouche Rabah	MCA	ENSET-Skikda	Examineur
Mme. Amira Khedidja	MCA	ENSET-Skikda	Examineur
Mme. Djeghader Nour El-Houda	MCA	UBMA-Annaba	Examineur
Mme. Bouasla Ihcène	MCA	UBMA-Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2025/2026

REMERCEIMENTS



Remerciements

Cette thèse marque la fin d'un parcours mais aussi l'aboutissement des années de travail, d'efforts, de doutes parfois, et de belles découvertes. À ce titre, je souhaite remercier toutes les personnes qui ont, chacune à leur manière, contribué à cette aventure.

En tout premier lieu, je remercie le bon Dieu, tout puissant de m'avoir donné la force pour dépasser toutes les difficultés.

Je tiens à remercier mon directeur de thèse, **Mr. Boughendjioua Hicham**, Professeur à l'École normale supérieure d'enseignement technologique de Skikda, pour ces conseils, sa patience et surtout pour m'avoir accordé sa confiance tout au long de ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au **Dr. Gacem Habiba**, Maître de Conférences A à l'École normale supérieure d'enseignement technologique de Skikda, pour avoir bien voulu assurer la présidence de mon jury de thèse.

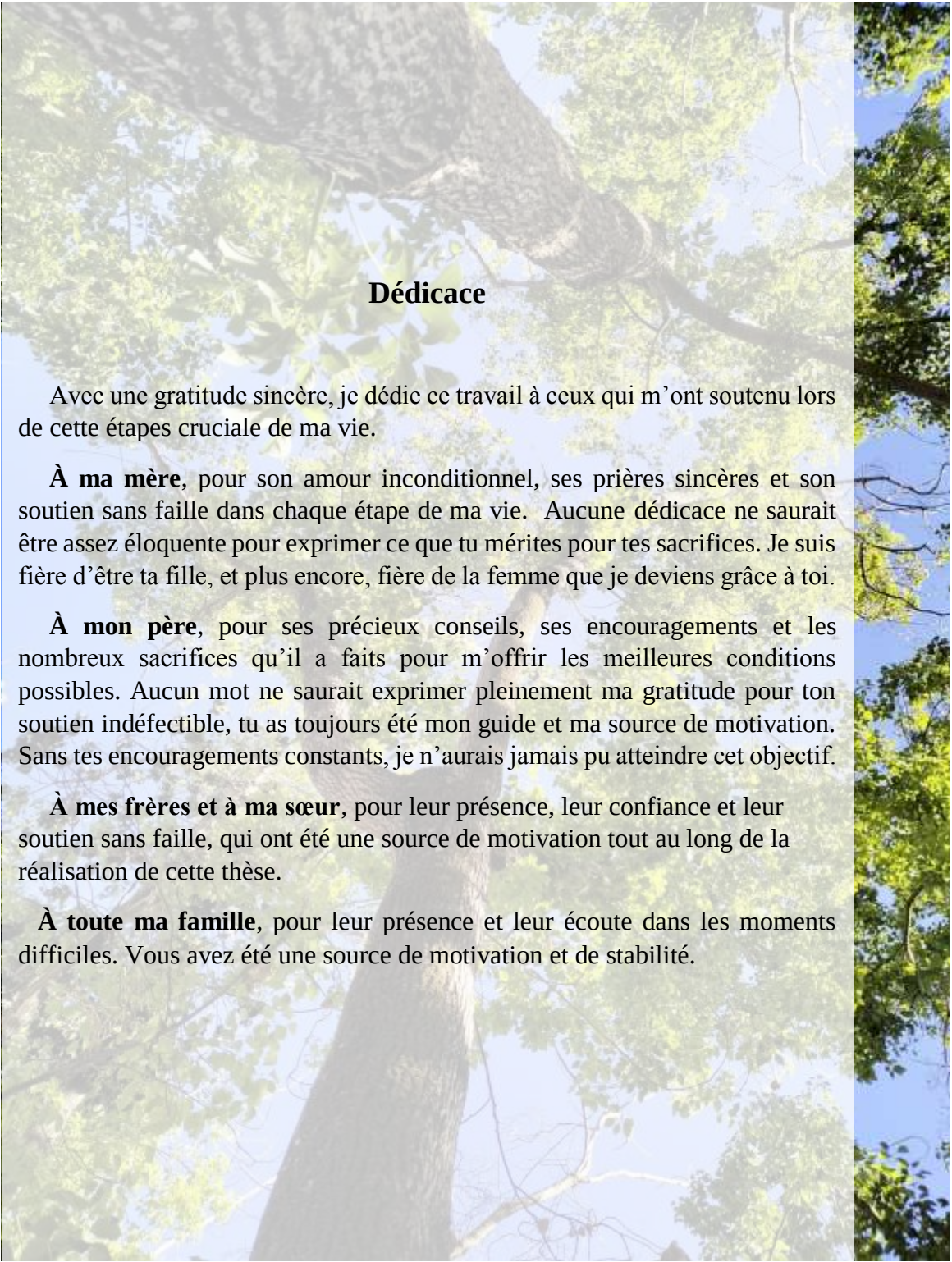
Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'évaluer et d'examiner ce travail : **Dr. Chaouche Rabah**, Maître de Conférence A à l'École normale supérieure d'enseignement technologique de Skikda et **Dr. Amira Khedidja**, Maître de Conférence A à l'École normale supérieure d'enseignement technologique de Skikda. **Dr. Djeghader Nour El-Houda**, Maître de Conférence A à l'université Badji Mokhtar d'Annaba et **Dr. Bouasla Ihcène**, Maître de Conférence A à l'université Badji Mokhtar d'Annaba, d'avoir accepté d'être les examinateurs de ma thèse.

J'exprime ma gratitude à **Prof. Hazem S. Elshafie** et **Prof. Ippolito Camele** de l'université de Basilicate, Italie. **Dr. Lucia Cupato** de l'université de Salerne, Italie et **Prof. Ayça Bal Öztürk**, de l'université d'Istinye, Turquie, pour leur précieuse contribution à la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude au **Dr. Tahraoui Tarek**, Maître de Conférences A à l'École nationale supérieure de technologie et d'ingénierie d'Annaba. Mes remerciements s'adressent également au **Dr. Chidouh Amina**, Maître de Conférences A à l'École normale supérieure d'enseignement technologique de Skikda. Leur précieuse aide, leur disponibilité et leur soutien ont largement contribué à l'aboutissement de cette thèse.

À toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de cette thèse, je vous exprime ma profonde gratitude.

DÉDICACE



Dédicace

Avec une gratitude sincère, je dédie ce travail à ceux qui m'ont soutenu lors de cette étapes cruciale de ma vie.

À ma mère, pour son amour inconditionnel, ses prières sincères et son soutien sans faille dans chaque étape de ma vie. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tes sacrifices. Je suis fière d'être ta fille, et plus encore, fière de la femme que je deviens grâce à toi.

À mon père, pour ses précieux conseils, ses encouragements et les nombreux sacrifices qu'il a faits pour m'offrir les meilleures conditions possibles. Aucun mot ne saurait exprimer pleinement ma gratitude pour ton soutien indéfectible, tu as toujours été mon guide et ma source de motivation. Sans tes encouragements constants, je n'aurais jamais pu atteindre cet objectif.

À mes frères et à ma sœur, pour leur présence, leur confiance et leur soutien sans faille, qui ont été une source de motivation tout au long de la réalisation de cette thèse.

À toute ma famille, pour leur présence et leur écoute dans les moments difficiles. Vous avez été une source de motivation et de stabilité.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIERES

RESUME

ABSTRACT

الملخص

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION..... 01

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Plantes médicinales et aromatiques.....	04
1.1. Métabolisme secondaire.....	04
1.2. Notion de l'aromathérapie.....	04
2. Huiles essentielles.....	05
2.1. Définition.....	05
2.2. Composition chimique des huiles essentielles.....	05
2.2.1. Terpènes.....	06
2.2.1.1. Monoterpènes.....	07
2.2.1.2. Sesquiterpènes.....	07
2.2.1.3. Voies de biosynthèse des terpénoïdes.....	08
2.2.2. Phénylpropanoïdes (Composés aromatiques).....	09
2.3. Les chémotypes.....	10
2.4. Facteurs affectant la composition chimique des huiles essentielles.....	10
2.5. Caractéristiques organoleptiques et physiques des huiles essentielles.....	10
2.6. Méthodes d'extraction des huiles essentielles.....	11
2.6.1. Pression à froid (Expression à froid).....	11
2.6.2. Distillation à la vapeur.....	11
2.6.3. Hydrodistillation.....	12
2.6.4. Extraction par solvants organiques.....	13
2.6.5. Extraction par fluide supercritique.....	13
2.6.6. Extraction assistée par micro-ondes.....	14
2.6.7. Enfleurage.....	14
2.7. Méthodes d'analyse des huiles essentielles.....	14
2.7.1. Chromatographie en phase gazeuse (GC-MS).....	14
2.7.2. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR).....	15
2.7.3. Spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (RMN).....	16
2.8. Stockage et conservation des huiles essentielles.....	16
2.9. Activités biologiques des huiles essentielles.....	16
2.9.1. Activité antioxydante.....	17
2.9.2. Activité antimicrobienne.....	17
A. Activité antibactérienne.....	18
B. Activité antifongique.....	18
2.9.3. Activité antidiabétique.....	20

2.9.4. Activité anti-cholinestérase.....	20
2.9.5. Potentiel de cicatrisation des plaies.....	21
2.10. La toxicité des huiles essentielles.....	21
3. Le camphrier (<i>Cinnamomum camphora</i>).....	23
3.1. Famille des Lauracées.....	23
3.2. Genre <i>Cinnamomum</i>	23
3.3. Espèce <i>Cinnamomum camphora</i>	23
3.4. Description botanique.....	25
3.5. Répartition Géographique.....	25
3.6. Huile essentielle de <i>C. camphora</i>	26
3.7. Activité pharmacologique de l'HE de <i>C. camphora</i>	27
3.7.1. Activité antimicrobienne.....	27
3.7.2. Activité antioxydante.....	27
3.7.3. Activité insecticide.....	27
3.7.4. Activité anti-inflammatoire.....	28
3.7.5. Effets anxiolytiques et relaxants.....	28

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

1. Etude phytochimique.....	29
1.1. Matériel végétal.....	29
1.2. Extraction de l'huile essentielle.....	30
1.3. Préparation de l'extrait méthanolique.....	31
1.4. Caractérisation de l'HE de <i>C. camphora</i>	31
1.4.1. Propriétés organoleptiques.....	31
1.4.2. Propriétés physicochimiques.....	31
1.4.2.1. Détermination de pH.....	31
1.4.2.2. Densité relative.....	31
1.4.2.3. Indice de réfraction.....	32
1.4.3. Propriétés chimiques.....	32
1.4.3.1. Screening phytochimique.....	32
A. Les huiles volatiles.....	32
B. Les alcaloïdes (test de Wagner).....	32
C. Les tanins.....	32
D. Les terpénoïdes.....	33
E. Les saponines.....	33
F. Quinones libres.....	33
1.4.3.2. Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS).....	33
1.4.3.3. Chromatographie liquide ultra-performante couplée à spectrométrie de masse (UPLC-MS/MS).....	34
1.4.3.4. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR).....	35
2. Enquête ethnobotanique.....	35
3. Evaluation des activités biologiques.....	35
3.1. Activités antioxydante.....	35

3.1.1. Méthode de DPPH.....	35
3.1.2. Méthode ABTS ⁺	36
3.1.3. Méthode du pouvoir réducteur (FRAP).....	36
3.2. Activités anti-enzymatiques.....	36
3.2.1. Activité inhibitrice des cholinestérases.....	36
3.2.2. Activité inhibitrice de l' α -amylase.....	37
3.2.3. Test d'inhibition de l' α -glucosidase.....	37
3.3. Activité antifongique.....	38
3.3.1. Souches fongiques testées.....	38
3.3.2. Méthode.....	39
3.3.3. Détermination de la CMI antifongique (méthode sur microplaque à 96 puits).....	39
3.4. Activité antibactérienne.....	39
3.4.1. Souches bactériennes testées.....	39
3.4.2. Méthode.....	40
3.5. Études de la cytotoxicité.....	41
3.6. Test de cicatrisation <i>in vitro</i>	41
4. Analyse statistique.....	42

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

RESULTATS	43
1. Etude phytochimique de l'huile essentielle de <i>C. camphora</i>	43
1.1. Expression du rendement d'extraction.....	43
1.2. Propriétés organoleptiques.....	43
1.3. Propriétés physicochimiques.....	43
1.4. Screening phytochimique.....	44
1.5. Composition chimique de l'huile essentielle de <i>C. camphora</i>	44
1.6. Composition chimique de l'extrait méthanolique de <i>C. camphora</i>	46
1.7. Analyse FT-IR.....	48
2. Enquête ethnobotanique.....	48
2.1. Profil démographique des enquêtés.....	49
2.1.1. Selon le sexe.....	49
2.1.2. Selon l'âge.....	49
2.1.3. Selon le niveau d'étude.....	50
2.2. Le camphrier.....	50
2.2.1. Connaissance de la plante.....	50
2.2.2. Parties utilisées.....	51
2.2.3. Formes d'emploi.....	51
2.2.4. Usage thérapeutique de la plante.....	52
2.2.5. Effets indésirables.....	53
2.2.6. Sources d'informations.....	53
2.3. Huile essentielles de camphrier.....	54
2.3.1 Connaissance de l'HE.....	54
2.3.2 Méthodes d'obtention de l'HE.....	54

2.3.3 Usage de l'HE.....	55
3. Activités biologiques.....	56
3.1. Activité antioxydante.....	56
3.2. Activité Anti-enzymatique.....	56
3.3. Activité antifongique.....	57
3.3.1. Concentration minimale inhibitrice (CMI) de l'activité antifongique.....	60
3.4. Activité antibactérienne.....	60
3.5. Cytotoxicité.....	61
3.6. Cicatrisation des plaies.....	62
DISCUSSION.....	63
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	71
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	73

RÉSUMÉS

Résumé

Les huiles essentielles et leurs constituants volatils sont reconnus depuis longtemps pour leurs nombreuses activités biologiques. Elles sont considérées comme des alternatives naturelles saines et efficaces, ce qui explique leur utilisation comme alternatives aux produits synthétiques conventionnels dans différents domaines.

Le premier objectif de cette recherche était de déterminer les profils chimiques des composés présents dans l'huile essentielle (HE) et l'extrait méthanolique des feuilles du *Cinnamomum camphora*, en utilisant la chromatographie en phase gazeuse associée à la spectrométrie de masse (CG-SM), ainsi que la chromatographie liquide ultra-performante couplée à la spectrométrie de masse (UPLC-MS/MS), respectivement. Au total, 69 composés actifs ont été identifiés dans l'HE et 28 dans l'extrait méthanolique. Le camphre était le composé majoritaire dans l'HE (36,81%), suivi par l' α -pinène (9,91 %), le D-limonène (8,63 %) et le camphène (6,99 %). La spectroscopie infrarouge à transformée de fourier (FTIR) a été utilisée afin de confirmer les résultats obtenus par la CG-SM. Concernant l'extrait méthanolique, la présence des acides phénoliques, des aldéhydes phénoliques, des flavonoides et des polyphénols a été marquée. Le second objectif était de documenter les savoirs de la communauté sur les usages thérapeutiques de camphrier (les parties de la plante utilisées, les modes de préparation et les maladies traitées...), ainsi que l'HE de camphrier.

Le troisième objectif était d'étudier les activités biologiques de l'HE de *C. camphora*. L'activité antioxydante (test de DPPH, ABTS et FRAP) était modérée. Les résultats concernant les activités inhibitrices des cholinestérases, d' α -amylase et d' α -glucosidase ont démontré que les composés bioactifs présents dans l'huile essentielle examinée ont la capacité de se fixer aux sites actifs de ces enzymes. Par ailleurs, l'huile essentielle de camphrier a présenté une puissante activité antifongique. En revanche, aucune activité antibactérienne n'a été signalée. En ce qui concerne l'activité cytotoxique, un effet dose-dépendant a été révélé. En outre, l'HE a montré une puissante capacité cicatrisante.

En conclusion, ces résultats mettent en évidence l'HE de *C. camphora* comme une riche source de composés actifs présentant un potentiel biologique important, susceptible de promouvoir son utilisation à grande échelle dans les secteurs de la santé, de la conservation des aliments et de l'agriculture.

Mots-clés : *Cinnamomum camphora*, Huile essentielle, Composition phytochimique, Étude ethnobotanique, Activités biologiques.

Abstract

Essential oils and their volatile constituents have long been recognized for their numerous biological activities. They are considered healthy and effective natural alternatives, which explains their use as alternatives to conventional synthetic products in various fields.

The primary objective of this research was to determine the chemical profiles of the compounds present in the essential oil (EO) and the methanolic extract of *Cinnamomum camphora* leaves, using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and ultra-high-performance liquid chromatography coupled with mass spectrometry (UPLC-MS/MS), respectively. A total of 69 active compounds were identified in the EO and 28 in the methanolic extract. Camphor was the predominant compound in the EO (36.81%), followed by α -pinene (9.91%), D-limonene (8.63%), and camphene (6.99%). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy was used to confirm the results obtained by GC-MS. The presence of phenolic acids, phenolic aldehydes, flavonoids, and polyphenols was detected in the methanolic extract. The second objective was to document community knowledge on the therapeutic uses of camphor (plant parts used, preparation methods, and diseases treated), as well as camphor essential oil.

The third objective was to study the biological activities of *C. camphora* essential oil. Antioxidant activity (DPPH, ABTS, and FRAP assays) was moderate. Results concerning the inhibitory activities of cholinesterases, α -amylase, and α -glucosidase demonstrated that the bioactive compounds present in the essential oil examined have the capacity to bind to the active sites of these enzymes. Furthermore, camphor essential oil exhibited potent antifungal activity. However, no antibacterial activity was reported. Regarding cytotoxic activity, a dose-dependent effect was observed. Furthermore, the essential oil demonstrated potent wound-healing properties.

In conclusion, these results highlight *C. camphora* HE as a rich source of active compounds with significant biological potential, likely to promote its large-scale use in the health, food preservation and agriculture sectors.

Keywords: *Cinnamomum camphora*, Essential oil, Phytochemical composition, Ethnobotanical study, Biological activities.

المخلص

لطالما عُرفت الزيوت العطرية ومكوناتها المتطايرة بفوائدها البيولوجية المتعددة. وتُعتبر بدائل طبيعية صحية وفعّالة، مما يُفسر استخدامها كبديل للمنتجات الاصطناعية التقليدية في مختلف المجالات.

كان الهدف الرئيسي من هذا البحث هو الكشف عن المركبات الكيميائية المتواجدة في كل من الزيت العطري والمستخلص الميثانولي لأوراق نبات الكافور (*Cinnamomum camphora*)، ذلك باستخدام تقنية كروماتوغرافيا الغاز-مطياف الكتلة (CG-SM) وتقنية كروماتوغرافيا السائل فائقة الأداء المقترنة بقياس الطيف الكتلي (UPLC-MS/MS) على التوالي. تم تحديد 69 مركباً نشطاً في الزيت العطري و28 مركباً في المستخلص الميثانولي. وقد أظهرت النتائج ان الكافور هو المركب الأعلى تركيزاً في الزيت العطري (36.81%)، يليه ألفا-بينين (9.91%)، ثم دليمونين (8.63%)، وأخيراً كامفين (6.99%). استُخدمت تقنية مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FTIR) لتأكيد النتائج المتحصل عليها بواسطة CG-SM. أما بخصوص المستخلص الميثانولي فقد تم الكشف عن وجود ألدهيدات فينولية، أحماض فينولية، بوليفينولات وفلافونويدات. الهدف الثاني تمثل في توثيق المعرفة المجتمعية حول الاستخدامات العلاجية للكافور (أجزاء النبات المستخدمة، وطرق التحضير، والأمراض التي يعالجها)، بالإضافة إلى تلك الخاصة بزيت الكافور العطري.

ركز الهدف الثالث على تقييم الأنشطة البيولوجية لزيت الكافور العطري. و حسب النتائج المتحصل عليها فإن الفعالية المضادات للأكسدة (باستخدام اختبارات DPPH، ABTS و FRAP) كانت متوسطة. كما أظهرت النتائج المتعلقة بتنشيط إنزيمات الكولينستراز، وألفا-أميلاز، وألفا-غلوكوزيداز أن المركبات الفعالة الموجودة في الزيت العطري المدروس لديها القدرة على الارتباط بالمواقع النشطة لهذه الإنزيمات. علاوة على ذلك، أظهر زيت الكافور العطري فعالية قوية مضادة للفطريات. مع ذلك، لم يُبلغ عن أي فعالية مضادة للبكتيريا. وفيما يتعلق بالفعالية السامة للخلايا، لوحظ تأثير يعتمد على الجرعة. كما أظهر الزيت العطري خصائص قوية في التئام الجروح.

في الختام، تسلط هذه النتائج الضوء على زيت الكافور العطري كمصدر غني بالمركبات النشطة بيولوجيًا مع إمكانيات كبيرة لزيادة استخدامه في مجالات الصحة، حفظ الأغذية والزراعة.

الكلمات المفتاحية: شجرة الكافور، الزيت العطري، التركيب الكيميائي النباتي، الدراسة الإثنوبوتانية، الأنشطة البيولوجية.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

LISTE DES ABREVIATIONS

A β : bêta-amyloïdes.

AChE : Acétylcholinestérase.

BChE : Butyrylcholinestérase.

CG-SM : Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse.

CRAPC : Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyse Physicochimique.

CUPRAC : Capacité antioxydante réductrice des ions cuivriques.

DPPH : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl.

DSG : Diabète sucré gestationnel.

DT1 : Diabète de type 1.

DT2 : Diabète de type 2.

ENF : Enchevêtrements neurofibrillaires (ENF).

ERA : Espèces réactives de l'azote.

ERO : Espèces réactives de l'oxygène.

FRAP : Réduction du pouvoir antioxydant ferrique.

FTIR : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.

HD : Hydrodistillation.

HE : Huiles essentielles.

ISO : Organisation internationale de normalisation.

MA : Maladie d'Alzheimer.

MAE : Extraction assistée par micro-ondes.

MEP : Voie du méthylérythritol-4-phosphate.

MVA : Voie de l'acide mévalonique.

OMS : Organisation mondiale de la Santé.

PAM : Plantes aromatiques et médicinales.

RMN : Spectroscopie par résonance magnétique nucléaire.

SFE : Extraction par fluide supercritique.

UPLC-MS/MS : Chromatographie liquide ultra-performante couplée à la spectrométrie de masse.

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Figure 1: La biosynthèse des terpénoïde par la voie MVA (Sadgrove et al., 2022).....	08
Figure 2: La biosynthèse des terpénoïde par la voie MEP (Sadgrove et al., 2022).....	09
Figure 3: Méthode d'Extraction des huiles essentielles par distillation à la vapeur (Khan et al., 2023).....	12
Figure 4: Méthode d'extraction des huiles essentielles par hydrodistillation (Khan et al., 2023).....	13
Figure 5: Schéma du procédé CG-SM : chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (Crosby et al., 2021).....	15
Figure 6: Différents mécanismes d'action antifongique des huiles essentielles (Silva-Beltrán et al., 2023).....	19
Figure 7: Certains composants toxiques des huiles essentielles (Singh et al., 2022)..	22
Figure 8: Camphrier (<i>Cinnamomum camphora</i>) (Photo prise par l'auteur le 22/05/2023).....	24
Figure 9: Morphologie du camphrier (A: bourgeons ; B: fleurs ; C: feuilles ; D: fruits) (Yang et al., 2022).....	25
Figure 10: Distribution globale du camphrier (En orange : pays d'origine du camphrier, En vert : pays où le camphrier s'est adapté) (Mansard., 2016).....	26
Figure 11: Feuilles de <i>C. camphora</i> (Photo prise par l'auteur le 22/05/2023).....	29
Figure 12: Localisation du service de recherche et de vulgarisation botanique, université, 20 août 1955, Skikda (Sakhraoui et al., 2019).....	30
Figure 13: Dispositif de l'hydrodistillation (Photo prise par l'auteur le 18/06/2023).....	31
Figure 14: Huile essentielle extraite du camphrier.....	43
Figure 15: Chromatogramme de l'analyse CG/SM.....	46
Figure 16: Chromatogrammes issus de l'analyse UPLC-MS/MS de l'extrait méthanolique du camphrier.....	47
Figure 17: Spectre FTIR de l'HE du camphrier	48
Figure 18: Répartition des enquêtés selon le sexe.....	49
Figure 19: Répartition de la population étudiée selon l'âge.....	49
Figure 20: Répartition de la population étudiée selon le niveau d'étude.....	50
Figure 21: Répartition de la population selon ses connaissances sur le camphrier.....	50
Figure 22: Parties utilisées de la plante.....	51
Figure 23: Formes d'emploi de la plante.....	52
Figure 24: Usage thérapeutique de la plante.....	52
Figure 25: Effets indésirables de la plante.....	53
Figure 26: Sources d'informations concernant l'utilisation thérapeutique de la plante..	54
Figure 27: Répartition de la population selon ses connaissances sur l'HE de camphrier.....	54
Figure 28: Répartition de la population selon la méthodes d'obtention de l'HE.....	55
Figure 29: Usage de l'HE de camphrier.....	56

Figure 30: Pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne (MGI %) de l'HE de <i>C. camphora</i>	58
Figure 31: Activité antifongique de l'huile essentielle de <i>C. camphora</i>	59
Figure 32: Test de diffusion sur disque (zone d'inhibition) de l'HE.....	60
Figure 33: Activité antibactérienne de l'HE de <i>C. camphora</i>	61
Figure 34: Résultat de la cytotoxicité.....	61
Figure 35: Résultats de test de cicatrisation <i>in vitro</i>	62
Figure 36: Image représentative de la cicatrisation des plaies par l'HE de <i>C. camphora</i>	62

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
Tableau 1 : Classification des terpénoïdes (Rehman et al., 2015).....	06
Tableau 2: Nom vernaculaire de <i>C. camphora</i> (Fazmiya et al., 2022).....	24
Tableau 3: Propriétés organoleptiques de l'huile essentielle du camphrier.....	43
Tableau 4: Propriétés physicochimiques de l'HE de <i>C. camphora</i> (moyenne±écart type).....	44
Tableau 5: Constituants phytochimiques des extraits aqueux et méthanolique.....	44
Tableau 6: Analyse GC-MS de l'HE de feuilles de <i>C. camphora</i>	44
Tableau 7: Composés phytochimiques identifiés dans l'extrait méthanolique du camphrier à l'aide de la technique UPLC-MS/MS.....	46
Tableau 8: Activité antioxydante de l'HE de <i>C. camphora</i>	56
Tableau 9: Activité anti-enzymatiques de l'HE de <i>C. camphora</i>	57
Tableau 10: Les valeurs minimales inhibitrices (CMI) de l'HE du camphrier.....	60

INTRODUCTION

Introduction

Depuis l'Antiquité, l'utilisation des plantes par les humains a considérablement évolué, passant d'une simple utilisation alimentaire à leur utilisation en tant que remèdes pour traiter diverses affections **(Shakya., 2016)**. Au départ, Ces médicaments se présentaient sous forme de matières premières et d'autres préparations à base de plantes. Actuellement, la pratique de la médecine à base de plantes a progressivement évolué vers l'extraction de composés actifs tels que la morphine, la digitoxine ou encore la quinine. Parallèlement, la recherche de nouveaux médicaments issus des plantes s'est considérablement développée et englobe aujourd'hui un large éventail de domaines scientifiques ainsi que diverses méthodes analytiques **(Ojah., 2020)**.

Bien que les médicaments de synthèse présentent une efficacité thérapeutique supérieure à celle des plantes aromatiques et médicinales (PAM), ils sont souvent associés à une toxicité accrue et à des effets secondaires parfois sévères **(Nisar et al., 2018)**. De plus, ces médicaments ciblent principalement les symptômes de maladies spécifiques en fonction de la pathologie concernée, tandis que les plantes aromatiques et médicinales visent généralement à renforcer les capacités naturelles d'auto-guérison de l'organisme **(Karimi et al., 2015)**.

Les plantes aromatiques sont des espèces utilisées principalement pour leurs propriétés aromatiques ou thérapeutiques. Elles produisent et libèrent des substances volatiles qui jouent un rôle essentiel dans leurs fonctions biologiques, notamment en les protégeant des dommages causés par les mammifères herbivores, les insectes et les champignons **(Laranjo et al., 2019)**. Parmi ces substances figurent les huiles essentielles (HE), qui sont des mélanges chimiques complexes obtenus à partir de différentes parties de plantes aromatiques (feuilles, racines, fleurs, écorce, graines, rameaux, etc.) **(Shankar et al., 2021)**. Elles regroupent des composants bioactifs aux structures diverses, aux masses moléculaires spécifiques et aux propriétés physico-chimiques uniques comme les mono-, sesqui- et diterpènes, les phénylpropanoïdes, les composés phénoliques et les composés soufrés. Ces composants interagissent de manière synergique ou compétitive, créant des interactions complexes qui confèrent aux huiles essentielles leurs diverses propriétés pharmacologiques et biologiques **(Mohamed et Alotaibi., 2023 ; Abdelmohsen & Elmaidomy., 2025)**. Plusieurs méthodes permettent l'extraction des HEs, notamment la pression à froid, l'extraction par solvant et l'effleurage. Cependant, la distillation à la vapeur d'eau et l'hydrodistillation sont les procédés les plus largement utilisés à l'échelle industrielle **(Herman et al., 2019)**. La capacité des huiles essentielles à traverser les membranes biologiques est principalement due à la lipophilie et à la faible masse moléculaire de leurs constituants volatils, ce qui leur confère un large spectre d'activités biologiques **(Żukowska & Durczyńska., 2024)**.

La recherche des alternatives naturelles aux produits synthétiques représente un défi majeur, notamment en raison d'une demande accrue des consommateurs pour des produits d'origine naturelle et respectueux de l'environnement **(Sobhy et al., 2025)**. Dans ce contexte, les huiles essentielles ont déjà trouvé leur place dans de nombreuses applications biomédicales et pharmaceutiques, grâce à leur large spectre d'activités biologiques **(Rhoumaa et al., 2023)**.

Les huiles essentielles sont couramment employées dans le secteur de la santé grâce à leurs efficacités thérapeutiques, particulièrement pour atténuer les symptômes liés à diverses affections comme la maladie d'Alzheimer, les troubles cardiovasculaires ou encore le diabète ainsi que les troubles du stress **(Pezantes-Orellana et al., 2024)**. En ce qui concerne la maladie d'Alzheimer (MA), les dommages oxydatifs, liés à la forte teneur en acides gras oxydables et

au taux élevé de consommation d'oxygène, constituent les principales causes de la vulnérabilité du cerveau chez les patients atteints de cette maladie (**Bendjabeur et al., 2018**). De nombreuses recherches cliniques ont prouvé que les HE possèdent une action inhibitrice contre l'acétylcholinestérase (AChE) et la butyrylcholinestérase (BChE), deux enzymes fondamentales dans l'étiologie et la progression de la maladie d'Alzheimer (**Salinas et al., 2020**). En outre, il a été rapporté que les HE et les extraits de plantes, peuvent constituer de puissants composés dans la lutte contre les pathologies liées à l'oxydation (**Micheli et al., 2015**). Les antioxydants naturels sont très recherchés pour les applications biopharmaceutiques, en raison de la capacité intrinsèque de certains de leurs composants, notamment les phénols, à stopper ou à retarder l'oxydation des matières organiques, même à des concentrations relativement faibles par rapport à la quantité de matière oxydable (**Amorati et al., 2013**).

Selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), le nombre de personnes souffrent de diabète sucré devrait atteindre 366 millions d'ici 2030. L'augmentation progressive de ce nombre a encouragé la recherche de nouvelles approches pharmacologiques pour lutter contre ce problème (**Hichri et al., 2019**). Plus de 400 espèces végétales ont été identifiées comme inhibiteurs des enzymes diabétiques (alpha-amylase et alpha-glucosidase) lors de nombreuses recherches sur le diabète de type 2 (DT2). Ces deux enzymes sont responsables de la conversion des glucides en glucose, lequel est ensuite absorbé par l'intestin, entraînant ainsi une hyperglycémie. Par conséquent, le développement des agents inhibiteurs de ces deux enzymes contribue à contrôler l'hyperglycémie chez les patients atteints de DT2 (**Ojah et al., 2020 ; Mahnashi et al., 2022**). De plus, les plantes médicinales constituent également une solution thérapeutique à la fois efficace et économique pour la guérison des plaies et des brûlures. Depuis l'Antiquité, les populations tribales et les traditions populaires de nombreux pays utilisent ces éléments comme une source inépuisable de substances potentiellement actives (**Costa et al., 2019 ; Salas-Oropeza et al., 2020**).

En production alimentaire, inhiber la croissance des micro-organismes par l'utilisation des HE pourraient constituer une solution alternative aux conservateurs chimiques tels que l'acide benzoïque, les parabènes, les nitrites et nitrates inorganiques. Généralement, les produits naturels sont mieux tolérés par l'organisme et présentent moins d'effets secondaires (**Wińska et al., 2019**). En agriculture, Les maladies d'origine fongiques constituent une menace majeure pour l'agriculture mondiale, causant d'importantes pertes de rendement. Dans ce contexte, l'utilisation des HE pour la lutte contre les champignons phytopathogènes suscite un intérêt croissant, en raison de la diversité de leurs composants actifs, fréquemment caractérisés par des propriétés antifongiques, antibactériennes et insecticides (**Al-Sawaha et al., 2024**).

La famille des Lauracées est l'une des familles végétales les plus riches en espèces médicinales et aromatiques (**Bora et al., 2022**). Parmi elles, *Cinnamomum camphora* est l'une des plus anciennes herbes aromatiques, avec une grande importance économique, et est largement distribuée en Chine, au Japon et dans le Sud-Est d'Asie (**Zhang et al., 2023**). Historiquement, cette espèce était une source significative de camphre et de bois, et elle était fréquemment employée dans la médecine traditionnelle pour soigner plusieurs maladies, notamment le rhume, l'asthme, les rhumatismes et les douleurs musculaires (**Guo et al., 2016 ; Wang et al., 2020**). Le camphrier constitue une source riche en huiles essentielles, grâce à la grande quantité d'huile qui peut être obtenue à partir de ses différentes parties (les feuilles, les tiges et les fruits) (**Guo et al., 2016**). Il a été démontré que la richesse de l'HE de *C. camphora* en composés bioactifs, en particulier les monoterpénoïdes (camphre, eucalyptol, linalol, citral,

phellandrène) et les sesquiterpénoïdes (β -caryophyllène, nérolidol, méthylisoeugénol, élémène), confère à cette huile un potentiel élevé d'activités biologiques (Du et al., 2022). Malgré l'intérêt économique et thérapeutique majeur de l'HE de *C. camphora* et les nombreuses études réalisées à l'échelle internationale, la recherche sur cette huile reste limitée en Algérie. Il apparaît donc indispensable de mener des recherches supplémentaires afin d'assurer une application efficace de cette huile essentielle.

Dans le cadre de la valorisation de la flore algérienne, la présente étude porte sur la caractérisation de la composition chimique et les propriétés biologiques de l'HE de *C. camphora*, afin d'identifier les applications potentielles de cette espèce dans divers domaines. Cette étude a également pour objectif de collecter les connaissances, notamment celles des jeunes étudiants universitaires et d'autres catégories de la population, sur l'usage de la plante étudiée, ses différentes modalités d'utilisation ainsi que ses effets nocifs éventuels.

Pour cela, notre travail est structuré en trois parties, la première est une synthèse bibliographique qui fournit des informations générales sur les huiles essentielles (leur composition chimique, leurs méthodes d'extraction et leurs activités biologiques), ainsi que la plante étudiée et son huile essentielle.

- La deuxième partie, expérimentale, inclut une présentation approfondie du matériel et des méthodes expérimentales (protocoles) utilisés dans ce travail :

- l'Extraction de l'huile essentielle ;
- La détermination des caractéristiques organoleptiques (aspect, odeur, couleur) de l'huile essentielle de *C. camphora* ;
- L'analyse des propriétés physiques telles que le pH, la densité et l'indice de réfraction ;
- L'analyse du profil chimique : analyse qualitative (Screening phytochimiques) et quantitative (CG-SM et FTIR) de l'huile essentielle de *C. camphora*, (UPLC-MS/MS) de l'extrait méthanolique ;
- L'enquête ethnobotanique sur le camphrier ;
- l'évaluation des Activités biologiques (L'activité antioxydante, L'activité anti-enzymatique, L'activité antimicrobienne (antibactérienne et antifongique), La cytotoxicité et la cicatrisation des plaies).

La troisième partie est consacré à la présentation des résultats ainsi que leurs interprétations et discussion.

Enfin, ce travail se conclut par une conclusion générale mettant en lumière quelques perspectives.

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Plantes médicinales et aromatiques

Depuis l'Antiquité, l'être humain dépend de la nature pour répondre à ses besoins essentiels tels que la nourriture, l'habillement, les déplacements et l'habitat. Dans ce contexte, les plantes médicinales ont longtemps occupé une place prépondérante dans la médecine traditionnelle et ont également révolutionné la médecine moderne, constituant la source principale de nombreux médicaments importants mis au point au cours des cinquante dernières années (**Srivastava & Singh., 2020**). Bien que les plantes médicinales et les plantes aromatiques puissent se ressembler, elles appartiennent en réalité à deux catégories distinctes. Les plantes médicinales sont des végétaux riches en métabolites secondaires (les alcaloïdes, les coumarines, et les flavonoïdes), reconnus pour leurs multiples propriétés biologiques. Tandis que les plantes qui contiennent des huiles essentielles sont appelées aromatiques et sont employées en parfumerie, ainsi que dans de nombreuses industries agroalimentaires et pharmaceutiques (**Darthiya et al., 2020**).

1.1. Métabolisme secondaire

Chez les plantes, le métabolisme donne lieu à la synthèse de deux groupes principaux de métabolites : les métabolites primaires (composés d'acides nucléiques, de protéines, de glucides, de graisses et de lipides), essentiels pour leur croissance et développement, et les métabolites secondaires constitués de composés provenant de différentes familles chimiques, dont la production est fortement stimulée en réponse à des conditions de stress biotiques et abiotiques (**Saurabh et al., 2015**). La majorité des métabolites secondaires utilisés en médecine régénérative à cause de leur spécificité dans le traitement de diverses affections, tels que les flavonoïdes : les anthocyanes (antidiabétiques), la naringine (anti-ostéoporotique) et les flavonols du cacao (pour les troubles coronariens). Ainsi que les alcaloïdes : la morphine (analgésique), la codéine (antitussif), la quinine (antipaludique), la galanthamine (inhibiteur de l'acétylcholinestérase), la scopolamine (contre le mal des transports), la caféine (stimulant), et la capsaïcine (pour les douleurs rhumatismales), la colchicine (pour traiter la goutte) (**Umashankar., 2020**).

Les huiles essentielles figurent parmi les métabolites secondaires les plus dynamiques, en raison de la diversité de leurs activités biologiques, y compris antimicrobiennes, antivirales, anti-inflammatoires, insecticides et antioxydantes (**Żukowska & Durczyńska., 2024**). Ces huiles sont des mélanges de divers composés chimiques volatils, et elle possèdent généralement une concentration élevée en monoterpènes oxygénés, ainsi que des concentrations variables d'hydrocarbures monoterpéniques, d'hydrocarbures sesquiterpéniques et de sesquiterpènes oxygénés (**Latif & Nawaz., 2025**). De nombreux facteurs, incluant le génotype, l'environnement et les techniques de culture, ont prouvé leur impact sur la biosynthèse et l'accumulation de métabolites secondaires dans les plantes aromatiques et médicinales (**Chrysargyris et al., 2020**).

1.2. Notion de l'aromathérapie

L'aromathérapie, dérivée des mots « arôme » (parfum) et « thérapie » (traitement), est une méthode naturelle qui utilise les huiles essentielles comme agents bioactifs pour la guérison du corps et de l'esprit (**Ali et al., 2015**). Le terme d'aromathérapie a été inventé par le chimiste français René-Maurice Gattefossé au début du XX^e siècle lors de la découverte des effets curatifs de l'huile essentielle de lavande, de l'huile essentielle de lavande, en particulier dans le

traitement des brûlures (**Vora et al., 2024**). Par la suite, d'importantes contributions au développement de l'aromathérapie ont été apportées par Marguerite Maury et Robert Tisserand, notamment à travers l'élaboration de nouvelles méthodes d'application et de techniques de mélange (**Bensouilah., 2005**).

2. Huiles essentielles

2.1. Définition

Selon l'Organisation internationale de normalisation (ISO 9235), les huiles essentielles sont définies comme suit : « Extrait obtenu à partir de matières premières d'origine naturelle, c'est-à-dire végétales, par distillation à la vapeur, par des procédés impliquant une extraction mécanique de l'épicarpe d'agrumes ou par extraction physique telle que la distillation sèche après élution de la phase aqueuse. Il peut également faire l'objet d'une analyse physique post-extraction, à condition qu'aucune modification de sa composition ne soit apportée. » (**Naeem et al., 2018**).

Les huiles essentielles sont l'ensemble des extraits parfumés obtenus à partir des plantes, ce terme fait référence à la théorie de la «*Quinta essentia*» proposée par le célèbre médecin suisse Paracelse von Hohenheim pendant le XVI^e siècle (**Vora et al., 2024**). Elles sont produites et stockées dans des tissus sécréteurs spécialisés (les cavités, les canaux, les trichomes sécréteurs et les cellules papillaires coniques), qui présentent une grande variabilité morphologique, allant des trichomes hautement spécialisés aux cellules non spécialisées, aux osmophores et aux cellules sécrétoires de l'épiderme des pétales (**Rehman et al., 2016**). Les huiles essentielles peuvent s'accumuler dans divers organes de la plante, notamment les racines, les feuilles, les fleurs, les fruits, le bois des tiges ainsi que l'écorce. Bien que leur quantité varie selon les espèces, la teneur en huiles essentielles est généralement inférieure à 1 %, mais peut exceptionnellement atteindre jusqu'à 15 % dans la matière sèche de certaines plantes (**Butnariu & Sarac., 2018**).

La composition chimique des HE varie en fonction des espèces végétales (plus de 200 composés peuvent être présents), du lieu d'origine et des conditions climatiques. Cette variation peut entraîner des altérations de leurs activités biologiques (**Eslahi et al., 2017; Pezantes-Orellana et al., 2024 ; Vora et al., 2024**). Récemment, les huiles essentielles ont fait l'objet de nombreuses recherches concernant leur potentiel curatif dans diverses maladies. Des essais biologiques impliquant les HE ainsi que leurs composés bioactifs ont généré des résultats prometteurs, suggérant leur potentiel dans divers traitements pharmacologiques, notamment comme agents antimicrobiens, anti-inflammatoires, anti-tumoraux et antioxydant (**Dhifi et., 2016**).

2.2. Composition chimique des huiles essentielles

Sur le plan chimique, les huiles essentielles se caractérisent par une composition complexe regroupant trois grandes classes de composés, à savoir :

- **les terpènes** : les monoterpènes ($C_{10}H_{16}$) et les sesquiterpènes ($C_{15}H_{24}$) sont les deux principales familles des terpènes.
- **les composés aromatiques** : ou phénylpropanoïdes.
- **les Composés oxygénés** : principalement constitués de phénols (thymol, carvacrol, eugénol), d'alcool (terpinéol, linalol et géraniol), d'esters (acétate de cédryle, acétate de

menthyle et acétate de linalyle), de cétones (p-vétivone, carvone et menthone) et d’aldéhydes (géraniol, citronellal et aldéhyde de cumin) **(Kumar et al., 2024)**.

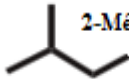
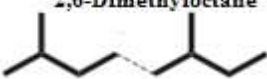
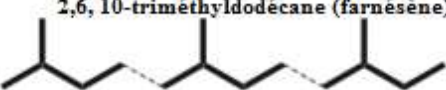
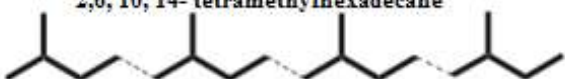
Cette classification est basée sur les critères suivant : origine primaire de la biosynthétique ; taille ou nombre d'atomes de carbone ; structure de base de la molécule et caractère d'oxydation par des atomes électronégatifs, tels que l'oxygène, l'azote ou le soufre **(Sadgrove et al., 2022)**.

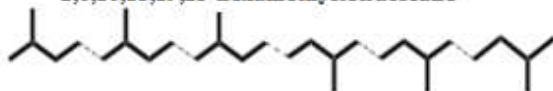
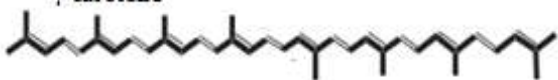
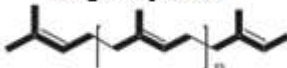
2.2.1. Terpènes

Les terpènes sont les composants des huiles essentielles les plus abondants chez les plantes (plus de 50 000 molécules). Ils sont principalement produits par des voies de synthèse similaires à celles de l'isoprène, dont l'isoprène (C₅), l'isopentényl-pyrophosphate (IPP) et son isomère, le diméthylallyl-pyrophosphate (DMAPP) sont leurs unités de base **(Rehman et al., 2015)**. Une autre classe importante est celle des terpénoïdes ou isoprénoïdes, Une autre classe importante est celle des terpénoïdes ou isoprénoïdes, qui constituent une forme modifiée des terpènes (hydrocarbures), caractérisée par la présence de groupes fonctionnels oxygénés tels que les fonctions cétone, hydroxyle, aldéhyde, éther ou carboxyle **(de Sousa et al., 2023)**.

Les terpénoïdes sont classés selon les chaînes homologues des unités isoprènes présentes dans leur structure (Tableau 1). Ils sont principalement biosynthétisés par la condensation de l'IPP et de son isomère (le DMAPP), à l'aide d'enzymes isoprényl-diphosphate synthases (IDS), ce qui entraîne la formation de géranyl-diphosphate (GPP). Au niveau des parties spécifiques de la cellule végétale (cytosol ou plaste) les précurseurs de l'IPP et du DMAPP sont condensées par les prényl-diphosphate synthases, afin de former le prényl-diphosphate, substrat des terpènes synthases (TPS). Les TPS constituent un groupe d'enzymes responsables de l'élimination des groupes bisphosphates des précurseurs directs (le GPP, le farnésyl-diphosphate (FPP) et géranylgéranyl-pyrophosphate (GGPP), pour former les structures des terpénoïdes finaux : monoterpène (C₁₀), sesquiterpène (C₁₅), diterpène (C₂₀) et polyterpène **(Rehman et al., 2015 ; Li et al., 2023)**.

Tableau 1 : Classification des terpénoïdes **(Rehman et al., 2015)**.

Nom	Nombre d'atomes de carbone	Nombre d'unités d'isoprène	Structure
Isoprènes (hémiterpènes)	C ₅	un	 2-Méthylbutane
Monoterpènes	C ₁₀	deux	 2,6-Diméthyloctane
Sesquiterpènes	C ₁₅	trois	 2,6, 10-triméthyldodécane (farnésène)
Diterpènes	C ₂₀	quatre	 2,6, 10, 14- tétraméthylhexadécane

Triterpènes	C ₃₀	six	 2,6,10,15,19,23-hexaméthyltétracosane
Tétraterpènes	C ₄₀	huit	 γ-carotène
Polyterpènes	(C ₅) _n	n peut être 9-30,000 ou plus	 La gutta-percha

2.2.1.1. Monoterpènes

Les monoterpènes (C₁₀H₁₆) sont les principaux composés organiques volatils naturels des huiles essentielles. Ils sont formés par la condensation de deux unités d'isoprène (C₅) et présentent une grande diversité structurale, avec près de 1000 composés volatils identifiés (**de Sousa et al., 2023**). Ces composés comprennent dans leur structure chimique des groupes fonctionnels tels que des alcools (le linalol, le géraniol), des aldéhydes (le géraniol, le néral), des cétones (le camphre, la menthone, la carvone), des éthers (le 1,8-cinéole), des phénols (le carvacrol, le thymol) ou des esters (l'acétate de linalyle, l'acétate de néryle) (**Zuzarte et al., 2024**). En fonction de leur structure chimique, les monoterpènes se répartissent en différentes classes, comprenant les monoterpènes acycliques et divers squelettes cycliques tels que les bornanes, les camphanes et isocamphanes, les fenchanes, les thujanes, les p-menthanes, les caranes ainsi que les pinanes. Parmi eux, les monoterpènes de type p-menthane représentent le groupe le plus abondant dans la nature (**de Sousa et al., 2023**).

Les monoterpènes sont des composés bioactifs importants, qui présentent une large gamme d'activités biologiques (activités anti-inflammatoires, antifongiques...). En plus de leurs propriétés biologiques, ces composés jouent un rôle efficace dans la défense des plantes contre les stress biotiques et abiotiques, Ils participent également à la création des arômes et des saveurs caractéristiques de diverses plantes (**Ben Miri., 2025 ; Jávega-Cometto et al., 2025**).

2.2.1.2. Sesquiterpènes

Les sesquiterpènes (C₁₅H₂₄), sont des métabolites secondaires produits en réponse au stress biotique et abiotique, Ils sont constitués de trois unités d'isoprène (C₅) (**Arizmendi et al., 2022**). En fonction du nombre de cycles carbonés, les sesquiterpènes peuvent être classés en 5 groupes : acycliques, monocycliques, bicycliques, tricycliques et tétracycliques (**Mai et al., 2021**).

Ces composés, sont produits principalement dans les feuilles et les capitules floraux de plantes, et ils sont généralement présents en faibles quantités dans les plantes saines, mais leur biosynthèse s'accroît rapidement en cas de stress et peut se maintenir pendant plusieurs jours (**Arizmendi et al., 2022**). En plus de leur intérêt pharmaceutique, les sesquiterpènes sont particulièrement employées dans les domaines de la parfumerie, des biocarburants et de l'industrie des arômes, en raison de la complexité de leurs structures chimiques (**Mai et al., 2021**).

2.2.1.3. Voies de biosynthèse des terpénoïdes

Il existe deux voies principales pour la synthèse de l'isoprène dans les plantes :

- **La voie de l'acide mévalonique (MVA)** : Six étapes de réactions enzymatiques sont impliqués dans la voie MVA (Figure 1), cette voie conduit à la formation de précurseurs des sesquiterpènes (tels que le (E)- β farnésène, l' α -humulène, le caryophyllène et le nérolidol) et leurs dérivés, tels que le 4,8-diméthylnona-1,3,7-triène (DMNT) au niveau cytoplasme (Li et al., 2023). La voie MVA se déroule dans le cytoplasme (Wińska et al., 2019).

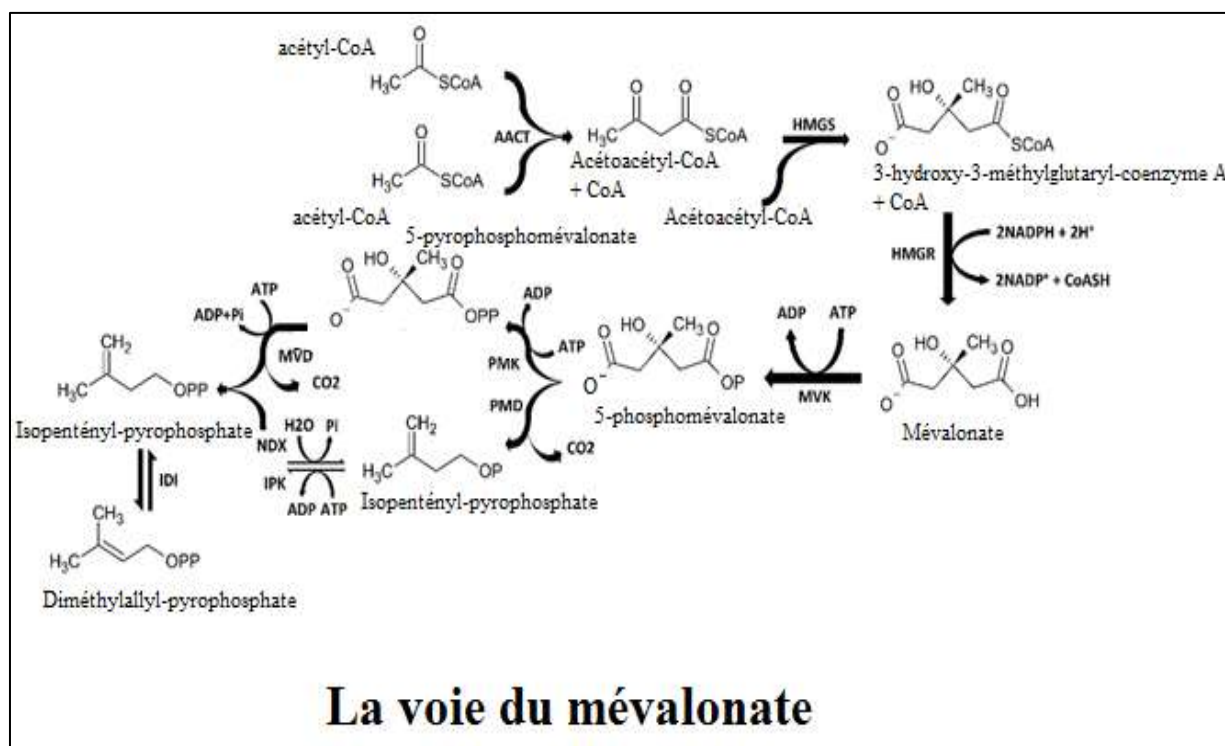


Figure 1: La biosynthèse des terpénoïde par la voie MVA ; où **AACT**: Acétyl-CoA C-acétyltransférase ; **HMGS**: Hydroxyméthylglutaryl-CoA synthase ; **HMGR**: Hydroxyméthylglutaryl-CoA réductase ; **MVK**: Mévalonate kinase ; **PMK**: Phosphomévalonate kinase ; **MVD**: Diphosphomévalonate décarboxylase ; **IDI**: isopentényl diphosphate isomérase ; **PMD**: Phosphomévalonate décarboxylase ; **IPK**: Isopentényl phosphate Kinase ; **NDX**: Hydrolase Nudix (Sadgrove et al., 2022).

- **La voie du méthylérythritol-4-phosphate (MEP)** : La voie MEP (Figure 2), comprend sept étapes enzymatiques qui produit principalement les substrats nécessaires à la production des monoterpènes (linalol, myrcène et limonène), des diterpènes (géranyl linalol), des caroténoïdes, ainsi que de leurs produits dérivés (cytokinines, gibbérellines, chlorophylle, tocophérols et plastes). Cette voie de biosynthèse est localisée dans les plastes (Li et al., 2023).

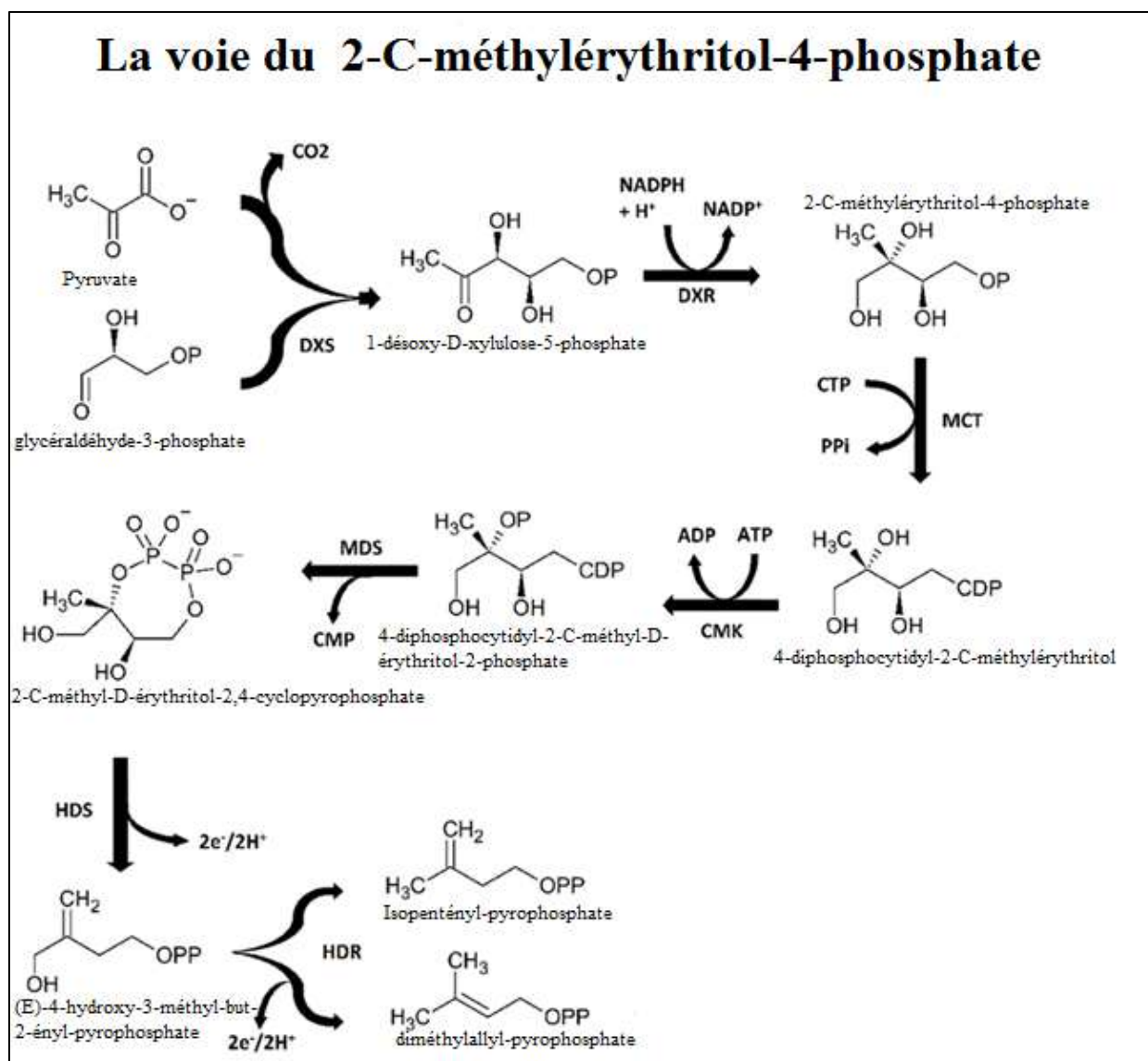


Figure 2: La biosynthèse des terpénoïde par la voie MEP, où : **DXS**: 1-désoxy-D-xylulose-5-phosphate synthase; **DXR**: 1-désoxy-D-xylulose-5-phosphate réductoisomérase; **MCT**: 2-C-méthyl-D-érythritol-4-phosphate cytidyltransférase; **CMK**: 4-(cytidine-5'-diphospho)-2-C-méthyl-D-érythritol kinase; **MDS**: 2-C-méthyl-D-érythritol-2,4-cyclodiphosphate synthase; **CMP**: Cytidine monophosphate; **HDS**: (E)-4-hydroxy-3-méthylbut-2-ényle diphosphate synthase; **HDR**: 4-hydroxy-3-méthylbut-2-ényle diphosphate réductase (Sadgrove et al., 2022).

2.2.2. Phénylpropanoïdes (Composés aromatiques).

Les phénylpropanoïdes sont des métabolites secondaires synthétisés à partir de la phénylalanine, un intermédiaires clés de la voie de l'acide shikimique chez les plantes. Ils constituent une famille de plusieurs groupes de composés organiques, ces composés jouent un rôle important dans leur croissance et leur développement, ainsi que dans les mécanismes de défense contre aux stress environnementaux. Plusieurs phénylpropanoïdes sont considérés comme des composés de grande valeur biologique utilisés comme des antioxydants, des anti-inflammatoires et cardioprotecteurs (Da silva et al., 2021 ; Cesarino et al., 2022).

2.3. Les chémotypes

La notion de chémotype désigne un groupe d'organismes appartenant à une même espèce, sous-espèce ou taxon, mais caractérisés par une composition chimique diversifiée. Chez les plantes médicinales, la diversité chimique, peut être considérée comme un trait phénotypique couramment observé, jouant un rôle essentiel dans les interactions entre les plantes et leur environnement. De légères modifications génétiques, avec ou sans impact sur la morphologie ou l'anatomie, peuvent entraîner d'importantes variations dans le phénotype chimique **(Guo et al., 2017 ; Ziaja et al., 2025)**.

Les plantes produisent un grand nombre de composés phytochimiques, chaque composé peut être considéré comme un caractère fonctionnel influençant la physiologie des plantes, leurs interactions avec l'environnement ainsi que leur valeur adaptative. Dans l'ensemble, la variation de la composition chimique d'une plante est étroitement liée à au nombre total de composés présents, à leur variation qualitative liée à leurs origines biologiques et à leur structure moléculaire, ainsi qu'à leur variation quantitative et à leur abondance **(Petrén et al., 2025)**.

2.4. Facteurs affectant la composition chimique des huiles essentielles

L'efficacité biologique des huiles essentielles est étroitement liée à sa composition chimique, laquelle peut être modulée par plusieurs facteurs, qui se répartissent en deux grandes catégories : endogènes et exogènes **(Yu., 2025)**. Les facteurs endogènes sont liés à la plante, telles que la génétique de la plante, le stade de développement, la densité ainsi que l'organe végétal utilisé. Les facteurs exogènes, quant à eux, sont liés aux conditions géographiques et environnementales telles que l'intensité lumineuse, la température, les précipitations, la disponibilité en eau, l'altitude et latitude, type et composition du sol, la Variations saisonnières, la méthode d'extraction et les conditions de stockage **(Dhifi et al., 2016 ; Mugao., 2024 ; Yu., 2025)**.

Ces facteurs exercent une influence notable sur la qualité, la quantité des huiles essentielles et l'efficacité biologique des huiles essentielles produites, en agissant sur la biosynthèse et l'accumulation de leurs métabolites volatils. **(Hassiotis et al., 2025)**. Cependant, la composition des huiles essentielles peut varier d'une année à l'autre, même si elles proviennent de la même région **(Elshafie & Camele., 2017)**.

2.5. Caractéristiques organoleptiques et physiques des huiles essentielles

À température ambiante, les huiles essentielles se caractérisent par un aspect liquide, limpide et mobiles, mais certaines peuvent être solides ou semi-solides, comme celle extraite de l'iris et l'huile essentielle de bois de gaïac, respectivement **(Moghaddam & Mehdizadeh., 2017)**. Les huiles essentielles sont généralement incolores ou d'une couleur allant du jaune pâle au brun, mais certaines présentent des teintes plus foncées. Elles sont synthétisées et stockées dans les cellules sécrétoires, les cavités ou canaux, les cellules épidermiques ou les poils glandulaires **(Raveau et al., 2020)**. De plus, leurs arômes caractéristiques varient en fonction de l'espèce végétale, de son origine et des parties de la plante utilisées **(Moghaddam & Mehdizadeh., 2017)**.

Ce sont des produits volatiles et hydrophobes, largement solubles dans les graisses et la plupart des solvants organiques (**Raveau et al., 2020**). Les huiles essentielles sont généralement caractérisées par un indice de réfraction élevé, une rotation parfaite, ainsi qu'une densité relative souvent inférieure à celle de l'eau (**Moghaddam & Mehdizadeh., 2017**).

2.6. Méthodes d'extraction des huiles essentielles

Le choix de la méthode d'extraction représente un facteur crucial, car chaque partie de la plante (fleurs, feuilles, tiges, écorce, bois, racines, fruits, rhizomes), nécessite une technique spécifique afin d'optimiser le rendement. Des procédures d'extraction inappropriées peuvent altérer la qualité chimique des huiles essentielles ou changer leur fonction. De ce fait, les huiles essentielles perdent leur activité biologique et leurs propriétés (**Katekar et al., 2023**).

2.6.1. Pression à froid (Expression à froid)

Anciennement et avant la découverte de la distillation, les huiles essentielles ont été extraites par ce qu'on appelle la pression à froid (**Reyes-Jurado et al., 2014**). C'est une méthode d'extraction mécanique où l'huile est pressée à froid à basse température et sous basse pression. Ce procédé est principalement employé pour l'extraction des huiles essentielles de graines, d'écorces, de citron et de mandarine, du fait de l'instabilité thermique des aldéhydes qu'elles contiennent (**Reyes-Jurado et al., 2014 ; Geramitcioski et al., 2018**).

Dans ce processus, la couche extérieure des plantes qui renferment l'huile est éliminée par gommage. Par la suite, toute la plante est pressée pour obtenir la substance de la pulpe et libérer l'HE des sachets. Après avoir atteint la surface, l'huile essentielle est isolée de la substance par le processus de centrifugation (**Geramitcioski et al., 2018**).

2.6.2. Distillation à la vapeur

La distillation à la vapeur est considérée comme la technique la plus répandue pour l'extraction des huiles essentielles. Elle consiste à chauffer l'eau et les matières végétales, ce qui entraîne l'évaporation des composés aromatiques volatils (Figure 3). Après condensation des vapeurs dans le condenseur, l'huile se s'accumule dans le liquide, tandis que l'eau retourne dans la cuve de distillation. La distillation à la vapeur est une méthode respectueuse de l'environnement, caractérisée par son faible coût. Cependant, elle présente des inconvénients : un faible rendement, le risque de décomposition thermique de certains composants de l'huile et des temps d'extraction longs (**Machado et al., 2022 ; Żukowska & Durczyńska., 2024**).

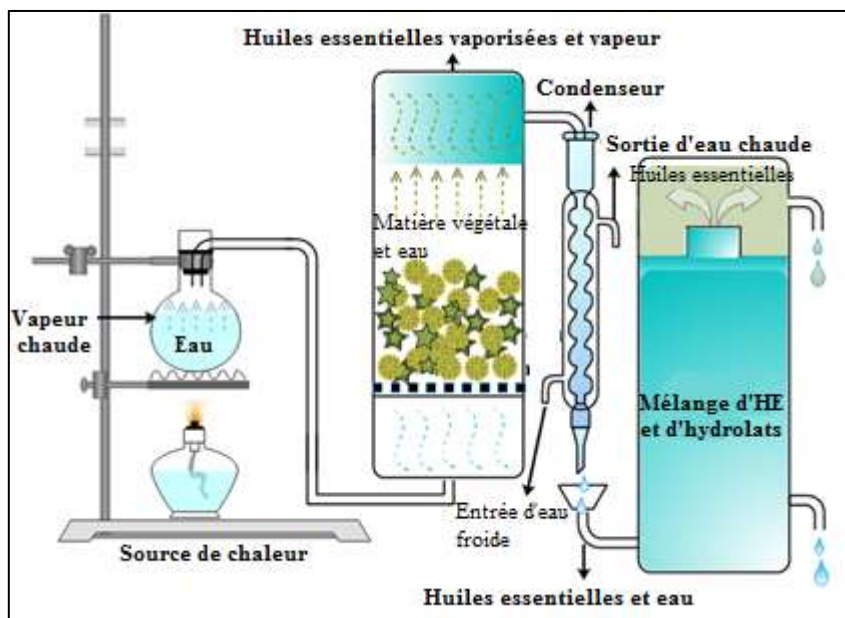


Figure 3 : Méthode d'Extraction des huiles essentielles par distillation à la vapeur (Khan et al., 2023).

2.6.3. Hydrodistillation

L'hydrodistillation (HD) est une méthode d'extraction efficace et à haut rendement, adaptée aux plantes aromatiques dont les huiles essentielles sont difficiles et thermostables. Cette méthode consiste à chauffer un mélange de matière végétale et d'eau jusqu'à ébullition. Après ébullition les molécules odorantes contenues dans les cellules végétales sont libérées sous forme d'un mélange azéotrope. En suite le refroidissement par condensation, entraîne la séparation de l'eau et les molécules volatiles (HE) par décantation (Figure 4).

La durée de l'HD varie entre trois et six heures, selon la matière végétale utilisée. Ce facteur peut affecter le rendement et la composition chimique des huiles essentielles, parce que la chaleur peut stimuler la décomposition thermique des composants thermosensibles, la polymérisation des aldéhydes et l'hydrolyse des composés insaturés ou esters (Roohinejad et al., 2017).

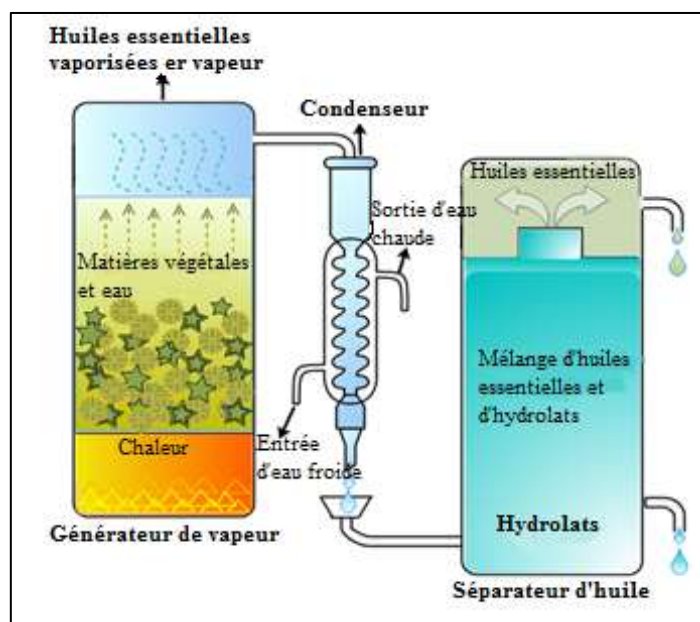


Figure 4 : Méthode d'extraction des huiles essentielles par hydrodistillation (Khan et al., 2023).

2.6.4. Extraction par solvants organiques

Cette méthode permet l'extraction d'huiles essentielles thermosensibles, susceptibles de se dégrader sous l'effet de la chaleur, en utilisant des solvants organiques tels que l'acétone, l'éther de pétrole, l'hexane, le méthanol ou l'éthanol. Le procédé consiste à chauffer légèrement un mélange de matière végétale et solvant, favorisant ainsi la solubilisation des composés aromatiques. Après extraction, le mélange liquide (contenant l'huile essentielle ainsi que d'autres composés) subit un processus de filtration et évaporation des solvants. Ensuite, l'alcool est ajouté au filtrat afin de dissoudre l'huile essentielle, puis le mélange est soumis à une distillation à basse température afin de récupérer l'huile essentielle (Stratakos & Koidis., 2016 ; Aziz et al., 2018). Contrairement à la distillation, cette technique utilise des températures plus basses, réduisant ainsi le risque de modifications chimiques dues à la chaleur (Stratakos & Koidis., 2016). Par conséquent, l'extraction par solvant présente des inconvénients tels que de la contamination de l'échantillon par le solvant, ce qui nécessite une élimination complète du solvant, afin de conserver la qualité chimique et biologique de l'huile essentielle. De plus, lors de l'évaporation du solvant, de nombreuses espèces de faible poids moléculaire sont souvent perdues (Reyes-Jurado et al., 2014).

2.6.5. Extraction par fluide supercritique

L'extraction par fluide supercritique (SFE) est une technique moderne principalement employée pour l'extraction des huiles essentielles thermosensibles (Khan et al., 2023), des caroténoïdes, des flavonoïdes, des acides gras et des huiles provenant des graines de matières végétales naturelles (Uwineza & Waśkiewicz., 2020). Cette méthode est considérée comme une meilleure alternative aux méthodes d'extraction traditionnelles (Khan et al., 2023), au cours de laquelle, un fluide supercritique est utilisé comme solvant pour l'extraction de molécules aromatiques (Xu et al., 2011). Chaque fluide est caractérisé par un point critique, défini par la température et la pression critiques, en raison de ses conditions critiques modestes le dioxyde de carbone (CO₂) est considéré comme le fluide supercritique le plus fréquemment employé (Xu et al., 2011 ; Khan et al., 2023).

L'extraction par fluide supercritique est utilisée dans diverses industries telles que la pharmacie, l'agriculture, l'agroalimentaire et la cosmétique. Cette technique est considérée comme respectueuse de l'environnement grâce à sa consommation réduite de solvants organiques et à la production d'extraits propres. Elle est caractérisée aussi par sa courte durée d'extraction (**Uwineza & Waśkiewicz., 2020**).

2.6.6. Extraction assistée par micro-ondes

L'extraction par micro-ondes repose sur la capacité élevée de certains composés à absorber l'énergie des ondes électromagnétiques, ce qui entraîne leur échauffement rapide. Le mouvement moléculaire est alors renforcé, permettant ainsi la séparation et l'extraction des principes actifs du matériau (**Song et al., 2022**).

L'extraction assistée par micro-ondes (MAE) a conduit au développement de diverses techniques telles que la distillation par micro-ondes à air comprimé, la distillation à la vapeur accélérée par micro-ondes, l'hydrodistillation par micro-ondes, l'hydrodistillation par micro-ondes sous vide, l'extraction par micro-ondes sans solvant et la micro-ondes par hydrodiffusion et gravité (**Cardoso-Ugarte et al., 2013**). L'avantage principal de ce procédé réside dans sa simplicité d'utilisation, son rendement élevé, sa rapidité, sa faible consommation d'énergie, ainsi que dans la réduction des dégradations thermiques et hydrolytiques (**Boukhatem et al., 2019 ; Song et al., 2022**).

2.6.7. Enfleurage

L'enfleurage est une méthode d'extraction très ancienne e qui se base sur la solubilisation des composants de l'huile essentielle dans une cire grasse. Ensuite, la cire parfumée est dissoute dans un solvant polaire. Puis, l'huile essentielle est isolée à l'aide d'éthanol absolu. L'extraction à froid prend beaucoup de temps, mais elle peut être accélérée en utilisant la chaleur. Le produit finale est décrit comme une huile absolue et non comme une huile essentielle car il ne contient qu'une petite fraction de l'huile essentielle présente dans la plante (**Fokou et al., 2020**).

2.7. Méthodes d'analyse des huiles essentielles

2.7.1. Chromatographie en phase gazeuse (CG-SM)

La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG-SM) est une technique largement utilisée dans de nombreux domaines scientifiques et technologiques. Elle est particulièrement adaptée pour l'analyse chimique des huiles essentielles, du fait de la volatilité, la polarité, la diversité et la complexité structurale de leur composants volatils (**Smelcerovic1 et al., 2013 ; Fatima & Mushtaq., 2019**). C'est une méthode d'analyse qualitative et quantitative, basée sur le temps de rétention et la masse ionique (**Huang et al. 2025**), et qui permet l'identification des composés volatils en comparant leurs temps de rétention, leurs indices de rétention linéaire et leurs spectres de masse avec ceux des standards stockés dans des bases de données (**Zhang et al., 2022a**).

Cette technique de séparation est caractérisée par deux phases :

- **La phase mobile** : constituée d'un gaz inerte tel que l'argon, l'hélium (le gaz vecteur le plus couramment utilisé) ou l'azote qui transporte d'analyte à travers la colonne, ce dernier n'interagit pas avec l'analyte ni avec le matériau de garnissage de la colonne.

- **La phase stationnaire** : constituée de particules inertes de petit diamètre recouvertes d'un liquide apolaire, ou simplement d'un liquide (0,1 à 5 μm) sur la surface interne de la colonne (**Pramod et al., 2021**)

La chromatographie en phase gazeuse se compose de trois étapes importantes : la préparation, l'injection et la séparation des échantillons. En ce qui concerne l'étape de préparation, deux techniques d'extraction sont recommandées (la micro-extraction en phase solide et l'appareil d'extraction à aiguille), grâce à leur facilité d'utilisation et à l'absence des solvants (**Ueta., 2022**). Ensuite, L'échantillon est injecté dans la colonne de chromatographie. Où les substances actives sont séparées les unes des autres. Le temps requis pour qu'une substance traverse la colonne est désigné comme le temps de rétention. Ce temps est plus long pour les substances dont la polarité est proche de celle de la phase stationnaire. Après, leur sortie de de la colonne, ces molécules pénètrent dans la chambre d'ionisation (Figure 5), qui ionisent et fragmentent certaines molécules à l'aide d'un flux d'électrons puissants. Dans un analyseur de masse, les ions sont triés rapidement selon leur rapport masse/charge. Le spectre de masse, est utilisée comme empreinte pour identifier la substance représentée par un pic sur le chromatogramme, qui indique la quantité de chaque composé en fonction du temps de rétention (**Tadikonda., 2023**).

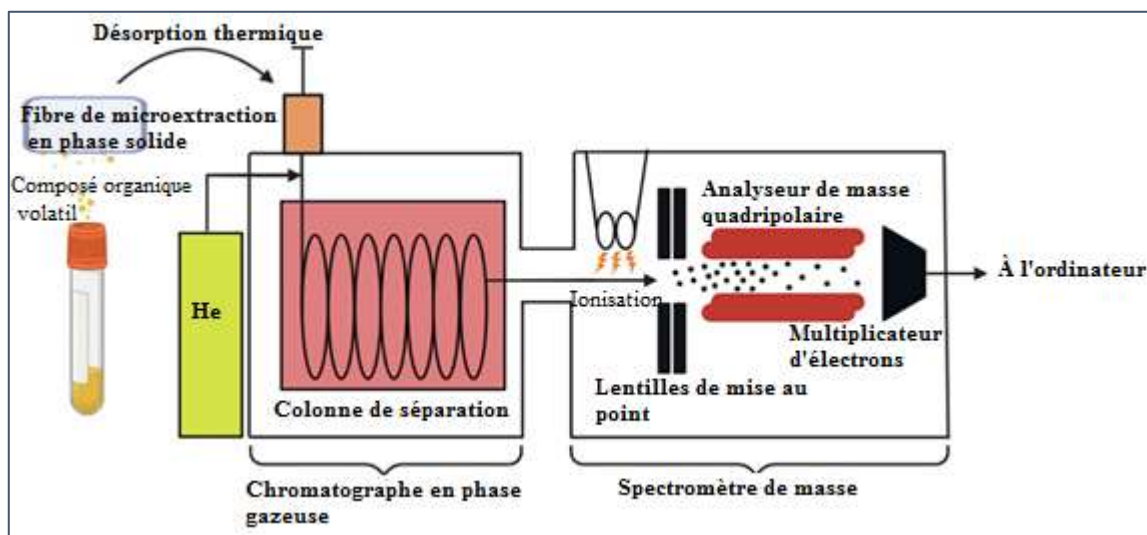


Figure 5 : Schéma du procédé CG-SM : chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (**Crosby et al., 2021**).

2.7.2. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

La spectroscopie FTIR est une technique d'identification et de caractérisation des groupes fonctionnels et de structures moléculaires présentes dans les échantillons analysés. Elle se distingue par sa capacité à analyser des mélanges complexes sans nécessiter une préparation approfondie des échantillons, l'utilisation d'une petite quantité d'échantillon, une bonne reproductibilité et une analyse rapide à haute résolution spectrale. Cette technique utilise des longueurs d'onde relativement longues et peu destructrices, permettant ainsi de réaliser des analyses répétées tout en préservant l'intégrité des échantillons (**Gao et al., 2024 ; Pasieczna-Patkowska et al., 2025**).

La spectroscopie FTIR est basée principalement sur la capacité des molécules à absorber le rayonnement infrarouge à des fréquences spécifiques, déterminées par les modes vibrationnels

de leurs liaisons chimiques. Chaque molécule possède une empreinte spectrale qui la rend unique et permet de la distinguer des autres molécules. De manière générale, les groupes fonctionnels des différents composés, absorbent ce rayonnement dans la même gamme de nombres d'onde (de 4 000 à 400 cm^{-1}). Le spectre IR ainsi obtenu correspond aux groupes fonctionnels présents dans l'échantillon analysé, ce qui permet l'identification et la caractérisation de diverses substances organiques et inorganiques (Smith., 2011).

2.7.3. Spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (RMN)

La RMN haute résolution est l'une des méthodes les plus importantes dans l'analyse qualitative et quantitative des huiles essentielles. Elle est caractérisée par l'absence de prétraitement des échantillons (seul l'ajustement des conditions de la solution telles que la température, le pH et la concentration en sel), Cela réduit le temps d'analyse. En outre, une seule expérience peut fournir une grande quantité d'informations détaillées sur les structures moléculaires, les compositions et la dynamique des composés présents dans un échantillon. Cette méthode analytique est utilisée dans nombreux domaines, tels que la médecine, l'environnement et l'agroalimentaire (Brescia & Sacco., 2008 ; Picone., 2024).

L'analyse RMN permet l'identification des composés grâce à la comparaison des déplacements chimiques observés à celles rapportées dans les bases de données, chaque type de noyau au sein d'une molécule présentant un ensemble caractéristique de déplacements chimiques (Picone., 2024).

2.8. Stockage et conservation des huiles essentielles

Plusieurs études ont démontré que la qualité des huiles essentielles se dégrade au fil du temps. Afin de préserver leur efficacité sur le long terme, il est indispensable de stocker les huiles essentielles dans des flacons en verre protégées de la lumière, de la chaleur, de l'oxygène et de l'humidité (Il est recommandé de conserver les huiles essentielles au frais, à une température d'environ 4 °C), afin d'empêcher l'oxydation et la dégradation thermique de leurs constituants (Nebie., 2023):

De plus, il est important de prendre en considération les éléments influençant l'activité biologique lors du stockage (comme la partie de la plante employée, les méthodes de séchage, la composition chimique, la concentration, le solvant utilisé, le temps et la méthode d'extraction), car ceux-ci sont indispensables pour déterminer les propriétés des huiles essentielles (Abdelmohsen & Elmaidomy., 2025).

2.9. Activités biologiques des huiles essentielles

Les plantes aromatiques sont utilisées depuis l'Antiquité dans divers domaines tel que la pharmacie, l'agroalimentaire et dans l'industrie alimentaire (conservation des aliments), en raison de leurs effets biologiques. Ces effets sont principalement attribués aux huiles essentielles, dont l'activité biologique des huiles essentielles ne dépend pas uniquement de leurs composés majeurs (souvent deux ou trois composés présents en forte concentration), mais également de la synergie avec d'autres composés actifs présents en faibles concentrations (Mohamed et al., 2023).

2.9.1. Activité antioxydante

Le stress oxydatif correspond à une situation où la formation de radicaux libres notamment les espèces réactives de l'oxygène (ERO) et de l'azote (ERA) dépasse la capacité des systèmes de défense antioxydants à les éliminer, cet phénomène est impliqué dans plusieurs maladies, notamment l'hypertension, le diabète, l'athérosclérose, l'ischémie, le syndrome de détresse respiratoire aiguë, la fibrose pulmonaire idiopathique, la bronchopneumopathie chronique obstructive, l'asthme, le cancer et les troubles neurologiques **(Krishnamurthy et al., 2024)**.

Les radicaux libres sont des molécules hautement réactives dont la structure moléculaire contient un ou plusieurs électrons non partagés **(Yang et al., 2025)**. À faibles concentrations, les radicaux libres jouent un rôle crucial dans l'organisme, ils participant aux fonctions immunitaires tel que la phagocytose ils contribuent également à la vasomodulation et à la signalisation cellulaire. Cependant, à fortes concentrations, ces espèces peuvent endommager les macromolécules cellulaires telles que l'ADN, l'ARN, les lipides et les protéines, favorisant ainsi la détérioration progressive des fonctions physiologiques et des structures cellulaires **(Reddy., 2023)**.

L'utilisation d'antioxydants chimiques tels que le butylhydroxyanisole (BHA) et le butylhydroxytoluène (BHT) présente une toxicité avérée pour la santé humaine et l'environnement. Cela encourage la recherche d'antioxydants naturels, tels que les huiles essentielles **(Mohamed et al., 2023)**. De nombreuses huiles essentielles ont été reconnues pour leur activité antioxydante. L'étude de l'efficacité et du mode d'action de chacun de leurs constituants a fait l'objet dans le développement de nouveaux composés bioactifs utilisés dans les industries alimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques **(Ben Miri., 2025)**.

La capacité des composés organiques des huiles essentielles (tel que le thymol, le linalol, le carvacrol, le géraniol, le p-cymène, le linalol, le menthol, l' α -terpinène, le β -terpinène et l' α -terpinolène, le cinnamaldéhyde et l'eugénol) à inhiber les radicaux libres et à réduire le stress oxydatif est attribuée à la présence de doubles liaisons carbone conjuguées et des groupes hydroxyles présents dans leur structure **(Nascimento et al., 2020 ; Reddy et al 2025)**.

Plusieurs tests ont été appliqués pour évaluer l'activité antioxydante *in vitro* des huiles essentielles comme les dosages 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH), 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-acide sulfonique (ABTS), la réduction du pouvoir antioxydant ferrique (FRAP) et la capacité antioxydante réductrice des ions cuivriques (CUPRAC) **(Diniz do Nascimento et al., 2020)**.

2.9.2. Activité antimicrobienne

Face à l'augmentation de la résistance microbienne aux agents antimicrobiens synthétiques, la recherche d'alternatives fiables, non toxiques et efficaces constitue aujourd'hui un enjeu de santé publique majeur. De nombreuses études ont mis en évidence les propriétés antimicrobiennes des huiles essentielles, justifiant ainsi leur potentiel d'application dans divers secteurs, notamment les industries pharmaceutique et agroalimentaire **(Ben Miri., 2025)**.

En agriculture, l'usage intensif de produits chimiques pour la lutte contre les maladies des plantes a causé deux problèmes majeurs : le développement de résistances par des champignons et bactéries phytopathogènes, ainsi que la présence de résidus toxiques dans les produits

agricoles. De ce fait, l'utilisation de substances naturelles telles que les huiles essentielles pour lutter contre les maladies des plantes est actuellement envisagée (**Mangalagiri et al., 2021**).

A. Activité antibactérienne

Les effets des huiles essentielles sur les bactéries dépend de la structure de leurs parois cellulaires. Les bactéries à Gram négatif ont une paroi cellulaire plus complexe comparée à celle des bactéries à Gram positif (**Da Silva et al., 2021**). Elle contient une fine couche de peptidoglycane, laquelle est recouverte par une membrane externe (ME). Ces deux éléments sont solidement liés par une qui est en liaison covalente avec le peptidoglycane et fait partie intégrante de la ME. La membrane externe constitue l'une des principales caractéristiques distinctives des bactéries à Gram négatif par rapport aux bactéries à Gram positif (**Nazzaro et al., 2013**). Cette structure membranaire à caractère hydrophile est imperméable aux molécules hydrophobes, empêchant ainsi l'accumulation de composés bioactifs dans la membrane cellulaire (**Behbahani et al., 2019**).

Contrairement aux bactéries à Gram-, la paroi cellulaire des bactéries à Gram+ est majoritairement composée de peptidoglycane (environ 90 à 95 %), auquel sont fixées d'autres molécules, telles que l'acide téicoïque et des protéines. Cette structure facilite la diffusion des composés hydrophobes dans les cellules, leur permettant d'agir à la fois sur la paroi cellulaire et le cytoplasme (**Nazzaro et al., 2013**).

L'effet antibactérien des huiles essentielles est lié à leurs composés chimiques, en particulier les composés phénoliques tels que le thymol, le carvacrol et l'eugénol. Ces composés se caractérisent par leur capacité à endommager la membrane cellulaire bactérienne, provoquant une fuite d'ions et de contenu cytoplasmique ce qui entraîne la mort cellulaire (**Żukowska & Durczyńska., 2024**). Selon **Da Silva et al., (2021)**, les constituants hydrophobes des HE, ont la capacité d'interagir avec les lipides de la membrane cellulaire, provoquant des modifications dans la chaîne de transport des électrons, dans la production des acides nucléiques et des protéines ainsi que dans l'absorption des nutriments. Ils peuvent aussi provoquer la coagulation du contenu cellulaire et bloquer des enzymes essentielles au métabolisme énergétique, ce qui conduit à la mort cellulaire.

B. Activité antifongique

De nombreuses recherches ont prouvé l'efficacité des huiles essentielles dans le domaine agricole, grâce à leur pouvoir antimicrobien contre une large gamme de micro-organismes. 30% des maladies des cultures sont dues à des champignons phytopathogènes, qui peuvent affecter les plantes à trois phases distinctes : durant la culture, après la récolte ou pendant le stockage, ce qui entraîne des diminutions significatives de la productivité. Particulièrement certains champignons comme les espèces d'*Aspergillus* et de *Fusarium* peuvent présenter un danger pour la santé humaine, ces derniers étant capables de provoquer des pneumopathies en raison des mycotoxines qu'ils produisent (**Raveau et al., 2020**).

Les huiles essentielles contiennent des composés antimicrobiens actifs, comme les terpènes (les paraffines et les limonènes), les terpénoïdes (le thymol et le carvacrol), le phénylpropène (l'eugénol et la vanilline) et d'autres composés (allicine ou isothiocyanates) (**Ji et al., 2024**). Ces composés peuvent inhiber les champignons par six principaux mécanismes d'action (Figure 6) (**Akthar et al., 2014 ; Tariq et al., 2019 ; Taheri et al., 2023**) :

1. Affecter les mitochondries fongiques : La perturbation de la chaîne de transport d'électrons et de la fonction des déshydrogénases mitochondriales conduit à une altération du métabolisme mitochondrial dans les cellules fongiques.

2. Inhibition des pompes d'efflux : L'inhibition de l'H⁺-ATPase entraîne l'acidification intracellulaire et la mort cellulaire, en raison du rôle crucial de cette pompe dans le contrôle des agents pathogènes fongiques, la prolifération cellulaire et la régulation du pH intracellulaire.

3. Inhibition de la formation de la paroi cellulaire : L'inhibition de la biosynthèse de la chitine et du glucane affecte l'intégrité structurale des cellules fongiques, perturbant leurs fonctions physiologiques et provoquant la mort cellulaire.

4. Inhibition de la division cellulaire : L'inhibition de la polymérisation des microtubules entraîne un arrêt de la division cellulaire en perturbant la formation du fuseau mitotique.

5. Inhibition de la synthèse d'ARN/ADN ou de protéines.

6. Perturbation de la membrane cellulaire : L'altération de la structure membranaire peut affecter diverses fonctions, telles que l'absorption et le transport des nutriments, le transport des électrons et l'activité des protéines et des enzymes.

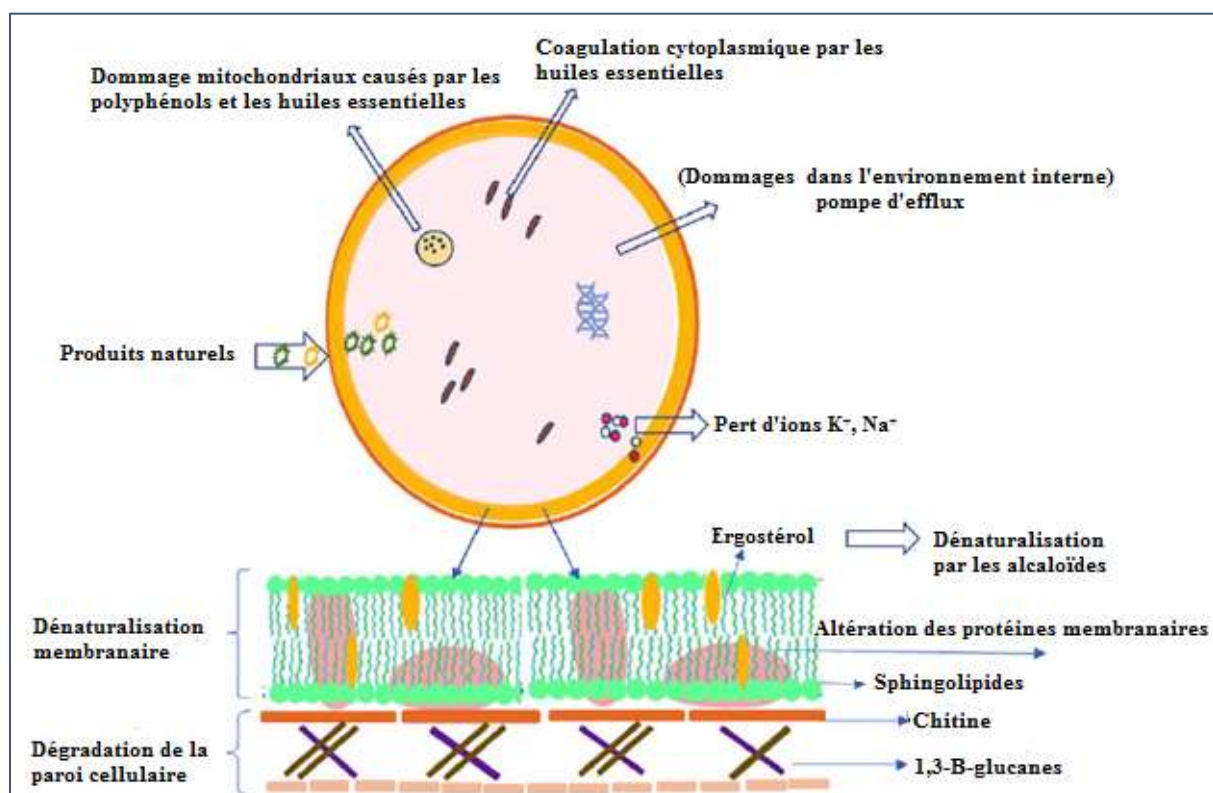


Figure 6 : Différents mécanismes d'action antifongique des huiles essentielles (Silva-Beltrán et al., 2023).

Nombreuses études ont décrit les effets fongicides de certaines huiles essentielles végétales, telles que *Thymus vulgaris* et de *Verbena officinalis* contre *Monilinia laxa*, *M. fructicola* et *M. fructigena* chez le pêcher (Elshafie & Camele., 2017). L'huile essentielle d'origan et son composant actif (le carvacrol) contre la croissance mycélienne de *Neofabraea alba* chez les pommiers (Tabanca et al., 2007) ; et L'huile essentielle de clou de girofle et son composant

actif (l'eugénol monoterpénique), contre *Botrytis cinerea*, *Monilinia fructigena*, *Penicillium expansum* et *Phlyctema vagabunda* Desm chez les pommiers (Kishore et al., 2007).

2.9.3. Activité antidiabétique

Le diabète est l'une des maladies chroniques les plus fréquentes chez l'homme. Environ cinq millions de personnes dans le monde sont actuellement diabétiques, un chiffre qui devrait dépasser sept millions au cours des deux prochaines décennies. Cette augmentation est principalement attribuée aux changements de mode de vie adoptés ces dernières années (Ghasemi et al., 2025).

Il existe trois formes de diabète :

- **Le diabète de type 1 (DT1)** : C'est une affection auto-immune qui se manifeste par la destruction des cellules bêta du pancréas, responsables de la sécrétion d'insuline, entraînant ainsi un déficit en insuline. Cette forme concerne environ 5 à 10 % des personnes diabétiques (Teng & Chen., 2016).
- **Le diabète de type 2 (DT2)** : C'est une maladie trouble métabolique définie par une hyperglycémie résultant d'une résistance à l'insuline et d'un déficit relatif en insuline. Le diabète de type 2 constitue environ 90 % des cas diagnostiqués. (Teng & Chen., 2016).
- **Le diabète sucré gestationnel (DSG)** : identifié pour la première fois durant la grossesse. Ce type de diabète est caractérisé par une intolérance variable au glucose (Teng & Chen., 2016).

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) qualifie le diabète d'« épidémie silencieuse », en raison de son lien direct avec la prévalence croissante de nombreuses autres pathologies, telles que les maladies cardiovasculaires, les maladies cérébrovasculaires, les neuropathies, ainsi que, l'anxiété et la dépression (Ghasemi et al., 2025).

L' α -amylase et l' α -glucosidase sont deux enzymes clés impliquées dans la régulation de la glycémie. L'alpha-amylase catalyse l'hydrolyse initiale de l'amidon en trois produits principaux : le maltose, le maltotriose et les dextrines limitantes, tandis que l'alpha-glucosidase catalyse la dernière étape de la digestion des glucides et facilite l'absorption du glucose dans l'intestin grêle (Figueiredo-González et al., 2018 ; Ahmed et al., 2020). Actuellement, les médicaments utilisés pour inhiber ces enzymes entraînent fréquemment des effets indésirables, notamment des troubles gastro-intestinaux sévères (Figueiredo-González et al., 2018). L'utilisation d'agents phytothérapeutiques pour le traitement du diabète s'est considérablement développée ces dernières années. De nombreuses recherches ont montré que les huiles essentielles possèdent une capacité naturelle à inhiber l' α -amylase et l' α -glucosidase, conduisant ainsi à une diminution de l'absorption du glucose en ralentissant la décomposition des glucides et en allongeant la durée de digestion (Ojah et al., 2020).

2.9.4. Activité anticholinestérasique

La maladie d'Alzheimer (MA) est une pathologie neurodégénérative chronique et complexe qui provoque une détérioration progressive des fonctions cognitives et du langage, une perte de la mémoire et des changements de personnalité. Elle constitue l'une des formes de démence les plus fréquentes, représentant environ 60 à 80 % de tous les cas (Chen et al., 2018). Les marqueurs pathologiques typiques de cette maladie sont les plaques séniles, constituées de

peptides bêta-amyloïdes (A β), et les enchevêtrements neurofibrillaires (ENF), formés de protéines tau hyperphosphorylées (**Benny & Thomas., 2018**).

Actuellement, le principal traitement thérapeutique de la MA repose sur l'inhibition de l'acétylcholinestérase (AChE) et de la butyrylcholinestérase (BChE). Ces deux enzymes constituent des cibles thérapeutiques pour améliorer le déficit cholinergique (**Bonesi et al., 2010**). Selon (**Benny & Thomas., 2018**), la majorité des huiles essentielles mentionnées dans leur revue présentent un potentiel inhibiteur de l'AChE et de la BChE. Ces activités anticholinestérasiques sont attribuées à la présence de composés bioactifs tels que le linalol, l' α -pinène, le thymol, le carvacrol, l' α -terpinéol, l' α -terpinène, le β -caryophyllène et l'eugénol. Par ailleurs, La majorité de ces huiles essentielles ne sont pas toxiques lorsqu'elles sont utilisées aux quantités recommandées.

2.9.5. Potentiel de cicatrisation des plaies

Les plaies affectent la fonction protectrice de la peau et altèrent l'intégrité du tissu épithélial, ce qui augmente le risque d'infection. Par conséquent, le traitement des plaies vise à prévenir l'infection en favorisant la cicatrisation et en stimulant la prolifération des cellules épithéliales restantes afin de recouvrir la surface de la plaie (**Muharni et al., 2022**). Le processus de cicatrisation des plaies est considéré comme un phénomène physiologique complexe car il implique diverses phases consécutives, chacune comportant une série de mécanismes qui se chevauchent (**Costa et al., 2019**). La première phase est la phase inflammatoire, pendant laquelle un caillot se crée pour arrêter le saignement ; suivie de la vasodilatation et de l'activation des processus de défense immunitaire. La deuxième phase implique la multiplication cellulaire (comprenant les cellules épidermiques, endothéliales et fibroblastes), ce qui donne naissance au tissu de granulation initial et favorise l'angiogenèse. La phase finale se distingue par la réorganisation du tissu granulaire grâce à la production de nouvelles fibres de collagène, tandis que les fibroblastes se transforment en myofibroblastes. Cette transformation renforce la résistance à la traction et facilite le rapprochement des bords de la lésion (**Salas-Oropeza., 2020**).

Récemment, l'intérêt pour l'utilisation des huiles essentielles s'est accru en raison de leur efficacité thérapeutique. Il a été prouvé que certaines huiles essentielles comme la lavande, l'arbre à thé et l'eucalyptus peuvent accélérer la réparation tissulaire des plaies, notamment par l'activation de la prolifération fibroblastique, la formation de collagène et la réépithélialisation des tissus endommagés. Cela est dû aux composés bioactifs qu'elles contiennent, en particulier les monoterpènes, les sesquiterpènes et les composés phénoliques, qui produisent des effets synergiques sur le processus de cicatrisation (**Asiri & Venkatesan., 2025**).

2.10. La toxicité des huiles essentielles

Selon l'administration des aliments et des médicaments (Food and Drug Administration **FDA**) des États-Unis, les huiles essentielles sont considérées comme non dangereuses et leur utilisation est autorisée, cependant, la toxicité de certains de leurs composants (Figure 7), exige une utilisation prudente (**Singh et al., 2022**).

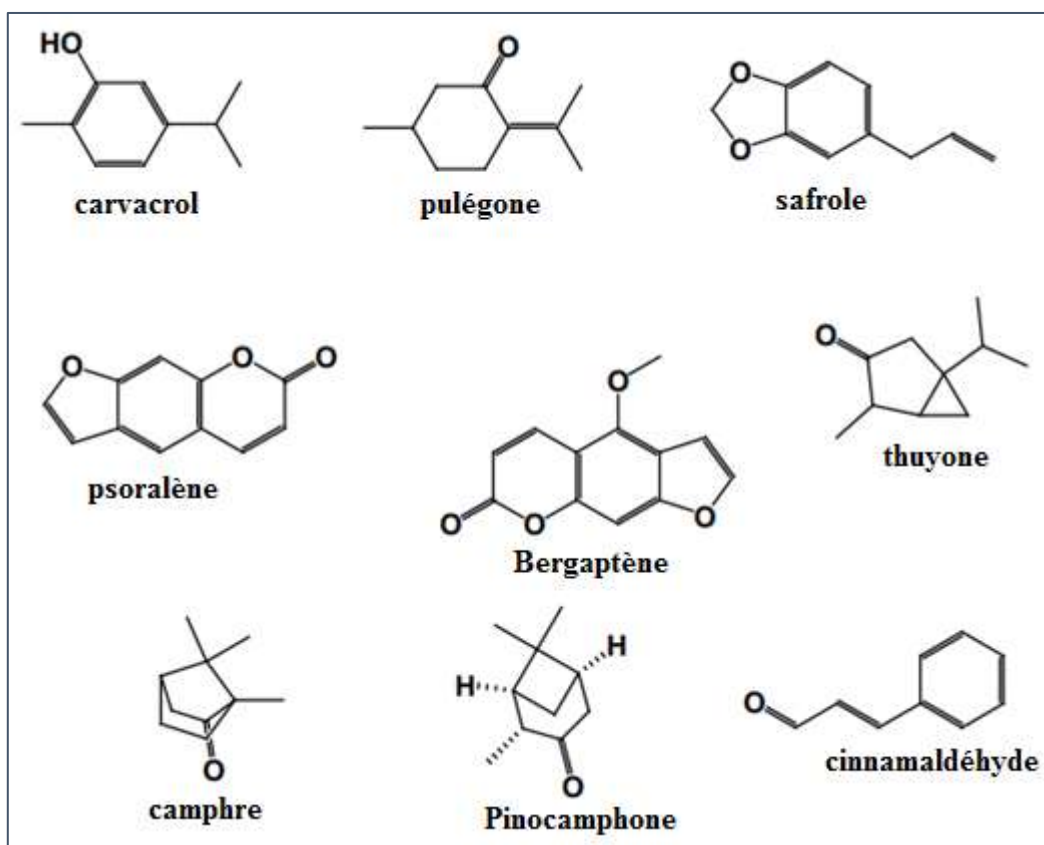


Figure 7 : Certains composants toxiques des huiles essentielles (Singh et al., 2022).

Lee et al., (2022b), ont étudié les effets d'une exposition prolongée aux huiles essentielles sur des femmes au foyer en bonne santé et non-fumeuses à Taïwan. Les résultats de l'étude ont montré qu'une exposition aux huiles essentielles plus de 4 heures par jour pendant environ 10 ans entraînait une élévation de la tension artérielle, une augmentation du rythme cardiaque et une diminution du débit d'air prédit (DEP).

Les femmes qui ont participé part à cette recherche ont également montré des problèmes cardio-pulmonaires (asthme, cancer de la thyroïde et infarctus aigu du myocarde) que celles n'ayant pas utilisé d'huiles essentielles. Cela est dû à la liaison des composé organique volatil aux particules PM_{2,5}, qui affecte le système cardio-pulmonaire (Lee et al., 2022b).

L'application des huiles essentielles sur la peau peut provoquer réactions cutanées telles que la dermatite allergique l'irritation cutanée et la phototoxicité. dans la plupart des cas, ces réactions indésirables sont associées à la méthode d'application, la falsification des huiles essentielles, la zone d'exposition et les conditions environnementales (Singh et al., 2022). Généralement, l'ingestion orale des huiles essentielles peut entrainer la mort (Posadzki et al., 2012).

3. Le camphrier (*Cinnamomum camphora*)

3.1. Famille des Lauracées

La famille des Lauracées est reconnue comme l'une des lignées les plus anciennes et primitives de la classification botanique, appartenant à la sous-classe des Magnoliidées, principalement réparties dans les zones tropicales et subtropicales, comme l'Asie du Sud-Est, la région méditerranéenne ainsi que l'Amérique centrale et du Sud (**Wu et al., 2025**). Cette famille regroupe entre 2 500 et 3 000 espèces distribuées dans environ cinquante genres, la majorité étant des plantes ligneuses (à l'exception du genre *Cassytha*, herbacé), et elle joue un rôle écologique majeur dans la diversité taxonomique des forêts de feuillus sempervirentes des zones tropicales et subtropicales, et possède également un centre important de diversité à Madagascar (**Tian et al., 2021a ; Zhang et al., 2023**).

En plus de leur importance écologique, les Lauracées possèdent une valeur économique et thérapeutique considérable. Ils représentent une source importante de matériaux utilisés dans plusieurs domaines tels que la construction, ainsi que la production de produits pharmaceutiques et cosmétiques (**Tian et al., 2021a**). La famille des Lauracées se caractérise par sa richesse en huiles essentielles, extraites de différentes parties des plantes (rameaux, feuilles, graines, etc.). Ces huiles se distinguent par leur composition chimique diversifiée, ce qui accroît leur potentiel d'utilisation et d'application dans de nombreux domaines (**Wu et al., 2025**).

3.2. Genre *Cinnamomum*

Le genre *Cinnamomum* est provenant du terme grec « kinnamomon », qui se désigne par « épice » et « bois doux » (**Sharma et al., 2021**), il constitue l'un des trois principaux genres de la famille des Lauracées, et il est principalement situé en Asie tropicale et subtropicale, en Australie, dans les îles du Pacifique ainsi que dans d'autres régions. Ce genre comprend environ 250 espèces, dont *Cinnamomum zeylanicum* Blume (syn *C. verum* J Presl.), *C. cassia* Blume, *C. tamala* Nees et *C. camphora* Seib, sont les espèces les plus importantes en raison de leur intérêt commercial, de leurs caractéristiques aromatiques, de leurs odeurs remarquables et de leurs propriétés médicinales (**Prabhuji et al., 2021**). Le genre *Cinnamomum* a été décrit pour la première fois en 1760, en raison de son traditionnelle en cuisine et en aromathérapie (**Wang et al., 2020a ; Farias et al., 2023**).

3.3. Espèce *Cinnamomum camphora*

Le camphrier (Figure 8), également connu sous le nom de *Cinnamomum camphora*, est un arbre ornemental appartenant à la famille des Lauracées, originaire d'Asie. Il est largement répandu en Chine, en Inde, en Corée du Sud, au Japon, en Mongolie et à Taïwan, et est aujourd'hui acclimaté dans de nombreuses régions du monde (**Lalic et al., 2024**).



Figure 8 : Camphrier (*Cinnamomum camphora*) (Photo prise par l'auteur le 22/05/2023).

- **Classification botanique de *C. camphora*** (Alam et al., 2019 ; Fazmiya et al., 2022) :

- **Règne :** Plantae

- **Ordre :** Laurales

- **Famille :** Lauracées

- **Genre :** *Cinnamomum*

- **Espèce :** *Camphora*

- **Nom vernaculaire de *C. camphora* :**

L'arbre à camphre (ou camphrier) est le principal nom vernaculaire de *C. camphora*, mais il est également connu sous d'autres noms (Tableau 2).

Tableau 2 : Nom vernaculaire de *C. camphora* (Fazmiya et al., 2022).

Langue	Nom vernaculaire
Médecine Unani	Kafoor
Persan	Kafoor, Kafur
Anglais	Camphor, Bheemseni camphor (natural), Bomeo camphor
Arabe	Kafoor
Allemagne	Kampher
Français	Camphre
Hindi	Duk, Ben, Guj, Kafoof
Sanscrit	Karpoor, Ghausar, Himavaluka
Tamoul	Pachai Karpooram, Karpooran-Cheena, Karuppuram
Gujarati	Kapoor, Karpoor
Telugu	Pacha Karpooram, Cheen Karpooram
Médecine Siddha	Karupporam
Médecine ayurvédique	Karpura, Ghanasaara, Chandra, Chandra Praba, Indu, Tushaara, Gandhadravya

3.4. Description botanique

L'arbre de camphrier se caractérise par une écorce brun pâle, des feuilles persistantes disposées de façon alterne, avec trois ou plusieurs nervures distinctes dont la couleur varie du vert foncé au jaunâtre, de fines fleurs blanches, des bourgeons robustes entourés de larges cavités soyeuses et des fruits en petites baies violettes, d'environ 1 cm de diamètre, renfermant une seule graine (Figure 9). Sa hauteur peut atteindre 40 mètres, avec un diamètre de 3 mètres et poussent généralement entre 900 et 2 500 m d'altitude (Malabadi et al., 2021a; Lee et al., 2022a). Chaque partie de la plante diffuse un parfum camphré caractéristique, facilement reconnaissable. *C. camphora* pousse dans les forêts tropicales humides à différentes altitudes, comme les hautes pentes, les forêts de plaine, et peuvent également croître dans les zones marécageuses et sur des sols bien drainés (Malabadi et al., 2021b).

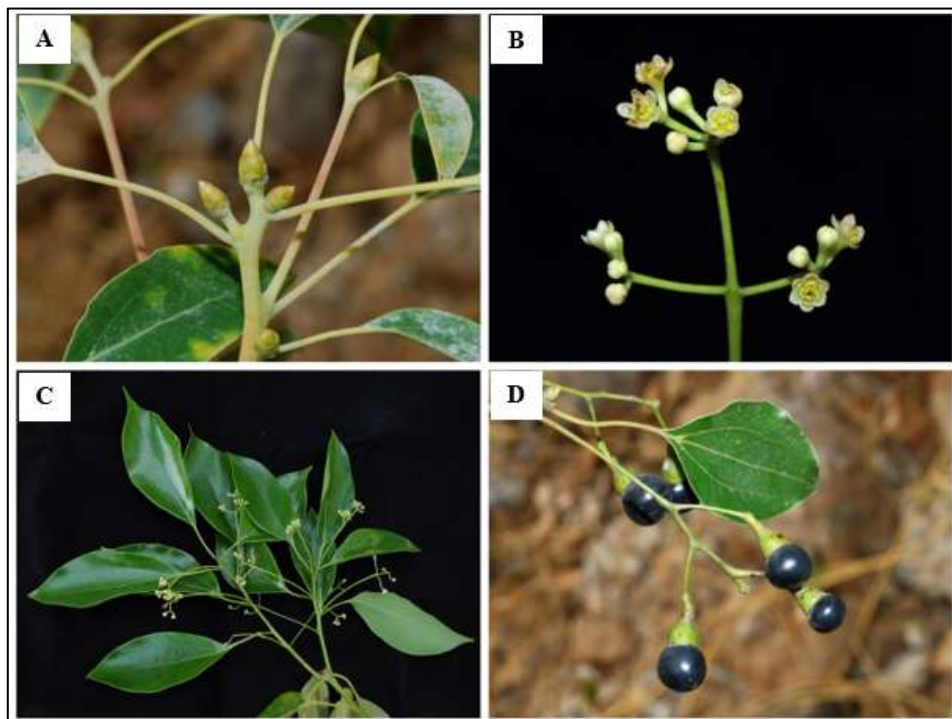


Figure 9 : Morphologie du camphrier (A: bourgeons ; B: fleurs ; C: feuilles ; D: fruits) (Yang et al., 2022).

3.5. Répartition Géographique

Le camphrier est originaire d'Asie (Figure 10), où il est présent depuis l'Antiquité en Chine, au Japon, dans le nord du Vietnam et à Taïwan. Par la suite, l'espèce s'est progressivement diffusée dans diverses régions du monde comme l'Afrique du Sud, l'Europe, et notamment les États-Unis (le long de la côte du golfe du Mexique et en Californie). Il a été introduit en Australie au début de la période coloniale à des fins ornementales, où il s'est rapidement acclimaté et il fut implanté à Madagascar au milieu du XIX^e siècle (Mansard., 2016).

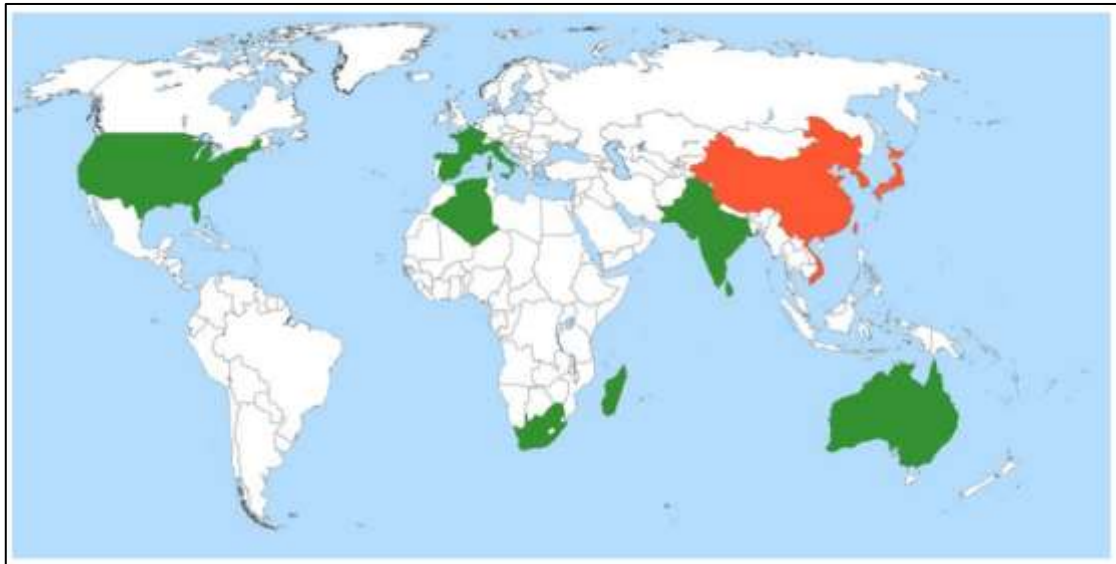


Figure 10 : Distribution globale du camphrier (En orange : pays d'origine du camphrier, En vert : pays où le camphrier s'est adapté) (Mansard., 2016).

La présence du camphrier en Algérie remonte à la fin du XIX^e siècle. Introduit avec succès par Dr. Trabut en 1892 afin d'évaluer son adaptation aux régions chaudes du bassin méditerranéen, cet arbre est traditionnellement exploité pour la production de camphre obtenu par distillation du bois et des feuilles. En Algérie, comme dans plusieurs pays du sud de l'Europe, il est principalement cultivé à des fins ornementales et forestières (Tissot.,1935).

3.6. Huile essentielle de *C. camphora*

Cette plante est largement utilisée pour l'extraction de camphre et d'huile essentielle de camphre, c'est une importante source de bois, de parfum (Guo et al., 2016), et elle peut être utilisée comme plastifiant dans la préparation d'explosifs et de désinfectants (Malabadi et al., 2021a). En médecine traditionnelle chinoise, l'huile essentielle de camphrier est reconnue pour ses nombreux bienfaits thérapeutiques, notamment ses propriétés anti-inflammatoires, antibactériennes, antioxydantes, antifongiques et insecticides. Elle est également utilisée pour traiter les maladies rhumatismales et les tensions musculaires (Chen et al., 2020a).

Les différentes parties de *C. camphora* (racines, tiges, feuilles et bois) constituent des sources abondantes en huiles essentielles. (Guo et al., 2017), qui se divise en cinq chémotypes : camphre, eucalyptol, linalol, bornéol et nérolidol, avec une prédominance notable des quatre premiers. Ces chémotypes peuvent être distingués par leurs caractéristiques olfactives (Bhandari et al., 2022). La biosynthèse des métabolites secondaires et leurs proportions dans les huiles essentielles entraînent des variations de composition dues à des facteurs environnementaux (variation saisonnière, variation géographique, disponibilité de la lumière, herbivore et infection microbienne, pH du sol), à la pollution, à l'utilisation d'herbicides et de pesticides et au comportement anthropique (Poudel et al., 2021).

L'huile essentielle de *C. camphora* contient des composants largement commercialisés et consommés tels que le linalol, le camphre et le bornéol. Parmi ces composés, le bornéol possède divers fonctions pharmaceutiques en médecine traditionnelle chinoise (Zhang et al., 2023). Le camphre obtenu à partir de camphriers est utilisé depuis longtemps comme traitement de divers symptômes tels que l'inflammation, l'infection, la congestion, les douleurs musculaires et

l'irritation dans diverses régions (Lee et al., 2022a). De plus, le camphre a une grande valeur économique car il joue un rôle important dans la préservation de la biodiversité. Il contribue à la séquestration du carbone dans les forêts, préservant ainsi leur structure et leurs fonctions (Zhang et al., 2019).

3.7. Activité pharmacologique de l'HE de *C. camphora*

La majorité des composés bioactifs trouvés dans l'HE de *C. camphora*, comme le linalol et le camphre, ont une valeur thérapeutique remarquable. Cependant, leur mécanisme d'action est encore en phase de recherche et d'exploration (Du et al., 2022).

3.7.1. Activité antimicrobienne

Les propriétés antimicrobiennes de l'huile essentielle de *C. camphora* sont principalement attribuées aux composés actifs qu'elle contient, tels que le linalol et le 1,8-cinéole. Toutefois, ses mécanismes antibactériens et bactériostatiques n'ont pas encore été étudiés (Du et al., 2022).

Des tests antibactériens ont montré que l'HE de *C. camphora* présente une activité antibactérienne significative contre *Escherichia coli* (Gram négatif) et *Staphylococcus aureus aureus* (Gram positif), qui sont des bactéries pathogènes couramment rencontrées (He et al., 2025). De plus, Cette HE a éliminé toutes les souches cliniques d'*Escherichia coli*, qu'elles soient planctoniques ou en biofilm, isolées chez des vaches laitières atteintes d'endométrite clinique (Wang et al., 2020b). d'après (Sokolova et al., 2017), l'efficacité antibactérienne est due aux éléments chimiques de l'HE de *C. camphora* comme le camphre et ses dérivés, qui ont la capacité de se fixer sur les sites hydrophobes des protéines, provoquant ainsi une altération de leur structure et produisant des effets antibactériens.

L'HE de *C. camphora* possède également des effets antifongiques puissants. Il a été rapporté que cette HE a affectée la croissance mycélienne des cinq espèces fongiques : *Fusarium solani*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium trichothecioides*, *Fusarium sporotrioides* et *Fusarium avenaceum*. Cela confère à l'huile essentielle de *C. camphora* un potentiel prometteur pour la protection des pommes de terre contre les espèces de *Fusarium* (Wei et al., 2022).

3.7.2. Activité antioxydante

L'effet antioxydant de *C. camphora* (chénotype citral) a été démontré via les tests de DPPH, d'ABTS et de FRAP. De plus, les résultats ont indiqué que l'activité antioxydante était significativement corrélée aux monoterpènes oxygénés (Ling et al., 2022). Des recherches ont démontré que le pouvoir antioxydant des huiles essentielles provient de la présence de nombreux monoterpènes, tels que le pinène et le 1,8-cinéole (Du et al., 2022).

Liu et al., (2019), ont démontré que les flavonoïdes dérivés des feuilles de *C. camphora* ont une puissante activité antioxydante, ce qui les rend propices à une utilisation comme substitut naturel aux antioxydants, ce qui justifie leur potentiel d'application comme alternatives naturelles aux antioxydants de synthèse.

3.7.3. Activité insecticide

L'HE des feuilles de camphrier possède un certain pouvoir insecticide, il a été rapporté qu'elle exerce une activité larvicide contre les larves de moustiques (*Culex pipiens*) et de moucheron (*Chaoborus plumicornis*), les larves de piérides du chou (*Pieris rapae*), les termites

(*Reticulitermes virginicus*), les drosophiles (*Drosophila melanogaster*) et les fourmis de feu rouges (*Solenopsis invicta* × *richteri*). Parmi ces organismes, les larves de piérides du chou, les drosophiles et les fourmis de feu se révèlent les plus sensibles (Satyal et al., 2013).

Selon les résultats trouvés par (Chen et al., 2014), l'huile essentielle de feuilles de *C. camphora* et ses composés actifs pourraient être développés comme fumigants et insecticides naturels. Cette huile essentielle et ses deux composés majeurs (le D-camphre et le linalol) possèdent des propriétés fumigantes puissantes et une toxicité de contact contre les adultes de *Lasioderma serricornis*.

Une autre étude a montré que les huiles essentielles dérivées des feuilles, des brindilles et des graines de camphrier possèdent une puissante activité insecticide contre les pucerons du cotonnier, et que l'HE de graines a présenté le taux de répulsif le plus élevé. De plus, le linalol pourrait être développé en un insecticide ou un agent répulsif naturel pour lutter contre les pucerons du cotonnier (Jiang et al., 2016).

3.7.4. Activité antiinflammatoire

Des études récentes ont montré que l'HE des feuilles de *C. camphora* exerce des effets anti-inflammatoires intéressants, elle inhibe l'expression du gène de NO synthase inducible (iNOS) et la production d'oxyde nitrique (NO), ainsi que l'expression et la sécrétion de cytokines inflammatoires (IL-6, IL-18, IL-1 β et TNF- α) dans les cellules microgliales BV2 traitées au lipopolysaccharide (LPS). Ces résultats démontrent que l'efficacité anti-inflammatoire de cette huile essentielle est due à sa capacité à atténuer la glycolyse induite par le LPS (Chen et al., 2020a). Les résultats rapportés par Xiao et al. (2025), indiquent que l'huile essentielle de *C. camphora* (chénotype Bornéol) a diminué de façon dose-dépendante la production de TNF- α , d'IL-1 β et d'IL-6. Le bornéol contribue à plus de 50 % de l'activité anti-inflammatoire observée, suivi par le β -caryophyllène, le limonène, le camphre et le γ -terpinène.

3.7.5. Effets anxiolytiques et relaxants

Une recherche récente sur les effets anxiolytiques et relaxants de l'HE de *C. camphora* chez les étudiants universitaires, a démontré que cette HE peut faciliter les processus cognitifs et aussi favoriser la relaxation mentale et physique. Les données recueillies ont démontré que l'exposition à l'HE de camphrier entraînait une baisse de la pression diastolique (PAD) et du pouls ont été constatées. De plus, des études EEG ont indiqué des réductions notables des spectres de puissance (bêta absolu (AB), bêta élevé absolu (AHB), gamma absolu (AG), et gamma relatif (RG)), ainsi qu'une augmentation des spectres thêta relatif (RT) (Gong et al., 2024).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

MATERIEL ET METHODES

1. Etude phytochimique

1.1. Matériel végétal

Notre étude a porté sur une plante aromatique de la famille des Lauracées : le camphrier (*Cinnamomum camphora*). Notre choix pour cette espèce se justifie par sa richesse en huile essentielle, reconnue pour ses diverses activités biologiques. L'échantillon étudié provient du pôle de vulgarisation botanique du service de recherche et de vulgarisation botanique de l'Université du 20 août 1955 à Skikda. L'identification taxonomique du camphrier a été réalisée par le Dr. Nora Sakhraoui, du Département des sciences naturelles et de la vie (Université du 20 août 1955 à Skikda), le spécimen de référence de la plante (PPL 01/2023) a été déposé à l'herbier du Laboratoire de Physiologie Végétale de l'École Normale Supérieure d'Enseignement Technologique de Skikda, Algérie. Les feuilles de *C. camphora* (Figure 11) ont été récoltées entre mai 2023 et mars 2024, puis nettoyées et séchées à l'ombre et à température ambiante. Les échantillons ont ensuite été broyés puis conservés dans des flacons en verre jusqu'à leur utilisation.



Figure 11 : Feuilles de *C. camphora* (Photo prise par l'auteur le 22/05/2023).

Le centre de vulgarisation botanique (service de recherche et de vulgarisation botanique) est l'un des vestiges de l'ancienne école d'agriculture de Philippeville, créée en 1900, et fait partie d'un ensemble d'espaces verts, situé dans la partie ouest du campus universitaire et dont la superficie totale est d'environ 1,5 ha. Le campus universitaire est situé à 4 km au sud-ouest de la ville de Skikda, sur la route d'El Hadaiek (Figure 12) (Sakhraoui et al, 2019).

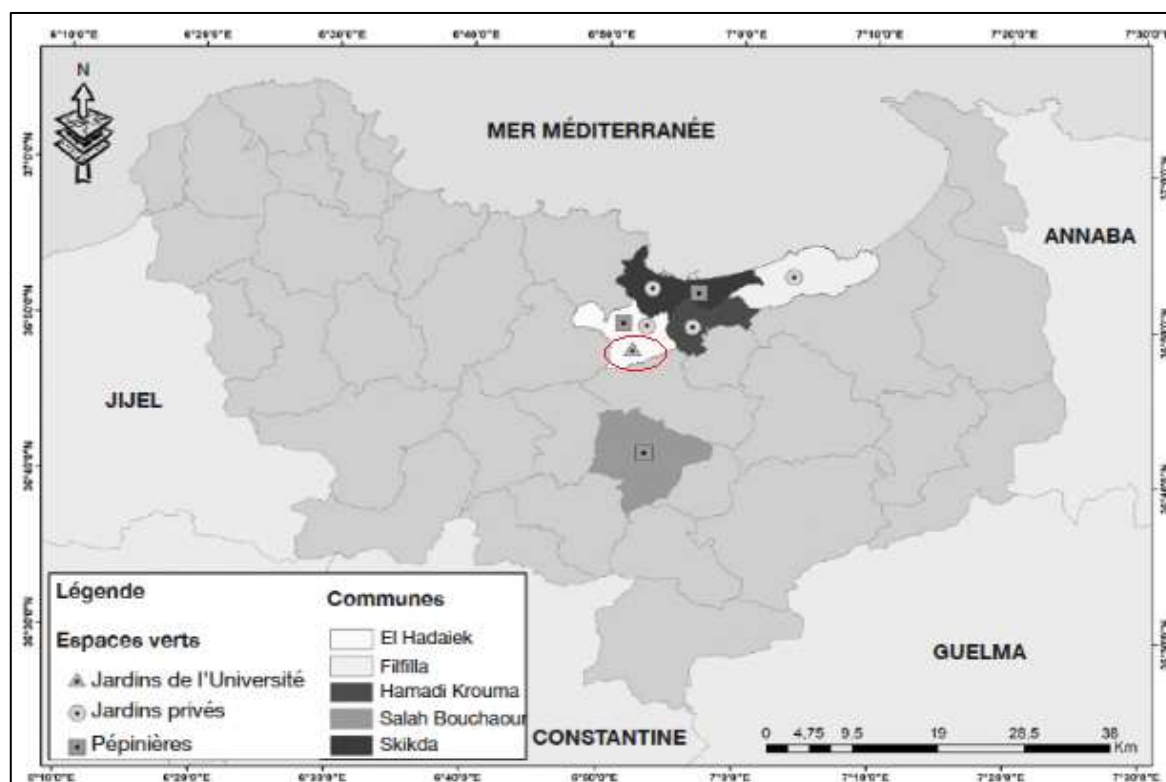


Figure 12 : Localisation du service de recherche et de vulgarisation botanique, université, 20 août 1955, Skikda (Sakhraoui *et al.*, 2019).

1.2. Extraction de l'huile essentielle

L'extraction de l'huile essentielle de camphrier a été réalisée par hydrodistillation, en utilisant un dispositif de type Clevenger (Figure 13). Cent grammes de feuilles séchées et broyées ont été placés dans un ballon de 2 litres rempli d'eau distillée (environ aux deux tiers de son volume total), puis portés à ébullition. Le traitement du matériel végétal a duré 3 heures. Plusieurs extractions (au moins 3) ont été réalisées jusqu'à obtention de la quantité d'huile essentielle souhaitée.

L'huile essentielle obtenue a été déshydratée à l'aide de sulfate de sodium anhydre (Na_2SO_4) et conservée dans un flacon fumé hermétiquement fermé à 4 °C jusqu'à son utilisation. Le rendement d'extraction de l'huile essentielle de camphre a été calculé à l'aide de la formule suivante (Sany *et al.*, 2022) :

$$\text{Rendement en HE \%} = \frac{\text{Masse de l'huile essentielle obtenue (g)}}{\text{Masse de la matière végétale utilisée (100g)}} \times 100$$

La mesure de rendement a été effectuée trois fois afin de calculer les écarts-types relatifs.



Figure 13 : Dispositif de l'hydrodistillation (Photo prise par l'auteur le 18/06/2023).

1.3. Préparation de l'extrait méthanolique

L'extrait méthanolique a été préparé par macération de matière végétale broyée dans du méthanol à 80 % (1:10 p/v) sous agitation magnétique à température ambiante. Après 24 heures de macération, la solution obtenue a été filtrée sur papier filtre Whatman n° 1 et évaporée à sec sous pression réduite à l'aide d'un évaporateur rotatif (Nahita) à 50 °C. Le résidu sec a été conservé à 4 °C à l'abri de la lumière (ALsarayreh et al., 2022).

1.4. Caractérisation de l'HE de *C. camphora*

La caractérisation de l'huile essentielle examinée implique :

- La détermination des propriétés organoleptiques (aspect, odeur, couleur).
- L'analyse des propriétés physicochimiques telles que le pH, la densité et l'indice de réfraction.
- L'analyse du profil chromatographique et la détermination des différents constituants.

1.4.1. Propriétés organoleptiques

Les différentes caractéristiques organoleptiques (aspect, couleur, odeur) de l'HE des feuilles de *C. camphora* ont été notées.

1.4.2. Propriétés physicochimiques

1.4.2.1. Détermination de pH

La valeur de pH de l'HE de camphrier a été mesurée à l'aide d'un papier pH 1-14 (Microbiotech). Afin d'analyser leur acidité et leur alcalinité (Mahboub et al., 2019).

1.4.2.2. Densité relative

La densité d'une huile essentielle est mesurée en calculant le rapport entre la masse d'un volume donné de cette huile et la masse du même volume d'eau distillée, mesurée à la même température, En suivant la formule suivante (Mahboub et al., 2019) :

$$d_{20} = \frac{m_1 - m_0}{m - m_0}$$

Où :

m 1: La masse (g) de la seringue contenant 0,20 ml, d'huile essentielle.

m 0: La masse (g) de la seringue vide.

m : La masse (g) de la seringue contenant 0,20 ml d'eau distillée.

1.4.2.3. Indice de réfraction

L'indice de réfraction d'une HE exprime le rapport entre le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction d'un rayon lumineux, à une longueur d'onde donnée, lors de son passage de l'air vers l'huile essentielle maintenue à température constante (**Boukhatem et al., 2010**).

Dans cette étude l'indice de réfraction a été mesuré selon la norme NF T 75-112, 1977/ISO 280-1976. à l'aide d'un réfractomètre d'Abbe (modèle : WYA-1S) qui permet de donner une mesure comprise entre 1,300 et 1,700. L'analyse est effectuée à une température de 20°C.

1.4.3. Propriétés chimiques

Dans cette partie, les extraits aqueux et méthanolique ont fait l'objet d'un criblage phytochimique qualitatif préliminaire. Par ailleurs, la caractérisation chimique de l'huile essentielle et de l'extrait méthanolique a été réalisée à l'aide de techniques chromatographiques, notamment la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG-SM) et la chromatographie liquide ultra-performante couplée à la spectrométrie de masse en tandem (UPLC-MS/MS). En outre, les groupes fonctionnels de l'huile essentielle ont été identifiés par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR).

1.4.3.1. Screening phytochimique

A. Les huiles volatiles :

Dans un tube à essai, 2 mL de chaque extrait ont été mélangés avec 0,1 mL de NaOH et une petite quantité d'HCl dilué, puis le tube a été agité quelques secondes. L'apparition d'un précipité blanc indique la présence d'huile volatile (**Sharma et al., 2020**).

B. Les alcaloïdes (test de wagner) :

Dans ce test, le réactif de wagner a été élaboré en suivant la méthode décrite par (**Shaikh et al., 2020**). Pour la détection des alcaloïdes, Quelques gouttes du réactif de wagner ont été ajoutées à un mélange de 2 mL d'extrait et 1 mL d'Hcl dilué. L'apparition Un précipité un précipité brun/rougeâtre la présence d'alcaloïdes dans les échantillons.

C. Les tanins :

Pour chaque extrait, 1 mL a été combiné avec une solution de chlorure ferrique à 1 %. Ensuite, le mélange est laissé à incuber à température ambiante pendant quelques minutes. Ce test permet d'identifier deux classes de tanins : les tanins catéchiques par l'apparition d'une coloration verdâtre et les tanins galliques par l'apparition d'une couleur bleu noirâtre (**Haddouchi et al., 2016**).

D. Les terpénoïdes :

Dans un tube à essai, 1 mL de chaque extrait a été mélangé avec 0,5 mL de chloroforme et 0,7 mL d'acide sulfurique concentré. Ce test permet d'identifier deux classes de terpénoïdes : les hétérosides stéroïdiens par l'apparition d'une couleur vert-bleu et les hétérosides terpéniques par l'apparition d'une couleur vert-violet (Haddouchi et al., 2016).

E. Les saponines :

Dans un bécher, environ 10 grammes de poudre végétale ont été mélangés à 100 mL d'eau distillée, puis portés à ébullition pendant une durée de 5 à 15 minutes. Après refroidissement, un papier filtre de type Wattman a été utilisé pour filtrer le mélange. Par la suite, le filtrat a été ajusté à un volume de 100 mL en ajoutant de l'eau distillée. Une série de filtrats allant de 1 à 10 mL dans dix tubes à essai ont été placés et le volume de chaque tube a été réglé à 10 mL en utilisant de l'eau distillée. Le mélange a été agité vigoureusement pendant une minute, puis laissé reposer pendant 15 minutes, mousse persistante (Ouldyeou & Righi., 2020).

L'indice de mousse (I) est calculée par la formule suivante :

$$I = 1000 / N$$

N : représente le numéro du tube où la mousse atteint une hauteur de 1 cm.

F. Quinones libres :

Dans cette expérience, quelques gouttes de soude (NaOH 1%) sont ajoutées à 5 mL de chaque extrait. L'apparition d'une couleur vire au jaune, rouge ou violet indique la présence de quinones libres (Ouldyeou & Righi., 2020).

1.4.3.2. Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG-SM)

L'analyse de la composition chimique des huiles essentielles de *C. camphora* a été effectuée au Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyse Physicochimique (CRAPC) de Ouargla, à l'aide d'une chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) (TQ8040 NX, Shimadzu, Yokohama, Japon), cet appareil est contrôlé par un système informatique équipé d'une bibliothèque de spectrométrie de masse. L'huile essentielle utilisée, diluée dans du n-hexane (1:50 v/v), a été injectée en un volume de 1 µL. Le GC-MS utilisé était équipé des éléments suivants :

- **Injecteur :**

- Mode d'injection : Split (1:10).
- Volume injecté : 1 µL.
- Température : 250 °C.

- **Colonne :**

- Type : Rtx-5MS.

- Dimensions : (28 m de longueur $\times$ 0,25 mm de diamètre intérieur), épaisseur du film : 0,25 μ m.
- Phase stationnaire : diphényle (5 %) – diméthylarylènesiloxane.
- Température du four : programmée à 60 °C (pendant 8 min), puis augmentée à 246 °C (pendant 10 min), à une vitesse de 3 °C/min.
- Débit : 1,05 ml/min
- **Détecteur de masse :**
 - Source d'ions : Ionisation électronique (IE).
 - Température de la source d'ions : 200 °C.
 - Type d'analyseur de masse : Quadripolaire.
 - Intensité du filament : 70 eV, Température du quadripôle : 150 °C, Température de la source : 230 °C.
 - Vide : 60 torr.

1.4.3.3. Chromatographie liquide ultra-performante couplée à la spectrométrie de masse (UPLC-MS/MS)

La composition chimique de l'extrait méthanolique de *C. camphora* a été identifiée par chromatographie liquide ultra-performante couplée à la spectrométrie de masse (UPLC-MS/MS, système 8040 à ultra-haute sensibilité avec technologie UFMS). Cet instrument était équipé d'un système Nexera XR LC-20AD à double injection.

Pour optimiser les standards de polyphénols, l'analyse UPLC/MS/MS a été réalisée par injection directe sans colonne (Restek Ultra C18 3 μ m 150 $\times$ 4,6 mm). La phase mobile était composée de solvant A (eau, acide formique à 1 %) et de solvant B (méthanol). Le gradient d'élution utilisé était le suivant :

- 0,1 min à 2 min : 95 % ;
- 2 min à 15 min : 95 % ;
- 15 min à 18 min : 5 % ;
- 18 min à 20 min : 5 % ;
- 20 min à 30 min : 95 % ;

Le débit et le volume d'injection ont été respectivement fixés à 0,4 ml/min et 5 μ l. Les paramètres d'ionisation par électrospray (ESI) ont été définis comme suit :

- Pression du gaz de dissociation induite par collision : 230 kPa ;
- Tension de la dynode de conversion : -6,00 kV.°C ;
- Température de la double couche : 250 °C ;
- Débit du gaz de nébulisation : 3,00 L/min ;

- Température du bloc chauffant : 400 °C ;
- Débit du gaz de séchage : 15,00 L/min.

1.4.3.4. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) est l'une des techniques utilisées pour l'identification de composés phytochimiques. Elle permet d'identifier les groupes fonctionnels dans les matériaux liquides, solides et gazeux en utilisant des faisceaux de rayonnement infrarouge (**Pharmawati & Wrsiati., 2020**).

Le spectre IR a été obtenu à l'aide du spectromètre SHIMADZU FTIR-8000 (Tokyo, Japon) équipé d'un accessoire ATR à simple réflexion et du logiciel IR Pilot. Une petite quantité d'huile essentielle de *C. camphora* a été déposée sur le cristal ATR. L'échantillon a ensuite été analysé par balayage spectral de 4000 à 600 cm^{-1} , avec une résolution de 4 cm^{-1} . La mesure a été effectuée deux fois, et le spectre infrarouge enregistré correspond à la moyenne de 20 balayages.

2. Enquête ethnobotanique

Une étude ethnobotanique descriptive transversale a été menée de décembre 2024 à octobre 2025 auprès de 150 participants. Les participants ont été sélectionnés par échantillonnage de convenance, à travers la diffusion d'un questionnaire sur des groupes Facebook regroupant des étudiants universitaires et des chercheurs, ainsi que par administration directe auprès de personnes appartenant à l'entourage social de l'enquêteur. Les participants appartenaient à différentes tranches d'âge, allant de moins de 20 ans à plus de 60 ans.

Les critères d'inclusion comprenaient les personnes ayant accepté de participer volontairement à l'étude et ayant complété le questionnaire. Les questionnaires incomplets, les réponses incohérentes ou dupliquées ont été exclus de l'analyse.

Le questionnaire comportait deux sections. La première visait à recueillir les connaissances relatives à la plante étudiée, notamment les parties utilisées, les modes d'utilisation, les applications thérapeutiques, les effets secondaires et les sources d'information. La seconde section portait sur l'huile essentielle de *C. camphora*, en abordant ses applications thérapeutiques, ses méthodes d'extraction ainsi que ses éventuels effets indésirables. La participation à l'enquête était anonyme et reposait sur le consentement libre des répondants.

3. Evaluation des activités biologiques

3.1. Activités antioxydante

3.1.1. Méthode de DPPH

Le DPPH (1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl) constitue un radical libre stable largement employé pour la détermination de l'activité antioxydante des substances chimiques d'origine naturelle, y compris ceux qui se trouvent dans les huiles essentielles. Dans ce test, les composés antioxydants interagissent avec le DPPH, le transformant ainsi en 1-diphényl-2-picrylhydrazine (**Diniz do Nascimento et al., 2020**).

La mesure de l'activités antioxydante était basée sur la méthode décrite par (**Brand-Williams et al., 1995**). Tout d'abord, une solution mère de DPPH a été préparée en dissolvant 20 mg de DPPH dans 15 mL d'éthanol. Puis, 50 μL d'huiles essentielles à différentes concentrations (125, 250, 500 et 1000 $\mu\text{g/mL}$), ont été ajoutés à une solution de DPPH (1:20, v/v). Le mélange réactionnel a été incubé à 25 °C, à l'abri de la lumière, durant 30 minutes,

puis l'absorbance a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre UV/VIS (LKB Biochrom 4050 Ultrospec II, Cambridge, Angleterre), à 515 nm, l'éthanol servant de blanc et l'acide ascorbique de témoin positif. Toutes les expériences ont été répétées trois fois. Le % DPPH a été évalué à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{DPPH \%} = \frac{\text{Abs. C } (\lambda 515) - \text{Abs. S } (\lambda 515)}{\text{Abs. C } (\lambda 515)} \times 100$$

Où :

Abs. C : représente l'absorbance du témoin sans piègeur de radicaux,

Abs. S : représente l'absorbance du DPPH restant en présence d'un piègeur de radicaux.

3.1.2. Méthode ABTS⁺

Le test de piégeage des radicaux ABTS (acide 2,20-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique) consiste initialement à convertir l'ABTS (incolore) en ABTS⁺ (bleu) par l'ajout de K₂S₂O₈. Dans ce test, plus la couleur bleue disparaît de la solution, plus l'activité antioxydante est importante. Cela est dû à la capacité des composés antioxydants à reconverter l'ABTS⁺ en ABTS neutre (Diniz do Nascimento et al., 2020).

Une solution de d'ABTS⁺ a été préparée en mélangeant une solution d'ABTS (7 mM) avec le persulfate de potassium (2,45 mM). Le mélange a été incubé pendant 16 heures dans l'obscurité à température ambiante. Après, la solution d'ABTS⁺ a été diluée avec de l'eau distillée jusqu'à obtenir une absorbance de de 0,800 à 734 nm. Ensuite, 10 µL de chaque concentration l'HE de *C. camphora* dissous dans du méthanol (0,1–1 mg/mL) a été ajouté à 190 µL de la solution d'ABTS et mélangé. 10 µL de tampon phosphate de sodium a été ajouté à 190 µL d'eau distillée pour le contrôle. Le Trolox (acide 6-hydroxy-2, 5, 7, 8-tétraméthylchroman-2-carboxylique) a été utilisé comme a été utilisé comme contrôle positif. L'absorbance de l'échantillon a été mesurée à 734nm après une incubation de 30 min à température ambiante et les résultats ont été exprimés en valeurs de IC₅₀. Toutes les mesures ont été effectuées trois fois (Ud-Daula et al., 2016).

3.1.3. Méthode du pouvoir réducteur (FRAP)

Le réactif FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) a été préparé en mélangeant, dans un rapport 10:1:1, 23 mM de tampon acétate (pH 3,6), 20 mM de FeCl₃ et 10 mM de tripyridyl triazine (TPTZ) dans du HCl (40 mM). Ensuite, 264 µL de réactif FRAP a été ajouté à 8 µL d'huile essentielle préalablement dissoutes dans du méthanol à différentes concentrations (0,1–1 mg/mL). Le mélange a été incubé pendant 30 minutes à l'obscurité. L'absorbance a ensuite été mesurée à 593 nm à l'aide d'un spectrophotomètre Thermo Scientific Multiskan GO (Thermo Fischer Scientific, Vantaa, Finlande). Le Trolox a été utilisé comme contrôle positif. Le pouvoir réducteur FRAP a été exprimé en milligrammes d'équivalents Trolox par gramme d'extrait (mg ET/g d'extrait) (Benzie & Strain., 1996).

3.2. Activités anti-enzymatiques

3.2.1. Activité inhibitrice des cholinestérases

Un mélange de 415 µL de solution de Tris-HCl (0,1 M, pH 8) et de 25 µL d'ACHE a été ajouté à 10 µL d'huile essentielle d'héparine dissous dans du méthanol à différentes concentrations (50, 25, 12,5, 6,25 mg/mL). Le mélange a été incubé pendant 15 min à 37 °C. Ensuite, 75 µL d'iodure d'acétylthiocholine (AChI) ou ou iodure de butyrylcholine (BChI) et 475 µL d'acide 5,5-dithio-bis-2-nitrobenzoïque (DTNB) ont été ajoutés et Le mélange

réactionnel a été transféré dans une microplaque à 96 puits et incubés à 37 °C pendant 30 minutes. L'absorbance a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre (Thermo Fischer Scientific, Vantaa, Finlande) à 412 nm (**Ellman et al., 1961**). Les expériences ont été réalisées en triple et l'activité enzymatique a été calculée en pourcentage à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Inhibition \%} = [(A_C - A_E) / A_C] * 100$$

Où :

A_C : représente l'absorbance de la solution enzymatique sans HE.

A_E : représente l'absorbance de la solution enzymatique après contact avec les HE.

3.2.2. Activité inhibitrice de l' α -amylase

100 μ L de différentes concentrations d'huile essentielle solubilisées dans du méthanol (10, 5, 2,5, 1,25 mg/mL), ont été mélangés avec 200 μ L de tampon phosphate (20 mM à pH = 6,9) et 100 μ L de solution aqueuse d' α -amylase (1 U/mL), puis incubé pendant 10 min à 37 °C. Ensuite, 180 μ L d'une solution d'amidon (1 % p/v) ont ensuite été ajoutés, et la réaction s'est poursuivie après incubation (à 37 °C pendant 10 min). Ceci a été suivi par l'ajout de 180 μ L de réactif d'acide dinitrosalicylique (ADNS) et le mélange a été incubé à nouveau (à 100 °C pendant 10 min). L'absorbance a été mesurée à 540 nm avec un Thermo Scientific Multiskan GO (Thermo Fischer Scientific, Vantaa, Finlande). L'inhibition de l'activité enzymatique de l' α -amylase a été calculée en pourcentage selon la même formule que celle utilisée pour les cholinestérases (**Bernfeld., 1955**).

Les expériences ont été réalisées en triple et l'inhibition de l'activité enzymatique des enzymes étudiées a été calculée en pourcentage selon la formule suivante :

$$\text{Inhibition \%} = [(A_C - A_E) / A_C] * 100$$

Où :

A_C : représente l'absorbance du témoin négatif.

A_E : représente l'absorbance de la solution enzymatique après contact avec les HE.

3.2.3. Test d'inhibition de l' α -glucosidase

Le test a été réalisé dans une plaque à 96 puits en ajoutant d'abord 150 μ L de tampon phosphate 0,1 M, pH 7,0, puis 10 μ L d'HE dissoute dans du MeOH à différentes concentrations (10, 5, 2,5, 1,25 mg/mL). Ensuite, 5 μ L d'une solution d'enzyme α -glucosidase à 1 U/mL. Le mélange a été incubé pendant 5 minutes à 37 °C. 75 μ L de 4-nitrophényl-d-glucopyranoside (pNPG) à 2,0 mM ont été ajoutés. L'absorbance a été mesurée à 405 nm après 10 minutes d'incubation à 37 °C, à l'aide d'un spectrophotomètre Thermo Scientific Multiskan GO (Thermo Fischer Scientific, Vantaa, Finlande). L'acarbose a été utilisé comme contrôle positif et le tampon phosphate comme témoin négatif (**Si et al., 2010**).

Les expériences ont été réalisées en triple et l'activité enzymatique a été déterminée en pourcentage d'inhibition selon la formule suivante :

$$\text{Inhibition \%} = [(A_C - A_E) / A_C] * 100$$

Où :

A_C : représente l'absorbance du témoin négatif.

A_E : représente l'absorbance de la solution enzymatique après ajout d'HE.

3.3. Activité antifongique

3.3.1. Souches fongiques testées

L'activité antifongique de l'huile essentielle de *C. camphora* étudiée a été testée contre sept champignons phytopathogènes : *Monilinia laxa*, *Monilinia fructicola*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Aspergillus niger*, *Botrytis cinerea* et *Plectosphaerella cucumerina*. Ces champignons représentent les principales causes des pertes agricoles et économiques.

- *Monilinia laxa* et *Monilinia fructicola* comptent parmi les espèces du genre *Monilinia* les plus importantes qui infectent les arbres fruitiers à noyau et à pépins. *M. laxa* contamine les fleurs, les bourgeons et les fruits de nombreux arbres fruitiers à noyau à travers le monde. Tandis que *M. fructicola* n'infecte pas les fleurs, il infecte principalement les arbres fruitiers à noyau et à pépins en Europe et en Asie. L'infection des fleurs est appelée brûlure des fleurs, tandis que l'infection des fruits est appelée pourriture brune (Miessner & Stammler., 2010).

- *Botrytis cinerea*, appelé aussi moisissure grise est un phytopathogène nécrotrophe. le cycle pathologique de ce champignons commence en hiver par la production des conidies, ensuite ces conidies sont déplacées à l'aide de l'air de printemps, ce qui facilite leur fixation à la surface de l'hôte pour la germination (Roca-Couso et al., 2021). *Botrytis cinerea*, affecte les plantes agricoles et provoque la pourriture des fruits et légumes après leur récolte, il peut même se développer à basse température ce qui entraîne des dommages aux produits pendant le stockage et la commercialisation (Álvarez-García et al., 2023).

- *Aspergillus niger* est un champignon responsable de la moisissure noire sur les fruits et légumes. C'est l'une des espèces les plus répandues du genre *Aspergillus*. Ce champignon est répandu dans les sols et dans de nombreux environnements et constitue une contamination alimentaire courante (Jahani et al., 2020).

- *Sclerotinia sclerotiorum* est un agent pathogène appartenant à la famille des *Sclerotiniaceae*, et à la classe des *Ascomycotina*. Ce champignon infecte plusieurs espèces végétales (des légumes, des plantes ornementales et médicinales). Cette espèce est considérée comme un problème mondial en raison des maladies graves qu'elle provoque chez les cultures à larges feuilles (telles que la moisissure blanche, le flétrissement, la pourriture sclérotique de l'épi ou de la tige) (Perveen et al., 2010).

- Le champignon *Colletotrichum gloeosporioides*, représente la cause principale de l'anthracnose, l'une des maladies les plus dévastatrices des fruits et légumes tropicaux et il provoque également des pertes importantes dans les cultures d'oignons (*Allium cepa* L.). Il contamine les fruits avant et après leur maturation, durant leur stockage, leur transport et leur vente. Ce champignon peut survivre dans le sol, les graines et dans les résidus de culture (Sarkhosh et al., 2017 ; Lozada et al., 2019).

- *Plectosphaerella cucumerina* est un champignon largement présent dans le sol et sur les végétaux en décomposition. Il entraîne des maladies aux nombreuses cultures notamment la pomme de terre, la tomate, le melon brodé, le tabac, le soja, le poivron, ainsi que d'autres espèces cultivées (Li et al., 2017). Ce champignon attaque principalement les racines et le collet

des plantes, ce qui entraîne leur flétrissement et la pourriture des racines (**Raimondo & Carlucci., 2018**).

3.3.2. Méthode

La méthode de **Grul'ová et al (2020)**, a été utilisée pour évaluer l'activité antifongique. Les champignons microscopiques testés ont été repiqués sur milieu nutritif PDA pendant 96 h à 24 °C. Les champignons testés ont été préalablement identifiés par des méthodes morphologiques et moléculaires. L'activité fongicide de l'HE testée a été déterminée par un test d'incorporation dans du milieu PDA à des concentrations de 7 000 et 10 000 ppm à 45. Des disques fongiques (0,5 cm) de chaque champignon phytopathogène ont été déposés au centre de chaque boîte de Pétri et incubé à 22 °C ± 2 °C pendant 96 h. un mélange d'azoxystrobine/cycloheximide (1:1 ; v/v) avec une concentration finale de 0,8 µg/mL a été utilisé comme contrôle positif, tandis que des boîtes contenant uniquement du PDA ont été utilisées comme contrôle négatif.

L'activité antifongique a été déterminée en mesurant le diamètre du mycélium fongique (mm), et le pourcentage d'inhibition de la croissance du mycélium (MGI%) a été calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{MGI}\% = \frac{\text{DM de plaques de contrôle} - \text{DM de plaques traitées}}{\text{DM de plaques de contrôle}}$$

Où :

MGI % : représente le pourcentage d'inhibition de la croissance du mycélium.

DM : représente le diamètre du mycélium (mm).

3.3.3. Détermination de la CMI antifongique (méthode sur microplaque à 96 puits)

Les suspensions fongiques (*M. laxa* et *C. gloeosporioides*) ont été inoculées dans une microplaque à 96 puits avec différentes concentrations d'huile essentielle (10 000, 9 000, 8 000, 7 000, 6 000 et 5 000 ppm) et du bouillon de dextrose de pomme de terre (PDB). Après une incubation de 48 h à 22 °C, l'absorbance a été lue à l'aide d'un lecteur de microplaques (DAS s.r.l., Rome, Italie) à 450 nm (**Elshafie et al., 2015**).

3.4. Activité antibactérienne

3.4.1. Souches bactériennes testées

Cette étude a été réalisée en utilisant huit souches bactériennes : trois Gram positifs (*Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* et *Clavibacter michiganensis*), ainsi que cinq Gram négatifs (*Pseudomonas viridiflava*, *Pseudomonas syringae* p.v. *lachrymans*, *Xanthomonas campestris*, *Xanthomonas versicatoria* et *Echerichia coli*).

- Le genre *Bacillus* est l'un des genres les plus étudiés, en raison de sa capacité à produire des substances antibiotiques, telles que les bactériocines et les antibiotiques peptidiques, ce genre est largement répandus dans de nombreux environnements : sol, eau, excréments d'insectes et d'animaux (**Roca-Couso et al., 2021**). Les bacilles sont parmi les agents de lutte biologique les plus couramment utilisés. Ces bactéries ont des effets antagonisme et/ou compétition les agents pathogènes des plantes (**Miljaković et al., 2020**).

- Le genre *Clavibacter* appartient à la famille des *Actinomycètes*, dont *C. michiganensis* est considérée comme l'une des bactéries phytopathogènes les plus courantes. Elle est responsables du flétrissement bactérien et du chancre de la tomate, provoquant ainsi d'importantes pertes économiques dans la production mondiale de tomates (**Gartemann et al., 2003**).

- *Pseudomonas viridiflava*, est reconnu comme un agent pathogène affectant de nombreuses plantes cultivées. Cette bactérie est capable de provoquer la nécrose de la tomate ; la brûlure bactérienne du pois, du kiwi et des pousses du pommier sauvage; la pourriture de la luzerne, de la carotte et du *Cucumis sativus*; la tache bactérienne des feuilles de la laitue et le chancre bactérien des arbres fruitiers à noyaux (**Fernández-Sanz et al., 2022**).

- *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans* est une bactérie à Gram négatif, responsable de maladies affectant plusieurs espèces végétales. Elle provoque la tache angulaire des feuilles du concombre et peut également favoriser d'autres infections, telles que celles causées par *Pseudoperonospora cubensis*. Ces interactions entraînent la destruction des plants de concombre et limitent considérablement leur production. En plus du concombre, ce pathogène peut également infecter la tomate, la pomme, l'olivier, l'avoine ainsi que le riz (**Cebula et al., 2019**).

- *Xanthomonas campestris* est une bactérie phthopathogène en forme de bâtonnet appartenant à la famille des *Pseudomonadaceae*. Elle se trouvent généralement sur les feuilles de légumes crucifères ce qui entraîne leur pourriture noire, et elle est également responsable de maladies des tomates, des poivrons et d'autres plantes (**khan., 2022**). La bactérie *Xanthomonas versicatoria* est un agent pathogène qui provoque la tache bactérienne du poivron et de la tomate ; Lors des infections naturelles. Cette maladie est présente dans de nombreux pays du monde et entraîne des pertes économique considérable (**Bonas et al., 2000**).

- Le risque de contamination bactérienne des fruits et des plante avec *Echerichia coli* a été rapporté dans plusieurs études (**Torres Armendáriz et al., 2016 ; Luna-Guevara et al., 2019 ; Gomes et al., 2024**). L'eau d'irrigation constitue la principale source de contamination microbienne, tandis que les environnements de production, de transformation et de transport des produits alimentaires peuvent également favoriser la contamination croisée (**Torres Armendáriz et al., 2016**).

3.4.2. Méthode

L'activité antibactérienne de l'HE a été évaluée selon la méthode décrite par **Elshafie et al. (2019)**, en utilisant le milieu nutritif King B (KB). Des suspensions bactériennes de chaque souche testée ont été préparées dans de l'eau distillée stérile et ajoutées à de la gélose molle à 0,7 % (1:9, v/v) à une concentration finale de 10^6 (UFC/mL) ($DO \approx 0,2$ nm). 4 mL de chaque suspension ont été versés sur des boîtes de Petri KB (90 mm, diamètre). Des disques stérils (6 mm, OXOID, Milan, Italie) ont été placés sur les boîtes de Petri et environ 15 μ L de différentes concentrations de l'HE étudiée (10 000, 7 000, 5 000, 1000 et 100 ppm) ont été ajoutés soigneusement sur les disques. La tétracycline 1,6 mg/mL et une combinaison de streptomycine/ampicilline (1 000 μ g/ml) ont été utilisées comme témoins positifs. Toutes les boîtes de Petri ont été incubées à 37°C pendant 24 h et l'activité antibactérienne a été déterminée en mesurant le diamètre de la zone d'inhibition en (mm).

3.5. Études de la cytotoxicité

L'activité cytotoxique *in vitro* de l'HE de *C. camphora* a été mesurée à l'aide du test MTT (bromure de 3-(4,5-diméthylthiazol-2-yl)-2,5-diphényltétrazolium) (Bal-Ozturk et al., 2019 ; Yaşayan et al., 2021). Les cellules de la lignée fibroblastique embryonnaires de souris NIH/3T3 (ATCC CRL-1658) ont étéensemencées à une densité de 6×10^3 cellules par puits dans une plaque de 96 puits. Ensuite, 100 μ L de DMEM à haute teneur en glucose ont été ajoutés à chaque puits, et la plaque a été incubée pendant 24 h à 37 °C dans un incubateur humidifié à 5 % de CO₂. Après l'incubation, 100 μ L de milieu DMEM à haute teneur en glucose contenant diverses concentrations d'HE (5, 25, 50, 100 et 250 μ g/mL), ont été ajoutés à chaque puits. Par la suite, la plaque a été à nouveau incubée pendant 24h dans les mêmes conditions.

Après l'élimination du milieu contenant l'HE, 110 μ L de milieu DMEM riche en glucose, contenant 10 % de solution de MTT, ont été incorporés dans chaque puits. La plaque a été incubée à 37 °C pendant une durée de 4h heures. Après incubation, la solution de MTT a été éliminée, puis 100 μ L de DMSO ont été ajoutés dans chaque puits afin de solubiliser les cristaux de formazan formés. La plaque a été agitée pendant 5 minutes pour assurer une dissolution complète. L'absorbance du formazan dissous a ensuite été mesurée à 570 nm à l'aide d'un lecteur de microplaques (BMG LABTECH SPECTROstar Nano). La viabilité cellulaire a été calculée et exprimée en pourcentage du témoin non traité selon la formule suivante :

$$\text{La viabilité cellulaire (\%)} = \frac{\text{DO Échantillon}}{\text{DO Contrôle}} \times 100$$

Où :

DO Échantillon : représente la densité optique à 570 nm de l'échantillon.

DO Contrôle : représente la densité optique à 570 nm du témoin.

3.6. Test de cicatrisation *in vitro*

L'efficacité cicatrisante de l'huile essentielle de *C. camphra* a été testée sur des fibroblastes embryonnaires de souris NIH/3T3. Ces cellules ont été placées à une densité de 40×10^3 cellules par puit dans une plaque comportant 24 puits, puis mises en culture dans un milieu nutritif (DMEM, 5 % de FBS, 1 % de pénicilline/streptomycine) jusqu'à atteindre une confluence de 90 %. Par la suite, une lésion verticale a été créée dans la monocouche cellulaire puis les débris cellulaires ont été éliminés par lavage avec du DPBS (solution saline tamponnée au phosphate de Dulbecco). Après, une concentration de (100 μ g/mL) de l'HE préparées dans un milieu DMEM à haute teneur en glucose a été introduites dans les puits appropriés. La plaque a été incubée à 37 °C dans un incubateur humidifié à 5 % de CO₂ (Yaşayan et al., 2021).

La fermeture des plaies a été surveillée à l'aide d'un microscope inversé (Observer Z1, Carl Zeiss), à des moments précis (0, 6, 24, 48, 72 heures). Les images ont été acquises et les mesures des plaies ont été effectuées à l'aide du logiciel ImageJ (National Institutes of Health). Le calcul du pourcentage de cicatrisation des plaies a été effectué grâce à la formule suivante :

$$\text{Fermeture de la plaie (\%)} = \frac{T_0 - T_x}{T_0} \times 100$$

Où :

T₀ : représente la surface de la plaie au moment de la griffure.

T_x : représente la surface de la plaie à un instant donné.

4. Analyse statistique

Toutes les analyses ont été effectuées en triplicat, et les résultats ont été exprimés sous forme de moyenne $\pm$ écart-type. À l'aide du logiciel GraphPad Prism 6.0, les activités antimicrobiennes ont été analysées statistiquement par ANOVA à deux facteurs, suivie du test de Dunnet avec un niveau de confiance de 0,05. Les résultats des analyses antioxydantes et anti-enzymatiques ont été examinés statistiquement à l'aide du logiciel SPSS version 13.0 (Prentice Hall : Chicago, IL, États-Unis, 2004) et d'une ANOVA à un facteur. Le test post-hoc de Tukey a ensuite été utilisé pour examiner les différences entre les moyennes avec un niveau de signification de 0,05.

Les résultats du test de cytotoxicité et du test de cicatrisation *in vitro* a été analysée par ANOVA à un facteur à l'aide du logiciel GraphPad Prism (V.8.4, San Diego, États-Unis). Les comparaisons ont été réalisées en utilisant le test de Tukey. Une valeur $p < 0,05$ a été considérée comme statistiquement significative.

Concernant L'enquête ethnobotanique, l'analyse de données a été réalisée en utilisant le logiciel SPSS Statistics 21, où les variables qualitatives sont présentées par des pourcentages.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

RESULTATS

1. Etude phytochimique de l'huile essentielle de *C. camphora*

1.1. Expression du rendement d'extraction

L'estimation de rendement en huile essentielle obtenu par hydrodistillation révèle une valeur de $0,95 \pm 0,050\%$. Notre résultat est similaire au rendement moyen en huiles essentielles ($R = 0,95\%$) de tous les individus étudiés par **Zhang et al. (2023b)**. Cependant, cette valeur est faible par rapport à celle obtenue par **Chen et al. (2014)**, qui ont trouvé une valeur de $1,83\%$ d'huile essentielle obtenu à partir de feuilles de *C. camphora* Collecté dans la région du Jiangsu, en Chine. Ce résultat paraît également faible en comparaison avec celui obtenu par **Poudel et al. (2021)**, où l'HE issue des feuilles de *C. camphora* L. du Népal a révélé un rendement de $2,67\%$. D'autre part, le résultat obtenu est supérieur au rendement de l'HE d'écorce du camphrier ($R = 0,42\%$) (**Guo et al., 2016**).

1.2. Propriétés organoleptiques

Des tests organoleptiques ont été effectués en analysant : l'aspect, l'odeur et la couleur. La figure 14 et le tableau 3, présentent les propriétés organoleptiques de l'HE du camphrier.



Figure 14 : Huile essentielle extraite du camphrier.

Tableau 3 : Propriétés organoleptiques de l'huile essentielle du camphrier.

Aspect	Couleur	Odeur
Semi-Liquide avec formation de cristaux par abaissement de la température	Incolore à jaune pâle.	Odeur camphrée fraîche et intense.

1.3. Propriétés physicochimiques

Les propriétés physicochimiques de l'HE obtenue dans cette étude ont été testées, notamment sa densité, son indice de réfraction et son pH. Les résultats de ces tests sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Propriétés physicochimiques de l'HE de *C. camphora* (moyenne±écart type).

La densité	L'indice de réfraction	Le pH
0,88±0,029	1,4800±0,008	6±0,000

1.4. Screening phytochimique

L'étude phytochimique qualitative des extraits aqueux et méthanolique a révélé la présence de nombreux composés bioactifs présentés dans le tableau 5 ci- dessous :

Tableau 5 : Constituants phytochimiques des extraits aqueux et méthanolique.

Phytoconstituants	Extrait aqueux	Extrait méthanolique
Huiles volatiles	-	-
Quinones	++	+
Terpénoïdes	++ (une couleur vert-violet)	+ (une couleur vert-violet)
Tanins	++ (une couleur verdâtre)	+++ (une couleur verdâtre)
Alcaloïdes	++	+
Saponines	+++	+

+++ : Fortement positif ; ++ : Moyennement positif ; + : Faiblement positif ; - : Négatif

Les analyses qualitatives des composés phytochimiques a confirmé que les deux extraits étudiés contiennent des quinones, des terpénoïdes (hétérosides terpéniques), des tanins catéchiques, des alcaloïdes et des saponines. Comparativement à l'extrait méthanolique, l'extrait aqueux présente une teneur plus importante en composés actifs. Cependant, une absence totale d'huiles volatiles a été observée dans les deux extraits.

1.5. Composition chimique de l'huile essentielle de *C. camphora*

Le résultat de l'analyse chromatographique de l'HE de *C. camphora* est consigné dans le tableau 6 et la figure 15.

Tableau 6 : Analyse CG-SM de l'HE de feuilles de *C. camphora*.

No.	Composé	Temps de rétention	indice de rétention	%
1	Tricyclo[2.2.1.0 ^{2,6}]heptane, 1,7,7-triméthyl-	6.169	714	0.12
2	Bicyclo[3.1.0]hex-2-ène, 2-méthyl-5-(1-méthyl	6.365	718	0.70
3	méthyl (Z)-3-hexénoate,	6.541	721	0.14
4	α -Pinène	6.660	724	9.91
5	Camphène	7.316	737	6.99
6	bicyclo[3.1.0]hexane 4-méthylène-1-(1-méthyléthyl)	8.613	764	1.15
7	Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-diméthyl-2-méthylène-, (1S)-	8.759	767	3.68
8	β -Myrcène	9.645	785	4.80
9	2-Carène	10.111	794	0.02
10	α -Phellandrène	10.305	798	1.88
11	3-Carène	10.637	804	0.08
12	1,3-cyclohexadiène, 1-méthyl-4-(1-méthyléthyl)-	11.009	811	0.38
13	o-Cymène	11.459	818	0.20
14	D-Limonène	11.724	823	8.63
15	1,8-cinéole,	11.800	824	4.58
16	(3E)-3,7-diméthyl-octa-1,3,7-triène	12.353	834	0.03

17	1,3,6-Octatriene, 3,7-diméthyl-, (E)-	12.932	844	0.11
18	γ -Terpinène	13.456	853	0.90
19	5-Isopropyl-2-méthylbicyclo[3.1.0]héxan-2-ol	13.894	860	0.26
20	Terpinolène	15.133	882	1.91
21	5-Isopropyl-2-méthylbicyclo[3.1.0]héxan-2-ol	15.680	891	0.09
22	Linalol	16.007	897	0.06
23	4-octanoate de méthyle (Z)	16.830	912	0.03
24	2-cyclohexén-1-ol, 1-méthyl-4-(1-méthyléthyl)-, cis-	17.120	917	0.02
25	2-Cyclohexén-1-ol, 1-méthyl-4-(1-méthyléthyl)-, trans-	17.213	919	0.03
26	1,7,7-triméthylbicyclo[2.2.1]hept-5-én-2-ol	17.265	920	0.03
27	Camphre	18.584	944	36.81
28	Citronellal	18.894	950	0.06
29	Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-triméthyl-, (1S-endo)-	19.407	959	2.59
30	3-Cyclohexén-1-ol, 4-méthyl-1-(1-méthyléthyl)-, (R)-	20.037	971	1.90
31	α -Terpinéol	20.768	984	2.47
32	2-Cyclohexén-1-ol, 3-méthyl-6-(1-méthyléthyl)-, trans-	21.017	989	0.02
33	2-Cyclohexén-1-ol, 3-méthyl-6-(1-méthyléthyl)-, trans-	21.667	1000	0.06
34	2,6-Octadién-1-ol, 3,7-diméthyl-, (Z)-	22.790	1023	0.09
35	DL-Menthol	22.855	1024	0.04
36	Néral	23.411	1035	0.04
37	2-Cyclohexén-1-one, 3-méthyl-6-(1-méthyléthyl)-	23.981	1046	0.03
38	Citral	24.930	1065	0.04
39	Cyclohexane, 1-éthyl-1-méthyl-2-(1-méthyléthyl)-4-(1-méthyléthylidène)	28.152	1131	0.17
40	α -Cubébène	28.745	1144	0.04
41	Ylangène	29.740	1165	0.04
42	Copaène	29.947	1169	0.37
43	Bicyclo[4.3.0]nonane, 7-méthylène-2,4,4-triméthyl-2-vinyl-	30.387	1179	0.04
44	cis-Murola-4(15),5-diène	30.623	1184	0.11
45	Cyclohexane, 1-éthényl-1-méthyl-2,4-bis(1-méthyléthényl)-	30.721	1186	0.59
46	Caryophyllène	31.911	1212	1.61
47	1,5-Cyclodécadiène, 1,5-diméthyl-8-(1-méthyléthylidène)-, (E, E)-	32.586	1227	0.09
48	Alloaromadendrène	32.781	1232	0.03
49	(1S,4aR,7R)-1,4a-Diméthyl-7-(prop-1-én-2-yl)-1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydronaphtalène	32.895	1235	0.02
50	(1R,3aS,8aS)-7-Isopropyl-1,4-diméthyl-1,2,3,3a,6,8a-hexahydroazulène	33.002	1237	0.04
51	Germacrène D	33.264	1243	0.02
52	α -Humulène	33.422	1247	0.73
53	Valerena-4,7(11)-diène	33.739	1254	0.03
54	(4S,4aR,6R)-4,4a-Diméthyl-6-(prop-1-én-2-yl)-1,2,3,4,4a,5,6,7-octahydronaphtalène	34.136	1263	0.02
55	γ -Murolène	34.462	1270	0.02
56	(-)-Germacrène D	34.647	1275	1.18
57	Naphtalène, décahydro-4a-méthyl-1-méthylène-7-(1-méthyléthényl)-, [4aR-(4a α ,7 α ,8a β)]-	34.864	1280	1.77
58	cis-Murola-4(15),5-diène	35.105	1285	0.03
59	(1S,2E,6E,10R)-3,7,11,11-tétraméthylbicyclo[8.1.0]undéca-2,6-diène	35.328	1290	1.71
60	α -Murolène	35.506	1294	0.02
61	1-Méthyl-1-éthényl-2,4-bis(1'-méthyléthényl)cyclohexane	35.687	1298	0.02
62	δ -Cadinène	35.782	1301	0.02
63	(3R,3aR,3bR,4S,7R,7aR)-4-Isopropyl-3,7-diméthyl-8-hydro-1H-cyclopenta[1,3]cyclopropa[1,2]benzén-3-ol	36.101	1308	0.02
64	(2S,4aR,8aR)-4a,8-Diméthyl-2-(prop-1-én-2-yl)-1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydronaphtalène	36.203	1311	0.02
65	Naphtalène, 1,2,4a,5,8,8a-hexahydro-4,7-diméthyl-1-(1-méthyléthyl)-, [1S(1.alpha.,4a.beta.,8a.alpha.)]-	36.486	1318	0.15
66	1,5-Cyclodécadiène, 1,5-diméthyl-8-(1-méthyléthylidène)-, (E,E)-	37.838	1351	0.17
67	1H-Cycloprop[e]azulène-7-ol, décahydro-1,1,7-triméthyl-4-méthylène-, [1a-(1a.alpha.a.,4a.alpha.,7a.beta.,7a.beta.,7b.alpha.)]-	38.674	1371	0.03
68	Humulane-1,6-dien-3-ol	40.460	1415	0.01
69	Néointermédéol	41.746	1448	0.01
Total				100 %

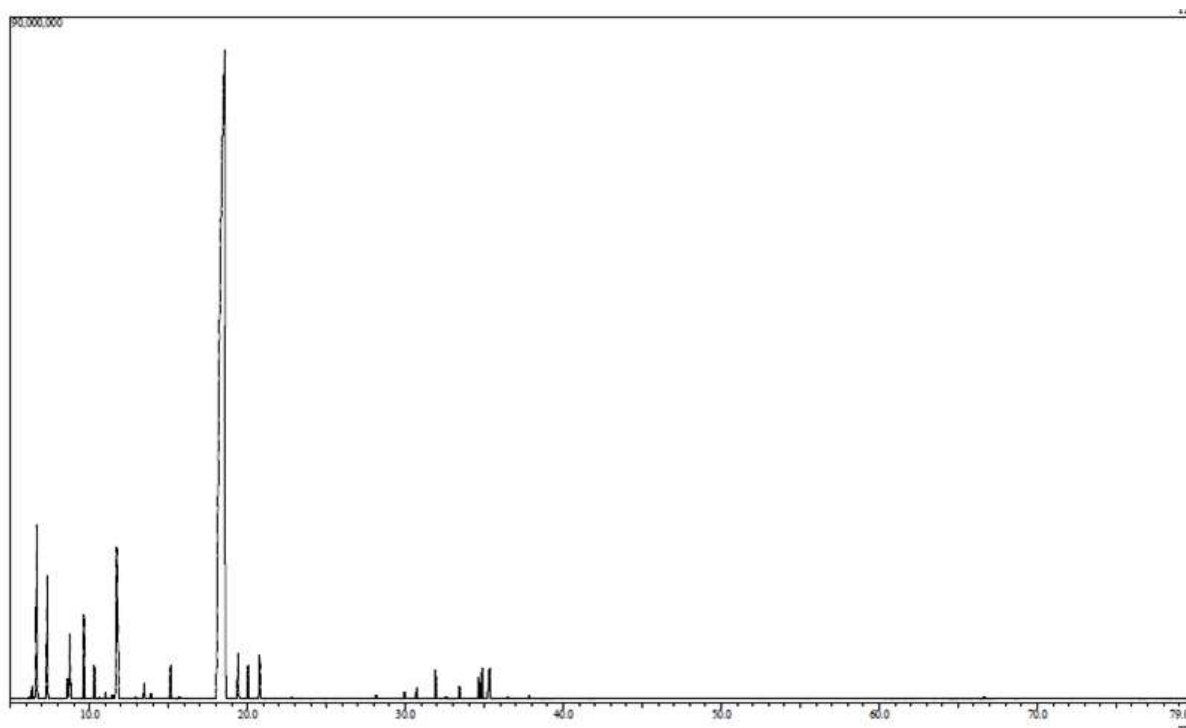


Figure 15 : Chromatogramme de l'analyse CG/SM.

L'analyse par CG-SM a permis d'identifier 69 composés (Tableau 6), représentant 100,00 % du mélange total de l'HE de *C. camphora*. Cette HE contient majoritairement le camphre (36,81 %), l' α -pinène (9,91 %), le D-limonène (8,63 %) et le camphène (6,99 %), ainsi que d'autres constituants en concentrations faibles : le β -myrcène (4,80 %), le 1,8-Cinéole (4,58 %) et le β -pinène (3,68 %). Les composés identifiés dans l'HE étudiée peuvent être regroupés en quatre classes chimiques : monoterpènes oxygénés (49,22 %), hydrocarbures monoterpéniques (41,11 %), sesquiterpènes oxygénés (0,07 %) et hydrocarbures sesquiterpéniques (9 %).

1.6. Composition chimique de l'extrait méthanolique de *C. camphora*

Les composés phytochimiques identifiés dans l'extrait méthanolique des feuilles du camphrier à l'aide d'une analyse (UPLC-MS/MS), sont présentés dans le tableau 7 et la figure 16.

Tableau 7 : Composés phytochimiques identifiés dans l'extrait méthanolique du camphrier à l'aide de la technique UPLC-MS/MS.

ID#	Composé	Poids moléculaire	Charge ESI (+/-)	transition m/z	TR	Hauteur	Zone
1	acide 2-méthoxybenzoïque	152.15	(+)	153.0500>77.0000	12.248	56194	716174
2	thymol	150.22	(+)	151.7500>88.1000	19.725	7065	105739
3	acide coumarique	164.16	(+)	165.1000>101.2000	20.421	335098	33026902
4	Acide 4-méthoxybenzoïque	152.15	(+)	153.0500>70.7500	20.525	39334	2311540
5	Naringénine	272.25	(+)	272.9500>177.0000	20.207	10679	201163
6	acide kojique	142.11	(+)	143.0000>69.0500	11.223	3116	28153
7	mércétine	318.23	(+NH4+)	336.2500>46.1500	16.614	47414	452035
8	β -carotène	536.87	(+)	537.2000>23.1000	15.375	38507	460413

9	Acide férulique	194.18	(+)	194.9000>177.1500	9.975	30456	287044
10	acide folique	441.14	(+)	442.9000>323.4500	17.1	41123	515390
11	Vitexine	432.4	(+)	433.0000>312.9500	11.739	1389	7233
12	hydrate d'esculine	358.3	(+)	359.1000>295.1500	16.927	1651122	24154402
13	quercétine	302.23	(+)	302.9000>270.9000	11.657	47791	754322
14	Rutine	610.5	(+)	611.2000>73.2000	18.443	14631	161732
15	catéchine	290.27	(+)	291.1000>139.0000	9.992	1747	16045
16	Curcumine	368.4	(+)	369.0000>177.0000	12.213	29965	298477
17	vanilline	152.15	(+)	153.1000>93.2000	21.099	10394	109757
18	chrysine	254.24	(+)	255.1000>103.0500	20.854	1954	8260
19	Caféine	194.19	(+)	195.1000>137.9000	8.959	4876	78317
20	Acide Cinnamique		(+)	149.0500>84.7500	19.631	2754121	208669946
21	Acide Oleanolique	456.7	(+)	457.2000>425.2000	15.77	500902	4321337
22	lutéoline	286.24	(-)	284.9500>133.0000	12.037	7169	82049
23	acide 3,5-dihydroxybenzoïque	154.12	(-)	153.1000>109.1000	3.869	3757	16712
24	hspérétine	302.28	(-)	300.9000>255.2500	16.913	99618	1114711
25	acide cis-p-coumarique	164.16	(-)	163.1500>119.1500	8.756	2042	17953
26	acide chlorogénique	354.31	(-)	353.0500>191.1000	7.565	546844	6892523
27	acide salicylique	138.12	(-)	137.1000>93.1500	8.879	22345	288339
28	acide Caféique	180.16	(-)	179.1000>135.1500	7.603	3362	31020

TR: Temps de rétention.

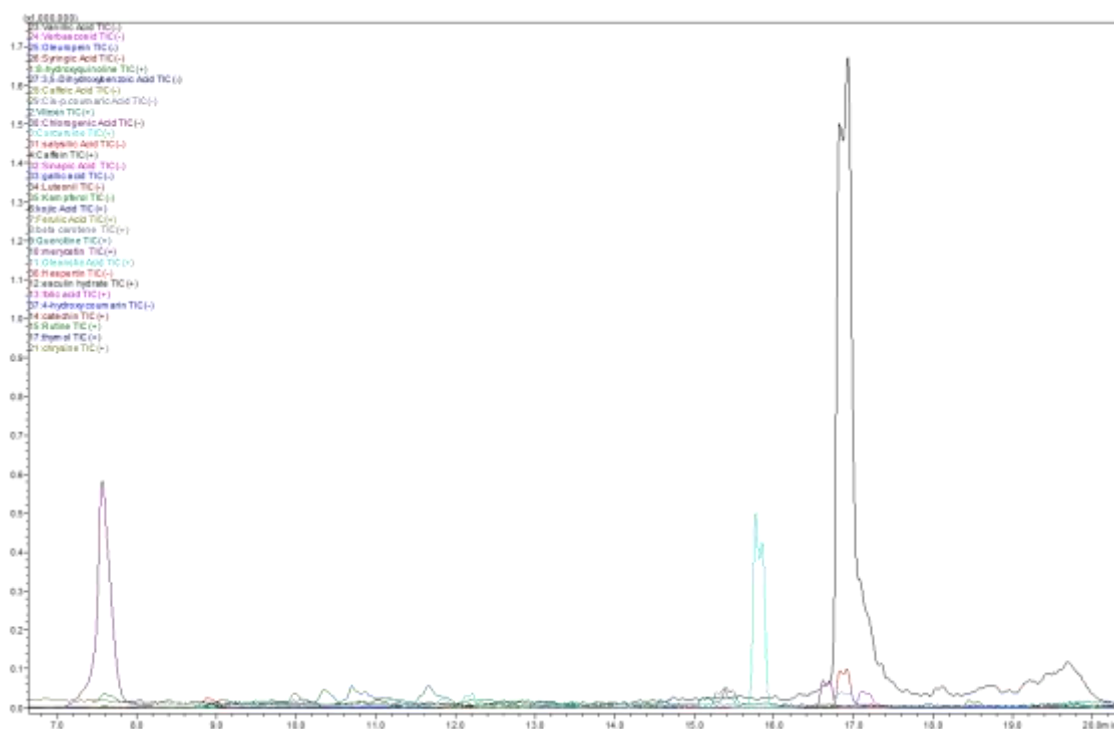


Figure 16 : Chromatogrammes issus de l'analyse UPLC-MS/MS de l'extrait méthanolique du camphrier.

L'analyse UPLC-MS/MS de l'extrait méthanolique a révélé la présence de 28 composés phytochimiques. Parmi ces composés, on note la présence des acides phénoliques (acide coumarique, acide chlorogénique, acide caféique, acide cis p-coumarique, acide férulique, acide cinnamique, acide salicylique), des aldéhydes phénoliques (vanilline), des flavonoides (chrysine, Naringénine, Rutine, hspérétine, merycetin, lutéoline, quercétine, catéchine), les alcaloïdes (caféine) et des polyphénols tels que le thymol, l'acide kojique et la curcumine étaient également présents. D'autres composés détectés comprennent le β -carotène, l'acide 2-méthoxybenzoïque, l'acide 4-méthoxybenzoïque et l'acide 3,5-dihydroxybenzoïque, l'hydrate d'esculine (Yilmaz., 2020 ; Bensaci et al., 2024). Les résultats obtenus indiquent également l'absence de divers composés phytochimiques dans l'extrait méthanolique étudié, parmi lesquels le 8-hydroxyquinoléine, l'acide sinapique, l'acide syringique, le 4-hydroxy coumarine, et l'oleuropéine.

1.7. Analyse FT-IR

La spectroscopie FTIR a été utilisée pour identifier les groupes fonctionnels dans les échantillons. La figure 17 présente le spectre FTIR avec les bandes caractéristiques observées dans l'huile essentielle de *C. camphora* entre 4 000 et 600 cm^{-1} :

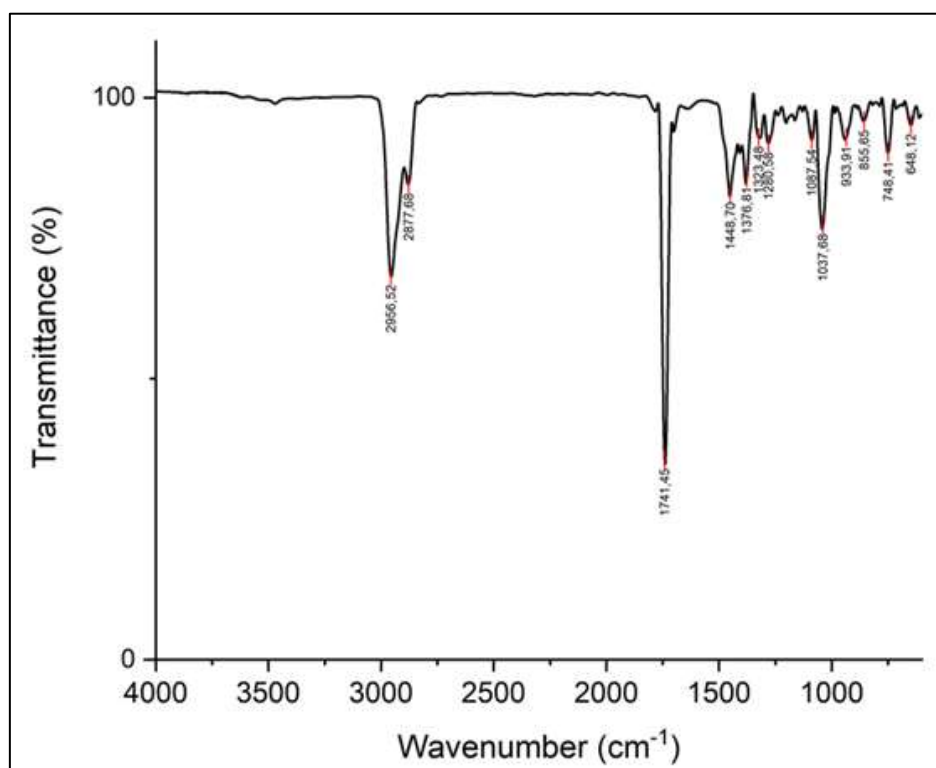


Figure 17 : Spectre FTIR de l'huile essentielle du camphrier.

2. Enquête ethnobotanique

L'ethnobotanique représente une branche essentielle de la science dans l'objectif de développer de nouvelles substances thérapeutiques, reposant sur la compréhension des diverses pratiques médicinales traditionnelles. (Latif & Nawaz., 2025).

2.1. Profil démographique des enquêtés

2.1.1. Selon le sexe

L'enquête a été menée sur un groupe total de 150 individus, dont 52 % étaient des hommes et 46,67 % des femmes (Figure 18), ces résultats indiquent que Les hommes utilisent le camphrier en phytothérapie plus fréquemment que les femmes. Cela peut s'expliquer par le fait que ce sont les hommes qui sont responsables de la cueillette des plantes. De plus, la voie inhalatoire est particulièrement accessible, puisqu'elle ne requiert aucune préparation préalable.

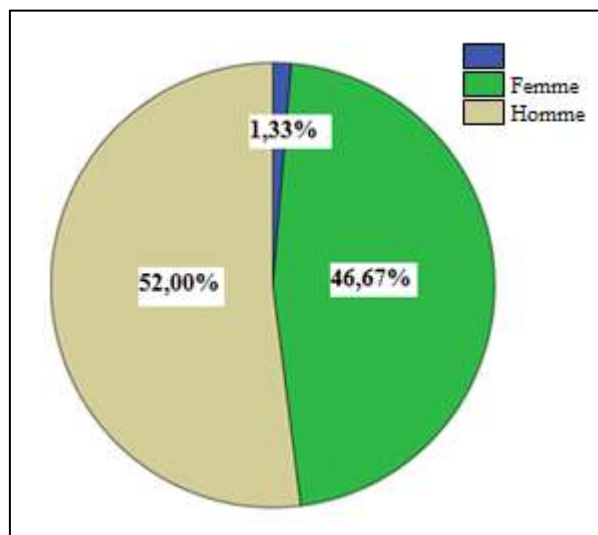


Figure 18 : Répartition des enquêtés selon le sexe.

2.1.2. Selon l'âge

Les participants étaient majoritairement âgés de 20 à 30 ans (36,67 %), tandis que les autres tranches d'âge représentaient respectivement 24 % (30–40 ans), 20,67 % (40–50 ans) et 16 % (50–60 ans). En revanche, les deux groupes d'âge <20 et >60 ont été très peu représentés (1,33%) (Figure 19).

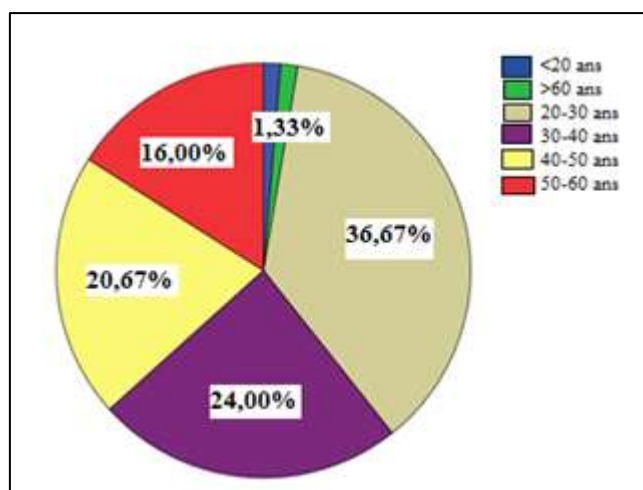


Figure 19 : Répartition de la population étudiée selon l'âge.

2.1.3. Selon le niveau d'étude

La répartition selon le niveau d'étude montre une prédominance des universitaires (66 %), suivis des participants de niveau secondaire (17,33 %), moyen (12 %) et non scolarisés (4,67 %) (Figure 20). Le nombre élevé des universitaires parmi les personnes enquêtées s'explique par le fait que le questionnaire a été majoritairement diffusé auprès de la communauté universitaire. Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par **Bentabet et al. (2022)**, Cela indique que le niveau d'éducation n'a pas d'impact sur l'utilisation des méthodes de soins traditionnels. En revanche une autre étude a montré que le taux des personnes analphabètes était très élevé chez les utilisateurs des plantes, comparativement aux autres niveaux d'étude (**Jdidi & Hasnaoui., 2016**).

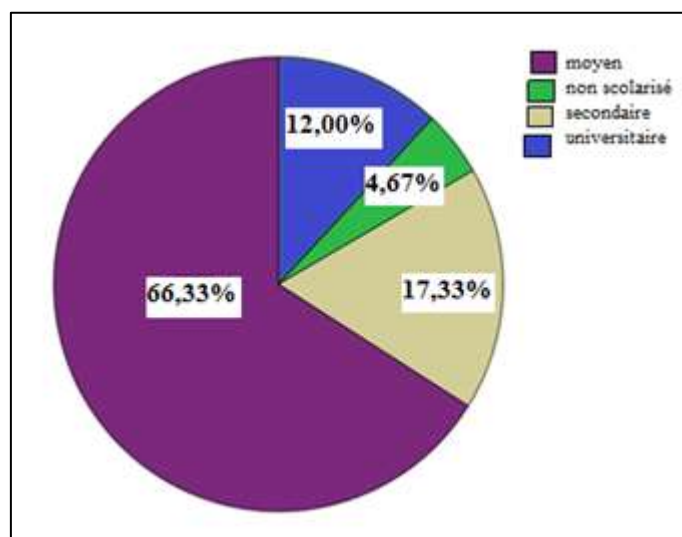


Figure 20 : Répartition de la population étudiée selon le niveau d'étude.

2.2. Le camphrier

2.2.1. Connaissance de la plante

Comme l'indique la figure 21, la majorité des répondants (94,67 %) connaissent le camphrier, tandis que 5,33 % ne connaissaient pas cette plante.

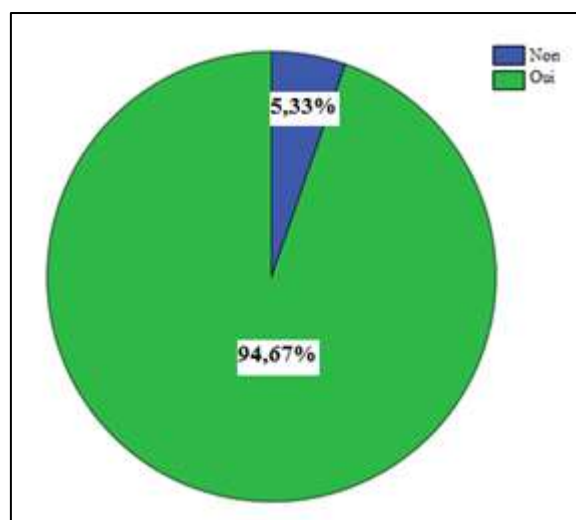


Figure 21 : Répartition de la population selon ses connaissances sur le camphrier.

2.2.2. Parties utilisées

D'après nos données (Figure 22), les feuilles (72%) et le mélange de feuilles + tiges (18,67%) constituaient les parties de *C.camphora* les plus utilisées. suivies des autres parties aériennes comme les fleurs (3,33%) et les fruits (2,67%). Tandis que les racines et les tiges représentent chacune 0,67%. Des résultats similaires ont été rapportés par une étude précédente, indiquant que les feuilles représentent la majeure partie des plantes médicinales utilisées dans les communautés du district de Zuway Dugda (Ethiopia) (Megersa et al., 2023). En comparaison avec d'autres parties de la plante, les feuilles sont considérées comme la partie la plus facile et la plus accessible à utiliser, ce qui les rend idéales pour l'usage en phytothérapie (Mir et al., 2022).

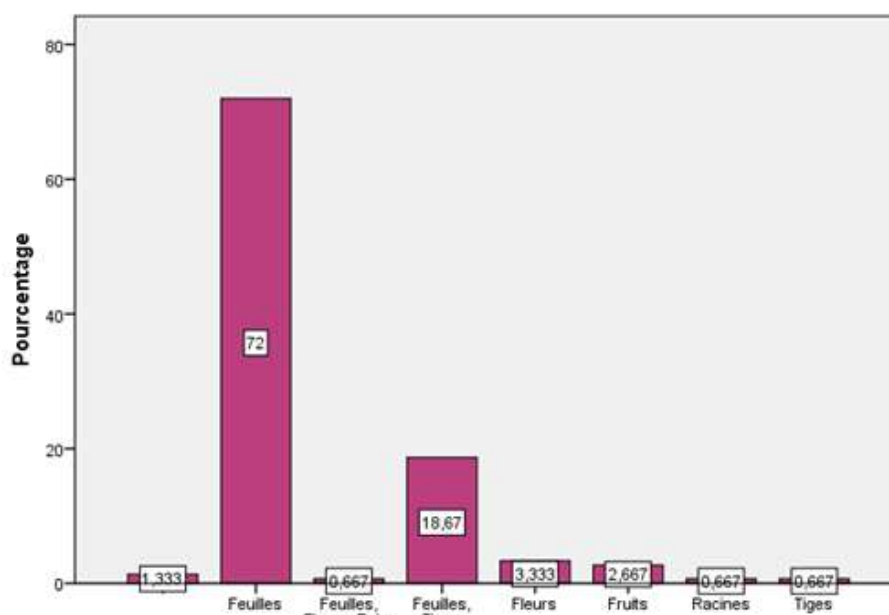


Figure 22 : Parties utilisées de la plante.

2.2.3. Formes d'emploi

Selon les résultats obtenus (Figure 23), les formes d'emploi les plus fréquentes de la plante sont : Pommade (Le Vicks) (50,67%), l'inhalation de la plante (28,67 %), l'inhalation de la pommade (9,33%), l'infusion (4,67%), la plante utilisée à l'état frais (4 %) et la décoction (1,33 %).

Le camphre est une substance sécrétée par le camphrier (Fazmiya et al., 2022). Ce composé chimique est l'un des principaux principes actifs présents dans la pommade (Le Vicks VapoRub VVR). Le VVR est un produit pharmaceutique à base de vaseline, destinée à être appliquée localement sur le thorax, la gorge et le dos, ou à être mélangée à de l'eau chaude afin d'inhalier les vapeurs parfumées (Eccles et al., 2015). Cette pommade est employée dans le soulagement des douleurs musculaires et articulaires et dans le traitement des infections mineures des voies respiratoires supérieures en raison de ses propriétés antitussif et analgésique (Valido et al., 2025). De plus, en raison de son arôme caractéristique, le camphrier est largement utilisé dans les produits destinés à l'inhalation comme traitement pour diverses maladies respiratoires (Fazmiya et al., 2022).

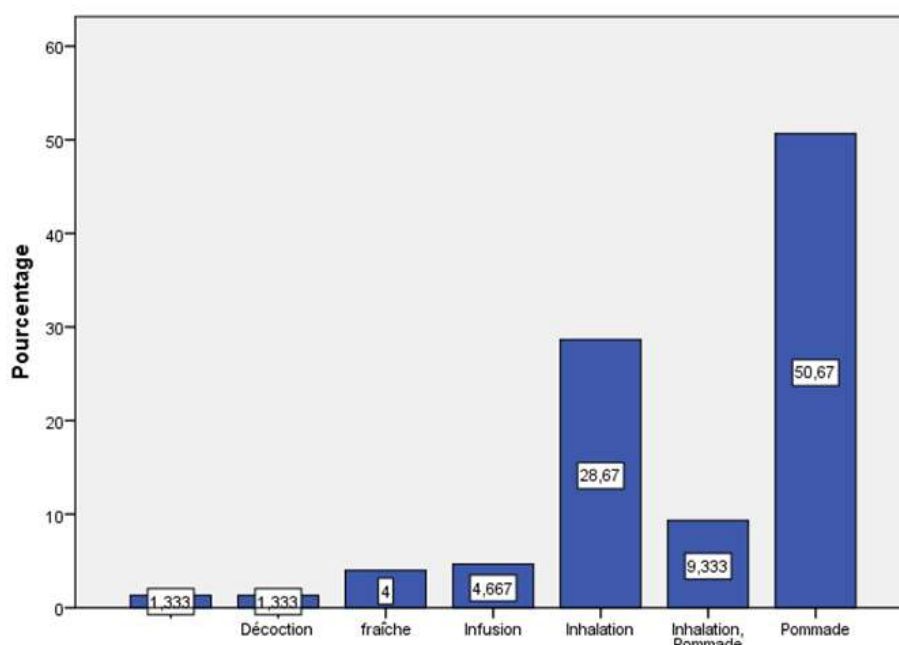


Figure 23 : Formes d'emploi de la plante.

2.2.4. Usage thérapeutique de la plante

Dans le contexte de cette recherche, les individus interrogés ont révélé que l'application la plus fréquente du *C. camphora* (80%) concerne le traitement de la toux, du rhume, de la grippe et de l'asthme, suivie par (8%) pour les douleurs musculaires et articulaires. Alors que (5,33%) des cas concernaient le traitement de la toux, du rhume, de la grippe, de l'asthme ainsi que des douleurs musculaires et articulaires. (4,67%) des participants ont employé cette plante pour des soins de la peau, des cheveux et des ongles. Toutefois, l'emploi de *C. camphora* pour traiter la fatigue, le stress et l'anxiété se classe en dernière position et représente l'usage thérapeutique le moins courant (Figure 24).

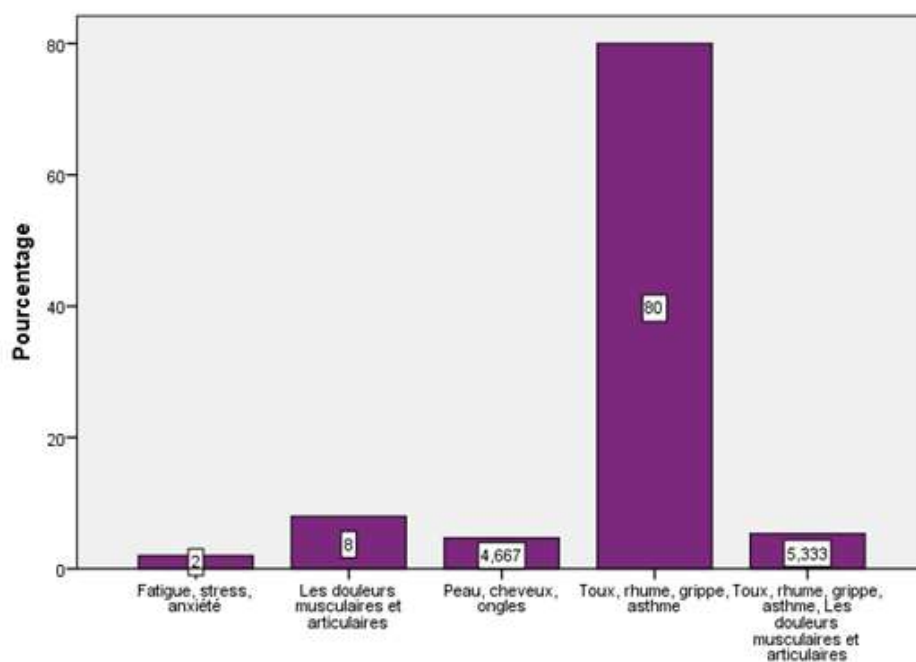


Figure 24 : Usage thérapeutique de la plante.

2.2.5. Effets indésirables

Les principaux effets indésirables signalés lors de l'utilisation de cette plante étaient l'irritation des yeux (6,67 %), les maux de tête accompagnés d'irritation oculaire par (4,67 %), la sensation de brûlure dans la gorge par (4 %), et les maux de tête seuls (2 %). En revanche, La majorité des participants (71,33 %) n'ont signalé aucun effet indésirable (Figure 25). Le camphre est très toxique par nature et peut causer une irritation de la peau et des yeux, voire conduire à une intoxication aiguë en cas d'inhalation ou de contact cutané (**Malabadi et al., 2021**). Dans ce contexte, une analyse plus approfondie de l'usage de *C. camphora* est nécessaire afin d'identifier et de minimiser les effets secondaires ou les risques potentiels liés à son usage.

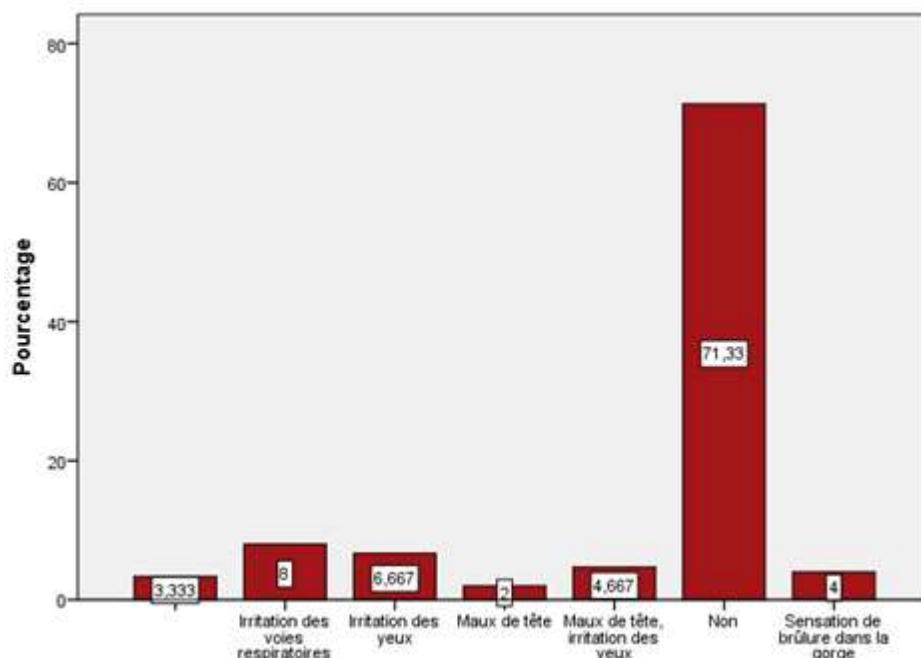


Figure 25 : Effets indésirables de la plante.

2.2.6. Sources d'informations

L'étude actuelle (Figure 26) révèle que l'acquisition des connaissances sur le camphrier provient de différentes sources, majoritairement de la famille et des amis (63,33 %), puis d'un professionnel de santé ou herboriste (24,67%), via internet (5,33%) ou encore la lecture (4,67%). **Bentabet et al. (2022)**, ont également déclaré dans leur étude que dans la majorité des cas les populations acquièrent l'information sur les usages des plantes à travers des connaissances ancestrales.

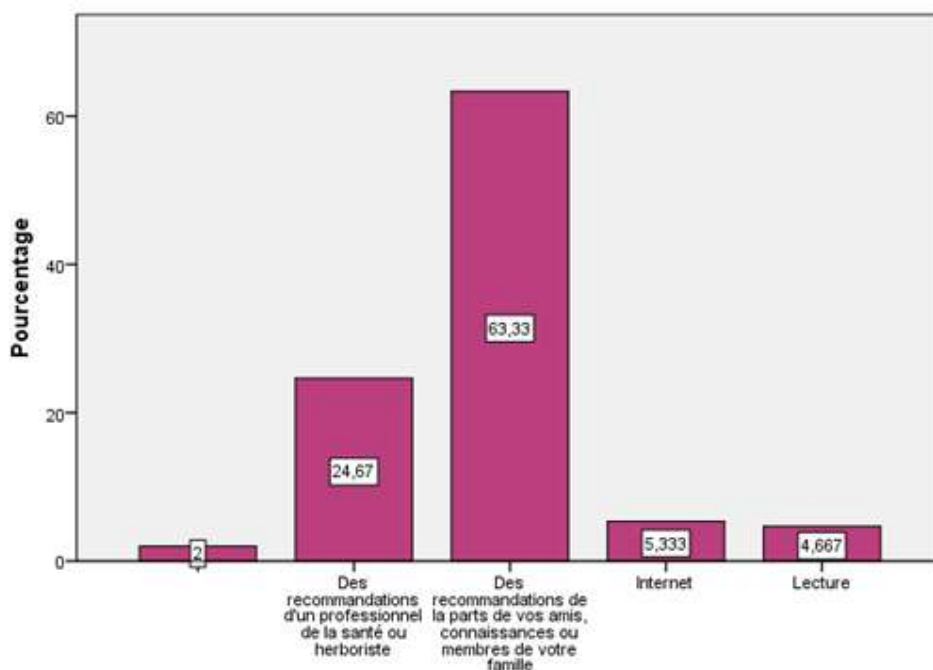


Figure 26 : Sources d'informations concernant l'utilisation thérapeutique de la plante.

2.3. Huile essentielles de camphrier

2.3.1. Connaissance de l'HE

D'après la Figure 27, une grande partie des participants (80,67 %) reconnaissent l'HE de camphrier. Alors que 19,33 % n'étaient pas familiers avec l'huile essentielle de *C. camphora*.

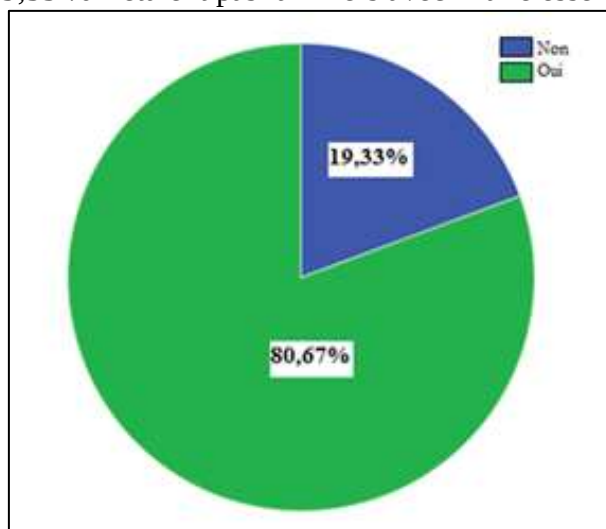


Figure 27 : Répartition de la population selon ses connaissances sur l'HE de camphrier.

2.3.2. Méthodes d'obtention de l'HE

Cette enquête a également démontré que l'achat en magasin spécialisé en produits naturels était la méthode la plus utilisée pour l'obtention de l'HE étudié (78%), suivi par l'achat en pharmacie ou parapharmacie (10%), la commande sur des sites internet spécialisés (1,33%) et la distillation personnelle (1,33%) (Figure 28).

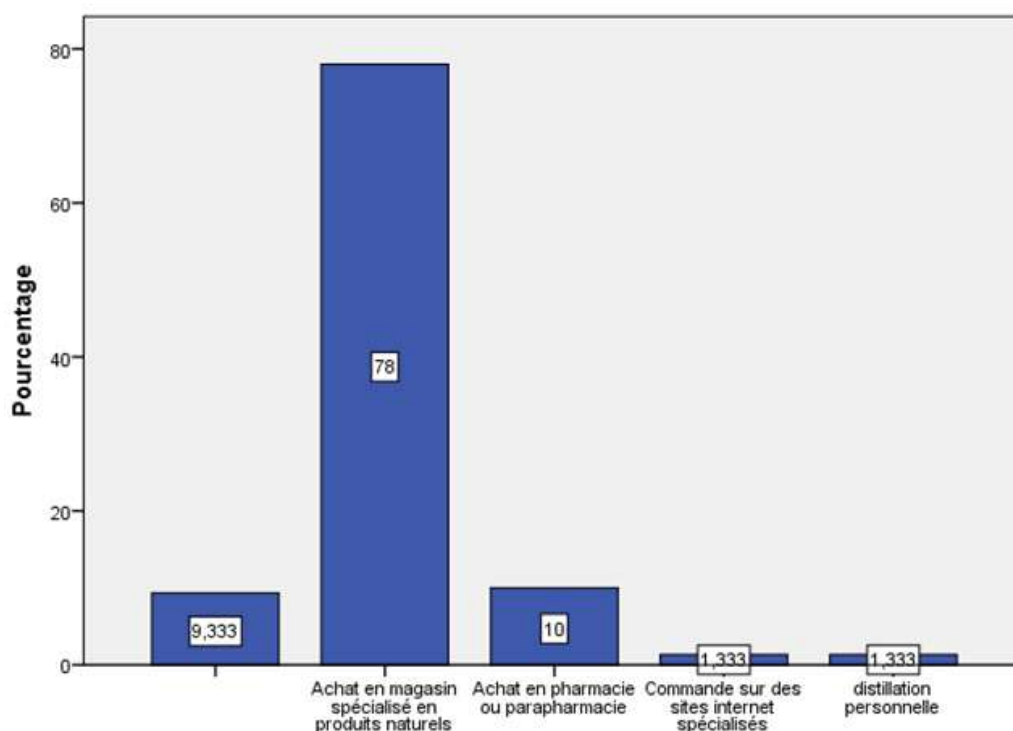


Figure 28 : Répartition de la population selon la méthode d'obtention de l'HE.

2.3.3. Usage de l'HE

Concernant l'utilisation de l'huile essentielle de *C. camphora*, la majorité de répondants (77,33%) a mentionné qu'ils ne l'ont jamais utilisée, tandis que (10%) des participants la consomment pour lutter contre la grippe et les troubles respiratoires, (8%) l'utilisent pour apaiser les douleurs musculaires et articulaires, l'usage sur la peau et la diffusion dans l'air sont chacune citées par 2 % des répondants. Dans le passé, diverses parties du camphrier ont été utilisées pour préparer des huiles essentielles aux propriétés pharmaceutiques, telles que le traitement des maladies circulatoires et respiratoires, des douleurs musculaires, des inflammations et des rhumatismes (Lee et al., 2022a).

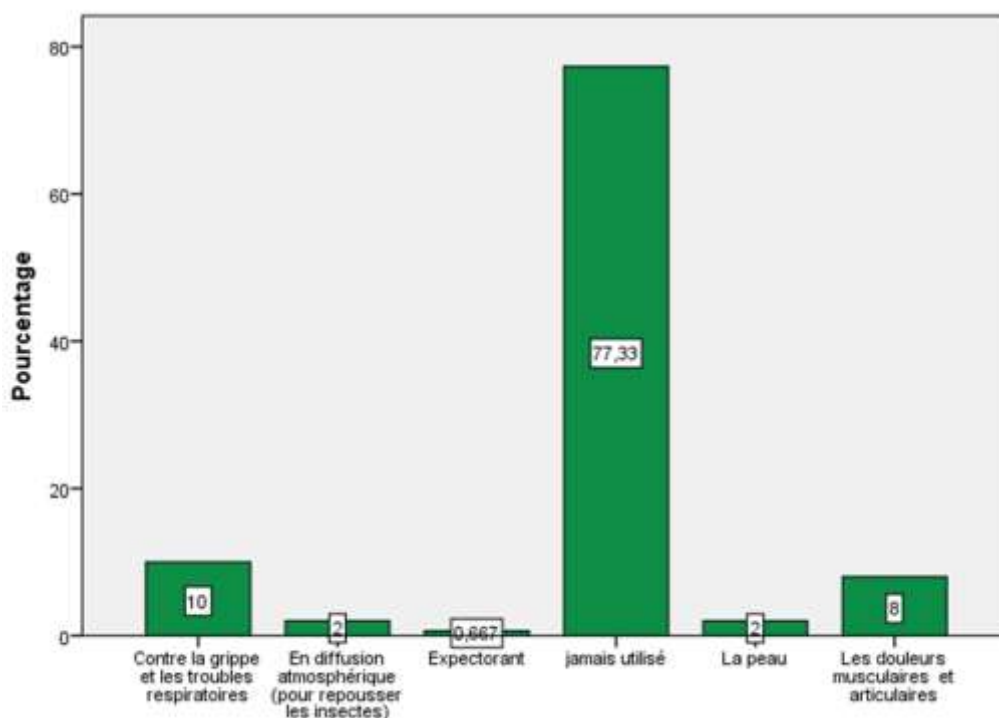


Figure 29 : Usage de l'HE de camphrier.

3. Activités biologiques

3.1. Activité antioxydante

L'analyse de l'activité antioxydante de l'échantillon étudié a été effectuée par trois essais distincts, à savoir les méthodes DPPH, ABTS et FRAP. (Tableau 8). Des différences significatives ($p < 0,05$) ont été observées entre le test DPPH et le test FRAP, comparativement à l'acide ascorbique et au trolox, respectivement. Il existe une différence très significative ($p < 0,001$) pour le test ABTS par rapport au trolox.

Tableau 8 : Activité antioxydante de l'HE de *C. camphora*.

Test	HE de <i>C. camphora</i>	Acide Ascorbique	Trolox
DPPH (IC50 $\mu\text{g mL}^{-1}$)	162.5 $\pm$ 3,4*	24.3 $\pm$ 0,3	-
ABTS (IC50 $\mu\text{g mL}^{-1}$)	589.9 $\pm$ 5,0+++	-	5.8 $\pm$ 0,8
FRAP(mmol Fe(II).g ⁻¹)	12.5 $\pm$ 0,01 ⁺	-	5.6 $\pm$ 0,0

Deux comparaisons ont été effectuées, où le niveau de signification est de ($p < 0,05$) :

* : comparaison de l'HE vs l'acide ascorbique ;

+ : comparaison de l'HE vs le trolox, avec :

* / + pour $p < 0,05$, ** / ++ pour $p < 0,01$, et *** / +++ pour $p < 0,001$.

3.2. Activité Anti-enzymatique

Les résultats de l'évaluation des activités anti-enzymatiques de l'HE de *C. camphora* sont présentés dans le tableau 9. L'activité inhibitrice des cholinestérases a été évaluée par la capacité de l'HE de *C. camphora* d'inhiber les activités de l'AChe et de la BChE. Alors que, l'activité antidiabétique a été examinée à travers son effet inhibiteur sur l' α -amylase et l' α -glucosidase. Les résultats montrent une variation hautement significative ($p < 0,01$) de l'activité inhibitrice de l'ACHE par rapport au Galantamine et une variation très hautement significative

($p < 0,001$) pour l'activité inhibitrice de l'BCHE par rapport au Galantamine. Concernant les l'activités inhibitrices de α - amylase et α - glucosidase, les variation était très hautement significative ($p < 0,001$) comparativement à l'acarbose.

Tableau 9 : Activité anti-enzymatiques de l'HE de *C. camphora*.

Enzyme	HE de <i>C. camphora</i> (IC50 $\mu\text{g/mL}$)	Galantamine (IC50 $\mu\text{g/mL}$)	Acarbose (IC50 $\mu\text{g/mL}$)
AChe	10500 $\pm$ 400**	1.2 $\pm$ 0.4	-
BChe	20200 $\pm$ 800***	4.7 $\pm$ 1.4	-
α- amylase	7800 $\pm$ 600 ⁺⁺⁺	-	10.0 $\pm$ 5.2
α- glucosidase	2780 $\pm$ 700 ⁺⁺⁺	-	960.0 $\pm$ 0.47

Deux comparaisons ont été effectuée, Où le niveau de signification est de ($p < 0,05$) :

* : comparaison de l'HE vs la galantamine;

+ : comparaison de l'HE vs l'acarbose , avec :

*/ + pour $p < 0,05$, **/ ++ pour $p < 0,01$, et ***/ +++ pour $p < 0,001$.

3.3. Activité antifongique

L'activité antifongique de l'HE de *C. camphora* a été testée contre sept champignons phytopathogènes : *M. laxa*, *M. fructicola*, *S. sclerotiorum*, *C. gloeosporioides* et *B. cinerea*, *P. cucumerina*, *A. niger*. Les résultats présentés dans la figure 30, ont montré que à la concentration de 10 000 ppm, l'HE a pu inhiber la croissance mycélienne de cinq souches phytopathogènes testées : *M. laxa*, *M. fructicola*, *S. sclerotiorum*, *C. gloeosporioides* et *B. cinerea* ; et a démontré une activité antifongique potentielle contre ces souches (% d'inhibition du mycélium= 100 %). Cependant, 80 % du mycélium de *P. cucumerina* ont été inhibés à la même concentration.

En ce qui concerne *A. niger*, cette souche a montré une sensibilité plus faible que les autres champignons étudiés, puisqu'elle n'a présenté qu'une inhibition du mycélium de 17,8 % à la concentration la plus élevée testée (10 000 ppm). Néanmoins, une inhibition notable de la production de spores a été enregistrée (Figure 31). Des travaux antérieurs ont démontré que la réponse des champignons aux huiles essentielles varie en fonction de l'espèce, ce qui explique leur sensibilité à certaines huiles et leur résistance à d'autres (Kalembe & Kunicka., 2003 ; Cosić et al., 2014).

À la concentration de 7 000 ppm, *M. laxa*, *M. fructicola*, *C. gloeosporioides* et *P. cucumerina* ont montré un taux d'inhibition dépassant les 50%, à l'opposé de *S. sclerotiorum* (4,2%), *A. niger* (5,4%) et *B. cinerea* (29,4%). Comme l'indique la figure 30, il est à noter qu'une inhibition de la production de sclérotés (structures noires en phase de repos) est observée chez *S. sclerotiorum* à une concentration de 7 000 ppm. De manière générale, On constate que l'activité antifongique présente une corrélation positive avec la concentration en HE, car l'augmentation de la concentration en HE entraînant une inhibition plus marquée de la croissance fongique.

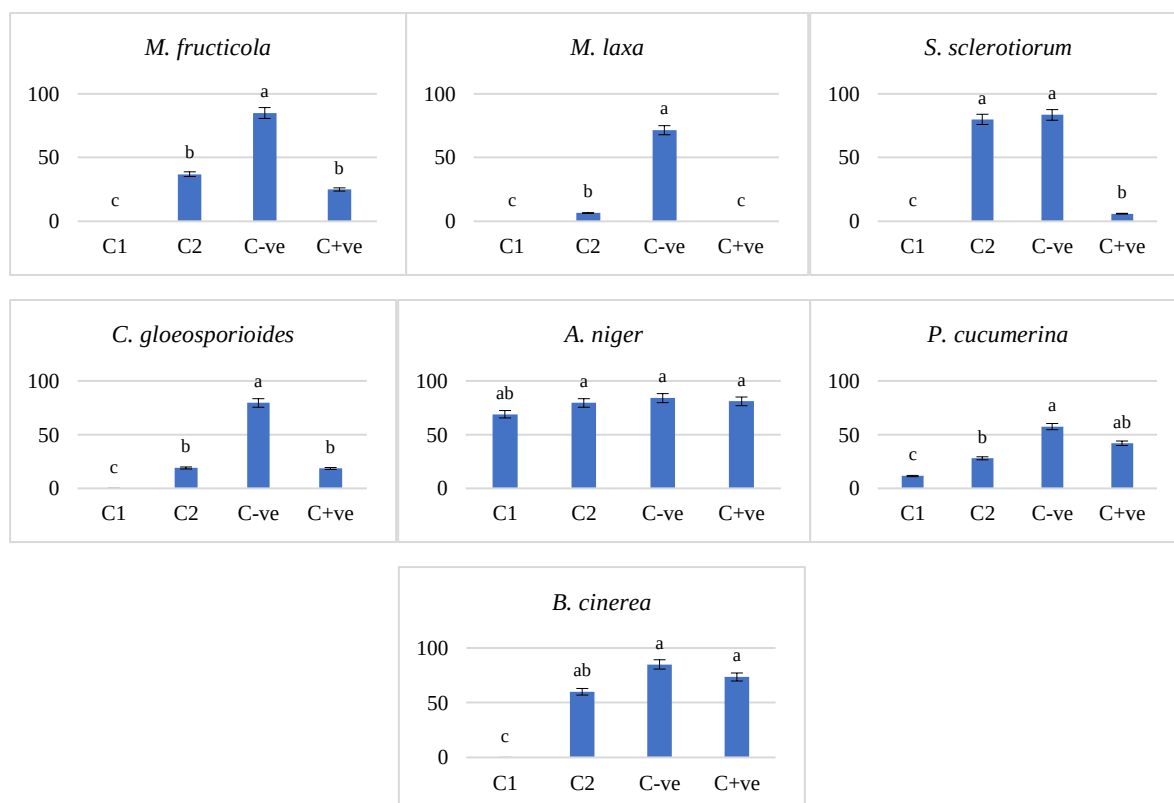


Figure 30 : Pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne (MGI %) de l'HE de *C. camphora*. Où : C1 : 10 000 ppm, C2 : 7 000 ppm, C-ve : PDA, C+ve : azoxystrobin + cycloheximide. Le niveau de signification est de ($p < 0,05$), avec : ^a correspond à $p < 0,05$, ^b correspond à $p < 0,01$, et ^c correspond à $p < 0,001$.

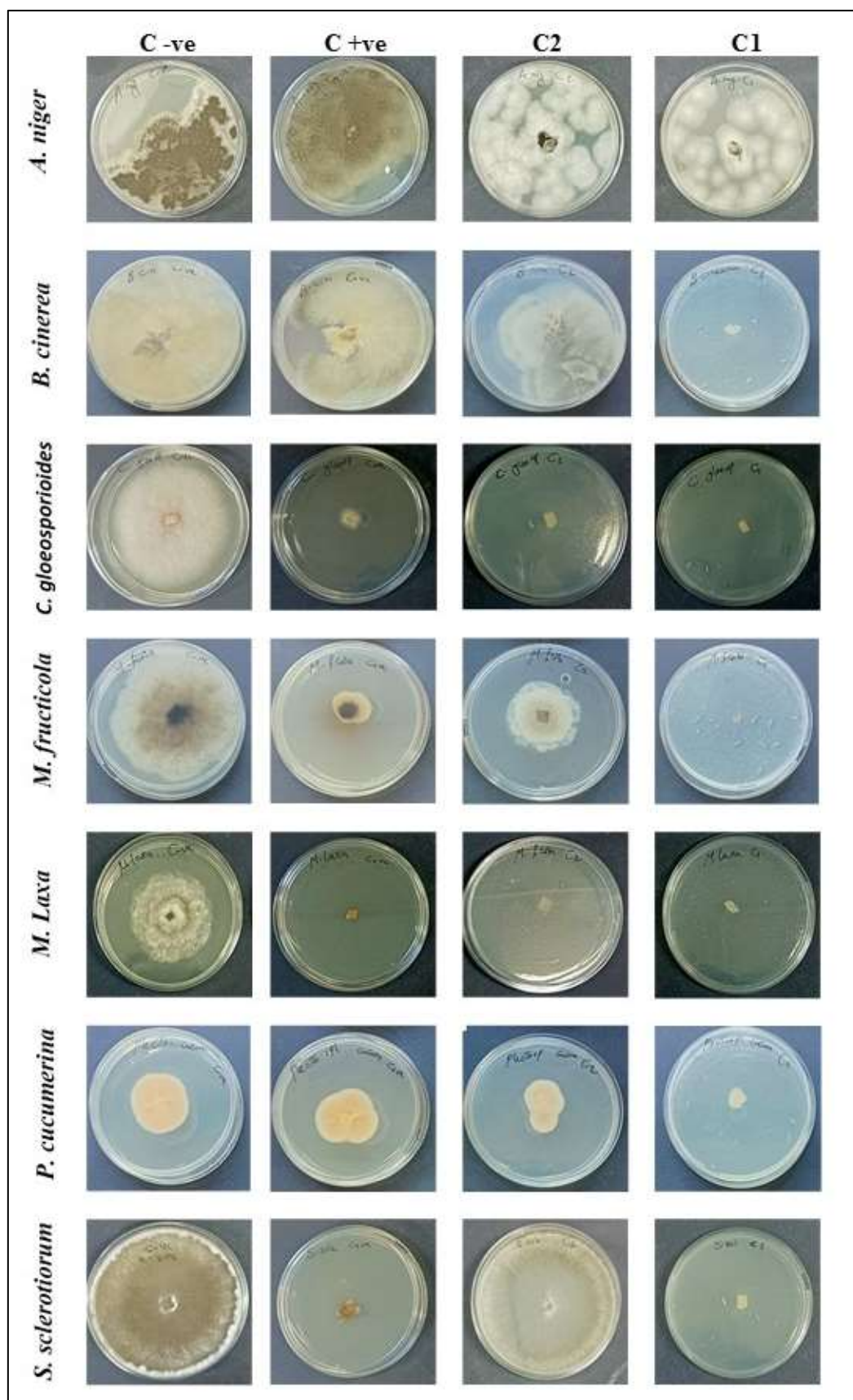


Figure 31: Activité antifongique de l'huile essentielle de *C. camphora*. Où : C-ve : est le contrôle négatif, C+ve est un mélange d'azoxystrobine et de cycloheximide, C1 : 10 000 ppm, C2 : 7 000 ppm.

3.3.1. Concentration minimale inhibitrice (CMI) de l'activité antifongique

La CMI a été définie comme la concentration la plus faible où aucune croissance mycélienne n'est visible (**Jiang et al., 2013**). Les CMI ont été calculées à partir des valeurs d'absorbance à 450 nm, Où les valeurs obtenus étaient de $7\,000 \pm 10,900$ et $8\,000 \pm 13,400$ ppm pour *M. laxa* et *C. gloeosporioides*, respectivement (Tableau 10).

Tableau 10 : Les valeurs minimales inhibitrices (CMI) de l'HE du camphrier.

	Absorbance 450 nm							CMI ppm
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C-ve	
<i>M. laxa</i>	0.130	0.146	0.150	0.164	0.402	0.692	0.975	$7000 \pm 10,900$
<i>C. gloeosporioides</i>	0.402	0.453	0.507	0.812	0.862	0.987	1.200	$8000 \pm 13,400$

Où : C1 : 10 000, C2 : 9 000, C3 : 8 000, C4 : 7 000, C5 : 6 000, C6 : 5 000 (ppm) et C-ve : sont les plaques de contrôle négatif contenant uniquement du PDB.

3.4. Activité antibactérienne

Lors de notre recherche, l'HE testée n'a montré aucune activité antibactérienne contre les souches utilisées, même à la concentration la plus élevée (10000 ppm) (Figures 32 et 33).

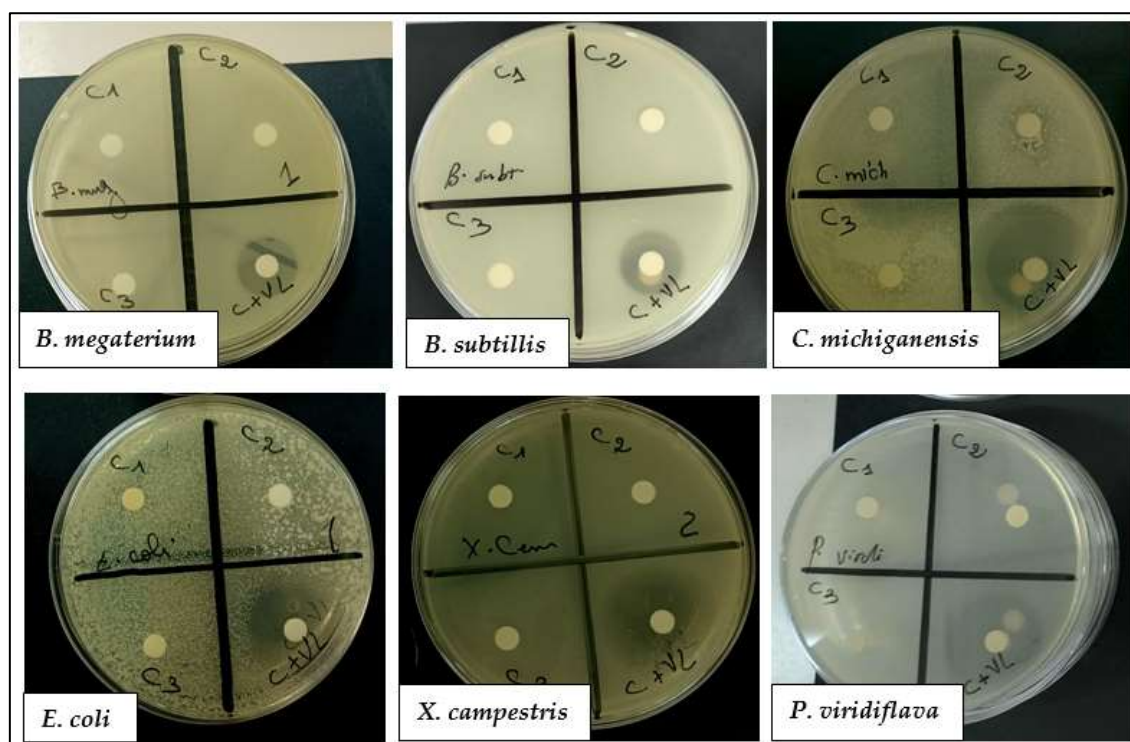


Figure 32 : Test de diffusion sur disque (zone d'inhibition) de l'HE. Où : C1= 5000, C2=1000, C3= 100 ppm.

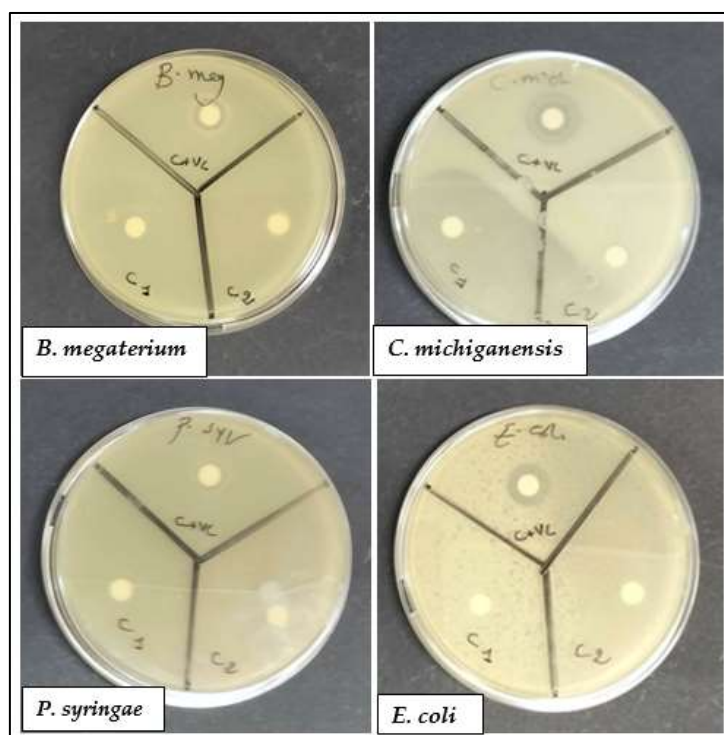


Figure 33 : Activité antibactérienne de l'HE de *C. camphora*. Où : C1= 10000 ppm et C2= 7000 ppm.

3.5. Cytotoxicité

Le test de viabilité cellulaire MTT a été utilisé pour évaluer la cytotoxicité des huiles essentielles. Une diminution très hautement significative de viabilité ($p < 0,001$) a été observée à 250 $\mu\text{g/mL}$ par rapport aux cellules témoins, tandis que les faibles concentrations (5, 25,5 et 100 $\mu\text{g/mL}$) n'ont pas montré de changements significatifs (Figure 34).

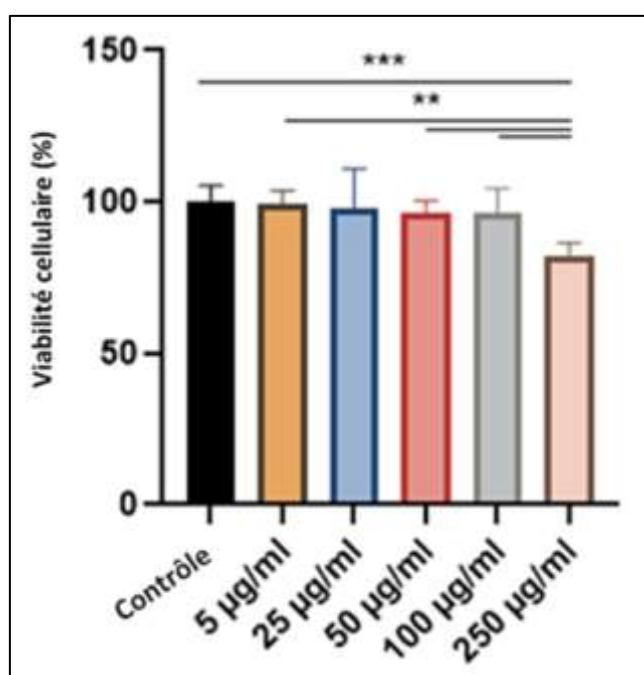


Figure 34 : Résultat de la cytotoxicité. Où le niveau de signification est de ($p < 0,05$), avec : * pour $p < 0,05$, ** pour $p < 0,01$, et *** $p < 0,001$.

3.6. Cicatrisation des plaies

D'après les résultats obtenus (Figures 35 et 36), on a constaté que le CCEO (100 µg/mL) favorise une cicatrisation plus rapide par rapport au groupe témoin, avec une fermeture du tissu cicatriciel de 59 % contre 53% respectivement dans un délai de 24 heures. Après 72 heures, la fermeture du tissu cicatriciel atteignait 90 %. En revanche, le groupe de contrôle montrait une fermeture du tissu cicatriciel de 77 %.

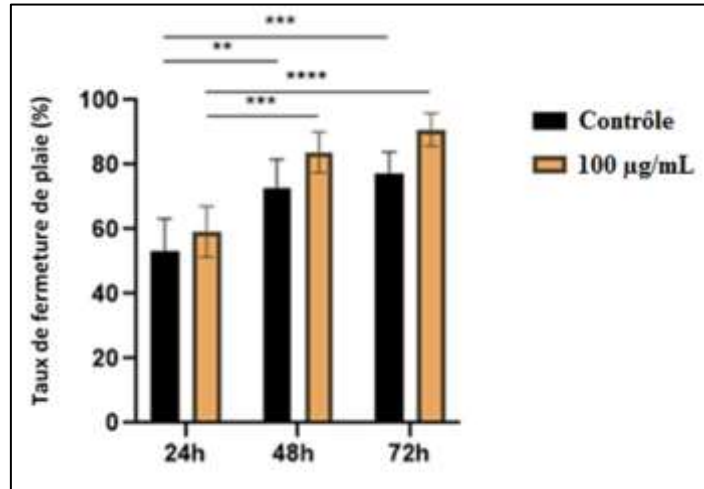


Figure 35 : Résultats de test de cicatrisation *in vitro*.

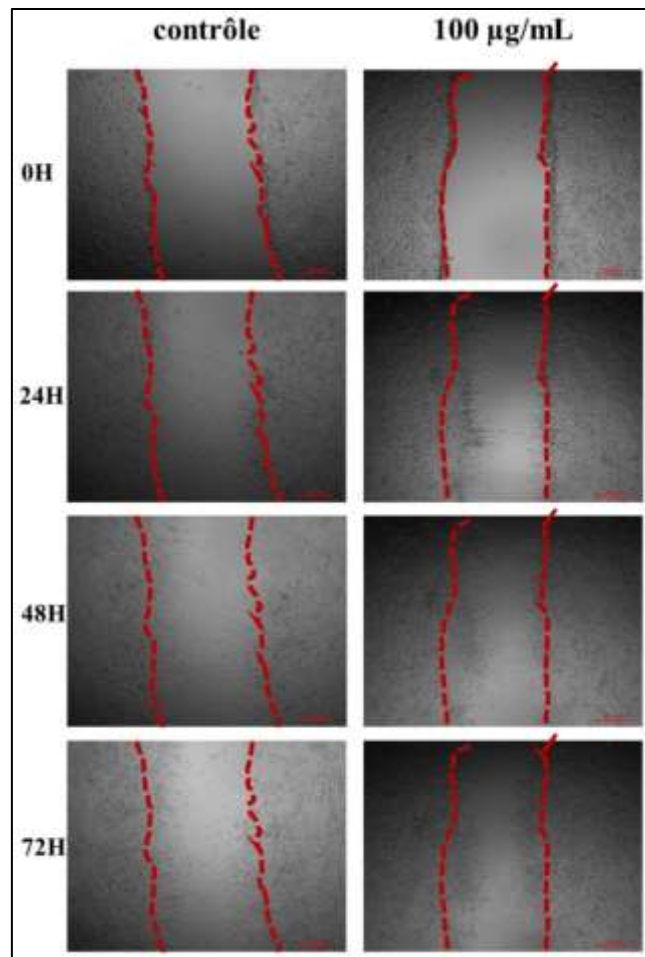


Figure 36 : Image représentative de la cicatrisation des plaies par l'HE de *C. camphora*.

DISCUSSION

• Rendement d'extraction

Dans une étude récente, deux méthodes d'extraction d'huile essentielle du camphrier d'origine chinois ont été comparées : l'hydrodistillation, qui a donné un rendement relativement faible de 0,368 %, et l'extraction au dioxyde de carbone supercritique, qui a permis d'obtenir un rendement plus élevé de 5 % (Zhang et al., 2022b).

De nombreux facteurs tels que les conditions environnementales (qualité du sol, climat...), la génétique, le stade de maturité de la plante, l'organe végétal exploité et la période de la récolte peuvent avoir un impact sur le rendement et la composition des huiles essentielles. Ces facteurs sont interdépendants et se influencent entre eux les autres (Dhifi et al., 2016).

• Propriétés organoleptiques

D'après (Sadgrove et al., 2022), les composés organiques volatils (COV), ont un impact majeur sur l'odeur, la couleur, ainsi que sur la viscosité des huiles essentielles. Par exemple, les huiles essentielles riches en eudesmol des espèces de *Leptospermum* ont une texture visqueuse, semblable à celle du miel. Tandis que, la forte teneur en eudesmol chez *Eucalyptus nova-angelica* peut conférer à son huile essentielle un aspect similaire à la cire, ou comme un bloc de camphre

• Propriétés physicochimiques

- La densité est considérée comme l'une des propriétés physiques les plus couramment utilisées dans la classification des HE. Cependant, son utilisation doit être accompagnée d'autres paramètres, tels que l'indice de réfraction, afin de permettre une identification plus précise des HE (Mahboub et al., 2019). D'après le tableau n°4, la valeur de densité obtenue est de l'ordre de $0,88 \pm 0,029$ g/mL. Ce résultat est proche de celui rapporté par Ling et al. (2022), dont les valeurs variaient entre 0.879 ± 0.021 et 0.894 ± 0.001 g/mL pour l'HE de feuilles de *C. camphora* (Chémotypes de citral), provenant de différentes origines géographiques Chinoises.

D'autre part, le résultat obtenu est inférieur à ceux mentionnés par Chen et al. (2014) et Liu et al. (2022). Ils ont rapporté des valeurs de 0,92 g/mL et de 0.90 ± 0.03 g/mL pour l'HE de feuilles de *C. camphora* (Jiangsu, Chine) et pour l'HE d'écorce de fruit de *C. camphora* (Nanchang, Chine), respectivement.

- L'indice de réfraction, est l'un des nombreux paramètres permettant de déterminer la qualité d'une huile. Les résultats montrent que l'indice de réfraction de l'huile essentielle de *C. camphora* a été déterminé à $1,4800 \pm 0,008$ à une température de 20 °C. Cette valeur est plus élevée que celles obtenues pour les différentes fractions de l'huile essentielle des feuilles de *C. camphora* provenant d'Indonésie qui présentent un indice de réfraction compris entre 1.409 et 1.468 (Silau et al., 2021). En revanche, le résultat obtenu est inférieur à ceux rapportés par Saha et al. (2023), où les valeurs étaient de 1.533 ± 0.002 et 1.525 ± 0.002 pour l'HE des feuilles des chémotypes *C. verum* Kharagpur (Cv-K) et Mamit (Cv-M), respectivement.

- L'analyse du pH a indiqué que l'HE testée est légèrement acide (pH= 6). Cette valeur est supérieure à celle de Kouam et al. (2017), qui a trouvé un pH= 4,5 pour l'HE de *Monanthotaxis*

Capea. Cependant, elle est inférieure à celle obtenue pour l'HE *Cymbopogon schoenanthus* (pH= 7,4) (**Mahboub et al., 2019**). Il est important de souligner que le pH peut être considéré comme un indicateur de la qualité des huiles essentielles, puisqu'il joue un rôle clé dans les réactions chimiques et biochimiques et influence directement leurs propriétés stabilisatrices, en particulier les effets antioxydants et antimicrobiens (**Mahboub et al., 2019**). Ce paramètre est probablement lié à la composition chimique de l'HE, comme la présence de substances et de molécules à caractère acide (**Belkhodja et al., 2021**).

- **Screening phytochimique**

Nos résultats concordent avec ceux rapportés par **Hammood et al. (2024)** qui a constaté que l'extrait aqueux de feuilles de *C. camphora* contenait de nombreux composés actifs, notamment, des saponines, des tanins et des alcaloïdes, tandis que les terpénoïdes étaient absents. En outre, l'extrait éthanolique contenait également la même composition ainsi que d'autres constituants tels que des glycosides, des alcaloïdes et des acides aminés.

Les métabolites secondaires constituent des composés clés impliqués dans les mécanismes de défense des plantes face aux agressions biotiques et abiotiques (**Rikisahedew et al., 2023**). Ces composés se divisent en trois classes : les composés phénoliques, les terpénoïdes et les composés azotés. Les tanins font partie des composés phénoliques et sont largement présents dans de nombreuses plantes, où ils contribuent à leur saveur, à leur astringence et à de nombreux bienfaits pour la santé (**Melo et al., 2023; Cosme et al., 2025**).

Quant aux terpénoïdes, ils représentent une large classe de métabolites secondaires, caractérisés par une grande diversité structurale et fonctionnelle. Ces composés sont également associés à de nombreuses activités biologiques, telles que les effets anti-inflammatoires, antioxydants, antimicrobiens, antiallergiques, ainsi que des propriétés antiangiogéniques et antimétastatiques (**Câmara et al., 2024**). En ce qui concerne les alcaloïdes, ils constituent un large groupe de composé naturels. Les alcaloïdes ont démontré un large éventail d'activités biologiques, et certains d'entre eux ont même été développés comme médicaments thérapeutiques, comme la morphine et la caféine (**Zorrilla & Evidente., 2022**).

Les saponines sont des glycosides stéroïdiens ou triterpénoïdes, largement répandus dans les plantes, possèdent divers effets biologiques, notamment des activités hémolytiques, molluscicides, antimicrobiennes et anti-inflammatoires (**Sparg et al., 2004 ; Desai et al., 2009**). Concernant les quinones, elles sont aussi des composés naturels largement répandus, que l'on retrouve dans les plantes médicinales, certaines sources animales et marines, ainsi que dans divers aliments fermentés. Ces substances ont la capacité de se lier ou d'interagir avec différents récepteurs biologiques, provoquant ainsi un large spectre d'effets pharmacologiques (activités anti-inflammatoires, anticancéreuses, antidiabétiques) (**Zhang et al., 2025**).

- **Composition chimique de l'huile essentielle de *C. camphora***

Des études antérieures ont rapporté la présence de cinq chémotypes pour le camphrier qui sont : les types linalol, camphre, 1,8-cinéole, bornéol et nérolidol. L'identification de ces chémotypes était basée sur les principaux composants présents dans chaque HE (**Bhandari et al., 2022 ; Lee et al., 2022a**). La détermination de la composition chimique est l'une des étapes essentielles dans l'étude des HE car elle peut déterminer non seulement leurs utilisations possibles dans différents domaines mais aussi la toxicité liée à leurs composants (**Zouari., 2013**). Selon diverses recherches, la toxicité du camphre, en particulier sous forme d'huile de

camphre, est principalement associée à son utilisation abusive par les consommateurs, comme l'ingestion accidentelle, les dosages excessifs et l'utilisation chez les nourrissons (**Zuccarini., 2009 ; Hamidpour et al., 2013**).

Les résultats obtenus concordent avec ceux rapportés par **Chen et al, (2014)**, où le Camphre (40.54%) était le composant dominant dans l'HE de feuilles de *C. camphora*, avec une concentration importante en linalool (22.92%) et 1,8-cinéole (11.26%). Le même chémotype (camphre) a été rapporté par **Pragadheesh et al. (2013)**, dont la teneur en camphre était 74%. **Satyal et al. (2013)**, ont aussi identifié le camphre (36.5%) comme le principal constituant avec autres composés majeurs : le camphène (11.7%), limonène (9.0%), le sabinène (6.3%) et le β -pinène (6.3%). Tandis que l'étude menée par **Shi et al. (2013)** sur des HE de différentes parties du camphrier a montré la présence de D-bornéol comme le composant principal, avec une quantité de (43.5 $\pm$ 0.5%) pour les fleurs, de (66.8 $\pm$ 0.3%) pour les jeunes feuilles et de (49.4 $\pm$ 0.5%) pour les branches épicromiques suivi de l' α -pinène, le 1,8-Cinéole et le limonène dans chaque partie. Un autre chémotype a été détecté par **Xu et al. (2020)**, où le 1,8-Cinéole (53.49%) était le composant dominant, les autres constituants majeurs étaient le β -Terpinène (17.44%), l' α -Terpinéol (9.45 %), l' α -Pinène (4.71%) et le β -Pinène (3.39%). Par contre le chémotype linalol (26.6%) a été signalé par **Chen et al. (2020b)**, suivi de 1,8-cinéole (16.8%), l' α -Phellandrène, l' α -Terpinéol (8.7%), l'Isobornéol (8.1%), le β -Phellandrène (5.1%) et le camphre (5%).

Il a été démontré que la composition et le rendement en huile essentielle de *C. camphora* varient en fonction des parties de la plante utilisées. Les résultats observés ont révélé la présence de 27 constituants dans l'huile essentielle extraite de l'écorce, avec le D-camphre (51,3 %) comme composé majoritaire, tandis que 17 constituants ont été identifiés dans l'huile essentielle issue des fruits, où le 1,8-cinéole (5,3 %) prédomine (**Guo et al., 2016**).

Cependant, les paramètres susceptibles d'influencer la composition des plantes notamment la période de récolte, le stade de développement, les conditions environnementales, la nature du sol, le climat et l'altitude, doivent être pris en considération, car ils peuvent modifier la composition chimique d'individus appartenant à une même espèce, partageant pourtant le même génome et le même phénotype, et par conséquent influencer leurs activités biologiques (**Benomari et al., 2023**).

• Composition chimique de l'extrait méthanolique de *C. camphora*

Les acides phénoliques et les flavonoïdes sont des composés bioactifs naturels produits par les plantes. Ils présentent de multiples caractéristiques biologiques : anti-inflammatoires, antioxydantes et anticancéreuses, cytotoxiques et antidépressives chez l'être humain (**Golawska et al., 2023**). De plus, les polyphénols sont également des composés bioactifs reconnus pour leurs multiples rôles thérapeutiques, notamment leur utilisation dans le traitement des maladies cardiovasculaires, des inflammations, la gestion de l'obésité et dans la neuromodulation (**Ciupei et al., 2024**).

Une étude réalisée par **Li et al. (2018)**, a montré que l'analyse phytochimique effectuée par gel de silice CC, Sephadex LH-20 et HPLC semi-préparative de l'extrait éthanolique (obtenu à partir des parties aériennes de *C. camphora* (L.) J. Presl), a permis d'identifier la présence de 25 constituants chimiques, notamment des flavonoïdes, des dérivés phénoliques, des coumarines, des phénylpropanoïdes, des anthraquinones et des lignanes. De plus, **Sobhy et al.**

(2023), a déterminé la composition chimique de l'extrait méthanolique de *C. camphora* par HPLC. Les résultats obtenus ont révélé que l'extrait méthanolique contenait des concentrations élevées de composés polyphénoliques (phénoliques et flavonoïdes. Parmi les composés phénoliques identifiés figuraient l'acide p-coumarique, l'acide syringique, l'acide gallique, l'acide caféique, l'acide benzoïque et l'acide férulique. En outre, les flavonoïdes détectés comprenaient l'hésperidine, la naringine, la quercétine, la 7-OH flavone et l'apigénine et la catéchine.

- **Analyse FT-IR**

Le spectre de FTIR de l'HE de feuilles de *C. camphora* est présenté dans la figure 17. D'après les travaux précédents (Nunes et al., 2020 ; Tyagi et al., 2022), les pics localisés autour de 2956,52, 2877,68, 1741,45, 1448,70, 1376,81 et 748,41 cm^{-1} , sont considérés comme des spectres caractéristiques correspondant au camphre. Les pics enregistrés à 2956,52 et 2877,68 cm^{-1} , étaient étroitement liés à l'étirement asymétrique et symétrique (C–H) dans les alcanes (Truzzi et al., 2021), et ils ont généré un signal caractéristique à 1448,70 cm^{-1} , lié aux vibrations de flexion des groupements CH_3/CH_2 (Vargas Jentzsch & Ciobotă., 2014 ; Catauro et al., 2017). Une autre bande utile en termes d'identification de l'HE de *C. camphora* est la bande d'étirement caractéristique des groupes céto substitués sur un système cyclique cyclopentane présent dans le camphre, qui apparaît à 1741,45 cm^{-1} (Gudi et al., 2015). Les groupes méthylène diméthyl-substitués présent dans le camphre produit un pic de déformation à 1376,81 cm^{-1} (Gudi et al., 2015). Le spectre a également montré des pics à 1323,48 et 1280,56 cm^{-1} , qui pourraient être associés à la courbure du groupe O–H (Catauro et al., 2017). La bande à 1087,54 cm^{-1} est dû aux vibrations des étirements symétriques du groupe C–O–C (García et al., 2017). l'absorption à 1037,68 cm^{-1} signifie est lié à la déformation C–O dans les alcools secondaires et les éthers aliphatiques (Yan et al., 2019). alors que la bande à 855,65 cm^{-1} pourrait être attribuée à la courbure hors plan C–H du vinylidène contenu dans le camphène (Truzzi et al., 2022). La bande à 748,41 cm^{-1} correspond à l'absorption des vibrations des cycles benzéniques CH (Li et al., 2013 ; Behbahani et al., 2020), la faible bande à 648,12 cm^{-1} peut être liée à la déformation du cycle de l' α -pinène (Vargas Jentzsch & Ciobotă., 2014).

- **Activité antioxydante**

Les résultats obtenus ont montré que notre huile essentielle testée possède une activité antioxydante modérée (Tableau 8). En particulier, pour le test du DPPH, l'HE de *C. camphora* a démontré une activité antioxydante faible ($\text{IC}_{50} = 162,5 \pm 3,4 \mu\text{g/mL}$), comparativement à l'acide ascorbique qui avait une valeur d' $\text{IC}_{50} = 24,3 \pm 0,3 \mu\text{g/mL}$. D'après Ioannou et al. (2023), plus la valeur d' IC_{50} est faible, plus l'activité antioxydante est forte.

Notre résultat concorde avec ceux de Kanial et al. (2024), qui ont étudié l'effet de la méthode de séchage sur l'activité antioxydante (test DPPH) de l'HE extraite de feuilles du camphrier d'Inde. Leurs résultats ont montré que l'activité antioxydante des feuilles séchées à l'ombre ($\text{IC}_{50} = 25,0 \pm 0,03 \mu\text{g.mL}^{-1}$) était supérieure à celle des feuilles séchées au four ($\text{IC}_{50} = 58,5 \pm 0,01 \mu\text{g.mL}^{-1}$), ce qui démontre que la méthode de séchage joue un rôle dans le potentiel antioxydant de l'HE étudiée. Cependant, dans les deux cas, le potentiel antioxydant est inférieur à celui des antioxydants : synthétique (BHT avec $\text{IC}_{50} = 13,83 \pm 0,02 \mu\text{g.mL}^{-1}$) et naturel (catéchine avec $\text{IC}_{50} = 3,07 \pm 0,02 \mu\text{g.mL}^{-1}$). De plus, l'activité mesurée est forte par rapport à celles notées par Ling et al. (2022), qui ont signalé que les valeurs du IC_{50} de l'huile essentielle obtenue à partir des feuilles de sept variétés de camphrier variaient entre $6,88 \pm 0,15$ et $28,13 \pm 0,44 \text{ mg/mL}$.

Pour le test ABTS, On remarque que notre HE a révélé une activité faible ($IC_{50} = 589,9 \pm 5,0$ $\mu\text{g/mL}$), en comparaison avec standard utilisé (le Trolox qui présente un IC_{50} de $5,8 \pm 0,8$ $\mu\text{g/mL}$). Alors que, le résultat présentée dans cette étude indique une activité antioxydante plus élevée que celle mentionnée par **Ling et al. (2022)**, qui ont relevé des valeurs de IC_{50} variaient entre $19,08 \pm 0,02$ et $117,22 \pm 5,4$ mg/mL pour les HE du camphrier obtenus à partir de 7 sept variétés différentes.

Concernant le test FRAP, on note que l'HE de *C. camphora* présente une activité faible ($12,5 \pm 0,01$ mmol Fe(II)/g) à celle du Trolox ($5,6 \pm 0,0$ mmol Fe(II)/g). Cependant, elle est forte que celle rapporté par **Zakaria et al. (2023)**. Dont la valeur d' IC_{50} était de ($63,1$ mmol Fe(II)/g), pour l'HE de feuilles de *C. glanduliferum*.

Selon **Zengin et al., (2014)**, les monoterpènes présents dans les huiles essentielles influencent leur activité antioxydante. Dans le même contexte, une étude récente a démontré que des températures plus élevées affectent la production de monoterpènes chez le camphrier, (pour le chémotype de camphre) et qu'en été, la composition chimique de cette plante est significativement plus riche en monoterpènes qu'aux autres saisons, ce qui se traduit par une efficacité accrue (**Tian et al., 2021b**). D'autre part, cette activité peut également s'expliquer par la présence d'autres composés non phénoliques en faible quantité comme le γ -Terpinène (0,90 %) qui possède également un effet antioxydant comparable à celui de l'alpha tocophérol et d'autres phénols (**Ruberto et Baratta., 2000**).

Bien que les résultats obtenus démontrent que l'activité antioxydante de l'HE est significativement inférieure à celle des références évaluées, il convient de noter que l'HE demeure une substance naturelle dont l'utilisation est sans danger pour l'homme et pour l'environnement.

• Activité Anti-enzymatique

D'après les résultats obtenus (Tableau 9), on remarque que l'activité inhibitrice de l' α -glucosidase ($IC_{50} = 2780 \pm 700$) était la plus élevée, comparée aux autres enzymes testée, suivi par l'activité inhibitrice de: l' α -amylase ($IC_{50} = 7800 \pm 600$), de l'AChe ($IC_{50} = 10500 \pm 400$) puis de BChE ($IC_{50} = 20200 \pm 800$).

Concernant l'activité inhibitrice des cholinestérases, **Bai et al. (2024)**, ont constaté que l'huile essentielle de *C. camphora* n'avait aucun effet significatif sur l'activité de l'AChE, tandis que **Rawat et al. (2023)**, ont rapporté que l'huile essentielle de *C. camphora* présentait un potentiel inhibiteur de l'AChE élevé ($53,61 \pm 2,66$ %), comparé à *C. Tamala* ($46,12 \pm 1,52$ %); et que cela pourrait être dû à sa richesse en monoterpènes oxygénés (70,63 %). De plus, l'activité inhibitrice des cholinestérases pourrait être associée à la composition chimique des HE (**Burčul et al., 2020 ; Zlotek et al., 2020 ; Rants'o et al., 2022**). Une recherche menée par de **Farage et al. (2016)**, a révélé que quelques composés présentent une meilleure efficacité dans l'inhibition de l'acétylcholinestérase comparativement à d'autres, tels que le 1,8-cinéole qui se montre plus performant que l'huile essentielle du camphre.

Alors que, pour l'activité antidiabétique l'étude effectuée par **Shameem Jugreet et al. (2021)**, a montré que l'HE de *C. camphora* testée n'a pas inhibé l'enzyme de l' α -glucosidase. D'autres espèces du genre *Cinnamomum*, comme le *C. zeylanicum*, ont démontré leur potentiel biologique, notamment grâce à son HE qui inhibe l'activité des enzymes AChE et BChE, selon une dynamique dose-réponse (**Kiran et al., 2016**). La même espèce a aussi démontré son

efficacité contre l' α -amylase (Mutlu et al. 2023) ; et l' α -glucosidase (Kaskoos., 2019). En outre, les HE de *C. wightii* et de *C. chemungianum* ont révélé une forte action antidiabétique en inhibant l' α -amylase et l' α -glucosidase (Sriramavaratharajan and Murugan 2018a; Sriramavaratharajan and Murugan 2018b).

L'amarrage moléculaire a révélé que chaque composé était lié à un site du domaine catalytique de l'AChE et que le camphre et le 1,8-cinéol interagissaient avec les mêmes acides aminés clés Trp84 et Phe 330. Ceci provoque un effet antagoniste entre le camphre et le 1,8-cinéol, contrairement à l'association du 1,8-cinéol avec l' α -pinène, qui a montré un effet synergique (Savelevet al., 2003 ; Kitphati et al., 2012). Le monoterpène limonène est connu comme un inhibiteur de l'AChE ; il interagit avec les résidus Phe338, Trp86, Tyr341 et Tyr37 (Silva Júnior et al., 2024). Selon Calva et al. (2023), l'enzyme BChE est également inhibée de la même manière que l'AChE ; il a été observé que le site actif de cette enzyme est plus grand que celui de l'AChE. De manière générale, l'inhibition des cholinestérases peut être attribuée à l'affinité des composés bioactifs des huiles essentielles pour les sites actifs des enzymes, l'intensité de l'effet étant proportionnelle au nombre de récepteurs occupés (Owokotomo et al., 2015).

● Activité antifongique

L'huile essentielle de camphrier constitue une option efficace aux fongicides pesticides chimiques pour la préservation des fruits et légumes (Wei et al., 2022).

À notre connaissance, aucune étude antérieure n'a évalué l'activité antifongique de feuilles de *C. camphora* vis-à-vis de *M. laxa*, *M. fructicola*, *S. sclerotiorum* et *P. cucumerina*. L'activité antifongique de l'huile essentielle de *C. camphora* a montré une activité antifongique significative contre les champignons phytopathogènes. L'huile a provoqué une inhibition de 100 % de la croissance mycélienne de *M. laxa*, *M. fructicola*, *S. sclerotiorum*, *C. gloeosporioides* et *B. cinerea* avec une inhibition de 80 % de *P. cucumerina* à la concentration la plus élevée (10 000 ppm). En revanche, *A. niger* a montré une sensibilité plus faible à l'HE testée (17,8%) et la croissance du mycélium s'est faite avec une séparation cellulaire distincte avec inhibition de la production de spores pour *A. niger*.

Plusieurs études ont montré que l'huile essentielle de *C. camphora* avait une activité antifongique contre *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Curvularia lunata*, *Alternaria alternata* et des espèces de *Candida* (Elsayed et Shabana, 2018 ; Gulerria et Kumar, 2006 ; Satyal et al., 2013). Selon Mahilrajan et al. (2014), l'huile de camphre s'est avérée être l'huile essentielle la plus efficace contre *A. niger*, éliminant 97,4% de ses spores vivantes.

Le camphre représente le constituant le plus abondant dans l'huile essentielle étudiée. Huo et al. (2022), ont testé l'activité antifongique du camphre contre *Fusarium* et ont suggéré que le mécanisme antifongique implique principalement son interférence avec l'expression des gènes et la synthèse des protéines dans les cellules fongiques, Cela entraîne une altération de l'intégrité structurale des cellules fongiques ainsi qu'une augmentation de la perméabilité des membranes cytoplasmiques. Il permet également la libération de substances intracellulaires et l'augmentation du REC au niveau physiologique.

Wang et al. (2017), ont extrait l'HE de feuilles du camphrier pour tester son activité contre les champignons phytopathogènes, tels que *Colletotrichum gloeosporioides*, *Botrytis cinerea* et

Fusarium graminearum, les résultats obtenus ont montré une excellente activité antifongique et ils s'attendaient à ce que cette efficacité puisse être liée au linalol, le principal composant de l'HE testée. Le linalol, le camphre et le 1,8-cinéole font partie des monoterpènes oxygénés, selon **Zambonelli et al. (1996)**, les monoterpènes oxygénés ont une forte activité contre les pathogènes, ces composés peuvent interférer avec la réaction enzymatique lors de la synthèse de la paroi cellulaire.

Les huiles essentielles sont riches en terpènes, notamment les monoterpènes, les sesquiterpènes et leurs dérivés oxygénés (**Moraes et al., 2018**). Ces composés se caractérisent par leur faible poids moléculaire et leur lipophilie, ce qui leur confère la capacité de provoquer la mort cellulaire, de perturber la membrane cellulaire ou d'inhiber la formation de spores et la germination fongique (**Nazzaro et al., 2017**).

D'après (**Viljoen et al., 2003 ; Satayl et al., 2013 ; Pragadheesh et al., 2013**), L'activité antifongique pourrait être attribuée à une synergie entre les constituants des huiles essentielles, car le camphre, le limonène, l' α -pinène, le β -pinène et le 1,8-cinéole présentent une efficacité antifongique plus marquée lorsqu'ils sont combinés que lorsqu'ils sont utilisés individuellement.

- **CMI de l'activité antifongique**

Concernant les concentrations minimales inhibitrices, nos résultats étaient faibles comparés à ceux obtenus par **Yan et al. (2021)**, Où les CMI de l'HE de *C. camphora* était de 500 μ L/L pour : *Trichoderma viride*, *A. niger* et *Penicillium citrinum*. Toutefois, d'autres espèces de *Cinnamomum* sont reconnues pour leurs propriétés antifongiques. En particulier, **Sukatta et al. (2008)**, ont rapporté que l'huile de cannelle avait des valeurs de CMI allant de 50 à 800 mg/mL contre certains champignons phytopathogènes (*Aspergillus niger*, *Alternaria alternata*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Phomopsis viticola*, *Rhizopus stolonifer*).

De plus, **El-Mogy et al. (2012)**, a démontré que l'huile essentielle de *Cinnamomum cassia* avait une action inhibitrice contre *Botrytis cinerea* sur les fraises, avec une CMI variant entre 400 et 800 ppm.

- **Activité antibactérienne**

Comme l'indiquent les résultats (Figures 32 et 33), Les souches bactériennes testées ont montré une résistance à l'HE de *C. camphora*. Nos résultats sont similaires à ceux cités par **Prabuseenivasan et al. (2006)**, dont l'HE de camphrier (Inde), ainsi que celles d'eucalyptus et d'anis, n'ont montré aucun effet inhibiteur sur les souches testées : *Bacillus subtilis* (MTCC 441), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 15380), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853) et *Proteus vulgaris* (MTCC 1771).

Dans une étude visant à déterminer les propriétés bactéricides plantes médicinales contre différentes espèces bactériennes pathogènes et non pathogènes, il a été rapporté que l'extrait brut de camphrier n'était efficace que contre *Staphylococcus aureus* (ATCC13565) (**Zafar et al., 2019**).

En revanche, plusieurs études ont montré que l'HE de *C.camphora* inhibe la croissance bactérienne. Notamment, l'HE des feuilles du camphrier (Chine) a montré une bonne activité

contre le SARM, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Bacillus subtilis*, *Salmonella gallinarum* et *Escherichia coli* ; dont les principaux composants incluaient le linalol (26,6 %), l'eucalyptol (16,8 %), l' α -terpinéol (8,7 %), l'isobornéol (8,1 %), le β -phellandrène (5,1 %) et le camphre (5,0 %) (**Chen et al., 2020b**).

Une autre HE de *C. camphora* (Chine) a démontré des effets inhibiteurs significatifs contre *S. aureus* ATCC25933, *E. coli* ATCC25922, *P. aeruginosa* et *C. violaceum* ATCC31532. L'effet inhibiteur pourrait être associé aux composés principaux présents dans cette HE (le linalol (51,57%), l'eucalyptol (22,07%), suivi du sabinène, de l' α -terpinéol, du caryophyllène, du nérolidol, de l' α -pinène, du camphre et du β -pinène). Ces derniers peuvent avoir un effet synergique sur plusieurs cibles dans les actions antibactériennes (**Wang et al., 2019**).

Il a également été signalé que l'HE de *C. camphora* (Arabie Saoudite), où l'eucalyptol (62,13 %), 2,6,6-triméthylbicyclo (3,1,1) hept-2-ène (12,20 %), du D-limonène (6,42 %) ont constitué les composés majeurs, a été très efficace contre *Staphylococcus aureus* 24ABS, *Staphylococcus aureus* 418BLD, *Pseudomonas aeruginosa* 89WS, *Acinetobacter baumannii* 28TA, *Acinetobacter baumannii* 21SP, *Klebsiella pneumonia* 192U, *Klebsiella pneumonia* 81TA, *Escherichia coli* 324U. Les valeurs de CMI variaient entre 1,04 et 6,25 % (v/v), et les valeurs de MBC étaient comprises entre 3,13 et 12,5 % (v/v) (**Mujawah et al., 2022**).

L'analyse des différents résultats révèle que la diversité des effets antibactériens observés parmi les HE de *C. camphora*, pourrait être attribuée à la variation de la composition chimique des camphriers cultivés dans des régions écologiques divergentes (**Wang et al., 2020b; Fenghour et al., 2021**). Plusieurs recherches ont prouvé que la diversité des chémotypes au sein d'une même espèce peut apporter des spécificités biochimiques distinctes et par conséquent, des actions biologiques des HE variées (**Benomari et al., 2023**).

• Cytotoxicité et Cicatrisation des plaies

Concernant le test MTT, les résultats ont démontré que l'augmentation de la concentration entraînait une diminution de la viabilité des cellules (fibroblastes embryonnaires de souris NIH/3T3) ; la viabilité la plus élevée ($99,34 \pm 4,447$ %) étant observée à 5 $\mu\text{g/mL}$ et la plus faible ($82,38 \pm 4,190$ %) à 250 $\mu\text{g/mL}$. Dans ce contexte, des chercheurs (**Ibišević et al., 2025**), ont montré que l'huile essentielle de *C. camphora* (Volimo prirodno, Mostar, Bosnie-Herzégovine), réduisait la viabilité cellulaire de manière dose-dépendante lors de l'évaluation de sa cytotoxicité sur les lignées cellulaires cancéreuses H460, HeLa et HCT116, ce qui est cohérent avec nos résultats. La mesure de la cytotoxicité de camphre via le test CCK-8 a également démontré une concentration-dépendante increase in toxicity (**Thanushiyan., 2025**).

Le camphre un puissant agent cicatrisant a montré un effet significatif sur l'épithélialisation et la néovascularisation des brûlures du deuxième degré chez le rat (**Vaghardoost et al., 2018**). Il favorise la prolifération des fibroblastes, par augmentation de production du collagène et de l'élastine dans la peau de souris exposées aux UV, et en réduisant l'expression de la MMP1 (**Tran et al., 2015**). De plus, l'extrait éthanolique de feuilles de *C. camphora* a montré une amélioration de la cicatrisation de la plaie chez le rat Wistar. Cela est dû à la fraction soluble dans l'acétate d'éthyle qui a favorisé la migration des fibroblastes et des cellules épithéliales vers l'endroit de la plaie ainsi que l'augmentation de la teneur en collagène (**Fazmiya et al., 2022**).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion et perspectives

De nos jours, l'adaptation des industries à l'utilisation de produits naturels est devenue une nécessité impérieuse, notamment face à la demande croissante des consommateurs pour des produits biologiques et sains. Notre travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des ressources naturelles, en particulier des plantes médicinales et aromatiques, dont l'objectif principal est de mettre en évidence les applications possibles de l'huile essentielle de *C. camphora* (le camphrier) comme alternative aux produits chimiques dans divers secteurs, tels que les industries pharmaceutique et agroalimentaire, afin de réduire les risques de toxicité humaine et environnementale associés à l'emploi de produits synthétiques.

Dans la première partie, nous avons étudié la composition phytochimique de l'HE de *C. camphora*. Les principales analyses réalisées dans cette partie sont les suivantes :

- l'extraction de l'HE par hydrodistillation, le résultat révèle une valeur de $0,95 \pm 0,050\%$.
- La détermination des propriétés organoleptiques (aspect, odeur, couleur).
- L'analyse des propriétés physicochimiques, telles que le pH, la densité et l'indice de réfraction.
- L'analyse qualitative quelques composés bioactifs via le screening phytochimique.
- L'analyse quantitative à l'aide d'une chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG-SM). Les résultats obtenus ont été confirmés par une spectroscopie infrarouge à transformée de fourier (FTIR), où le camphre (36,81 %), l' α -pinène (9,91 %), le D-limonène (8,63 %) et le camphène (6,99 %), étaient les composés majeurs de cette HE.

La composition chimique de l'extrait méthanolique de *C. camphora* a été identifiée par chromatographie liquide ultra-performante couplée à la spectrométrie de masse (UPLC-MS/MS), dont le résultat a révélé la présence de 28 composés phytochimiques.

Dans la deuxième partie de notre travail, nous avons basé à la collecte des savoirs traditionnels sur l'utilisation de camphrier ainsi que son HE, afin de préserver le savoir ancestral et d'améliorer l'application de cette plante dans divers secteurs.

En ce qui concerne la troisième partie, nous avons évalué *in vitro* les activités biologiques suivantes :

- L'activité antioxydante par trois méthodes (DPPH, ABTS et FRAP) ;
- L'activité anti-enzymatique contre deux pathologies fréquentes : L'activité inhibitrice des cholinestérases a été évaluée par la capacité de l'HE étudié d'inhiber les activités de l'AChE et de la BChE. Alors que, l'activité antidiabétique a été examinée à travers son effet inhibiteur sur l' α -amylase et l' α -glucosidase ;
- L'activité antimicrobienne (antibactérienne et antifongique) ;
- La cytotoxicité et la cicatrisation des plaies.

Nos résultats ont montré que l'huile essentielle testée possède une activité antioxydante modérée et présente un intérêt appréciable en tant qu'antioxydant naturel. En ce qui concerne l'activité anti-enzymatique, l'inhibition de l' α -glucosidase était la plus significative parmi les enzymes évaluées (l' α -glucosidase, l'AChE et la BChE), mais dans l'ensemble, les résultats ont montré une possibilité d'utilisation de cette huile essentielle et de ses composants dans la

production de médicaments anti-enzymatiques dans le cas de diabète et de la maladie d'Alzheimer. De plus, L'HE a démontré une forte activité antifongique contre un large éventail de champignons phytopathogènes responsables de pertes économiques importantes. Les résultats ont montré que la croissance de nombreuses espèces était totalement inhibée à fortes concentrations, ce qui encourage son utilisation comme alternative aux fongicides chimiques. Cependant, aucune activité antibactérienne n'a été observée contre les souches étudiées. En ce qui concerne l'activité cytotoxique, un effet dose-dépendant a été révélé. En outre, l'HE a montré une puissante capacité cicatrisante.

En conclusion, les différentes études menées dans le cadre de cette thèse ont mis en lumière les diverses utilisations possibles de l'huile essentielle de *C. camphora* comme alternative écologique aux fongicides de synthèse, s'inscrivant ainsi dans les efforts mondiaux visant à réduire l'utilisation de fongicides chimiques et la pollution environnementale. De plus, l'utilisation de cette huile essentielle comme antioxydant, inhibiteur enzymatique et agent cicatrisants naturel demeure une alternative intéressante, car il s'agit d'une substance naturelle présentant l'avantage d'être sans danger pour l'homme et l'environnement.

En perspectives, Il s'avère intéressant d'approfondir ces travaux de recherche par :

- Etudier l'effet de la variation saisonnières sur la composition chimique de l'HE de camphrier et ses activités biologiques.
- Evaluation de l'activité antibactérienne de la nanoémulsion de l'HE de camphrier.
- Comparer les activités biologiques des différents extraits de *C. camphora* (Huile essentielle, Extrait méthanolique, Extrait aqueux).

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

- Abdelmohsen, U. R., & Elmaidomy, A. H. (2025). Exploring the therapeutic potential of essential oils: a review of composition and influencing factors. *Frontiers in Natural Products*, 4 (4), 1490511. doi: 10.3389/fntr.2025.1490511
- Abers, M., Schroeder, S., Goelz, L., Sulser, A., St Rose, T., Puchalski, K., & Langland, J. (2021). Antimicrobial activity of the volatile substances from essential oils. *BMC Complement Med Ther*, 21(1), 124. doi: 10.1186/s12906-021-03285-3.
- AFNOR. (2000). Recueil de normes : les huiles essentielles. Tome 2. Monographies relatives aux huiles essentielles. AFNOR, Paris, 661-663.
- Ahmed, M. U., Ibrahim A., Dahiru N. J., & Mohammed H.S. (2020). Alpha Amylase Inhibitory Potential and Mode of Inhibition of Oils from *Allium sativum* (Garlic) and *Allium cepa* (Onion). *Clin Med Insights Endocrinol Diabetes*, 7 (13). doi: 10.1177/1179551420963106.
- Akthar, M. S., Degaga, B., & Azam T. (2014). Antimicrobial activity of essential oils extracted from medicinal plants against the pathogenic microorganisms: A review. *Issues in Biological Sciences and Pharmaceutical Research*, 2 (1), 001-007.
- Alam, K., Nawab, M., & Kazmi, M. H. (2019). Pharmacological and therapeutic profile of Kafur (*Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl)- A Review. *Hippocratic J Unani Med*, 14(3), 1-16.
- Ali, B., Al- Wabel, N. A., Shams, S., hamad, A. A., Khan, S. A., & Anwar, F. (2015). Essential Oils Used in Aromatherapy : A Systemic Review. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5 (8), 601–611. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.05.007>
- Al-Sawah, I., Walid, E., Hazem, J., Essama, R., Ashraf, R., Azab, S., Fakhry, S., Mubarak, M., Ahmed, N., Nassar, H., Abdel Azim, H., Haitham, H., Gharieba, M.M., Morsi, H.H., Abou-El Souod, G., & Zidan, S. (2024). Effect of some essential oils, some plant extracts and white vinegar against some plant pathogenic fungi. *Scientific Journal of Faculty of Science Menoufia University*, 28(1), 71-80. doi:10.21608/sjfsmu.2024.357500
- Alsarayreh, A. Z., Oran, S. A., Shakhanbeh, J. M., Khleifat, K. M, Al Qaisi, Y. T., Alfarrayeh, I. I., & Alkaramseh, A. M. (2022). Efficacy of methanolic extracts of some medicinal plants on wound healing in diabetic rats. *Heliyon*, 8(8):e10071. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10071
- Álvarez-García, S., Moumni, M., & Romanazzi, G. (2023). Antifungal activity of volatile organic compounds from essential oils against the postharvest pathogens *Botrytis cinerea*, *Monilinia fructicola*, *Monilinia fructigena*, and *Monilinia laxa*. *Front Plant Sci*, 4 (14), 1274770. doi: 10.3389/fpls.2023.1274770
- Amorati, R., Foti, M. C., & Valgimigli, L. (2013). Antioxidant Activity of Essential Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(46), 10835–10847. doi:10.1021/jf403496k
- Arizmendi, N., Alam, S. B., Azyat, K., Makeiff, D., Befus, A. D., & Kulka, M. (2022). The Complexity of Sesquiterpene Chemistry Dictates Its Pleiotropic Biologic Effects on Inflammation. *Molecules*, 27(8), 2450. <https://doi.org/10.3390/molecules27082450>
- Asiri, Y. I., & Venkatesan, K. (2025). Wound-Healing Potential of *Myristica fragrans* Essential Oil: A Multi-Targeted Approach Involving Inflammation, Oxidative Stress, and Apoptosis Regulation. *Pharmaceuticals*, 18(6), 880. <https://doi.org/10.3390/ph18060880>

Aziz, Z. A. A., Ahmad, A., Setapar, S. H. M., Karakucuk, A., Azim, M. M., Lokhat, D., Rafatullah, M., Ganash, M., Kamal, M. A., & Ashraf, G. M. (2018). Essential Oils: Extraction Techniques, Pharmaceutical And Therapeutic Potential - A Review. *Curr Drug Meta*, 19(13), 1100-1110. doi: 10.2174/1389200219666180723144850.

B

Bal- Ozturk, A., Karal- Yilmaz, O., Akguner, Z. P., Aksu, S., Tas, A., & Olmez, H. (2019). Sponge-Like Chitosan- Based Nanostructured Antibacterial Material as a Topical Hemostat. *Journal of Applied Polymer Science*, 136 (19), 47522. <https://doi.org/10.1002/app.47522>

Behbahani, A. B., Noshad, M., & Falah, F. (2019). Cumin essential oil: Phytochemical analysis, antimicrobial activity and investigation of its mechanism of action through scanning electron microscopy. *Microbial Pathogenesis*, 136, 103716. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103716>.

Behbahani, A. B., Falah, F., Lavi Arab F., Vasiee M., & Tabatabaee Yazdi F. (2020). Chemical Composition and Antioxidant, Antimicrobial, and Antiproliferative Activities of *Cinnamomum Zeylanicum* Bark Essential Oil. *Evidence- Based Complementary and Alternative Medicine*, 1–8: 5190603. <https://doi.org/10.1155/2020/5190603>

Belkhodja, H., Bouhadi, D., Medjadel, B., Brakna, A. (2021). Physicochemical characterization and evaluation of the antioxidant activities of essential oil extracted from *Eucalyptus globulus*. *European Journal of Biological Research*, 11(3), 315-324. doi: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.5033546>

Bendjabeur, S., Benchabane, O., Bensouici, C., Hazzit, M., Baaliouamer, A., & Bitam, A. (2018). Antioxidant and anticholinesterase activity of essential oils and ethanol extracts of *Thymus algeriensis* and *Teucrium polium* from Algeria. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12 (4): 2278–2288. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9845-x>

Ben Miri, Y. (2025). Essential Oils: Chemical Composition and Diverse Biological Activities: A Comprehensive Review. *Natural Product Communications*, 20(1), 1–29. doi: 10.1177/1934578X241311790

Benny, A, & Thomas, J. (2018). Essential Oils as Treatment Strategy for Alzheimer’s Disease: Current and Future Perspectives. *Planta medica*, 85, 239–248. doi: <https://doi.org/10.1055/a-0758-0188>

Benomari, F. Z., Sarazin, M., Chaib, D., Pichette, A., Boumghar, H., Boumghar, Y., & Djabou, N. (2023). Chemical Variability and Chemotype Concept of Essential Oils from Algerian Wild Plants. *Molecules*, 28(11), 4439. <https://doi.org/10.3390/molecules28114439>

Bensaci, C., Belguidoum, M., Khattabi, L., Abid, A., Touahria, T., Zahnit, W., Harchaoui, L., Rahmani, Z., Boussebaa, W., Laichi, Y., Belfar, A., Abul Farah, M., Al-Anazi, K. M., & Ali, A. (2024). *Drimia maritima* flowers as a source of biologically potent components: Optimization of bioactive compound extractions, isolation, UPLC–ESI–MS/ MS, and pharmacological properties. *Open Chemistry*, 22 (1): 20240087. <https://doi.org/10.1515/chem-2024-0087>

Bensouilah, J. (2005). The history and development of modern-British aromatherapy. *Int. J. Aromather.* 15, 134. <https://doi.org/10.1016/j.ijat.2005.07.002>

Bentabet, N., Rahal, R., & Nassour, S. (2022). Enquête ethnobotanique et inventaire des plantes médicinales utilisées dans le traitement des maladies dermatologiques dans la ville d’Ain Temouchent. *Journal of Applied Biosciences*, 170: 17704– 17719.

Benzie, I. F. F., & Strain J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of Antioxidant Power: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239: 70–76.

- Bernfeld, P. (1955). Amylase α and β , in *Methods in Enzymology*. ed. S. P. Colowick and N. O. Kaplan. *Academic Press Inc*, 1, 149–150. [http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879\(55\)01021-5](http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879(55)01021-5)
- Bhandari, U., Kumar, A., Lohani, H., & Chauhan, N. (2022). Chemical Composition of Essential Oil of Camphor Tree (*Cinnamomum camphora*) Leaves Grown in Doon Valley of Uttarakhand. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 25 (3), 548-554, doi: 10.1080/0972060X.2022.2086828
- Bonas, U., Van den Ackerveken, G., Buttner, D., Hahn, K., Marois, E., Nennstiel, D., Noel, L., Rossier, O. & Szurek, B. (2000). How the bacterial plant pathogen *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* conquers the host. *Mol. Plant Pathol*, 1(1), 73-6. doi: 10.1046/j.1364-3703.2000.00010.x
- Bonesi, M., Menichini, F., Tundis, R., Loizzo, M. R., Conforti, F., Passalacqua, N. G., Statti, G. A., & Menichini, F. (2010). Acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase inhibitory activity of *Pinus* species essential oils and their constituents. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 25(5), 622-628. doi: 10.3109/14756360903389856
- Bora, H., Kamle, M., Hassan, H., Al-Emam, A., Chopra, S., Kirtipal, N., Bharadwaj, S., & Kumar, P. (2022). Exploration of Potent Antiviral Phytomedicines from *Lauraceae* Family Plants against SARS-CoV-2 Main Protease. *Viruses*, 14(12), 2783. doi: 10.3390/v14122783.
- Boukhatem, M. N., Hamaidi, M. S., Saidi, F., & Yahia, H. (2010). Extraction, composition et propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle du Gêranium Rosat (*Pelargonium graveolens* L.) cultivé dans la plaine de Mitidja (Algérie). *Nature et Technologie*, 2 (2), 37-45.
- Boukhatem M. N., Ferhat, A., & Kameli, A. (2019). Méthodes D'extraction Et De Distillation Des Huiles Essentielles : Revue De Littérature. *Revue Agrobiologia*, 9(2), 1653-1659.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *LWT Food Science and Technology*, 28, 25–30.
- Brescia, M. A., & Sacco, A. (2008). High-Resolution 1H Nuclear Magnetic Resonance in the Study of Oils. In: Webb, G.A. (eds) *Modern Magnetic Resonance*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-3910-7_184
- Burčul, F., Blažević, I., Radan, M., & Politeo, O. (2020). Terpenes, Phenylpropanoids, Sulfur and Other Essential Oil Constituents as Inhibitors of Cholinesterases. *Current Medicinal Chemistry*, 27(26), 4297–4343. <https://doi.org/10.2174/0929867325666180330092607>
- Butnariu, M., & Sarac, I. (2018). Essential Oils from Plants. *Journal of Biotechnology and Biomedical Science*, 1 (4), 35–43. doi:10.14302/issn.2576-6694.jbbs-18-2489

C

- Calva, J., Ludeña, C., Bec, N., Larroque, C., Salinas, M., Vidari, G., & Armijos, C. (2023). Constituents and Selective BuChE Inhibitory Activity of the Essential Oil from *Hypericum aciculare* Kunth. *Plants*, 12(14), 2621. <https://doi.org/10.3390/plants12142621>
- Câmara, J. S., Perestrelo, R., Ferreira, R., Berenguer, C. V., Pereira, J. A. M., & Castilho, P. C. (2024). Plant-Derived Terpenoids: A Plethora of Bioactive Compounds with Several Health Functions and Industrial Applications—A Comprehensive Overview. *Molecules*, 29(16), 3861. <https://doi.org/10.3390/molecules29163861>
- Cardoso-Ugarte, G. A., Juárez-Becerra, G. P., SosaMorales, M. E., & López-Malo, A. (2013). Microwave-assisted Extraction of Essential Oils from Herbs. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 47(1), 63–72. doi:10.1080/08327823.2013.11689846

- Castro, M. R., Victoria, F. N., Oliveira, D. H., Jacob, R. G., Savegnago, L., Alves, D. (2015). Essential oil of *Psidium cattleianum* leaves: Antioxidant and antifungal activity. *Pharmaceutical Biology*, 53 (2), 242-250. doi: 10.3109/13880209.2014.914231
- Catauro M., Bollino, F., Tranquillo, E., Sapio, L., Illiano, M., Caiafa, I., & Naviglio, S. (2017). Chemical Analysis and Anti-Proliferative Activity of *Campania Thymus vulgaris* Essential Oil. *Journal of Essential Oil Research*, 29 (6): 461–470. <https://doi.org/10.1080/10412905.2017.1351405>
- Cebula, Z., Żołędowska, S., Dziąbowska, K., Skwarecka, M., Malinowska, N., Białobrzaska, W., Czaczyk, E., Siuzdak, K., Sawczak, M., Bogdanowicz, R., & Nidzworski, D. (2019). Detection of the Plant Pathogen *Pseudomonas Syringae* pv. *Lachrymans* on Antibody-Modified Gold Electrodes by Electrochemical Impedance Spectroscopy. *Sensors*, 19(24), 5411. <https://doi.org/10.3390/s19245411>
- Cesarino, I., Eudes, A., Urbanowicz, B., Xie, M. (2022). Editorial: Phenylpropanoid Systems Biology and Biotechnology. *Front. Plant Sci*, 13,866164. doi: 10.3389/fpls.2022.866164
- Chen, H. P., Yang, K., You, C. X., Lei, N., Sun, R. Q, Geng, Z. F., Ma, P., Cai, Q., Du, S. S., & Deng, Z. W. (2014). Chemical Constituents and Insecticidal Activities of the Essential Oil of *Cinnamomum camphora* Leaves against *Lasioderma serricorne*. *Journal of Chemistry*, V 2014, 963729, 1- 5. <https://doi.org/10.1155/2014/963729>
- Chen, Y., Hu, J., Zhang, Y., Han, C., & Li, J. (2018). Anti Alzheimer's disease effect of essential oil from aerial parts of *Salvia miltiorrhiza* Bge. *Int J Clin Exp Med*, 11(2), 641-652
- Chen, J., Tang, C., Zhou, Y., Zhang, R., Ye, S., Zhao, Z., Lin, L., & Yang, D. (2020a). Anti-Inflammatory Property of the Essential Oil from *Cinnamomum camphora* (Linn.) Presl Leaves and the Evaluation of Its Underlying Mechanism by Using Metabolomics Analysis. *Molecules*, 25(20), 4796. doi : 10.3390/molecules25204796
- Chen, J., Tang, C., Zhang, R., Ye, S., Zhao, Z., Huang, Y., Xu, X., Lan, W., & Yang, D. (2020b). Metabolomics analysis to evaluate the antibacterial activity of the essential oil from the leaves of *Cinnamomum camphora* (Linn.) Presl. *J. Ethnopharmacol*, 253, 112652.
- Chrysargyris, A., Skaltsa, H., & Konstantopoulou, M. (2022). Medicinal and Aromatic Plants (MAPs): The Connection between Cultivation Practices and Biological Properties. *Agronomy*, 12(12), 3108. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123108>
- Ciupei, D., Colișar, A., Leopold, L., Stănilă, A., & Diaconeasa, Z. M. (2024). Polyphenols: From Classification to Therapeutic Potential and Bioavailability. *Foods*, 13(24), 4131. <https://doi.org/10.3390/foods13244131>
- Ćosić J., Vrandečić, K., & Jurkovic, D. (2014). The Effect of Essential Oils on the Development of Phytopathogenic Fungi. *Biological Controls for Preventing Food Deterioration*, 2014, 273–291.
- Cosme, F., Aires, A., Pinto, T., Oliveira, I., Vilela, A., & Gonçalves, B. (2025). A Comprehensive Review of Bioactive Tannins in Foods and Beverages: Functional Properties, Health Benefits, and Sensory Qualities. *Molecules*, 30(4), 800. <https://doi.org/10.3390/molecules30040800>
- Costa, M. F., Durço, A. O., Rabelo, T. K., Barreto, R. S. S., & Guimarães, A. G. (2019). Effects of Carvacrol, Thymol and essential oils containing such monoterpenes on wound healing: a systematic review. *J Pharm Pharmacol*, 71(2), 141-155. doi: 10.1111/jphp.13054.
- Crosby, B. T., Ridzuan-Allen , A., & O'Neill, J. P. (2021). Volatile organic compound analysis for the diagnosis of pancreatic cancer. *Ann Pancreat Cancer*, 4 (4), 1-12. doi: 10.21037/apc-20-39

D

- Da Silva, B. D., Bernardes, P. C., Pinheiro, P. F., Fantuzzi, E., & Roberto, C. D. (2021). Chemical composition, extraction sources and action mechanisms of essential oils: Natural preservative and limitations of use in meat products. *Meat Science*, 176, 108463. doi:10.1016/j.meatsci.2021.108463
- Darthiya, M., & Lokanadhan, S. (2020). Medicinal and Aromatic Plants in Drylands for Future Livelihood Security. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 9 (1): 20-30.
- De Sousa, D. P., Damasceno, R. O. S., Amorati, R., Elshabrawy, H. A., de Castro, R. D., Bezerra, D. P., Nunes, V. R. V., Gomes, R. C., & Lima, T. C. (2023). Essential Oils: Chemistry and Pharmacological Activities. *Biomolecules*, 13, 1144. <https://doi.org/10.3390/biom13071144>
- Desai, S. D., Desai, D. G., & Kaur, H. (2009). Saponins and their Biological Activities. *Pharma Times*, 41 (3): 13-16.
- Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N., & Mnif, W. (2016). Essential Oils' Chemical Characterization and Investigation of Some Biological Activities: A Critical Review. *Medicines*, 3(4):25. doi: 10.3390/medicines3040025.
- Diniz do Nascimento, L., Moraes, A. A. B. de, Costa, K. S. da, Pereira Galúcio, J. M., Taube, P. S., Costa, C. M. L., & Faria, L. J. G. de. (2020). Bioactive Natural Compounds and Antioxidant Activity of Essential Oils from Spice Plants: New Findings and Potential Applications. *Biomolecules*, 10(7), 988. doi:10.3390/biom10070988
- Du, Y., Zhou, H., Yang, L., Jiang, L., Chen, D., Qiu, D., & Yang, Y. (2022). Advances in Biosynthesis and Pharmacological Effects of *Cinnamomum camphora* (L.) Presl Essential Oil. *Forests*, 13(7), 1020. <https://doi.org/10.3390/f13071020>

E

- Eccles, R., Jawad, M., Ramsey, D. L., & Hull, J. D. (2015). Efficacy of a topical aromatic rub (Vicks VapoRub®)-speed of action of subjective nasal cooling and relief from nasal congestion. *Open Journal of Respiratory Diseases*, 5(1), 10-18. doi:10.4236/ojrd.2015.51002
- Ellman, G. L., Courtney, K. D., Andres, V., & Featherstone, R. M. (1961). A New and Rapid Colorimetric Determination of Acetylcholinesterase Activity. *Biochemical Pharmacology*, 7 (2), 88–95.
- El-Mogy, M. M., & Alsanius, B. W. (2012). Cassia oil for controlling plant and human pathogens on fresh strawberries. *Food Control*, 28 (1), 157–162. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.04.036>
- Elsayed, Y., & Yasser S. The Effect of some Essential Oils on *Aspergillus niger* and *alternaria alternata* infestation in archaeological oil paintings. (2018). *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 18 (3), 71-87. doi:10.5281/zenodo.1461616
- Elshafie HS., Emilia Mancini., Shima Sakr., Laura De Martino., Carlo Andrea Mattia., Vincenzo De Feo., and Ippolito Camele.(2015). Antifungal Activity of Some Constituents of *Origanum vulgare* L. Essential Oil Against Postharvest Disease of Peach Fruit. *Journal of medicinal food*, 18 (8), 929–934.
- Elshafie Hazem S & Camele Ippolito. (2017). An Overview of the Biological Effects of Some Mediterranean Essential Oils on Human Health. *BioMed Research International*, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2017/9268468>
- Elshafie, HS., Grul'ová, D., Baranová, B., Caputo, L., De Martino, L., Sedlák, V., Camele, I., & De Feo, V. (2019). Antimicrobial Activity and Chemical Composition of Essential Oil Extracted from *Solidago canadensis* L. Growing Wild in Slovakia. *Molecules*, 24 (7), 1206.

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

F

Farag, M. A., Ezzat, S. M., Salama, M. M., Tadros, M. G., & Serya, R. A. T. (2016). Anti-acetylcholinesterase activity of essential oils and their major constituents from four *Ocimum* species. *Zeitschrift Fur Naturforschung. C. Journal of Biosciences*, 71(11-12), 393-402. <https://doi.org/10.1515/znc-2016-0030>

Farias, K. S., Alves, F. M., Santos-Zanuncio, V. S., Paulo, T., de Sousa, Jr. P. T., Silva, D. B., & Carollo, C. A. (2023). Global distribution of the chemical constituents and antibacterial activity of essential oils in Lauraceae family: A review. *South African Journal of Botany*, 155, 214-222. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.02.028>

Fatima, N., & Mushtaq, A. (2019). A brief review on emerging analytical techniques for essential oil quantification. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 15, 104-110.

Fazmiya, M. J. A., Sultana, A., Rahman, K., Heyat, M. B. B., Sumbul, A. F., Khan, S., & Appiah, S. C. Y. (2022). Current Insights on Bioactive Molecules, Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Other Pharmacological Activities of *Cinnamomum camphora* Linn. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2022, 1-23. doi: 10.1155/2022/9354555.

Fenghour, H., Bouabida, H., Dris, D., & Houhamdi, M. (2021). Antibacterial effect of essential oils of two plants *Eucalyptus camaldulensis* and *Artemisia herba alba* on some bacterial strains. *Biosystems Diversity*, 29(2), 73–77. doi: 10.15421/012110

Fernández-Sanz, A. M., Rodicio, M. R., & González, A. J. (2022). Biochemical Diversity, Pathogenicity and Phylogenetic Analysis of *Pseudomonas viridiflava* from Bean and Weeds in Northern Spain. *Microorganisms*, 10(8), 1542. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10081542>

Figueiredo-González, M., Reboredo-Rodríguez, P., González-Barreiro, C., Carrasco-Pancorbo, A., Cancho-Grande, B., & Simal-Gándara, J. (2018). The involvement of phenolic-rich extracts from Galician autochthonous extra-virgin olive oils against the α -glucosidase and α -amylase inhibition. *Food Research International*. doi:10.1016/j.foodres.2018.08.060

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

G

Gao, Y. F., Li, X. Y., Wang, Q. L., Li, Z. H., Chi, S. X., Dong, Y., Guo, L., & Zhang, Y. H. (2024). Discrimination and quantification of volatile compounds in beer by FTIR combined with machine learning approaches. *Food Chemistry*, X (22), 101300. doi: 10.1016/j.fochx.2024.101300.

García, C., Montero, G., Coronado, M. A., Valdez, B., Stoytcheva, M., Rosas, N., Torres, R., & Sagaste, C. A. (2017). Valorization of Eucalyptus Leaves by Essential Oil Extraction as an Added Value Product in Mexico. *Waste and Biomass Valorization*, 8 (4), 1187–1197. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9695-x>

Gartemann, K. H., Kirchner, O., Engemann, J., Gräfen, I., Eichenlaub, R., & Burger, A. (2003). *Clavibacter michiganensis* subsp. *Michiganensis* :First steps in the understanding of virulence of a gram-positive phytopathogenic bacterium. *J. Biotechnol*, 106, 179–191. DOI:10.1016/j.jbiotec.2003.07.011

- Geramitcioski, T, Mitrevski, V., & Mijakovski, V. (2018). Design of a small press for extracting essential oil according VDI 2221. IOP Conf. Series: *Materials Science and Engineering*, 393, 012131. doi:10.1088/1757-899X/393/1/012131
- Ghasemi, A., Mazidi Sharafabadi, F., & Marani, E. (2025). The Effect of Inhalation Aromatherapy with Essential Oils of Various Plants on Anxiety and Sleep Quality in Diabetic Patients: A Review Study. *IJDO*, 17 (1), 54-60. doi: 10.18502/ijdo.v17i1.18034
- Goławska, S., Łukasik, I., Chojnacki, A. A., & Chrzanowski, G. (2023). Flavonoids and Phenolic Acids Content in Cultivation and Wild Collection of European Cranberry Bush *Viburnum opulus* L. *Molecules*, 28(5), 2285. <https://doi.org/10.3390/molecules28052285>
- Gomes, A., Santos, C., Dinis, L.-T., & Mendes, R. J. (2024). *Escherichia coli* Inoculation Decreases the Photosynthetic Performance on Tomato Plants: Clarifying the Impact of Human Commensal Bacteria on Transient Plant Hosts. *Horticulturae*, 10(7), 758. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10070758>
- Gong, X., Yang, Y., Xu, T., Yao, D., Lin, S., & Chang, W. (2024) Assessing the Anxiolytic and Relaxation Effects of *Cinnamomum camphora* Essential Oil in University Students: A Comparative Study of EEG, Physiological Measures, and Psychological Responses. *Front. Psychol.* 15,1423870: 1-15. doi: 10.3389/fpsyg.2024.1423870
- Grul'ová, D., Caputo, L., Elshafie, H. S., Baranová, B., De Martino, L., Sedlák, V., Gogaľová, Z., Poráčová, J., Camele, I., & De Feo, V. (2020). Thymol Chemotype *Origanum vulgare* L. Essential Oil as a Potential Selective Bio-Based Herbicide on Monocot Plant Species. *Molecules*, 25, 595.
- Gudi, G., Krähmer, A., Krüger, H., & Schulz H. (2015). Attenuated Total Reflectance–Fourier Transform Infrared Spectroscopy on Intact Dried Leaves of Sage (*Salvia officinalis* L.): Accelerated Chemotaxonomic Discrimination and Analysis of Essential Oil Composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63 (39), 8743–8750.
- Guleria, S., & Kumar, A. (2006). Antifungal activity of some Himalayan medicinal plants using direct bioautographie. *Journal of Molecular Cell Biology*, 5, 95-98.
- Guo, S., Geng, Z., Zhang, W., Liang, J., Wang, C., Deng, Z., & Du, S. (2016). The Chemical Composition of Essential Oils from *Cinnamomum camphora* and Their Insecticidal Activity against the Stored Product Pests. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(11), 1836. <https://doi.org/10.3390/ijms17111836>
- Guo, X., Cui, M., Deng, M., Liu, X., Huang, X., Zhang, X., & Luo, L. (2017). Molecular differentiation of five *Cinnamomum camphora* chemotypes using desorption atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry of raw leaves. *Scientific Reports*, 7(1), 46579. <https://doi.org/10.1038/srep46579>

H

- Haddouchi, F., Chaouche, T. M. & Halla, N. (2016). Screening phytochimique, activités antioxydantes et pouvoir hémolytique de quatre plantes sahariennes d'Algérie. *Phytothérapie*, 1-9. doi: 10.1007/s10298-016-1086-8
- Hamidpour, R., Hamidpour, S., Hamidpour, M., & Shahlari, M. (2013). Camphor (*Cinnamomum camphora*), a traditional remedy with the history of treating several diseases. *International Journal of Case Reports and Images*, 4, 86-89. doi:10.5348/IJCRI-2013-02-267-RA-1
- Hammood, S. A. A. M. (2024). Study of the Effectiveness of *Cinnamomum camphora* Leaf Extracts against Bacteria Causing Respiratory Infections. *Current Research in Health Sciences*, 3(1), 15–20. doi: 10.58613/crhs313

- Hassiotis, C. N., & Vlachonasios, K. E. (2025). How Biological and Environmental Factors Affect the Quality of Lavender Essential Oils. *Physiologia*, 5(1), 11. <https://doi.org/10.3390/physiologia5010011>
- He, J., Fan, Z., Jiang, Q., Yang, X., Sun, J., Pang, Y., Fang, X., Zhang, D., Li, Y., Liu, Y., Guo, H., & Song, Y. (2025). Sustainable natural bio-antimicrobial: Composition, bacteriostatic activity, and antibacterial strategy of *Cinnamomum camphora* essential oil. *Industrial Crops & Products*, 233, 121493. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121493>
- Herman, R. A., Ayepa, E., Shittu, S., Fometu, S. S., & Wang, Jun. (2019). Essential Oils and Their Applications -A Mini Review. *Advances in Nutrition & Food Science*, 4 (4), 1-13.
- Hichri, F., Omri, A., Hossan, A. S. M., & Ben Jannet, H. (2019). Alpha-glucosidase and amylase inhibitory effects of *Eruca vesicaria* subsp. *longirostris* essential oils: synthesis of new 1,2,4-triazole-thiol derivatives and 1,3,4-thiadiazole with potential inhibitory activity. *Pharm Biol*, 57(1), 564-570. doi: 10.1080/13880209.2019.1642363.
- Huo, H., Gu, Y., Cao, Y., Liu, N., Jia, P., & Kong, W. (2022). Antifungal activity of camphor against four phytopathogens of *Fusarium*. *South African Journal of Botany*, 148, 437–445

I

- Ibišević, M., Pilipović, S., Husejnović, M. S., Dautović, E., Kozarević, E. C., Smajlagić, A., Karić, E., Horozić, E., Pehlić, E., & Toromanović, J. (2025). Cytotoxicity Evaluation of *Origanum Compactum*, *Melaleuca Alternifolia* and *Cinnamomum Camphora* Essential Oils on Human Carcinoma Cells. *Orient J Chem*, 41(2). doi: <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/410221>
- Ioannou, G. D., Savva, I. K., Christou, A., Stavrou, I. J., & Kapnissi-Christodoulou, C. P. (2023). Phenolic Profile, Antioxidant Activity, and Chemometric Classification of Carob Pulp and Products. *Molecules*, 28(5). <https://doi.org/10.3390/molecules28052269>

J

- Jávega-Cometto, M., Naranjo-Viteri, A. J., Champarini, L. G., Hereñú, C. B., & Crespo, R. (2025). Plant-Derived Monoterpene Therapies in Parkinson's Disease Models: Systematic Review and Meta-Analysis. *Plants*, 14(7), 999. <https://doi.org/10.3390/plants14070999>
- Jdaidi, N., & Hasnaoui, B. (2016). Etude Floristique Et Ethnobotanique Des Plantes Medicinales Au Nord-Ouest De La Tunisie : Cas De La Communaute D'ouled Sedra. *Journal of Advanced Research in Science and Technology*, 3(1), 281-291.
- Jiang, Z., Jiang, H., & Xie, P. (2013). Antifungal activities against *Sclerotinia sclerotiorum* by *Cinnamomum cassia* oil and its main components. *Journal of Essential Oil Research*, 25(6), 444–451. doi:10.1080/10412905.2013.782475
- Jiang, H., Wang, J., Song, L., Cao, X., Yao, X., Tang, F., & Yue, Y. (2016). GC×GC-TOFMS Analysis of Essential Oils Composition from Leaves, Twigs and Seeds of *Cinnamomum camphora* L. Presl and Their Insecticidal and Repellent Activities. *Molecules*, 21(4), 423. <https://doi.org/10.3390/molecules21040423>
- Ji, Y., Hu, W., Guan, Y., & Saren, G. (2024). Effects of Plant Essential Oil Treatment on the Growth of Pathogenic Fungi and the Activity of Defense-Related Enzymes of Fungi-Inoculated Blueberry. *Horticulturae*, 10(4), 318. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10040318>

K

- Kalembe, D., & Kunicka, A. (2003). Antibacterial and Antifungal Properties of Essential Oils. *Current Medicinal Chemistry*, 10, 813–829.

- Kanyal, B., Pande, C., Padalia, R. C., Tewari, G., Gangwar, A., Rana, L., Negi, N., & Prakash, O. (2024). Aroma profile, antioxidant and anti-inflammatory properties of *cinnamomum camphora* L. essential oil as affected by various drying techniques. *Journal of Essential Oil Research*, 36(2), 116–128. <https://doi.org/10.1080/10412905.2024.2320353>
- Karimi, A., Majlesi, M., Rafieian-Kopaei, M. (2015). Herbal versus synthetic drugs ; beliefs and facts. *Journal of Nephro pharmacology*, 4(1). 27–30.
- Kaskoos, R. A. (2019). GC/MS Profile and *in-vitro* Antidiabetic Activity of *Cinnamomum zeylanicum* Blume., Bark and *Trachyspermum ammi* (L.) Sprague, Seeds. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 22(2), 535-544. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2019.1612281>
- Katekar, V. P., Rao, A. B., & Sardeshpande, V. R. (2023). A hydrodistillation-based essential oils extraction: A quest for the most effective and cleaner technology. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. V 36, 101270. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101270>
- Khan. N. T. (2022). *Xanthomonas Campestris*-A Brief Overview. *Journal of Pharmacy and Drug Development*, 4 (1).
- Khan, S., Abdo, A. A. A., Shu, Y., Zhang, Z., & Liang, T. (2023). The Extraction and Impact of Essential Oils on Bioactive Films and Food Preservation, with Emphasis on Antioxidant and Antibacterial Activities—A Review. *Foods*, 12(22), 4169. <https://doi.org/10.3390/foods12224169>
- Kiran, S., Kujur, A., & Prakash, B. (2016). Assessment of preservative potential of *Cinnamomum zeylanicum* Blume essential oil against food borne molds, aflatoxin B1 synthesis, its functional properties and mode of action. *Innovative food science & emerging technologies*, 37, 184-191.
- Kishore, G. K., Pande, S., & Harish, S. (2007). Evaluation of essential oils and their components for broad-spectrum antifungal activity and control of late leaf spot and crown rot diseases in peanut. *Plant Disease*, 91 (4): 375–379.
- Kitphati, W., Wattanakamolkul, K., Lomarat, P., Phanthong, P., Anantachoke, N., Nukoolkarn, V., Thirapanmethree, K., & Bunyaphrathatsara, N. (2012). Anticholinesterase activity of essential oils and their constituents from Thai medicinal plants in human neuroblastoma SK-N-SH cells. *Journal of Asian Association of Schools of Pharmacy*, 1(1), 51–61.
- Kouam, R. O., Boti, J. B., kanko, C., & koffi, A. M. (2017). Etude De La Composition Chimique De L'huile Essentielle De *Monanthotaxis Capea* (Annonaceae), Plante Endémique D'afrique. *International Journal of Advanced Research*, 5(12), 944-949. doi:10.21474/IJAR01/6042
- Krishnamurthy, H. K., Pereira, M., Rajavelu, I., Jayaraman, V., Krishna, K., Wang, T., Bei, K., & Rajasekaran, J. J. (2024). Oxidative stress: fundamentals and advances in quantification techniques. *Frontier in Chemistry*, 12, 1470458. doi: 10.3389/fchem.2024.1470458
- Kumar, V., Yadav, S. K., Ranjan, & A. K. (2024). A Review on the Stability of Essential Oils Under Different Storage Conditions. *Research Communications*, 2 (2), 117-123.

L

- Lalic, M., Soldić, A., Lalić, Z., & Sertić, M. (2024) . A Novel High Performance Liquid Chromatography Method for Camphor Determination and Application in Cosmetics and Pharmaceuticals: Development and Validation. *Molecules*, 29 (18), 4290. Doi :10.3390/molecules29184290
- Laranjo, M., Fernández-León, A.M., Aguilheiro-Santos, A.C., Potes, M.E., & Elias, M. (2019). Essential oils of aromatic and medicinal plants play a role in food safety. *Journal Food Process Preserv*, 00, e14278, 1-7. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14278>

- Latif, R., & Nawaz, T. (2025). Medicinal plants and human health: a comprehensive review of bioactive compounds, therapeutic effects, and applications. *Phytochemistry Reviews*. <https://doi.org/10.1007/s11101-025-10194-7>
- Lee, S. H., Kim, D. S., Park, S. H., & Park, H. (2022). Phytochemistry and Applications of *Cinnamomum camphora* Essential Oils. *Molecules*, 27(9), 2695. <https://doi.org/10.3390/molecules27092695>
- Lee, C. Y., Lin, L. Y., Chuang, H. C., Ho, K. F., & Chuang, K. J. (2022). Long-Term Exposure to Essential Oils and Cardiopulmonary Health from a Population-Based Study. *Atmosphere*, 13(4), 631. <https://doi.org/10.3390/atmos13040631>
- Li Y., Kong D., and Wu H. (2013). Analysis and Evaluation of Essential Oil Components of Cinnamon Barks Using GC–MS and FTIR Spectroscopy. *Industrial Crops and Products*, 41: 269–278.
- Li, Y. R., Fu, C. S., Yang, W. J., Wang, X. L., Feng, D., Wang, X. N., Ren, D. M., Lou, H. X., & Shen T. (2018). Investigation of constituents from *Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl and evaluation of their anti-inflammatory properties in lipopolysaccharide stimulated RAW 264.7 macrophages. *Journal of Ethnopharmacology*, 221:37-47. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.04.017>
- Li, C., Zha, W., Li, W., Wang, J., & You, A. (2023). Advances in the Biosynthesis of Terpenoids and Their Ecological Functions in Plant Resistance. *Int J Mol Sci*, 24(14), 11561. doi: 10.3390/ijms241411561.
- Ling, Q., Zhang, B., Wang, Y., Xiao, Z., Hou, J., Xiao, C., Liu, Y., & Jin, Z. (2022). Chemical Composition and Antioxidant Activity of the Essential Oils of Citral-Rich Chemotype *Cinnamomum camphora* and *Cinnamomum bodinieri*. *Molecules*, 27(21), 7356. <https://doi.org/10.3390/molecules27217356>
- Liu, Z., Kong, L., Lu, S., & Zou, Z. (2019). Application of a Combined Homogenate and Ultrasonic Cavitation System for the Efficient Extraction of Flavonoids from *Cinnamomum camphora* Leaves and Evaluation of Their Antioxidant Activity *In Vitro*. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, V 2019, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2019/4892635>
- Liu, Z., Li, H., Zhu, Z., Huang, D., Qi, Y., Ma, C., Zou, Z., & Ni, H. (2022). *Cinnamomum camphora* fruit peel as a source of essential oil extracted using the solvent-free microwave-assisted method compared with conventional hydrodistillation. *LWT Food Science and Technology*, Volume 153, 112549: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112549>
- Lozada, M. I. O., da Silva, P. P., Pereira, R. B., & Nascimento, W. M. (2019). Essential oils in the control of *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *cepae* in onion seeds. *Revista ciência agrônômica*, 50(3):510-518. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20190060>
- Luna-Guevara, J. J., Arenas-Hernandez, M. M. P., Martínez de la Peña, C., Silva, J. L., & Luna-Guevara, M. L. (2019). The Role of Pathogenic *E. coli* in Fresh Vegetables: Behavior, Contamination Factors, and Preventive Measures. *Int J Microbiol*, 2894328. doi: 10.1155/2019/2894328.

M

- Machado, C. A., Oliveira, F. O., de Andrade, M. A., Hodel, K. V. S., Lepikson, H., & Machado, B. A. S. (2022). Steam Distillation for Essential Oil Extraction: An Evaluation of Technological Advances Based on an Analysis of Patent Documents. *Sustainability*, 14(12), 7119. <https://doi.org/10.3390/su14127119>
- Mahboub, N., Slimani, N., Ben Nadji, S., Bouzeguag, C., Kadri, M., & Khelil, A. (2019). Extraction Et Caracterisation Physico-Chimique Et Biologique Des Huiles Essentielles A Partir De *Cymbopogon Schoenanthus* dans la region de Ghardaïa. *Revue des BioRessources*, 9 (2) : 21-34.

- Mahilrajan, S., Nandakumar, J., Kailayalingam, R., Manoharan, N., a. & SriVijeindran, S. (2014). Screening the antifungal activity of essential oils against decay fungi from palmyrah leaf handicrafts. *Biological Research*, 47(1), 35. doi:10.1186/0717-6287-47-35
- Mahnashi, M. H, Alqahtani, Y. S, Alyami, B. A., Alqarni, A. O., Ayaz, M., Ghufuran, M., Ullah, F., Sadiq, A., Ullah, I., Haq, I. U., Khalid, M., & Murthy, H. C. A. (2022). Phytochemical Analysis, α -Glucosidase and Amylase Inhibitory, and Molecular Docking Studies on *Persicaria hydropiper* L. Leaves Essential Oils. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, V 2022, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2022/7924171>
- Mai, J., Li, W., Ledesma-Amaro, R., & Ji, X. J. (2021). Engineering Plant Sesquiterpene Synthesis into Yeasts: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69 (33), 9498–9510. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c03864>
- Malabadi, R. B., Kolkar, K. P., Meti, N. T., & Chalannavar, R. K. (2021a). Camphor tree, *Cinnamomum Camphora* (L.); Ethnobotany and pharmacological updates. *Biomedicine*, 41 (2), 181–184. doi: 10.51248/v41i2.779
- Malabadi, R. B., Kolkar, K. P., Meti N. T., & Chalannava, R. K. (2021b). An age old botanical weapon for herbal therapy: Camphor tree, *Cinnamomum camphora*. *International Journal of Innovation Scientific Research and Review*, 3 (7), 1518–1523.
- Mangalagiri, N. P., Panditi, S. K., & Jeevigunta, N. L. L. (2021). Antimicrobial activity of essential plant oils and their major components. *Heliyon*, 7, e06835. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06835>
- Mansard, M. (2016). Le camphrier : étude botanique, chimique et biologique de ses huiles essentielles. Thèse de doctorat en Pharmacie. Université de LORRAINE, France, p 1-134. http://docnum.univ-lorraine.fr/public/BUPHA_T_2016_MANSARD_MICHAEL.pdf. Consulté le : 15/07/2025.
- Megersa, M., Nedi, T., & Belachew, S. (2023). Ethnobotanical Study of Medicinal Plants Used against Human Diseases in Zuway Dugda District, Ethiopia. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, V (2023), 1-22. <https://doi.org/10.1155/2023/5545294>
- Melo, L. F. M., Aquino-Martins, V. G. Q., Silva, A. P. D., Oliveira Rocha, H. A., & Scortecchi, K. C. (2023). Biological and pharmacological aspects of tannins and potential biotechnological applications. *Food Chem*, 414, 135645. doi: 10.1016/j.foodchem.2023.135645..
- Miessner, S., & Stammer, G. (2010). *Monilinia laxa*, *M. fructigena* and *M. fructicola*: Risk estimation of resistance to QoI fungicides and identification of species with cytochrome b gene sequences. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 117(4), 162-167. <https://doi.org/10.1007/BF03356354>
- Miljaković, D., Marinković, J., & Balešević-Tubić, S. (2020). The Significance of *Bacillus* spp. in Disease Suppression and Growth Promotion of Field and Vegetable Crops. *Microorganisms*, 8(7), 1037. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8071037>
- Mir, T. A., Jan, M., Bussmann, R. W., & Bilal, T. (2022). Inventory of medicinal herbs utilized for the treatment of musculoskeletal disorders in district Kupwara of Jammu and Kashmir. *Ethnobotany Research and Applications*, 24 (30), 1-13. DOI:10.32859/era.24.30.1-13
- Mohamed, A. A., & Alotaibi, B. M. (2023). Essential oils of some medicinal plants and their biological activities: a mini review. *Journal of Umm Al-Qura University for Applied Sciences*, 9, 40–49. <https://doi.org/10.1007/s43994-022-00018-1>

- Moghaddam, M., & Mehdizadeh, L. (2017). Chemistry of Essential Oils and Factors Influencing Their Constituents. *Soft Chemistry and Food Fermentation*, 379–419. doi:10.1016/b978-0-12-811412-4.00013-8
- Moraes, S. P. C. B., Bucker, M. W., Bucker, M. W., de ResendeCamara, G., Maciel, K. S., de Lima, P. A. M.,... Jose, C. L. (2018). Cinnamon and citronella essential oils in the *in vitro* control of the fungi *Aspergillus* sp. and *Sclerotinia sclerotiorum*. *African Journal of Agricultural Research*, 13(35), 1811–1815. doi:10.5897/ajar2018.13074
- Mugao, L. (2024). Factors influencing yield, chemical composition and efficacy of essential oils. *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*, 5 (4), 169-178. doi:10.54660/IJMRGE.2024.5.4.169-178
- Muharni, M., Amriani, A., Fitrya, F., & Mukafi, A.. (2022). Wound healing activity of *Dillenia ochreatea* leaves ethanol extract in Wistar rats. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 10 (5), 896-904. doi: https://doi.org/10.56499/jppres22.1444_10.5.896
- Mujawah, A. A. H., Abdallah, E. M., Alshoumar, S. A., Alfarraj, M. I., Alajel, S. M. I., Alharbi, A. L., Alsaman, S. A., & Alhumaydhi, F. A. (2022). GC-MS and *in vitro* antibacterial potential of *Cinnamomum camphora* essential oil against some clinical antibiotic-resistant bacterial isolates. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 26, 5372-5379.
- Munir, U., Afza, N., Ateeq, M., Haq, S. U., Hassan, M, Asghar, M. A., Hamad, M., Abrar, M., Asif, H., & Ali, I. (2025). Therapeutic potential of essential oils in modern medicine. In: Khan A, Hussain R, Tahir S and d Ghafoor N (eds), *Medicinal Plants and Aromatics: A Holistic Health Perspective*. *Unique Scientific Publishers*, Faisalabad, Pakistan, 214-219. <https://doi.org/10.47278/book.HH/2025.194>
- Mutlu, M., Bingol, Z., Uc, E. M., Köksal, E., Goren, A. C., Alwasel, S. H., & Gulcin, İ. (2023). Comprehensive Metabolite Profiling of Cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) Leaf Oil Using LC-HR/MS, GC/MS, and GC-FID : Determination of Antiglaucoma, Antioxidant, Anticholinergic, and Antidiabetic Profiles. *Life*, 13(1), 136. <https://doi.org/10.3390/life13010136>

N

- Naeem, A., Abbas, T., Ali, T. M., & Hasnain, A. (2018). Essential Oils: Brief Background and Uses. *Ann Short Reports*. 1(1), 1006.
- Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R., & De Feo, V. (2013). Effect of Essential Oils on Pathogenic Bacteria. *Pharmaceuticals*, 6(12), 1451-1474. <https://doi.org/10.3390/ph6121451>
- Nazzaro, F., Fratianni, F., Coppola, R., & De Feo, V. (2017). Essential Oils and Antifungal Activity. *Pharmaceuticals*, 10(4), 86. doi:10.3390/ph10040086
- Nebie, B. (2023). Composition chimique et activités biologiques d'huiles essentielles obtenues par codistillation de quelques plantes aromatiques du Burkina Faso. Thèse Unique de Doctorat en Chimie Organique/ Substances naturelles. Université Nazi Boni, BURKINA FASO. [<https://theses.hal.science/tel-04602153v1>], Consulté le : 16/08/2025.
- Nisar, B., Sultan, A., & Rubab, S. L. (2018). Comparison of Medicinally Important Natural Products Versus Synthetic Drugs. A Short Commentary. *Natural Products Chemistry & Research*, 6 (2): 308. <https://doi.org/10.4172/2329-6836.1000308>
- Nunes, S., Ramacciotti, F., Neves, A., Angelin. E. M., Ramos, A. M., Roldão, É., Wallaszkovits, N., Armijo, A. A., & Melo, M. J.(2020). A Diagnostic Tool for Assessing the Conservation Condition of Cellulose Nitrate and Acetate in Heritage Collections: Quantifying the Degree of Substitution by Infrared Spectroscopy. *Heritage Science*, 8 (1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s40494-020-00373-4>

O

Ojah, E. O., Moronkola, D. O., Akintunde, A. A. M. (2020). α -amylase and α -glucosidase antidiabetic potential of ten essential oils from *Calophyllum inophyllum* Linn. *Iberoamerican Journal of Medicine*, 2 (4), 253-260. <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.3841108>

Ojah, E. O. 2020. Medicinal plants: Prospective drug candidates against the dreaded Coronavirus. *Iberoamerican Journal Of Medicine*, 2(4), 314-321. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3881344>

Ouldierou, k., & Righi, S. (2020). Etude Comparative Entre Les Plantes : *Malva Sylvestris* , *Olea Europea* , *Citrus Aurantium* , Utilisées Dans Le Traitement Du Diabete Dans La Médecine Traditionnelle De La Région De Mascara. *Journal of Advanced Research in Science and Technology*, 7 (1), 79-91.

Owokotomo, I. A., Ekundayo, O., Abayomi, T. G., & Chukwuka, A. V. (2015). In-vitro anti-cholinesterase activity of essential oil from four tropical medicinal plants. *Toxicology Reports*, 2, 850-857. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2015.05.003>

P

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

Pasieczna-Patkowska, S., Cichy, M., & Flieger, J. (2025). Application of Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy in Characterization of Green Synthesized Nanoparticles. *Molecules*, 30(3), 684. <https://doi.org/10.3390/molecules30030684>

Petrén, H., Anaia, R. A., Aragam, K. S., Bräutigam, A., Eckert, S., Heinen, R., Jakobs, R., Ojeda-Prieto, L., Popp, M., Sasidharan, R., & Schnitzler, J. P. (2024). Understanding the chemodiversity of plants: Quantification, variation and ecological function. *Ecological Monographs*, 94(4), e1635. doi:10.1002/ecm.1635

Pezantes-Orellana, C., German Bermúdez, F., Matías De la Cruz, C., Montalvo, J. L., & Orellana-Manzano, A. (2024). Essential oils: a systematic review on revolutionizing health, nutrition, and omics for optimal well-being. *Front Med (Lausanne)*, 11:1337785. doi: 10.3389/fmed.2024.1337785.

Pharmawati, M., & Wrsiati, L. P. (2020). Phytochemical Screening and Ftir Spectroscopy on Crud Extract From *Enhalus Acoroides* Leaves. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 24 (1), 70 – 77.

Picone, G. (2024). The 1H HR-NMR Methods for the Evaluation of the Stability, Quality, Authenticity, and Shelf Life of Foods. *Encyclopedia*, 4(4), 1617-1628. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia4040106>

Pitarokili, D., Tzakou, O., Loukis, A., & Harvala, C. (2003). Volatile Metabolites from *Salvia fruticosa* Antifungal Agents in Soil borne Pathogens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(11), 3294–3301. doi:10.1021/jf0211534

Posadzki, P., Alotaibi, A., & Ernst, E. (2012). Adverse effects of aromatherapy: A systematic review of case reports and case series. *International Journal of Risk & Safety in Medicine*, 24(3), 147–161. doi:10.3233/jrs-2012-0568

Poudel, D. K., Rokaya, A., Ojha, P. K., Timsina, S., Satyal, R., Dosoky, N. S., Satyal, P., & Setzer, W. N. (2021). The Chemical Profiling of Essential Oils from Different Tissues of *Cinnamomum camphora* L. and Their Antimicrobial Activities. *Molecules*, 26(17), 5132.

Prabhuji, S. K., Rao, G. P., Pande, S., Srivastava, G. K., & Srivastava, A. K. (2021). Cinnamomum species: Spices of immense medicinal and pharmacological values. *Medicinal Plants*, 13(2), 202-220. doi:10.5958/0975-6892.2021.00024.1

- Prabuseenivasan, S., Jayakumar, M., & Ignacimuthu, S. (2006). *In vitro* antibacterial activity of some plant essential oils. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 6 (39). doi: 10.1186/1472-6882-6-39.
- Pragadheesh, V. S., Saroj, A., Yadav, A., Chanotiya, C. S., Alam, M., & Samad, A. (2013). Chemical characterization and antifungal activity of *Cinnamomum camphora* essential oil. *Industrial Crops and Products*, 49, 628–633. doi:10.1016/j.indcrop.2013.06.023
- Pramod, S. K, Navnath, K. A., & Pramod, S. M. (2021). A Review On Gas Chromatography-Mass Spectrometry (Gc-Ms). *World Journal of Pharmaceutical Research*, 10 (3), 741-763
- R**
- Raimondo, M., & Carlucci, A. (2018). Characterization and pathogenicity of *Plectosphaerella* spp. collected from basil and parsley in Italy. *Phytopathol. Mediterr*, 57(2), 284–295. doi:10.14601/Phytopathol_Mediterr-23206
- Rants'o, T. A., Koekemoer, L. L., Panayides, J.L., & van Zyl, R. L. (2022). Potential of Essential Oil-Based Anticholinesterase Insecticides against *Anopheles Vectors* : A Review. *Molecules*, 27(20), 7026. <https://doi.org/10.3390/molecules27207026>
- Raveau, R., Fontaine, J., & Lounès-Hadj Sahraoui, A. (2020). Essential Oils as Potential Alternative Biocontrol Products against Plant Pathogens and Weeds: A Review. *Foods*, 9(3), 365. <https://doi.org/10.3390/foods9030365>
- Reddy, B. H. V., Hussain, S. M. S., Hussain, M. S., Kumar, R. N., Gupta, J. (2025). Essential oils in cosmetics: Antioxidant properties and advancements through nanoformulations. *Pharmacological Research - Natural Products*, 6, 100192. <https://doi.org/10.1016/j.prenap.2025.100192>
- Rehman, R., Hanif, M. A., Mushtaq, Z., & Al-Sadi, A. M. (2015). Biosynthesis of essential oils in aromatic plants: A review. *Food Reviews International*, 32(2), 117–160. doi:10.1080/87559129.2015.1057841
- Rehman R, Hanif, M. A., Mushtaq, Z., Mochona, B., & Qi, X. (2016). Biosynthetic Factories of Essential Oils: The Aromatic Plants. *Nat Prod Chem Res*, 4 (227). doi:10.4172/2329-6836.1000227
- Reyes-Jurado, F., Franco-Vega, A., Ramírez-Corona, N., Palou, E., & López-Malo, A. (2014). Essential Oils: Antimicrobial Activities, Extraction Methods, and Their Modeling. *Food Engineering Reviews*, 7(3), 275–297. doi:10.1007/s12393-014-9099-2
- Rhoumaa, A, Hajji-Hedfi, L, Bousselma, A., & Matrood, A. A. A. (2023). Essential Oils: An Ecofriendly Approach for Plant Pest and Disease Management. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35 (8), 80-89. doi: 10.9734/IJPSS/2022/XXXXX
- Rikisahedew, J. J., Naidoo, Y., & Dewir, Y. H. (2023). Phytochemical Screening And Potential Antibacterialactivity Of *Tagestes Minuta* L. Leaves. *Applied Ecology And Environmental Research*, 21(5), 4795-4806. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/2105_47954806
- Roca-Couso, R., Flores-Félix, J. D., & Rivas, R. (2021). Mechanisms of Action of Microbial Biocontrol Agents against *Botrytis cinerea*. *Journal of Fungi*, 7(12), 1045. <https://doi.org/10.3390/jof7121045>
- Roohinejad, S., Koubaa, M., Barba, F. J., Leong, S. Y., Khelfa, A., Greiner, R., & Chemat, F. (2017). Extraction Methods of Essential Oils From Herbs and Spices. *Essential Oils in Food Processing*, 21–55. doi:10.1002/9781119149392.ch2
- Ruberto, G., and Baratta, M. T. (2000). Antioxidant activity of selected essential oil components in two lipid model systems. *Food Chemistry*, 69(2), 167–174. doi:10.1016/s0308-8146(99)00247-2

S

- Sadgrove, N. J., Padilla-González, G. F., & Phumthum, M. (2022). Fundamental Chemistry of Essential Oils and Volatile Organic Compounds, Methods of Analysis and Authentication. *Plants*, 11(6), 789. <https://doi.org/10.3390/plants11060789>
- Saha, S., Bhattacharya, R., Chaudhary, M., Hazarika, T. K., & Mitra, A. (2023). Impact of geographical locations on essential oil composition and leaf histochemistry in *Cinnamomum verum* J. S. Presl. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 26 (6), 1546-1562, DOI: 10.1080/0972060X.2023.2256779
- Sakhraoui, N., Metallaoui, S., Chefrou, A., & Hade, A. (2019). La flore exotique potentiellement envahissante d'Algérie : Première description des espèces cultivées en pépinières et dans les jardins. *BASE*, 2, 63-73.
- Salas-Oropeza, J., Jimenez-Estrada, M., Perez-Torres, A., Castell-Rodriguez, A. E., Becerril-Millan, R., Rodriguez-Monroy, M. A., & Canales-Martinez, M. M. (2020). Wound Healing Activity of the Essential Oil of *Bursera morelensis*, in Mice. *Molecules*, 25(8), 1795. doi: 10.3390/molecules25081795.
- Salinas, M., Bec, N., Calva, J., Ramírez, J., Andrade José, M., Larroque, C., Vidari, G., & Armijos, C. (2020). Chemical Composition and Anticholinesterase Activity of the Essential Oil from the Ecuadorian Plant *Salvia pichinchensis* Benth. *Records of Natural Products*, 14(4), 276-285. <http://doi.org/10.25135/rnp.164.19.07.1342>
- Sany, H., Said-Al Ahl, H. A. H., & Astatkie, T. (2022). Essential oil content, yield, and components from the herb, leaf, and stem of curly-leafed parsley at three harvest days. *Journal of Central European Agriculture*, 23(1), 54–61. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/23.1.3293>
- Saty, P., Paudel, P., Poudel, A., Dosoky, N.S., Pokharel, K.K., & Setzer, W. N. (2013). Bioactivities and compositional analyses of *Cinnamomum* essential oils from Nepal: *C. camphora*, *C. tamala*, and *C. glaucescens*. *Nat. Prod. Commun*, 8(12), 1777–1784. doi:10.1177/1934578x1300801232
- Savelev, S., Okello, E., Perry, N. S. L., Wilkins, R. M., & Perry, E. K. (2003). Synergistic and antagonistic interactions of anticholinesterase terpenoids in *Salvia lavandulaefolia* essential oil. *Pharmacology, Biochemistry, and Behavior*, 75(3), 661-668. [https://doi.org/10.1016/s0091-3057\(03\)00125-4](https://doi.org/10.1016/s0091-3057(03)00125-4)
- Shaikh, J. R., & Patil, M. K. (2020). Qualitative tests for preliminary phytochemical screening: An overview. *International Journal of Chemical Studies*, 8 (2), 603-608. doi: 10.22271/chemi.2020.v8.i2i.8834
- Shakya, A. K. (2016). Medicinal plants: Future source of new drugs. *International Journal of Herbal Medicine*, 4(4), 59-64. DOI:10.13140/RG.2.1.1395.6085
- Shankar, S., Prasad, S., Owaiz, M., Yadav, S., Manhas, S., & Yaqoob, M. (2021). Essential Oils, Components And Their Applications: A Review. *Plant Archives*, 21 (1), 2027-2033. doi: <https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2021.v21.S1.331>
- Sharma, T., Pandey, B., Shrestha, B. K., Koju, G. M., Thusa, R., & Karki, N. (2020). Phytochemical Screening of Medicinal Plants and Study of the Effect of Phytoconstituents in Seed Germination. *Tribhuvan University Journal*, 35(2), 1–11. <https://doi.org/10.3126/tuj.v35i2.36183>
- Sharma, N., Yadevendra, Y., Vipin, K., & Chand, S. K. (2021). Folklore and Modern Pharmacology of Camphor (*Cinnamomum camphora* Nees & Eberm): Review. *Sch Int J Tradit Complement Med*, 4(7), 128-135. doi:10.36348/sijtc.2021.v04i07.001

- Shi, S., Wu, Q., Su, J., Li, C., Zhao, X., Xie, J., Gui, S., Su, Z., & Zeng, H. (2013). Composition analysis of volatile oils from flowers, leaves and branches of *Cinnamomum camphora* chvar. Borneol in china. *J. Essent. Oil Res*, 25(5), 395–401. <https://doi.org/10.1080/10412905.2013.809323>
- Si, M. M., Lou, J. S., Zhou, C. X., Shen, J. N., Wu, H. H., Yang, B., He, Q. J., & Wu, H.S. (2010). Insulin releasing and alpha-glucosidase inhibitory activity of ethyl acetate fraction of *Acorus calamus* *in vitro* and *in vivo*. *J Ethnopharmacol*, 128(1), 154-9. doi: 10.1016/j.jep.2009.12.044.
- Silau, S., Kuspradini, H., & Kusuma, I. W. (2021). Effectiveness of Distillation models on bioactivity from essential oil fraction of *Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl. *Proceedings of the Joint Symposium on Tropical Studies (JSTS-19)*, 11. doi:10.2991/absr.k.210408.051
- Silva-Beltrán, N. P., Boon, S. A., Ijaz, M. K., McKinney, J., & Gerba, C. P. (2023). Antifungal Activity and Mechanism of Action of Natural Product Derivates as Potential Environmental Disinfectants. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 50 (1). kuad036. <https://doi.org/10.1093/jimb/kuad036>
- Silva Júnior, A. Q., Rodrigues, G. D. S., Alcântara de Sousa, K., Maduro Bouillet, L. E., Bianchi Dos Santos, G., de Sousa Barroso, A., & Veras Mourão, R. H. (2024). Molecular modelling and anticholinesterase activity of the essential oil from three chemotypes of *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. Ex Britton & P. Wilson (Verbenaceae). *Heliyon*, 10(8), e29063. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29063>
- Singh S, Chaurasia PK, Bharati SL, et al. (2022). A mini-review on the safety profile of essential oils. *MOJ Biology and Medicine*, 7(1):33-36. DOI: 10.15406/mojbm.2022.07.00162
- Smelcerovic1 Andrija, Djordjevic Aleksandra, Lazarevic Jelena, Stojanovic Gordana. (2013). Recent Advances in Analysis of Essential Oils. *Current Analytical Chemistry*, 9: 61-70.
- Smith, B.C. (2011). *Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*, 2nd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA.
- Sobhy, S., Al-Askar, A. A., Bakhiet, E. K., Elsharkawy, M. M., Arishi, A. A., Behiry, S. I., & Abdelkhalek, A. (2023). Phytochemical Characterization and Antifungal Efficacy of Camphor (*Cinnamomum camphora* L.) Extract against Phytopathogenic Fungi. *Separations*, 10(3), 189. <https://doi.org/10.3390/separations10030189>
- Sobhy Mabrouk, Esraa A. Abdelkarim, Mohamed A. Hussein, Tariq Aziz, Fahad Al-Asmarie , Khulood Fahad Alabbosh, Haiying Cui, Lin Lin. (2025). Essential oils as antibacterials against multidrug-resistant foodborne pathogens: Mechanisms, recent advances, and legal considerations. *Food Bioscience*, 64, 105937. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.105937>
- Sokolova AS, Yarovaya OI, Baev DS, Shernyukov AV, Shtro AA, Zarubaev VV, Salakhutdinov NF. (2017). Aliphatic and alicyclic camphor imines as effective inhibitors of influenza virus H1N1. *Eur J Med Chem*, 127:661-670. doi: 10.1016/j.ejmech.2016.10.035.
- Song Zhanlong, Wei Xinxin, Xie Mengmei, Zhao Xiqiang, Sun Jing, Mao Yanpeng, Wang Xujiang, Wang Wenlong. (2022). Study on the microwave extraction process and product distribution of essential oils from citrus peel. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 171, 108726. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108726>
- Sparg S.G., Light M.E., Staden J. van. (2004). Biological activities and distribution of plant saponins. *Journal of Ethnopharmacology*, 94 (2-3) :219–243. doi:10.1016/j.jep.2004.05.016
- Sriramavaratharajan, V., & Murugan, R. (2018a). Cumin scented leaf essential oil of *Cinnamomum chemungianum*: compositions and their *in vitro* antioxidant, α -amylase, α -glucosidase and lipase

inhibitory activities. *Natural product research*, 32(17), 2081-2084.
<https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1360884>

Sriramavaratharajan, V., & Murugan, R. (2018b). Screening of Chemical Composition, *in vitro* Antioxidant, α -Amylase and α -Glucosidase Inhibitory Activities of the Leaf Essential Oils of *Cinnamomum wightii* from Different Populations. *Natural Product Communications*, 13(11), 1934578X1801301132. <https://doi.org/10.1177/1934578X1801301132>

Srivastava, S. K., & Singh, N. K. (2020). General overview of medicinal and aromatic plants: A review. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 8(5), 91-93.

Stratakos, A. C., & Koidis, A. (2016). Methods for Extracting Essential Oils. *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*, 31–38. doi:10.1016/b978-0-12-416641-7.00004-3

Sukatta, U., Haruthaithanasan, V., Chantarapanont, W., Dilokkunanant, U., & Suppakul, P. (2008). Antifungal activity of clove and *cinnamon oil* and their synergistic against postharvest decay fungi of grape *in vitro*. *Kasetsart Journal - Natural Science*, 42 (5), 169–174.

T

Tabanca N., Demirci B., Crockett S. L., Baser K. H. C., & Wedge D. E. (2007). Chemical composition and antifungal activity of *Arnica longifolia*, *Aster hesperius*, and *Chrysothamnus nauseosus* essential oils, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (21), 8430–8435.

Tadikonda, R. R., Sappidi, H., & Likhitha, L. K. (2023). Gas Chromatography-Mass Spectroscopy: An Overview Gas Chromatography-Mass Spectroscopy: An Overview. *European Journal of Biomedical AND Pharmaceutical sciences*, 10 (5), 83-89.

Taheri, P., Soweizy, M., & Tarighi, S. (2023). Application of essential oils to control some important fungi and bacteria pathogenic on cereals. *Journal of Natural Pesticide Research*, 6 (1), 100052.
<https://doi.org/10.1016/j.napere.2023.100052>

Tariq, S., Wani, S., Rasool, W., Bhat, M. A., Prabhakar, A., Shalla, A. H., & Rather, M. A. (2019). A comprehensive review of the antibacterial, antifungal and antiviral potential of essential oils and their chemical constituents against drug-resistant microbial pathogens. *Microbial Pathogenesis*, 134, 103580. doi:10.1016/j.micpath.2019.103580

Teng, H., & Chen, L. (2016). α -Glucosidase and α -amylase inhibitors from seed oil: A review of liposoluble substance to treat diabetes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(16), 3438–3448. doi:10.1080/10408398.2015.1129309

Thanushiyan, V. (2025). A Review of Wound Healing Potential of Soodan (Camphor) and Its Integration in Siddha Medicine. *Sri Lanka Journal of Siddha Medicine*, 1(1), 1-17.

Tian, Y., Zhou, J., Zhang, Y., Wang, S., Wang, Y., Liu, H., & Wang, Z. (2021a). Research Progress in Plant Molecular Systematics of *Lauraceae*. *Biology*, 10(5), 391.
<https://doi.org/10.3390/biology10050391>

Tian, Z., Luo, Q., & Zuo, Z. (2021b). Seasonal Emission of Monoterpenes From Four Chemotypes of *Cinnamomum camphora*. *Industrial Crops and Products*, 163, 113327.

Tissot, P. (1935). La culture du Camphrier et la production du camphre. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 15(165), 340-350.

Torres Armendáriz, V., Manjarrez Domínguez, C. B., Acosta-Muñiz, C. H., Guerrero-Prieto, V. M., Parra-Quezada, R. Á., Noriega Orozco, L. O., & Ávila-Quezada, G. D. (2016). Interactions between

Escherichia coli O157:H7 and food plants. Has this bacterium developed internalization mechanisms?. *Revista mexicana de fitopatología*, 34 (1). <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1507-4>

Tran, T. A., Ho, M. T., Song, Y. W., Cho, M., & Cho, S. K. (2015). Camphor induces proliferative and anti-senescence activities in human primary dermal fibroblasts and inhibits UV-induced wrinkle formation in mouse skin. *Phytother Res*, 29, 1917-1925

Truzzi, E., Marchetti, L., Bertelli, D., & Benvenuti, S. (2021). Attenuated Total Reflectance–Fourier Transform Infrared (ATR–FTIR) Spectroscopy Coupled With Chemometric Analysis for Detection and Quantification of Adulteration in Lavender and *Citronella* Essential Oils. *Phytochemical Analysis*, 32(6), 907–920.

Truzzi, E., Durante, C., Bertelli, D., Catellani, B., Pellacani, S., & Benvenuti S. (2022) .Rapid Classification and Recognition Method of the Species and Chemotypes of Essential Oils by ATR-FTIR Spectroscopy Coupled With Chemometrics. *Molecules*, 27 (17), 5618.

Tyagi, A., Yadav, A. K., Yadav, A., Sainia, L., Kumara, V., Jain, ,...& Malik, V. (2022). Vibrational Spectroscopic Methods for the Identification and Distinction of Essential Oils in *Genus Ocimum L.*: A Chemometric Approach. *Journal of King Saud University Science*, 34 (8), 102355.

U

Ud-Daula, A., Demirci, F., Abu Salim, K., Demirci, B., Lim, L.B.L, Baser, K.H.C., Ahmad, N. (2016). Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Essential Oils From Leaves, Aerial Stems, Basal Stems, and Rhizomes of *Etlingera fimbriobracteata* (K.Schum.) R.M.Sm. *Industrial Crops and Products*, 84 (2016), 189–198. doi:10.1016/j.indcrop.2015.12.034

Ueta, I. (2022). Gas chromatographic determination of volatile compounds. *ANAL. SCI.* 38, 737–738 .<https://doi.org/10.1007/s44211-022-00108-4>

Umashankar, D. D. (2020). Plant Secondary Metabolites as Potential usage in Regenerative Medicine. *J Phytopharmacol*, 9(4), 270-273.

Uwineza, P. A., & Waśkiewicz, A. (2020). Recent Advances in Supercritical Fluid Extraction of Natural Bioactive Compounds from Natural Plant Materials. *Molecules*, 25(17), 3847. doi:10.3390/molecules25173847

V

Vaghardoost, R., Gholam, S. R. M., Tebyanian, H., Babavalian, H., Malaei, L., Niazi, M.,... & Javdani, A. (2018). The healing effect of sesame oil, camphor and honey on second degree burn wounds in rat. *World J Plast Surg*, 7, 67-71.

Valido, A., Boncompagni, A. C., Tsang, M., & Hume, P. (2025). There's the Rub: a narrative review of the benefits and complications associated with Vicks VapoRub use. *PeerJ Life and Environment*, 13, e19105. doi: 10.7717/peerj.19105.

Vargas Jentzsch, P., & Ciobotă, V. (2014). Raman Spectroscopy as an Analytical Tool for Analysis of Vegetable and Essential Oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 29 (5), 287–295.

Viljoen, A., van Vuuren, S., Ernst, E., Klepser, M., Demirci, B., Başer, H., & van Wyk, B.E. (2003). *Osmitopsis asteriscoides* (Asteraceae)-the antimicrobial activity and essential oil composition of a Cape-Dutch remedy. *Journal of Ethnopharmacology*, 88(2-3), 137–143. doi:10.1016/s0378-8741(03)00191-0

Vora, L. K., Gholap, A. D., Hatvate, N. T., Naren, P., Khan, S., Chavda, V. P., Balar, P. C., Gandhi, J., Khatri, D.K. (2024). Essential oils for clinical aromatherapy: A comprehensive review. *Journal of Ethnopharmacology*, 330, 118180. doi: 10.1016/j.jep.2024.118180.

W

- Wang, J., Cao, X., Song, L., Ding, Z., Tang, F., & Yue, Y. (2017). Comparative chemical composition and antifungal activity of the essential oils of *Cinnamomum camphora* L. Presl Leaves from three geographic origins. *Food Sci.* 38, 131–136.
- Wang, W., Li, D., Huang, X., Yang, H., Qiu, Z., Zou, L., Liang, Q., Shi, Y., Wu, Y., Wu, S., Yang, C., & Li, Y. (2019). Study on Antibacterial and Quorum-Sensing Inhibition Activities of *Cinnamomum camphora* Leaf Essential Oil. *Molecules*, 24(20), 3792. <https://doi.org/10.3390/molecules24203792>
- Wang, J., Su, B., Jiang, H., Cui, N., Yu, Z., Yang, Y., & Sun, Y. (2020a). Traditional uses, phytochemistry and pharmacological activities of the genus *Cinnamomum* (Lauraceae): A review. *Fitoterapia*, 146:104675. doi: 10.1016/j.fitote.2020.104675.
- Wang, L., Zhang, K., Zhang, K., Zhang, J., Fu, J., Li, J., Wang, G., Qiu, Z., Wang, X., & Li, J. (2020b). Antibacterial Activity of *Cinnamomum camphora* Essential Oil on *Escherichia coli* During Planktonic Growth and Biofilm Formation. *Front Microbiol.* V 11:561002. doi: 10.3389/fmicb.2020.561002.
- Wei, C., Li, H., Cui, G., Ma, Chunhui, Deng., R., Zou, Z., & Liu, Z. (2022). Efficient separation of *Cinnamomum camphora* leaf essential oil and *in vitro* evaluation of its antifungal activity. *Arabian Journal of Chemistry*, 15 (11), 104225. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104225>
- Wińska, K., Mączka, W., Łyczko, J., Grabarczyk, M., Czubaszek, A., & Szumny, A. (2019). Essential Oils as Antimicrobial Agents—Myth or Real Alternative?. *Molecules*, 24(11), 2130. <https://doi.org/10.3390/molecules24112130>

X

- Xiao, S., Yu, H., Guo, Y., Cheng, Y., & Yao, W. (2025). The Antibacterial and Anti-Inflammatory Potential of *Cinnamomum camphora* chvar. Borneol Essential Oil *In Vitro*. *Plants*, 14(12), 1880. <https://doi.org/10.3390/plants14121880>
- Xu, L., Zhan X, Zeng Z., Chen R., Li H., Xie, T., & Wang, S. Recent advances on supercritical fluid extraction of essential oils. (2011). *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 5(9), 1196-1211. doi: 10.5897/AJPP11.228
- Xu, Y., Qin, J., Wang, P., Li, Q., Yu, S., Zhang, Y., & Wang, Y. (2020). Chemical composition and larvicidal activities of essential oil of *Cinnamomum camphora* (L.) leaf against *Anopheles stephensi*. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.* 2020, 53, e20190211.

Y

- Yan, T., Chen, Y., Shang, L., & Li, G. (2019). Assessment of Essential Oils From Five *Santalum* Species Using ATR-Fourier Transform Mid-Infrared Spectroscopy and GC-MS Combined With Chemometric Analysis. *Journal of Essential Oil Research*, 32 (2), 150–157.
- Yan, J., Niu, Y., Wu, C., Zhao, P., Naik, N., Mai, X., & Yuan, B. (2021). Antifungal Effect of Seven Essential Oils on Bamboo. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 4 (3), 552–561.
- Yang, Z., Liu, B., Yang, Y., & Ferguson, D. K. (2022). Phylogeny and taxonomy of *Cinnamomum* (Lauraceae). *Ecology and Evolution*, 12, e9378. <https://doi.org/10.1002/ece3.9378>
- Yang, J., & Park, M. J. (2025). Antioxidant Effects of Essential Oils from the Peels of *Citrus Cultivars*. *Molecules*, 30(4), 833. <https://doi.org/10.3390/molecules30040833>

Yaşayan, G., G. Karaca, Z. P. Akgüner, & A. Bal Öztürk. 2021. Chitosan/Collagen Composite Films as Wound Dressings Encapsulating Allantoin and Lidocaine Hydrochloride. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 70 (9), 623–635. <https://doi.org/10.1080/00914037.2020.1740993>

Yilmaz, M. A. (2020). Simultaneous quantitative screening of 53 phytochemicals in 33 species of medicinal and aromatic plants: A detailed, robust and comprehensive LC–MS/MS method validation. *Industrial crops products* 149: 112347.

Yu, J. (2025). Chemical Composition of Essential Oils and Their Potential Applications in Postharvest Storage of Cereal Grains. *Molecules*, 30(3), 683. <https://doi.org/10.3390/molecules30030683>

Z

Zafar, M. M. I., Hassan, F., Naqvi, S. B. S., HASAN, S. M. F., SABAHAAT JABEEN, S., & ISRAR, F.(2019). Evaluation of antibacterial activity of camphor, benzoin, cubebs, fenugreek, apricot and cinnamon leaf against standard cultures and clinical isolates of an array of organisms. *Pakistan Journal dePharmacologie*, 36 (1 & 2), 69–75,

Zakaria, G. A., Mostafa, N. M., Abou El-Ezz, R. F., & Eldahshan, O. A. (2023). Evaluation of Antioxidant Activity of *Cinnamomum glanduliferum* Leaf Oil Using Several *In-vitro* Assays. *Archives of Pharmaceutical Sciences Ain Shams University*, 7(1), 200–207. <https://doi.org/10.21608/aps.2023.209218.1120>

Zambonelli, A., D'Aulerio, A. Z., & Bianchi, A. (1996). Effects of essential oils on phytopathogenic fungi *in vitro*. *Journal of Phytopathology*, 144:491-494.

Zengin, H., & Baysal, A. H. (2014). Antibacterial and Antioxidant Activity of Essential Oil Terpenes against Pathogenic and Spoilage-Forming Bacteria and Cell Structure-Activity Relationships Evaluated by SEM Microscopy. *Molecules*, 19(11), 17773-17798. <https://doi.org/10.3390/molecules191117773>

Zhang, L., Jing, Z., Li, Z., Liu, Y., & Fang, S. (2019). Predictive Modeling of Suitable Habitats for *Cinnamomum Camphora* (L.) Presl Using Maxent Model under Climate Change in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(17), 3185. <https://doi.org/10.3390/ijerph16173185>

Zhang, K., Gao, L., Zhang, C., Feng, T., & Zhuang, H. (2022a). Analysis of Volatile Flavor Compounds Of Corn Under Different Treatments By GC-MS And GC-IMS. *Front Chem*, 4 (10), 725208. doi: 10.3389/fchem.2022.725208

Zhang, H., Huang, T., Liao, X., Zhou, Y., Chen, S., Chen, J., & Xiong, W. (2022b). Extraction of Camphor Tree Essential Oil by Steam Distillation and Supercritical CO₂ Extraction. *Molecules*, 27(17), 5385.

Zhang, Y., Zhou, J., Tng, D.Y. P., Wang, S., Wang, Y., Peng, Y., Liu, H., & Wang, Z. (2023a). Phylogeny and Systematics of *Sassafras* (Lauraceae), an Interesting Genus with Disjunct Distributions in Eastern North America and East Asia. *Plants*, 12, 1419. <https://doi.org/10.3390/plants12061419>

Zhang, T., Zheng, Y., Fu, C., Yang, H., Liu, X., Qiu, F., Wang, X., & Wang, Z. (2023b). Chemical Variation and Environmental Influence on Essential Oil of *Cinnamomum camphora*. *Molecules*, 28(3), 973. <https://doi.org/10.3390/molecules28030973>

Zhang, T., Li, M., Lu, J., Wang, J., Zhang,., Panichayupakaranant, P., & Chen, H. (2025). Insights into the Sources, Structure, and Action Mechanisms of Quinones on Diabetes: A Review. *Molecules*, 30(3), 665. <https://doi.org/10.3390/molecules30030665>

- Ziaja, D., Sasidharan, R., Jakobs, R., Eilers EJ., & Müller C. (2025). Chemotype, maternal genotype, or field neighbors: what influences performance and resource allocation in a perennial plant species the most?. *Oecologia*, 207, 134. <https://doi.org/10.1007/s00442-025-05767-4>
- Złotek, U., Rybczyńska-Tkaczyk, K., Michalak-Majewska, M., Sikora, M., & Jakubczyk, A. (2020). Potential Acetylcholinesterase, Lipase, α -Glucosidase, and α -Amylase Inhibitory Activity, as well as Antimicrobial Activities, of Essential Oil from Lettuce Leaf Basil (*Ocimum basilicum* L.) Elicited with Jasmonic Acid. *Appl. Sci*, 10, 4315. <https://doi.org/10.3390/app10124315>
- Zorrilla, J.G., & Evidente, A. (2022). Structures and Biological Activities of Alkaloids Produced by Mushrooms, a Fungal Subgroup. *Biomolecule*, 12 (8): 1025. doi:10.3390/biom12081025
- Zouari, N. (2013) Essential Oils Chemotypes : A Less Known Side. *Med Aromat Plants*, 2(2), 1e145. doi:10.4172/2167-0412.1000e145
- Zuccarini, P. (2009). Camphor: risks and benefits of a widely used natural product. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 13(2), 69 - 74. doi:10.4314/jasem.v13i2.55317
- Żukowska, G., & Durczyńska, Z. (2024). Properties and Applications of Essential Oils: A Review. *Journal of Ecological Engineering*, 25(2), 333–340. <https://doi.org/10.12911/22998993/177404>
- Zuzarte, M., Sousa, C., Alves-Silva, J., & Salgueiro, L. (2024). Plant Monoterpenes and Essential Oils as Potential Anti-Ageing Agents: Insights from Preclinical Data. *Biomedicines*, 12(2), 365. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12020365>