

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département de Biologie



Projet de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme de Master en: Biologie
Domaine : Sciences de la nature et de la vie
Filière : Sciences biologiques
Spécialité : Microbiologie appliquée

Thème

**Évaluation de l'activité antimicrobienne synergique (*in vitro*) des huiles essentielles
extraites de trois plantes médicinales (*Rosmarinus officinalis* L, *salvia officinalis* et
Laurus nobilis) issues de la région d'Aïn Témouchent**

Soutenu le : 21/06/2026

Présenté Par :
Melle. MESABIH Mouna

Devant le jury composé de :

Dr. BENELHADJ DJELLOUL Saadia	MCA	UAT.B.B (Ain Témouchent)	Présidente
Dr. BOUCHACHIA Souad	MCA	UAT.B.B (Ain Témouchent)	Examinatrice
Dr. BENYOUCEF Fatima	MCB	UAT.B.B (Ain Témouchent)	Encadrante
Dr. RAHMANI Khaled	MCA	UAT.B.B (Ain Témouchent)	Co-Encadrant

Année Universitaire 2025/2026

Table Des Matières

Remerciement.....	01
Dédicace.....	01
Résumés.....	01
Liste des abreviations.....	01
Liste des tableaux.....	01
Liste des figures.....	01
Introduction.....	01
Chapitre 01 : Synthèse bibliographique.....	01
1. Généralités sur les plantes médicinales	01
1.1. Définition des plantes médicinales.....	01
1.2. Principe actif	01
3. Description de plantes étudiées	02
3.1. <i>Rosmarinus officinalis</i> L.....	02
3.1.1. Description botanique	02
3.1.2. Nomenclature	02
3.1.3. Systématique	03
3.1.4. Habitat et répartition géographique	03
3.1.5. Usage et utilisation en médecine traditionnelle.....	04
3.1.6. Composition chimique (HE).....	05
3.1.7. Toxicité	05
3.2. <i>Salvia officinalis</i>	06
3.2.1. Description botanique	06
3.2.2. Nomenclature	06
3.2.3. Systématique	06
3.2.4. Habitat et répartition géographique.....	07
3.2.5. Usage et utilisation en médecine traditionnelle.....	08
3.2.6. Composition chimique (HE).....	08
3.2.7. Toxicité	09
3.3. <i>Laurus nobilis</i>	10
3.3.1. Description botanique	10
3.3.2. Nomenclature	11

3.3.3.	
Systématique	11
3.3.4. Habitat et répartition géographique	11
3.3.5. Usage et utilisation en médecine traditionnelle	12
3.3.6. Composition chimique (HE).....	13
3.3.7. Toxicité	13

Chapitre 02 : Méthodes d'extraction des huiles essentielles.....

I. Extraction par entraînement à la vapeur d'eau	15
1.1. Montages	15
1.2. Principe	15
1.3. Avantage et inconvénient	15
2. Extraction par solvant organique	16
2.1. Montages	16
2.2. Principe	16
2.3. Avantage et inconvénient	16
3. Extraction assistée par micro-ondes	17
3.1. Montages	17
3.2. Principe	17
3.3. Avantage et inconvénient	18
4. Extraction par fluide à l'état supercritique	18
4.1. Montages	18
4.2. Principe	18
4.3. Avantage et inconvénient	18
5. Extraction par hydro distillation	19
5.1. Montages	19
5.2. Principe	19
5.3. Avantage et inconvénients	19

Chapitre 03 : Les huiles essentielles.....

I. Generalite sur les huiles essentielles	21
2. Définition	21
3. Utilisation historique et actuelle des huiles essentielles	22
4. Propriétés organoleptiques	23
4.1. La couleur	23

4.2. L'odeur	23
4.3. La saveur	23
5. Propriétés physique	23
6. Propriétés reconnues des huiles essentielles	24
7. Critères de qualité des huiles essentielles	24
8. Composition chimique.....	25
8.1. Les Monoterpènes hydrocarbonés.....	26
8.2. Les Monoterpènes oxygénés.....	26
8.3. Diterpènes hydrocarbonés.....	27
8.4. Diterpènes oxygénés	28
8.5. Les Sesquiterpènes hydrocarbonés.....	28
8.6. Les Sesquiterpènes oxygénés.....	29
9. Activités biologiques.....	30
9.1. Activités antioxydante.....	30
9.2. Activités antibactérienne.....	31
9.3. Activités antiinflammatoire.....	32
9.4. Activités anti-insecticide.....	32
9.5. Activités anticancéreuse.....	32
Chapitre 04 : Matériel et méthode.....	33
1. Matériel végétal.....	33
2. Extraction d'huile essentielle (HE).....	33
2.1. Principe.....	33
2.2. Mode opératoire	34
4. Etude de l'activité anti microbienne.....	35
4.1. Matériel utilisé	35
4.2. Appareils	36
4.3. Matériel biologique	36
4.4. Milieu utilisés	36
4.5. Méthodes d'évaluation de l'activité antimicrobiennes.....	37
4.5.1. Purification.....	37
4.5.2. Test de l'activité antibactérienne.....	37
4.5.3. Lecture des résultats.....	38
Chapitre 05 : Résultats et discussions.....	39

I. Résultats.....	41
I.1. Résultat d'extraction d'huile essentielle.....	41
I.2. Résultats d'activité antibactérienne.....	41
I.2.1. Matrice individuelle des huiles essentielles.....	41
I.2.2. Matrice croisée des huiles essentielles.....	42
2. Discussions.....	44
Conclusion général	
Références bibliographiques	



Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Avant de commencer la présentation de ce travail, nous profitons de l'occasion pour remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'études.

*Nos remerciements les plus respectueux vont Dr. **BENELHADJ DJELLOUL** Saadia qui a bien voulu nous faire l'honneur de présider le jury. Veuillez trouver ici Madame le témoignage de notre reconnaissance et notre respect le plus profond.*

*Nous remercions également Dr **BOUCHACHIA** Souad pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant d'examiner ce travail et de siéger parmi cet honorable jury. Veuillez accepter ce travail, en preuve de notre grand respect et de toutes nos profondes reconnaissances.*

*Nous remercions tous particulièrement notre encadrants Dr **BENYDUCHEF** Fatima et Dr **RAHMANI** Khaled Vous avez bien voulu nous confier ce travail riche d'intérêt et nous guider à chaque étape de sa réalisation. Vous nous avez toujours réservé le meilleur accueil, malgré vos obligations professionnelles. Vos encouragements inlassables, votre confiance, votre gentillesse, votre patience méritent toute admiration. Aucune expression de gratitude ne sera suffisante pour vous exprimer notre respect et notre reconnaissance.*

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenus dans la poursuite de nos études.

A toutes et tous, un grand merci !





بسم الله الرحمن الرحيم

À ceux dont les prières ont été le secret de ma réussite et la lumière de mon chemin...

À mon cher père et à ma tendre mère, qu'Allah vous protège et vous garde toujours auprès de moi. Je vous dédie le fruit de mes efforts et de ma réussite, en témoignage de mon amour et de ma profonde gratitude pour tous vos sacrifices et votre soutien inestimable.

À mes chères sœurs Doha et Meriem et à mes chers frères Abderrahmane et Adem, merci d'avoir été mon soutien et ma source de joie tout au long de ce parcours.

À mes grand-mères adorées, pour leur affection, leurs encouragements et leurs prières sincères.

À mes oncles Hamid, Boualem, Mohamed, Miloud, Houari, Ahmed, Hami et Abdelkader, ainsi qu'à toute ma famille, qui ont toujours été une source de force et de fierté pour moi.

À mes chers amis Riad, Houari et Mamia, qui ont partagé avec moi les plus beaux moments de ce parcours, merci pour votre présence, votre soutien et vos encouragements sincères.

À mes enseignants et encadreurs, qui ont été une grande partie de ce travail, merci pour votre patience, vos précieux conseils et votre accompagnement tout au long de cette expérience académique.

À toutes les personnes qui ont été un soutien pour moi dans l'ombre comme dans la lumière, merci pour tout l'amour, les encouragements et l'aide que vous m'avez apportés. Votre présence a marqué mon parcours d'une très belle manière.

Je dédie humblement ce travail à vous tous, en espérant qu'il soit le début d'un avenir plein de réussite et d'espoir.

Mouna



ملخص

يهدف هذا العمل إلى دراسة النشاط المضاد للبكتيريا للزيوت الأساسية الفردية و كذا المخاليط المتصالبة لثلاثة نباتات طبية عطرية : (إكليل الجبل) *Rosmarinus officinalis* L و (الميرمية) *salvia officinalis* و (اوراق شجرة الغار) *Laurus nobilis* حيث تم استخراج الزيوت الأساسية عن طريق التقطير المائي.

أظهر النشاط المضاد للميكروبات نتائج متباينة بين الزيوت الأساسية الفردية والمخاليط المتصالبة، مع تفاوت واضح في الفعالية حسب نوع الميكروب المستهدف وطبيعة التركيبة المستعملة.

برز زيت شجرة الغار كالأكثر فعالية ضد البكتيريا السالبة الغرام، خاصة ضد *Escherichia coli*، مع نشاط جيد ضد البكتيريا الموجبة الغرام. أما زيت إكليل الجبل فقد أظهر نشاطاً متوسطاً عاماً مع تميز نسبي ضد الخمائر. في المقابل، سجل زيت الميرمية فعالية محدودة عموماً، مع نشاط متوسط ضد *Staphylococcus aureus* فقط.

أظهرت التركيبات الثنائية والثلاثية تفاعلات معقدة تراوحت بين التآزر القوي والتضاد الشديد. فالمخلوط الثنائي (إكليل الجبل + شجرة الغار) حقق أقوى تأزر ضد معظم الميكروبات المدروسة، متفوقاً بشكل ملحوظ على النشاط الفردي لكل زيت على حدة. كما سجل المخلوط الثنائي (إكليل الجبل + الميرمية) تأزراً قوياً مفاجئاً ضد *Klebsiella pneumoniae*، في حين أظهر تضاداً شديداً ضد ميكروبات أخرى. أما المخلوط الثلاثي فقد حقق نتائج إيجابية متنوعة مع تأزر متوسط إلى قوي ضد غالبية الميكروبات.

تُظهر هذه النتائج أن زيت شجرة الغار يتميز بفعالية عليا ضد البكتيريا السالبة الغرام، بينما زيت إكليل الجبل يبرز بفعاليته ضد الخمائر. كما تؤكد الدراسة أن المخاليط المتصالبة، وخاصة المخلوط الثنائي (إكليل الجبل + شجرة الغار)، يمكن أن تولد تأزراً قوياً يفوق النشاط الفردي للزيوت، مما يفتح آفاقاً واعدة لتطوير تركيبات طبيعية مضادة للميكروبات. ومع ذلك، فإن ظهور تفاعلات تضاد في بعض التركيبات يستدعي الحذر في اختيار المخاليط ويدعو إلى دراسة أعمق للآليات الكيميائية الحيوية المسؤولة عن هذه التفاعلات.

الكلمات المفتاحية: الزيوت الأساسية ، التقطير المائي، مضاد للجراثيم ، مخاليط متصالبة، تأزري.

Résumé

Ce travail vise à étudier l'activité antimicrobienne des huiles essentielles individuelles ainsi que des mélanges croisés de trois plantes médicinales aromatiques : le romarin (*Rosmarinus officinalis* L.), la sauge officinale (*Salvia officinalis*) et le laurier noble (*Laurus nobilis*), dont les huiles essentielles ont été extraites par hydrodistillation.

L'activité antimicrobienne a révélé des résultats variables entre les huiles essentielles individuelles et les mélanges croisés, avec des différences marquées d'efficacité selon le type de microbe ciblé et la nature de la composition utilisée.

L'huile de laurier s'est révélée la plus efficace contre les bactéries à Gram négatif, notamment contre *Escherichia coli*, avec une bonne activité contre les bactéries à Gram positif. L'huile de romarin a montré une activité globale modérée avec une distinction relative contre les levures. En revanche, l'huile de sauge a présenté une efficacité généralement limitée, avec une activité modérée uniquement contre *Staphylococcus aureus*.

Les compositions binaires et ternaires ont montré des interactions complexes allant de la synergie forte à l'antagonisme marqué. Le mélange binaire (romarin + laurier) a réalisé la synergie la plus forte contre la plupart des microbes étudiés, surpassant nettement l'activité individuelle de chaque huile. Le mélange binaire (romarin + sauge) a également enregistré une synergie forte et inattendue contre *Klebsiella pneumoniae*, tout en présentant un antagonisme prononcé contre d'autres microbes. Quant au mélange ternaire, il a donné des résultats positifs variés avec une synergie modérée à forte contre la majorité des microbes.

Ces résultats montrent que l'huile de laurier se distingue par une efficacité élevée contre les bactéries à Gram négatif, tandis que l'huile de romarin se caractérise par son activité contre les levures. L'étude confirme également que les mélanges croisés, en particulier le mélange binaire (romarin + laurier), peuvent générer une synergie forte dépassant l'activité individuelle des huiles, ouvrant ainsi des perspectives prometteuses pour le développement de formulations naturelles antimicrobiennes. Cependant, l'apparition d'interactions d'antagonisme dans certaines compositions appelle à la prudence dans le choix des mélanges et invite à une étude plus approfondie des mécanismes chimiques et biochimiques responsables de ces interactions.

Mots-clés : huiles essentielles, hydrodistillation, Mélanges croisés, antimicrobienne, synergique.

Abstract

This work aims to study the antimicrobial activity of individual essential oils as well as cross-mixtures of three aromatic medicinal plants: rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.), common sage (*Salvia officinalis*), and bay laurel (*Laurus nobilis*), whose essential oils were extracted by hydrodistillation.

The antimicrobial activity revealed variable results between individual essential oils and cross-mixtures, with marked differences in efficacy depending on the type of target microbe and the nature of the composition used.

Bay laurel oil proved to be the most effective against Gram-negative bacteria, particularly against *Escherichia coli*, with good activity against Gram-positive bacteria. Rosemary oil showed overall moderate activity with relative distinction against yeasts. In contrast, sage oil exhibited generally limited efficacy, with moderate activity only against *Staphylococcus aureus*.

Binary and ternary compositions showed complex interactions ranging from strong synergy to marked antagonism. The binary mixture (rosemary + bay laurel) achieved the strongest synergy against most of the studied microbes, significantly surpassing the individual activity of each oil. The binary mixture (rosemary + sage) also recorded a strong and unexpected synergy against *Klebsiella pneumoniae*, while showing pronounced antagonism against other microbes. As for the ternary mixture, it yielded varied positive results with moderate to strong synergy against the majority of microbes.

These results show that bay laurel oil is distinguished by high efficacy against Gram-negative bacteria, while rosemary oil stands out for its activity against yeasts. The study also confirms that cross-mixtures, particularly the binary mixture (rosemary + bay laurel), can generate strong synergy exceeding the individual activity of the oils, thus opening promising perspectives for the development of natural antimicrobial formulations. However, the appearance of antagonistic interactions in certain compositions calls for caution in the selection of mixtures and invites a deeper study of the chemical and biochemical mechanisms responsible for these interactions.

Keywords: essential oils, Cross-mixtures, hydrodistillation, Antimicrobial, Synergistic.

Liste des abréviations

R: *Rosmarinus officinalis* L,

S: *Salvia officinalis*

L: *Laurus nobilis*

R officinalis: *Rosmarinus officinalis* L,

S officinalis: *Salvia officinalis*

L nobilis: *Laurus nobilis*

HE : huile essentielle

BMH : Bouillon Mueller Hinton

MHA : muler hinton agar

GNI : Gélose nutritive inclinée

M.H : Mueller Hinton

BMH : Bouillon Mueller Hinton

BHT : l'hydroxytoluène butylé

MHA : muler hinton agar

GNI : Gélose nutritive inclinée

M.H : Mueller Hinton

E. coli : *Escherichia coli*

C. freundii : *Citrobacter freundii*

K. pneumoniae : *Klebsiella pneumoniae*

S. aureus : *Staphylococcus aureus*

B. cereus : *Bacillus cereus*

A.T.C.C: American type culture collection.

nm: nanomètre

µl : microlitre

°C : Degré Celsius

mm : millimètre

ESBL : *Extended-Spectrum Beta-Lactamase*

KPC : *Klebsiella pneumoniae* Carbapénémase

MRSA : *Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus*

LPS : Lipopolysaccharide

Liste des tableaux

Tableau_01 : Position systématique de <i>Rosmarinus officinalis</i> L.....	2
Tableau_02: Classification botanique de la sauge	5
Tableau_03: La classification botanique de <i>Laurus nobilis</i> L.....	9
Tableau_04: Appareils de laboratoire utilisés.....	36
Tableau_05: Les souches utilisées dans les différents tests.....	36
Tableau_06: Milieux utilisés pour l'activité antimicrobienne d'huile essentielle.....	36
Tableau_07: Résultat d'extraction.....	41
Tableau_08: Résultats d'activités antimicrobiennes des HEs individuelles.	41
Tableau_09 : Résultats d'activités antimicrobiennes des HEs croisés.....	42
Tableau_10: Analyse synergie/antagonisme des mélanges croisés.....	48
Tableau_11: Détail Top 5 des synergies et antagonismes.....	49

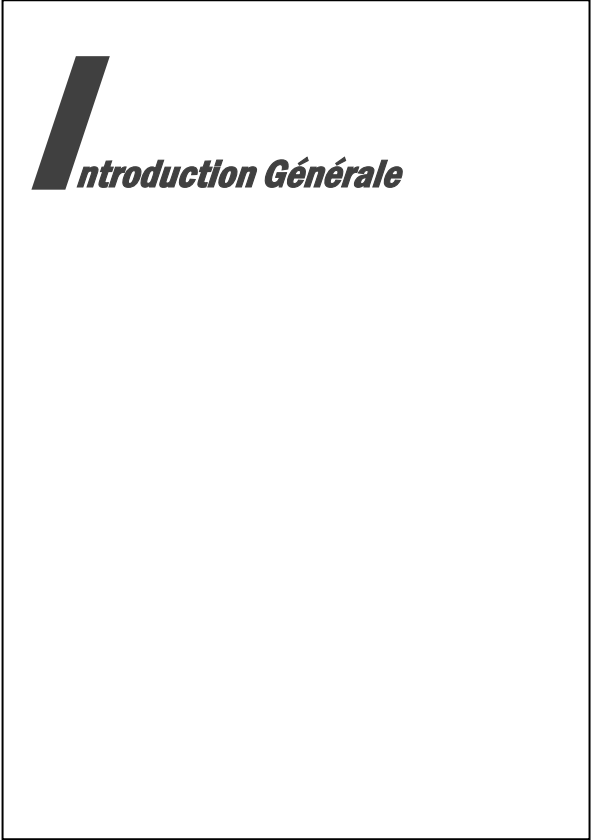
Liste des figures

Figure_1 :les plantes médicinales.....	1
Figure_02 : <i>Rosmarinus officinalis</i> L	2
Figure_03 : Répartition géographique de <i>Rosmarinus officinalis</i> L	3
Figure_04 : <i>Salvia officinalis</i>	6
Figure_05 : Répartition géographique de <i>Salvia officinalis</i>	7
Figure_06 : <i>Laurus Nobilis</i>	11
Figure_07 : Répartition géographique de <i>Laurus nobilis</i>	12
Figure_08 :Montage de l'entraînement à la vapeur d'eau.....	15
Figure_09 :Montage de l'extraction par solvant organique.....	16
Figure_10 : Hydro distillation assistée par micro-ondes.....	17
Figure_11 : Schéma de la technique d'extraction par le CO ₂ supercritique.....	19
Figure_12 : Schéma de la technique d'extraction par hydro distillation.....	20
Figure_13 :les huiles essentielles	21
Figure_14 : historique et actuelle des huiles essentielles.....	22
Figure_15 : Teste de qualité des huiles essentielles.....	24
Figure_16 : Différents composants chimique des huiles essentielles.....	25
Figure_17 : Monoterpènes hydrocarbonés.....	26
Figure_18 : Monoterpènes oxygénés (linalol).....	27
Figure_19 : Diterpènes hydrocarbonés (Phytol).....	27
Figure_20 : Différents diterpènes oxygénés.....	28
Figure_21 : Sesquiterpène hydrocarboné (beta-Caryophyllene).....	29
Figure_22 : Sesquiterpènes oxygéné (Artémisinine).....	29
Figure_23 : Activités biologiques des huiles essentielles.....	30
Figure_24 : Mécanisme du stress oxydatif.....	31
Figure_25 :Plantes médicinales étudiées.....	32
Figure_26 :Dispositif utilise pour l'extraction des HEs.....	34
Figure_27 : Séparation des HEs par décantation.....	35
Figure_28 : Méthode de diffusion sur disques.....	37

Introduction générale

Introduction générale

Introduction Générale



Introduction générale

Les infections microbiennes représentent aujourd'hui un véritable problème de santé publique. Leur fréquence a considérablement augmenté ces dernières années, notamment chez les personnes immunodéprimées et dans le cadre des interventions médicochirurgicales réalisées en milieu hospitalier. Par ailleurs, l'utilisation excessive des agents antibactériens en médecine humaine a favorisé l'émergence de souches microbiennes résistantes, ce qui souligne la nécessité de rechercher de nouvelles substances thérapeutiques (**Mebareki, 2010**).

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), entre 75 et 95 % des populations rurales, particulièrement dans les pays en développement, ont recours à la médecine traditionnelle, qui repose essentiellement sur l'utilisation des plantes médicinales (**OMS, 2003**).

Les études ont montré qu'environ 20 % des espèces végétales à travers le monde possèdent des propriétés thérapeutiques ou cosmétiques. Ces activités sont liées à la présence de molécules bioactives aux diverses propriétés biologiques, exploitées dans plusieurs domaines tels que la médecine, la pharmacie, la cosmétologie ou encore l'agriculture (**Suffredini et al., 2004**). Face aux effets indésirables associés aux médicaments de synthèse et à l'augmentation de la résistance des microorganismes pathogènes aux antibiotiques conventionnels, les recherches scientifiques s'orientent de plus en plus vers l'étude des extraits naturels issus des plantes aromatiques et médicinales, en particulier les huiles essentielles, reconnues pour leurs nombreuses activités biologiques (**Essawi et Srour, 2000**).

Gâce à la diversité de ses étages bioclimatiques, l'Algérie fait partie des pays méditerranéens les plus riches en ressources phylogénétiques à intérêt aromatique et médicinal. Sur les quelque 3 150 espèces végétales recensées dans le pays, plus de 300 sont utilisées à des fins thérapeutiques ou aromatiques (**MORAL, 2002 ; NAIT, 2012**).

De nos jours, les plantes aromatiques et médicinales suscitent un intérêt croissant en raison des nombreuses applications de leurs huiles essentielles et de leurs extraits dans les domaines médical, pharmaceutique et économique. Les huiles essentielles constituent notamment une alternative naturelle prometteuse pour la conservation des aliments. Riches en composés antimicrobiens et antioxydants, elles contribuent à limiter les altérations post-récolte causées par les moisissures et permettent ainsi de préserver la qualité ainsi que la quantité des denrées alimentaires durant leur stockage (**Serrano, 2008**).

Introduction générale

Notre travail a été structuré en cinq parties principales :

Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur les huiles essentielles, en mettant particulièrement l'accent sur leurs propriétés organoleptiques ainsi que sur leur importance dans divers domaines d'application.

Le deuxième chapitre est consacré aux différentes méthodes d'extraction des huiles essentielles. Il propose un aperçu détaillé des techniques employées, tout en exposant les avantages et les inconvénients associés à chacune d'elles.

Le troisième chapitre dresse un bilan général des connaissances sur les plantes médicinales, leurs principes actifs, les huiles essentielles et leurs utilisations. Il aborde également la diversité de leurs compositions chimiques.

Le quatrième chapitre décrit la méthodologie adoptée au cours de ce travail,

Le cinquième chapitre présente les résultats d'activités antimicrobiennes, accompagnés de leur interprétation et d'une discussion critique permettant de situer ces résultats par rapport à la littérature existante.



Synthèse bibliographique

I. Généralités sur les plantes médicinales

I.1. Définition des plantes médicinales

Une plante médicinale, ou bien une portion d'elle, a des vertus soignantes venant du travail lié et commun de ses divers éléments efficaces. Quand on l'utilise comme conseillé, elle ne cause en général aucun effet mauvais **(Simon, 2001)**.

Les remèdes venant des plantes sont nommés clairement via un système scientifique avec deux noms, comprenant le genre, l'espèce, la sorte et l'écrivain. Les études faites sur ces plantes, surtout les analyses des effets et dangers, ont aidé à saisir leur contenu chimique, à montrer leurs bienfaits et à fixer, pour certaines, les quantités bonnes et limites mauvaises.



Figure_01: Exemples des plantes médicinales.

À l'inverse des remèdes chimiques, dont l'effet tient à une molécule artificielle visant un endroit précis, les effets des plantes soignantes viennent du lien compliqué entre tous leurs éléments. De ce fait, le succès de la phytothérapie tient beaucoup au contenu chimique total de la plante **(Kacimi et al., 2024)**.

De plus, les plantes soignantes ont à la fois des atouts pour guérir et empêcher les maux **(Simon, 2001)**. Les éléments créés par la photosynthèse font d'abord des éléments de base, comme les sucres, les graisses et les acides aminés. Puis, la plante crée des éléments secondaires, qui donnent ses vertus soignantes propres **(Bruneton, 1999)**.

2.1. Principe actif

Le principe actif est une matière chimique qui cause les bienfaits thérapeutiques d'une plante, que ce soit pour soigner ou pour éviter, autant chez l'humain que chez l'animal. Il se trouve soit vraiment dans la drogue végétale, soit dans les créations qui en sortent **(Pelt, 1980)**.

3. Description de plantes étudiées

3.1. *Rosmarinus officinalis*

3.1.1. Description botanique

Le romarin (*Rosmarinus officinalis*) est un arbuste aromatique, vivace, ligneux, appartenant à la famille Lamiacées. Il est caractérisé par un feuillage persistant, à feuilles étroites, allongées, similaires à l'aiguille, avec une odeur aromatique. La hauteur de cette plante est généralement dressée, avec une hauteur maximale de 2 mètres. La largeur et la longueur des feuilles varient entre 2 et 4 cm, avec une largeur comprise entre 2 et 5 mm. La face supérieure est verte, tandis que la face inférieure est blanchâtre, en raison de la présence de poils courts, denses, laineux. La variété du romarin repose principalement sur la morphologie foliaire, la disposition des rameaux, ainsi que sur les couleurs variées de fleurs blanches, roses, violettes ou bleues (**Mateu-Andrés et al. , 2013 ; Zigene et al., 2023**).



Figure_2 : *Rosmarinus officinalis* L

Enfin, cette variabilité botanique influence fortement les rendements de cette plante, notamment quant à la production de feuilles, d'huile essentielle, ainsi qu'à la composition chimique, ce qui pourrait induire une différence quant à ses propriétés biologiques (**Banjaw et al. , 2016 ; Abdo et al., 2018**).

3.1.2. Nomenclature

Le *Rosmarinus officinalis* L, connu actuellement sous le nom de *Salvia rosmarinus*. En Algérie, cette plante est communément appelée « Iklil El Jabel » ou « El Yazir ».

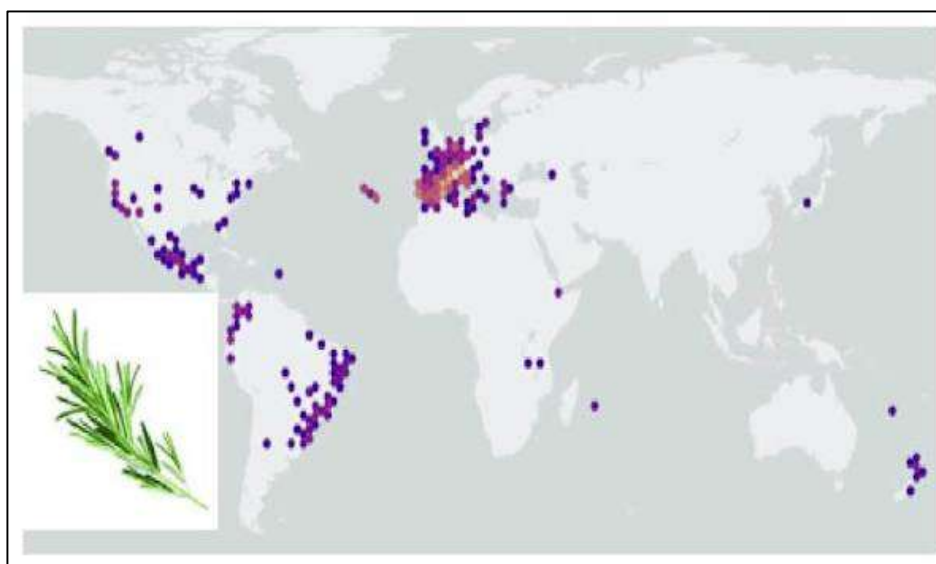
3.1.3. Systématique

Tableau I : Position systématique de *Rosmarinus officinalis*L. (Quezel et Santa, 1963)

Règne	Plante
Embranchement	Spermaphytes
Sous embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Sous classe	Gamopétales
Ordre	Lamiales (Labiales)
Famille	Lamiacées
Genre	<i>Rosmarinus</i>
Espèce	<i>Rosmarinus officinalis</i> L

3.1.4. Habitat et répartition géographique

Le romarin spontané se développe principalement dans le bassin méditerranéen ainsi que dans le sud-ouest de l'Asie. Il est fréquemment cultivé dans les jardins, notamment comme plante ornementale ou de clôture. Cette espèce est particulièrement exigeante en lumière et en chaleur, tout en présentant une grande résistance à la sécheresse (Boullard, 2001).



Figure_2 : Répartition géographique de *Rosmarinus officinalis* L

Le romarin est typiquement adapté aux milieux arides tels que les coteaux secs, les garrigues et les terrains rocheux caractéristiques de la région méditerranéenne. Il est largement répandu dans les maquis, les garrigues ainsi que dans les forêts claires.

Par ailleurs, il peut être rencontré à l'état subspontané dans plusieurs régions, où il privilégie des sols calcaires, des altitudes relativement faibles et des conditions écologiques marquées par un fort ensoleillement et une sécheresse modérée (Schauenberg et Paris, 1977).

3.1.5. Usage et utilisation en médecine traditionnelle

Rosmarinus officinalis L., couramment connu sous le nom de romarin, est une espèce végétale dont les principes actifs présentent un intérêt certain en phytothérapie, au regard de la multiplicité de leurs propriétés biologiques et de leur efficacité. Utilisé sous une forme ou une autre depuis l'Antiquité par les médecines traditionnelles, le romarin fait partie intégrante des moyens de prévention et de traitement de nombreuses maladies (**Bruneton, 2009**). Ses parties exploitées, à savoir les feuilles et les sommités fleuries, sont administrées généralement sous forme de préparations comme des infusions, des décoctions ou des huiles essentielles. Sur le plan thérapeutique, le romarin est particulièrement connu pour ses effets bénéfiques sur le système digestif, notamment en ce qui concerne les troubles dyspeptiques (ballonnements, douleurs abdominales) inhibés et l'activité hépatique à incidence positive. Par ailleurs, ses propriétés toniques contribuent à la stimulation de la circulation sanguine et à l'amélioration des fonctions cognitives (**Bakkali et al., 2018**).

De plus, il est également à souligner que l'huile essentielle d'origine de *Rosmarinus officinalis* est particulièrement riche en activité antimicrobienne (antibactérienne et antifongique), dont l'explication est fondée sur la présence de molécules bioactives, notamment le 1,8-cinéole, le camphre et l' α -pinène, celles-ci agissant ensemble à l'encontre de plusieurs micro-organismes (**Boelens, 1995**).

Dans le secteur agro-alimentaire et cosmétique, le romarin trouve de nombreuses applications. Dans l'industrie agro-alimentaire, il est utilisé comme aromatisant naturel et comme agent de conservation grâce à ses propriétés anti-oxydantes, tandis qu'il est très utilisé dans l'industrie cosmétique dans les formulations proposées pour le soin des cheveux et de la peau (en raison de ses effets stimulants, purifiants et tonifiants) (**Pérez-Fons et al. , 2010**).

Finalement, l'exploration du romarin a bénéficié de l'apport de recherches scientifiques récentes, révélant alors son potentiel anti-inflammatoire et neuroprotecteur, et de fait, ouvrant des perspectives pour son éventuelle implication dans la prévention et le traitement des pathologies chroniques, (**Bakkali et al., 2008**).

3.1.6. Composition chimique (HE)

L'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* L. montre une composition chimique complexe où le groupe des terpénoïdes, en particulier les monoterpènes, est le plus représenté. Les analyses effectuées par chromatographie en phase gazeuse (CPG) et par RMN ^{13}C ont permis de mettre en évidence environ 31 composés différents. Les principaux constituants sont l' α -pinène,

le camphre, le β -pinène, le 1,8-cinéole et le bornéol (**Boutekedjiret et al., 2003 ; Angioni et al., 2004**). Parmi ces composés, la composition varie en fonction de l'origine de la plante : pour le romarin sauvage, l' α -pinène est le composé majoritaire, suivi du camphre et du β -pinène, tandis que pour le romarin cultivé, le camphre constitue le composant principal, accompagné de l' α -pinène, du cinéole et du bornéol (**Angioni et al., 2004 ; Santos-Gomes et Fernandes-Ferreira, 2001**).

D'autre part, plusieurs variétés de *Rosmarinus officinalis* ont été identifiées à travers le monde et se distinguent par la dominance de certains composés tels que le 1,8-cinéole, le camphre, l' α -pinène ou encore la verbénone, définissant ainsi différents chémotypes (**Boelens, 1985 ; Zaouali et al., 2010**). Cette diversité chimique confère à l'huile essentielle de romarin une variabilité fonctionnelle importante, expliquant ses nombreuses activités biologiques, notamment ses propriétés antimicrobiennes et antioxydantes (**Zaouali et al., 2010**).

3.1.7. Toxicité

L'économie du monde entier connaît une montée en puissance vers le mieux - disant économique ou social devant une concurrence qui s'est ralliée aux bas coûts. Nous pouvons prendre un exemple très simple et sans fin : le travail des enfants, adoptés par certains parents, est l'illustration de pratiques face à l'inacceptable. La souffrance psychique subie par les enfants se traduit en engouement pour le travail – et vice versa – mais en contrepartie s'entraînent une lente capacité de maintenir une dynamique de choc et des moyens cognitifs qui se défont et s'articulent au fur et à mesure des consultations. Les tendances vers un tissu social plus juste et le bien - être des enfants sont récemment mis en avant pour finir une jeunesse en péril sur un monde de bénéfice où la souffrance psychique est occultée et alors que l'universalité du phénomène est en train de croître pour un monde de réforme de la bonne santé dans la famille.

Dès lors, bien que l'huile essentielle de romarin soit habituellement jugée sans danger dans le cadre d'un bon usage, sa dose terminaison doit rester circonscrite et rigoureuse, au titre de la posologie et de la voie d'administration.

3.2. *Salvia officinalis*

3.2.1. Description botanique

Ce sont le plus souvent des plantes herbacées aromatiques, caractérisées par des tiges quadrangulaires et des feuilles généralement opposées, dépourvues de stipules. Les fleurs, le plus souvent hermaphrodites (**Meyer et al., 2004**), présentent une organisation pentamère et sont disposées en cymes axillaires plus ou moins condensées, donnant fréquemment l'aspect de verticilles, ou regroupées à l'extrémité des tiges en structures évoquant des épis. Le fruit est

constitué de quatre akènes, généralement plus ou moins soudés entre eux par leur face interne (Messaili, 1995).



Figure_3 : *Salvia officinalis*

3.2.2. Nomenclature

La *Salvia Officinalis* L est une plante aromatique et médicinale appartenant à la famille des Lamiacées. En Algérie et dans plusieurs pays arabes, cette plante est communément connue sous le nom de « Meriemia ».

3.2.3. Systématique

Tableau 02 : Classification botanique de la sauge (Cronquist, 1968 ; Loic. F, 2009).

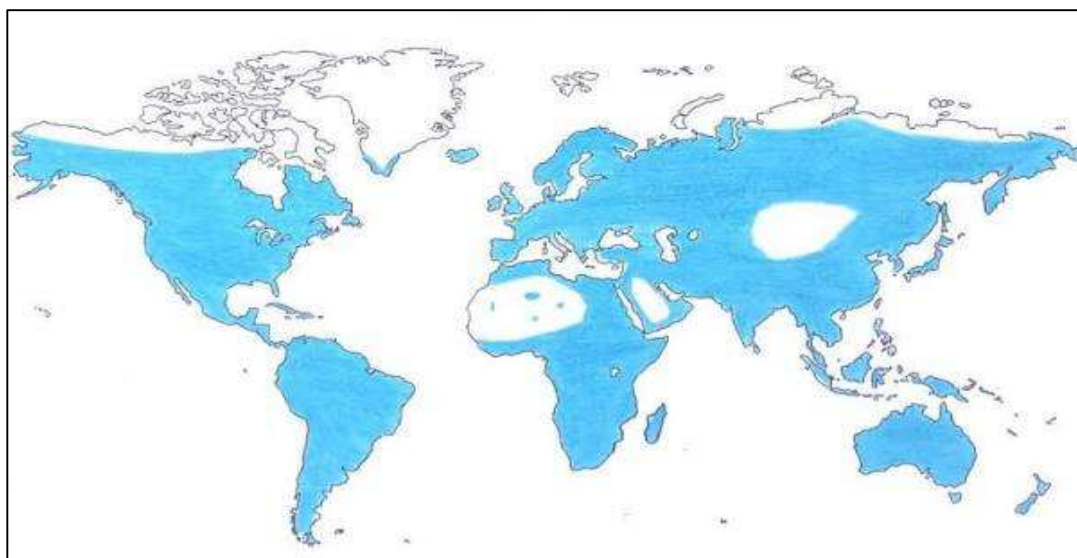
Règne	Plantae
Embranchement	Cormophytes.
Sous embranchement	Magnoliophyta.
Classe	Magnoliopsida
Sous classe	Asteridae
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae
Genre	<i>Salvia</i>
Espèce	<i>Salvia officinalis</i> L

3.2.4. Habitat et répartition géographique

Salvia officinalis, communément appelée sauge, est une plante originaire du bassin méditerranéen, notamment des régions du sud et du sud-est de l'Europe. Elle est naturellement présente dans plusieurs pays tels que l'Albanie, la Grèce, l'Italie, la France et l'Espagne, ainsi que dans certaines

zones voisines. Avec le temps, cette espèce a été introduite et cultivée avec succès dans différentes régions du monde, notamment en Algérie. (**Walker et al., 2004 ; Baba, 2000**). D'un point de vue écologique, la sauge est une plante qui préfère pousser dans les zones sèches caractérisées par des sols calcaires, caillouteux bien drainés. Elle pousse sur des sols pauvres et peu profonds grâce à ses modifications morphologiques qui le protègent contre le risque de sécheresse. Par ailleurs, cette espèce est photophile, mais supporte l'ombre lumière. Cependant, il y a une croissance en longueur au détriment de sa compacité en absence de lumière.

Concernant ses exigences climatiques, *Salvia officinalis* est adaptée aux climats méditerranéens, avec une pluviométrie modérée avoisinant 400 à 500 mm par an. Bien qu'elle puisse supporter des apports en eau plus importants, un excès d'humidité, notamment au niveau du sol, peut nuire à son développement. Elle est généralement observée à des altitudes comprises entre 200 et 1800 mètres. De plus, cette espèce présente une certaine tolérance aux basses températures et aux gelées occasionnelles.



Figure_2 : Répartition géographique de *Salvia officinalis*

Du point de vue de sa répartition géographique, la sauge serait originaire de la Méditerranée orientale, avant de se diffuser progressivement vers l'ouest, atteignant ainsi l'Europe occidentale et certaines régions d'Afrique du Nord. Aujourd'hui, elle est largement cultivée dans les zones tempérées à travers le monde en raison de ses multiples usages, tant culinaires que médicaux et ornementaux. En ce qui concerne sa répartition géographique, la sauge serait originaire de la Méditerranée orientale, avant de se diffuser progressivement vers l'ouest pour atteindre l'Europe occidentale et certaines zones d'Afrique du Nord. Elle est désormais largement cultivée dans les régions tempérées à travers le monde, en raison de ses multiples usages, alimentaires, médicaux ou ornementaux.

3.2.5. Usage et utilisation en médecine traditionnelle

La *Salvia officinalis*, communément appelée sauge officinale, est une plante médicinale qui a été reconnue dès l'Antiquité pour ses nombreuses propriétés et sa valeur culturelle. Les Égyptiens et les Grecs-Romains l'utilisaient déjà pour traiter diverses affections cutanées et respiratoires, ainsi que pour des rites et pratiques initiatiques. **(Hamidpour et al., 2014).**

Au Moyen Âge, la sauge est devenue la plante médicinale et protectrice par excellence en Europe. Elle était utilisée en pharmacie et en cuisine. **(Ghorbani & Esmaeilzadeh, 2017).**

Les études scientifiques récentes ont confirmé certaines propriétés de la sauge, notamment des activités anti-oxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes. Ces propriétés sont attribuées à des composés bioactifs tels que les polyphénols et les flavonoïdes. **(Lu & Foo, 2001).**

La sauge semble avoir des effets bénéfiques sur le fonctionnement du système nerveux. Elle améliore la mémoire et les capacités cognitives. Elle pourrait également jouer un rôle dans la régulation de la glycémie. **(Perry et al., 2003) .**

La sauge est traditionnellement utilisée pour soulager les troubles digestifs et buccodentaires. Cela est dû à ses propriétés antiseptiques et antispasmodiques. **(EMA, 2016).**

La sauge est réputée pour ses effets sur la santé féminine. Elle peut réduire les symptômes de la ménopause, tels que les bouffées de chaleur et la transpiration excessive. **(Bommer et al., 2011).**

3.2.6. Composition chimique (HE)

La composition chimique de l'huile essentielle de la *Salvia officinalis* est caractérisée par une grande richesse en composés terpéniques, principalement des monoterpènes et des sesquiterpènes, ainsi que leurs dérivés oxygénés. Les constituants majeurs sont généralement l' α -thujone et la β -thujone, qui dominent souvent la composition et définissent le chémotype de l'huile essentielle. D'autres composés importants incluent le 1,8-cinéole (eucalyptol), le camphre, le viridiflorol et le β -caryophyllène. Par ailleurs, des composés secondaires tels que le limonène, le linalool, le bornéol, les α - et β -pinènes et divers sesquiterpènes sont présents en faibles proportions. La proportion de ces constituants varie en fonction de plusieurs facteurs, notamment l'origine géographique, les conditions climatiques, le stade de développement de la plante et la méthode d'extraction. Les études ont montré que l'huile essentielle de sauge officinale est généralement dominée par des composés oxygénés, responsables de ses propriétés biologiques, et appartient le plus souvent au chémotype α -thujone **(Fellah et al., 2006 ; Perry et al., 2003 ; Lu & Foo, 2001).**

3.2.7. Toxicité

L'huile essentielle de sauge officinale (*Salvia officinalis*) a une limite d'utilisation assez faible, donc il faut l'employer avec précaution. En petites quantités, et selon son type précis, elle peut être bien supportée et même avoir des actions positives sur le corps, comme des effets antioxydants, anti-inflammatoires et protecteurs pour les nerfs, vus dans certaines études (**Perry et al., 2003**). Cependant, cette bonne tolérance dépend beaucoup de ce qu'elle contient, surtout de la quantité de cétones monoterpéniques comme les thujones.

Les α - et β -thujones, en fait, sont connues pour être dangereuses pour les nerfs si on en prend trop, ce qui peut causer des problèmes comme de l'énerverment, des crises et des soucis neurologiques, car elles agissent sur les récepteurs du GABA (**European Food Safety Authority, 2008 ; World Health Organization, 1999**). Si on en prend de fortes doses ou pendant longtemps, cela peut aussi abîmer le foie. De plus, les différents types de *Salvia officinalis* (avec beaucoup de thujone, de camphre ou de cinéole) changent directement son action et ses dangers (**Handbook of Essential Oils, 2010**). Cette différence rend difficile de savoir exactement ce qu'elle contient et augmente les risques de mal l'utiliser.

Les organismes de santé, comme l'European Medicines Agency (2012), conseillent donc de ne pas dépasser certaines quantités, de ne pas l'utiliser trop longtemps et d'éviter certaines façons de l'utiliser, surtout par la bouche sans contrôle, à cause du risque d'accumulation et de danger. De plus, certaines personnes, comme les femmes enceintes, les enfants et ceux qui ont des problèmes neurologiques, sont plus sensibles et doivent éviter de l'utiliser (**Essential Oil Safety, 2014**).

Pour résumer, même si l'huile essentielle de sauge officinale a des effets bénéfiques, sa forte teneur en thujones et ses variations demandent une utilisation très contrôlée, avec des doses précises et une durée limitée, pour éviter tout effet mauvais.

3.3. *Laurus nobilis*

3.3.1. Description botanique

Écorce et tiges : Les jeunes rameaux présentent des tiges de couleur verte, orientées vers le haut. Au stade initial de développement, le tronc est recouvert d'une écorce de teinte vert olive à noire, qui évolue progressivement vers une coloration grise avec l'âge. La formation d'une écorce bien développée nécessite plusieurs années (**Geerts et al., 2002 ; Botineau et Pelt, 2015**).

Bourgeons et branches : Les bourgeons sont de forme conique, étroits, mesurant environ 2 à 4 mm de longueur, de couleur verte avec une légère teinte rougeâtre. Les branches sont

dressées et fortement garnies de feuilles, tandis que les jeunes pousses sont fines, glabres et présentent une coloration verte nuancée de rouge (**Stursa, 2001**).

Feuilles : Le feuillage est persistant et composé de feuilles aromatiques, simples, alternes et coriaces. Le pétiole mesure entre 2 et 5 cm, tandis que le limbe atteint 5 à 12 cm de longueur et 2 à 6 cm de largeur. Les feuilles sont de forme lancéolée, avec des bords légèrement ondulés et parfois dentés. Elles sont vert foncé et brillantes sur la face supérieure, et plus claires au revers, avec des nervures latérales pennées souvent teintées de rouge (**Quezel et Santa, 1963**).

Fleurs et fruits : Les fleurs sont dioïques, unisexuées, mesurant entre 0,4 et 0,8 cm, de couleur jaune verdâtre. Elles possèdent un périanthe simple soudé à la base et sont regroupées en ombelles de 4 à 6 unités. Les fleurs mâles comportent 8 à 12 étamines rudimentaires, tandis que les fleurs femelles présentent un ovaire hypogyne uniloculaire, surmonté d'un stigmate trilobé. Le fruit est une baie ovoïde, portée par un tube périanthaire peu développé, mesurant environ 2 cm de longueur et 1 cm de largeur. À maturité, il devient noir et luisant, renfermant une seule graine libre (**Beloued, 2005**). Le mésocarpe charnu contient de l'huile ainsi que des cellules riches en huile essentielle, tandis que les cotylédons épais sont également riches en lipides (**Myose et Paris, 1976**).

Forme et hauteur : Il s'agit d'un arbuste ou d'un petit arbre à couronne large et compacte, pouvant atteindre jusqu'à 15 mètres de hauteur (**Geerts et al., 2002**).



Figure_4 : Laurus Nobilis

3.3.2. Nomenclature

Laurus Nobilis L est une plante aromatique appartenant à la famille des Lauracées. En Algérie et dans plusieurs pays arabes, cette plante est communément connue sous le nom de « Rande » ou « feuille de laurier ».

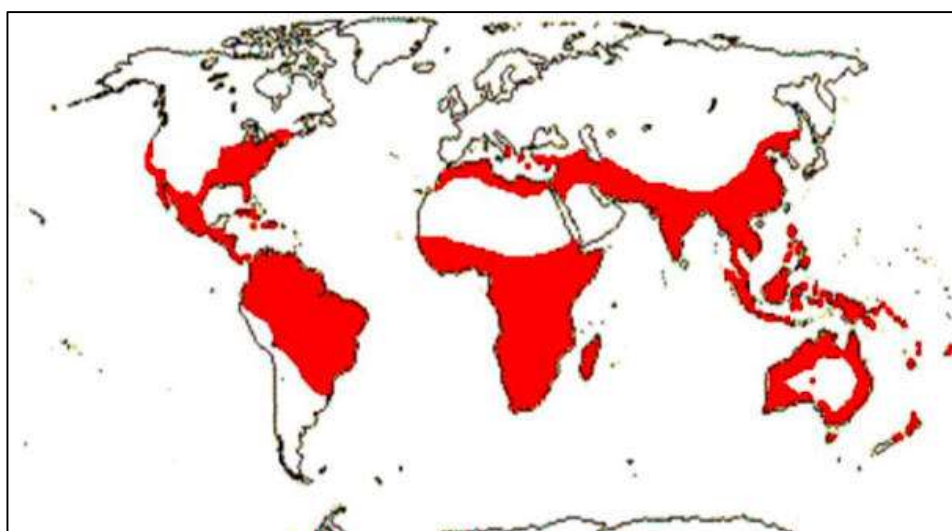
3.3.3. Systématique

Tableau 03 : La classification botanique de *Laurus nobilis* L. d'après (Quezel et santa, 1962)

Règne	Plantes
Sous règne	Plante vasculaire
Embranchement	Spermaphyte
Sous embranchement	Angiosperme
Classe	Dicotylédones
Sous classe	Dialypétales
Ordre	Laurales
Famille	Lauracées
Genre	Laurus
Espèce	<i>Laurus nobilis</i> L

3.3.4. Habitat et répartition géographique

Originaire d'Asie Mineure, d'où il a été introduit par les Grecs puis les Romains, le laurier s'est progressivement diffusé dans l'ensemble du bassin méditerranéen ainsi qu'en Inde. En France, il se développe spontanément principalement sur le littoral provençal, dans le Sud-Ouest et en Corse. En revanche, en Europe centrale, il est généralement cultivé en pots en raison de sa faible tolérance aux hivers rigoureux.



Figure_2 : Répartition géographique de *Laurus nobilis*

À l'échelle mondiale, les principaux pays producteurs sont la Turquie, qui assure environ les deux tiers de la production mondiale, suivie par l'Albanie, le Maroc, la Grèce et l'Italie (Geerts et al., 2002).

3.3.5. Usage et utilisation en médecine traditionnelle

Le *Laurus nobilis* occupe une place importante en médecine traditionnelle grâce à ses nombreuses propriétés thérapeutiques (**Simi et al., 2003**). Il est principalement administré par voie orale pour soulager les troubles du système digestif supérieur, notamment les ballonnements et les inconforts gastriques (**Iserin, 2001**).

L'extrait aqueux du laurier noble est utilisé pour ses effets antihémorroïdaux, antirhumatismaux et diurétiques. Il est également employé dans le traitement des douleurs gastriques et, selon certaines pratiques traditionnelles, comme remède contre les morsures de serpent (**Kivcak et Mert, 2002**). De même, l'huile essentielle extraite des feuilles est reconnue pour son efficacité dans le soulagement des hémorroïdes et des douleurs rhumatismales (**Sayyah et al., 2002**). Cette plante possède également d'autres vertus. Elle favorise l'appétit, stimule la sécrétion des sucs gastriques, facilite la digestion et limite les phénomènes de fermentation intestinale. Par ailleurs, le laurier exercerait une action bénéfique sur l'appareil urinaire en tonifiant la vessie et en contribuant à l'élimination des calculs rénaux. Son écorce serait aussi utilisée pour atténuer certaines affections hépatiques (**Ouafi et al., 2017**).

En médecine traditionnelle, les feuilles du laurier noble ont également été employées dans le traitement de l'épilepsie et du parkinsonisme (**Aqili Khorasani, 1992**). Préparées sous forme de décoction et ajoutées à l'eau du bain, elles permettraient de soulager les douleurs musculaires et articulaires. Utilisées en cataplasme, elles contribueraient à diminuer la douleur provoquée par les piqûres d'abeilles ou de guêpes (**Ouafi et al., 2017**).

3.3.6. Composition chimique (HE)

Les feuilles de *Laurus nobilis* contiennent une grande diversité de substances actives, notamment des huiles essentielles représentant environ 1 à 3 % du poids sec. Ces dernières sont principalement constituées de 30 à 70 % de 1,8-cinéole (eucalyptol), ainsi que de divers composés terpéniques tels que le linalol (8 à 16 %), le sabinène, le géraniol, l'eugénol (environ 3 %), le pinène et le terpinène (**Bruneton, 1993**).

Par ailleurs, les feuilles renferment également d'autres métabolites secondaires, notamment des alcaloïdes aporphiniques tels que la cryptodrine et l'actinodaphnine (**Kivcak et Mert, 2002**), des flavonoïdes polaires (dérivés glycosylés de la quercétine, du kaempférol et de la catéchine) ainsi que des flavonoïdes apolaires, incluant plusieurs dérivés acylés du kaempférol. On y trouve aussi des lactones sesquiterpéniques, ainsi que des tanins (**Fiorini et al., 1998 ; Kivcak et Mert, 2002**).

3.3.7. Toxicité

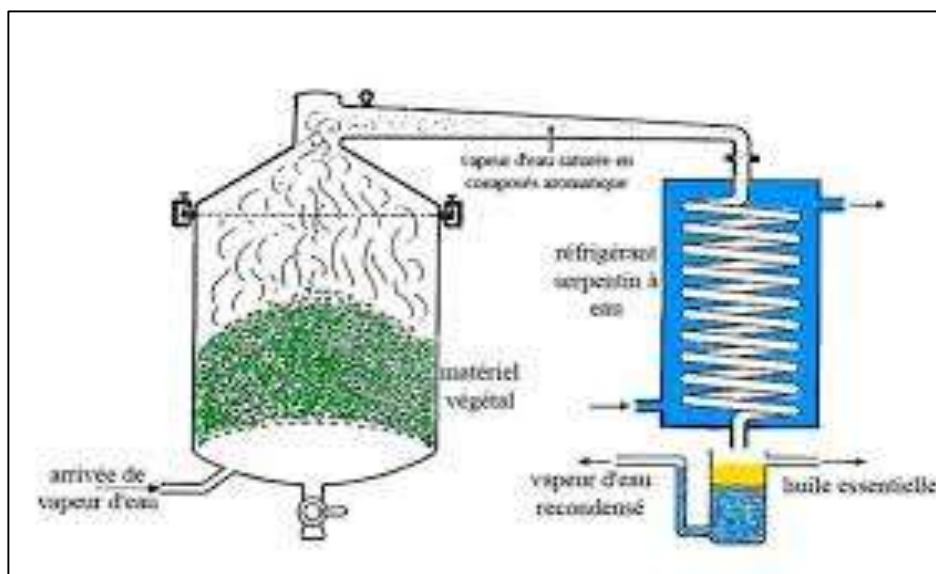
Contrairement aux croyances généralement admises (doses uniques dans un cadre alimentaire, usage raisonné de l'huile essentielle), la toxicité de *Laurus nobilis* relèverait d'une responsabilité faible à modérée, pourtant hautement influencée par la forme d'utilisation – feuilles ou huile essentielle –, la dose et la durée d'exposition. En effet, les feuilles utilisées dans l'alimentation sont considérées dans l'ensemble comme sans danger à doses usuelles de consommation, alors que l'huile essentielle pourrait faire l'objet d'une toxicité plus marquée, au regard de la teneur en principes actifs que l'huile essentielle présente une faible toxicité aiguë, avec une DL50 supérieure à 5g/kg chez l'animal, bien que les effets tels que somnolence, baisse d'activité ou des troubles du fonctionnement du système nerveux soient notifiés à doses aggravées (**Labiad, 2019**). D'autre part, les constituants majoritaires tels que le 1,8-cinéole, le méthyleugénol, les monoterpènes peuvent également être responsables d'effets indésirables (irritation, neurotoxicité très marginale, effets hépatiques observés en cas d'expositions massifiées), (**Essential oil safety 2014 ; European food safety authority, 2008**). En continuant sur les propriétés de l'huile essentielle, elle s'avère présenter une notable toxicité biologique sur les insectes, confirmant son activité bioactive, mais indiquant une prudente application sur l'humain (**Bakkali et al. 2008 ; Isman 2006**). Au final, *Laurus nobilis* bien que largement répandu dans les pratiques phytothérapeutiques et alimentaires, doit être considéré en regard de sa théorie d'emploi, avec l'huile essentielle proposée là aussi à utiliser dans les conditions adéquates dose et durée, excluant toutes populations les plus vulnérables. (**Paparella et al., 2022**)

**Méthodes d'extraction
des huiles essentielles**



I. Extraction par entraînement à la vapeur d'eau

I.1. Montages



Figure_08: Montage de l'entraînement à la vapeur d'eau

I.2. Principe

Dans ce procédé d'extraction, le matériel végétal est directement exposé à un courant de vapeur d'eau, sans étape préalable de macération. Les vapeurs chargées en composés volatils sont ensuite condensées, puis récupérées dans un essencier où elles se séparent en deux phases distinctes : une phase aqueuse (hydrolat, HA) et une phase organique correspondant à l'huile essentielle (HE). **(Sidi Ali Chrif et al, 2025)**

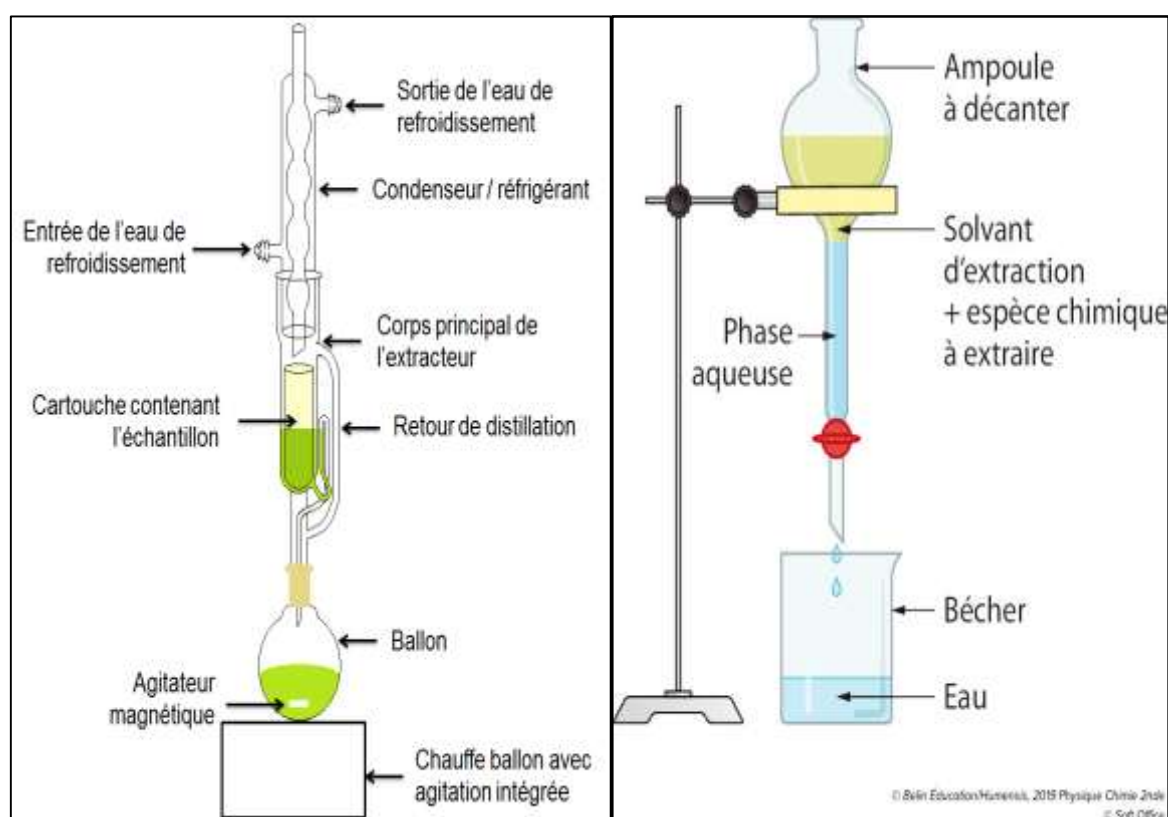
I.3. Avantage et inconvénient

- Le processus de distillation est plus rapide.
- Le parfum de l'HE obtenue est plus délicat.
- L'absence de contact direct entre l'eau et la matière végétale, puis entre l'eau et les molécules aromatiques, évite certains phénomènes d'hydrolyse ou de dégradation pouvant nuire à la qualité de l'huile.
- Il se fait que les notes de tête sont riches en esters. Les fractions dites « de tête », fragrances très volatiles dues à des molécules légères, apparaissent en premier. Le plus souvent, une demi-heure permet de recueillir 95 % des molécules volatiles, ce qui suffit aux besoins de l'industrie et de la parfumerie, comme pour le cas de la "lavande".
- L'emploi en aromathérapie impose de prolonger l'opération aussi longtemps qu'il est nécessaire afin de récupérer la totalité des composants aromatiques volatils.

2. Extraction par solvant organique

2.1. Montages

Selon la méthode d'extraction et le solvant utilisé, différents types d'extraits peuvent être obtenus. On distingue notamment les hydrolysats, préparés en présence d'eau, ainsi que les alcoolats, obtenus à partir d'éthanol dilué. Il existe également les teintures, qui sont des solutions peu concentrées issues de matières premières traitées par de l'éthanol ou des mélanges eau/éthanol. Par ailleurs, on peut obtenir des résinoïdes, qui correspondent à des extraits éthanoliques concentrés. Enfin, les oléorésines et les concrètes sont des extraits réalisés respectivement à froid et à chaud, à l'aide de différents solvants **(AFNOR, 1992)**.



Figure_09: Montage de l'extraction par solvant organique

2.2. Principe

L'extraction par solvants organiques volatils reste aujourd'hui la technique la plus utilisée. Parmi les solvants les plus couramment employés figurent l'hexane, le cyclohexane et l'éthanol, tandis que le dichlorométhane et l'acétone sont utilisés plus rarement **(TOUATI, 2020)**.

2.3. Avantage et inconvénient

- Les rendements obtenus sont généralement supérieurs à ceux de la distillation, et cette technique permet d'éviter l'effet hydrolysant de la vapeur d'eau.

- Elle est particulièrement adaptée aux plantes dont les composés aromatiques risquent d'être altérés par la distillation, notamment lorsque le matériel végétal :

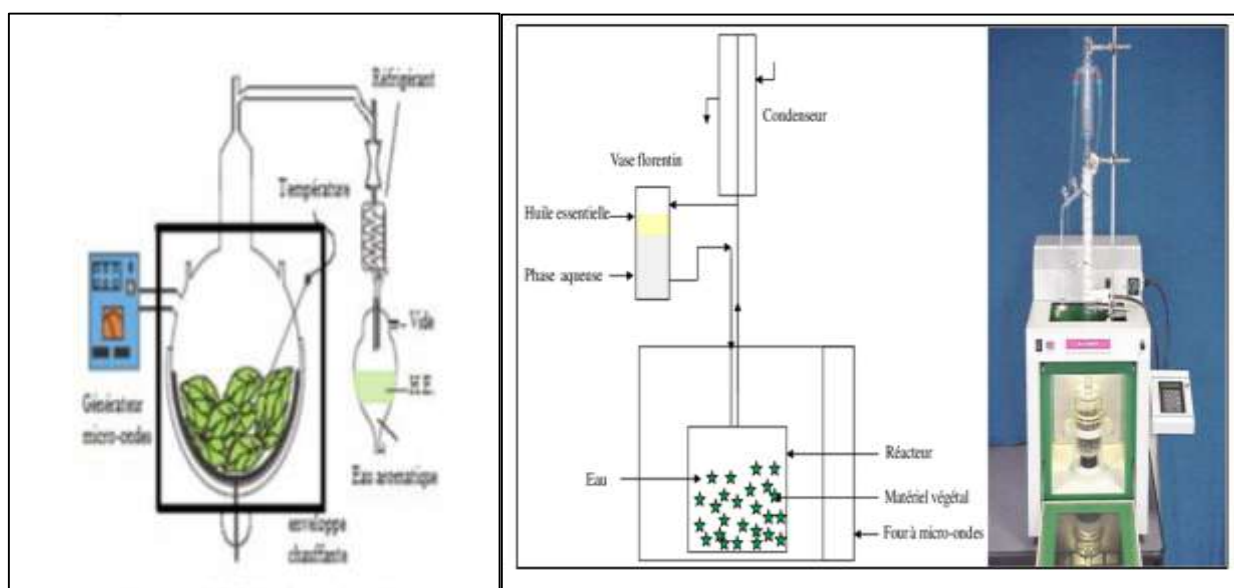
- ne supporte pas la chaleur, comme le jasmin (*Jasminum officinale*)
- contient de faibles quantités de substances aromatiques, comme la rose (*Rosa centifolia*)
- renferme des composés résineux, comme le benjoin (*Styrax benzoin*)

- Cependant, l'utilisation de l'extraction par solvants organiques volatils reste limitée en raison de son coût élevé, des risques liés à la sécurité et à la toxicité, ainsi que des contraintes réglementaires en matière de protection de l'environnement.

Face à ces inconvénients, de nouvelles techniques ont été développées ces dernières années pour extraire les substances aromatiques des plantes, notamment l'extraction assistée par micro-ondes et l'extraction au CO₂ supercritique (**Boukhatem et al., 2017**).

3. Extraction assistée par micro-ondes

3.1. Montages



Figure_10: Hydro distillation assistée par micro-ondes (**Farhat, 2010**)

3.2. Principe

Dans ce procédé, la matière végétale est chauffée par micro-ondes dans une enceinte fermée, où la pression est réduite progressivement. La vapeur d'eau, issue de l'humidité naturellement présente dans la plante, entraîne avec elle les composés volatils. Ces derniers sont ensuite récupérés grâce aux étapes classiques de condensation, de refroidissement et de décantation (**Zenasni, 2014**).

Cette technique repose donc sur le chauffage par micro-ondes dans des conditions de pression contrôlée. Les molécules volatiles sont entraînées sous forme d'un mélange azéotropique avec la vapeur d'eau produite par la plante. En parallèle, la vaporisation de l'eau contenue dans les glandes oléifères provoque une augmentation de la pression interne, ce qui entraîne la rupture des structures cellulaires et permet la libération des huiles essentielles (**KADA MOSTEFA, 2023**).

3.3. Avantage et inconvénient

Les concepteurs de cette méthode lui attribuent plusieurs avantages, notamment une extraction beaucoup plus rapide (jusqu'à dix à trente fois plus rapide), une réduction de la consommation d'énergie et une limitation de la dégradation thermique des composés.

4. Extraction par fluide à l'état supercritique

4.1. Montages

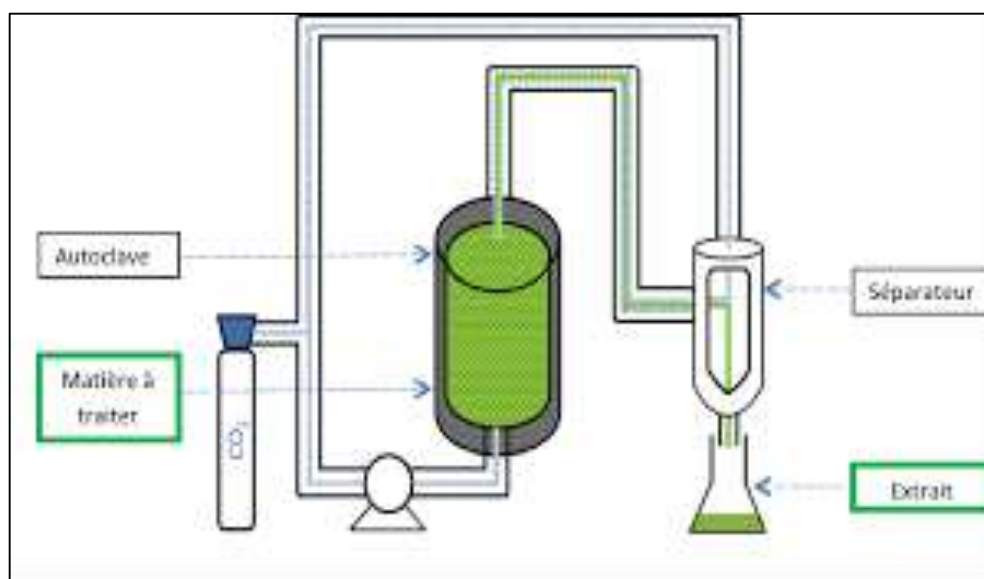


Figure _II : Schéma de la technique d'extraction par le CO₂ supercritique (**Site web 03**)

4.2. Principe

Cette technique, relativement récente, consiste à injecter du CO₂ dans une enceinte fermée contenant la plante. Sous l'effet de la pression, les poches contenant les essences aromatiques se rompent, ce qui permet de libérer les composés odorants. Ceux-ci sont ensuite récupérés et séparés par des méthodes classiques.

La particularité de cette méthode réside dans l'utilisation du CO₂ à l'état supercritique. Pour y parvenir, le dioxyde de carbone est soumis à une pression et une température supérieures à son point critique (72,8 bars et 31,1 °C). Dans cet état intermédiaire entre liquide et gaz, il possède

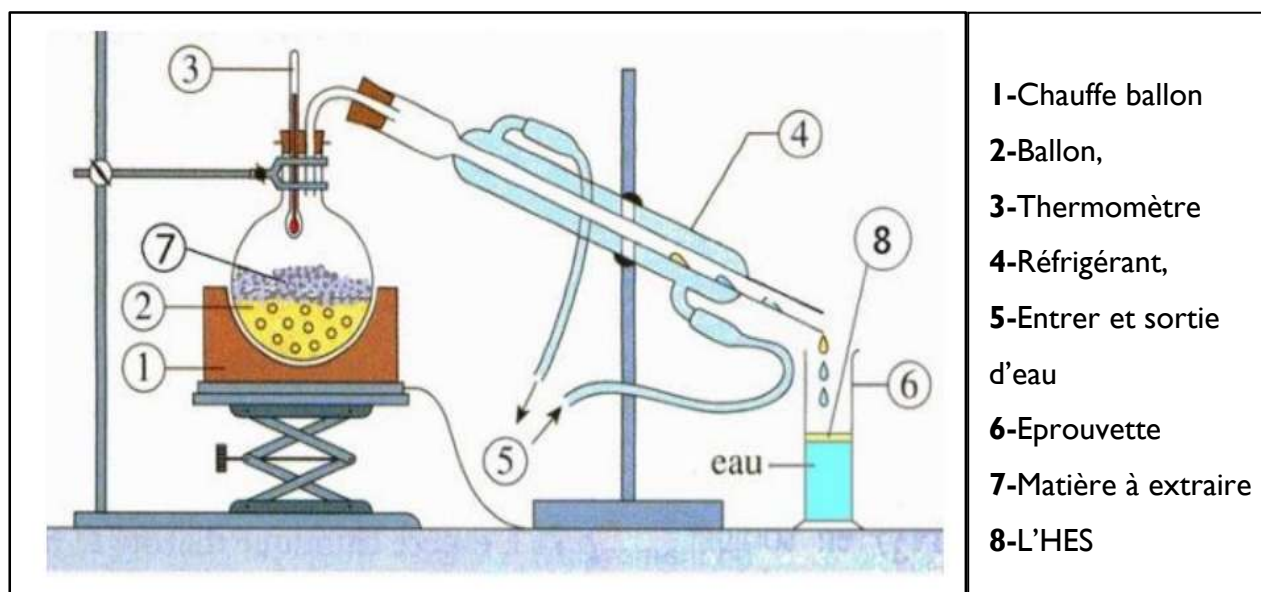
un fort pouvoir d'extraction, que l'on peut ajuster en modifiant les conditions de température. Ainsi, le CO_2 est un excellent solvant à l'état supercritique, mais beaucoup moins efficace lorsqu'il est à l'état gazeux (**Bouras, 2018**).

4.3. Avantage et inconvénient

- Le CO_2 est un solvant chimiquement inerte, d'origine naturelle et sans toxicité.
- À la fin du procédé, la séparation entre le solvant et l'extraire est simple : une diminution de la pression suffit à ramener le CO_2 à l'état gazeux, ce qui permet une récupération presque totale, à faible coût.
- L'extraction par CO_2 supercritique permet d'obtenir des huiles essentielles de très bonne qualité, en un temps généralement plus court que les méthodes classiques.
- Cette technique repose sur la capacité des composés à se dissoudre dans un fluide à l'état supercritique. Elle offre plusieurs avantages, notamment une extraction rapide, une grande sélectivité et une récupération facile du solvant, qui peut être recyclé par simple décompression (**KADA MOSTEFA, 2023**).
- De plus, les températures utilisées sont relativement basses, ce qui préserve les composés les plus sensibles à la chaleur et permet de traiter des substances difficiles à distiller.
- Toutefois, l'installation industrielle de ce procédé reste coûteuse et nécessite des équipements encore volumineux.

5. Extraction par hydro distillation

5.1. Montages



Figure_12 : Schéma de la technique d'extraction par hydro distillation

5.2. Principe

L'hydrodistillation est la méthode la plus simple et, de ce fait, la plus couramment utilisée. Son principe repose sur une distillation hétérogène, basée notamment sur les lois de Dalton et de Raoult. Le procédé consiste à plonger la matière végétale dans de l'eau, soit dans un ballon au laboratoire, soit dans un alambic à l'échelle industrielle, puis à chauffer le mélange jusqu'à ébullition.

Sous l'effet de la chaleur, les cellules végétales se rompent et libèrent les composés aromatiques qu'elles renferment. Ces derniers s'associent à la vapeur d'eau pour former un mélange azéotropique. Les vapeurs obtenues sont ensuite condensées dans un réfrigérant, permettant de récupérer un distillat où l'huile essentielle se sépare naturellement de l'eau grâce à la différence de densité.

En laboratoire, l'appareil le plus utilisé pour ce type d'extraction est le dispositif de Clevenger, généralement muni d'un réfrigérant (**KADA MOSTEFA, 2023**).

5.3. Avantage et inconvénients

La durée de l'hydrodistillation peut varier fortement, allant parfois jusqu'à plusieurs heures selon le type de matériel utilisé et la nature de la plante traitée. Cette durée joue un rôle important, car elle influence à la fois le rendement obtenu et la composition de l'extrait final.

Les huiles essentielles



I. Généralité sur les huiles essentielles



Figure_I3: les huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de composés volatils issus des plantes, conformément à la définition de la Pharmacopée. Elles sont largement présentes dans le règne végétal et se retrouvent dans différents organes tels que les fleurs, les feuilles, les rhizomes, les fruits, l'écorce ou encore les résines (**Beniston, 1987**).

Leur extraction se fait principalement par distillation à la vapeur d'eau des plantes, ou par expression à froid du péricarpe des agrumes (**TOUATI, 2020**). Selon la définition de l'AFNOR (2000), les huiles essentielles sont des produits obtenus soit par distillation à la vapeur d'eau de matières premières naturelles, soit par des procédés mécaniques appliqués aux fruits d'agrumes, puis séparés de la phase aqueuse par des moyens physiques.

2. Définition

Les huiles essentielles, aussi appelées essences, sont des mélanges de substances aromatiques produites par de nombreuses plantes. Elles se présentent sous forme de très fines gouttelettes localisées dans différents organes végétaux, tels que les feuilles, l'écorce des fruits, les résines, les branches ou encore le bois. Bien qu'elles soient présentes en faibles quantités par rapport à la masse totale de la plante, elles se distinguent par leur forte odeur et leur grande volatilité, s'évaporant rapidement à l'air libre (**KADA MOSTEFA, 2023**).

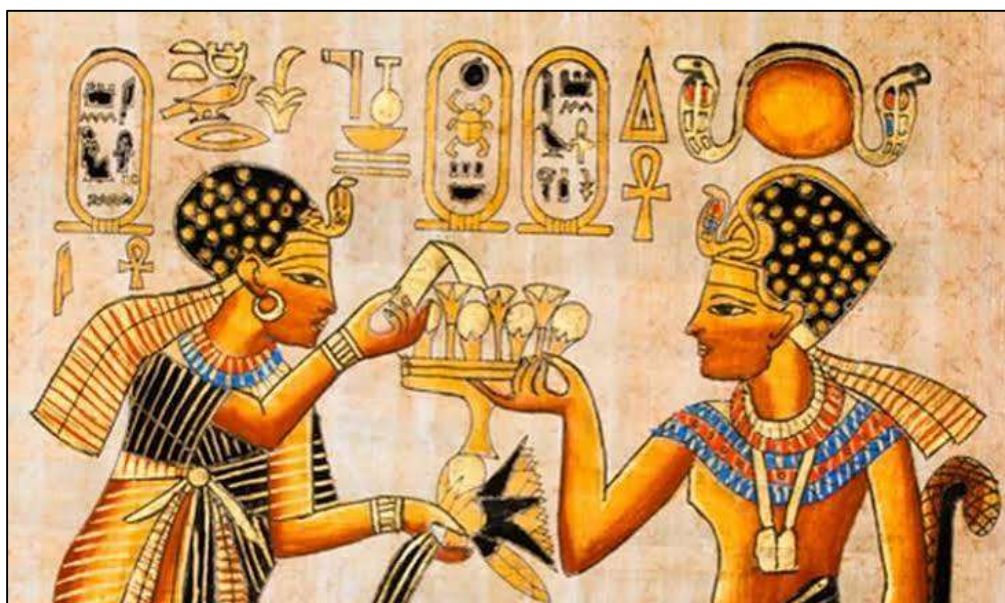
Ces composés sont extraits principalement par distillation à la vapeur d'eau et constituent des produits du métabolisme secondaire de nombreuses espèces végétales. Les huiles essentielles sont des mélanges liquides très complexes, dotés de propriétés spécifiques et de modes

d'utilisation variés, à l'origine du développement de disciplines telles que la phytothérapie et l'aromathérapie.

Depuis l'Antiquité, elles occupent une place importante dans la vie quotidienne, étant utilisées aussi bien pour la parfumerie, l'aromatisation des aliments que pour leurs vertus thérapeutiques **(AFNOR, 1987)**.

3. Utilisation historique et actuelle des huiles essentielles

Depuis l'Antiquité, les herbes et les épices sont reconnues pour leurs propriétés conservatrices, ainsi que pour leurs qualités aromatiques et gustatives. Toutefois, ce sont les historiens grecs et romains qui ont été les premiers à documenter l'usage des huiles essentielles à des fins médicinales et en aromathérapie. Au XIII^e siècle, leurs effets pharmacologiques sont décrits dans plusieurs pharmacopées, mais leur utilisation ne se généralise réellement qu'à partir du XVI^e siècle **(BURT, 2004)**. En 1881, De La Croix réalise la première étude portant sur l'activité antimicrobienne des vapeurs d'huiles essentielles.



Figure_14 : historique et actuelle des huiles essentielles

De nos jours, les huiles essentielles sont largement utilisées, notamment comme agents aromatisants dans l'alimentation, comme composants en parfumerie et dans les produits pharmaceutiques, en raison de leurs nombreuses propriétés fonctionnelles. Elles sont également intégrées dans divers produits commerciaux pour leurs effets antibactériens, servant par exemple d'antiseptiques ou de compléments alimentaires destinés aux animaux **(KADA MOSTEFA, 2023)**.

3. Propriétés organoleptiques

Ces substances aromatiques, dont la durée de conservation est limitée, sont particulièrement sensibles à l'oxydation et peuvent se dégrader facilement. Elles se présentent généralement sous forme de liquides visqueux, parfois plus ou moins fluides, voire résineux, et se caractérisent par des odeurs intenses et très volatiles. Utilisées pour leurs effets stimulants, elles peuvent être appliquées aussi bien en usage interne qu'externe, soit à l'état pur, soit le plus souvent diluées dans de l'alcool ou un solvant adapté (**BARDEAU, 1976**).

Trois principaux critères permettent d'évaluer ces produits :

4.1. La couleur : Chaque huile essentielle possède une teinte spécifique qui peut servir d'indicateur d'identification et de qualité. Cette couleur peut toutefois évoluer avec le temps et sous l'effet de l'oxydation, en ayant tendance à foncer.

4.2. L'odeur : Chaque huile essentielle présente une odeur caractéristique, mais sa reconnaissance nécessite une bonne sensibilité olfactive et une certaine expérience.

4.3. La saveur : En général, les huiles essentielles de moindre qualité ou altérées présentent un goût désagréable, qui devient plus prononcé avec le vieillissement (**BAUDOUX, 2001**).

3. Propriétés physiques

Les huiles essentielles présentent plusieurs propriétés physiques communes. Elles sont généralement liquides à température ambiante et très volatiles, ce qui les distingue des huiles fixes. Leur couleur peut varier selon leur origine, et leur densité est le plus souvent inférieure à celle de l'eau. Elles possèdent un indice de réfraction élevé et peuvent dévier la lumière polarisée (**BARDEAU, 1976**).

Elles sont solubles dans de nombreux solvants organiques tels que l'alcool, l'éther, le chloroforme, ainsi que dans les huiles fixes et les émulsifiants, mais restent peu solubles dans l'eau. Leur point d'ébullition se situe généralement entre 160 °C et 240 °C, et leur densité varie entre 0,75 et 0,99.

Les huiles essentielles peuvent être lévogyres ou dextrogyres et présentent la capacité de dissoudre certaines substances comme les graisses, l'iode, le soufre ou encore le phosphore, tout en pouvant réduire certains sels.

Ce sont des substances odorantes, à texture huileuse, parfois plus ou moins fluide voire résineuse, caractérisées par une forte volatilité. Cependant, leur conservation est limitée, car elles sont sensibles à l'oxydation et à l'altération. Utilisées pour leurs effets stimulants, elles peuvent être employées en usage interne ou externe, à l'état pur ou, le plus souvent, diluées dans de l'alcool ou un solvant adapté (**Deschepper, 2017**).

6. Propriétés reconnues des huiles essentielles

Les essences sont largement utilisées pour leurs nombreuses propriétés, notamment antioxydantes, antiseptiques, cicatrisantes, antiparasitaires, antirhumatismales, antinévralgiques, tonifiantes, antispasmodiques et hormonales. Elles possèdent la capacité de freiner le développement des micro-organismes, y compris des bactéries pathogènes, même celles devenues résistantes aux antibiotiques, ainsi que des champignons et des levures responsables de mycoses. Leurs effets s'exercent généralement à de faibles doses, pouvant soit inhiber la croissance des micro-organismes, soit entraîner leur destruction (**Djendli et Bouali, 2022**). Par ailleurs, des études récentes ont mis en évidence des propriétés antivirales et antiparasitaires chez certaines huiles essentielles. En phytothérapie et en aromathérapie, elles occupent une place importante dans la prise en charge de nombreuses infections et sont également utilisées dans la formulation de divers produits pharmaceutiques (**Bammi et al., 1997**).

6. Critères de qualité des huiles essentielles



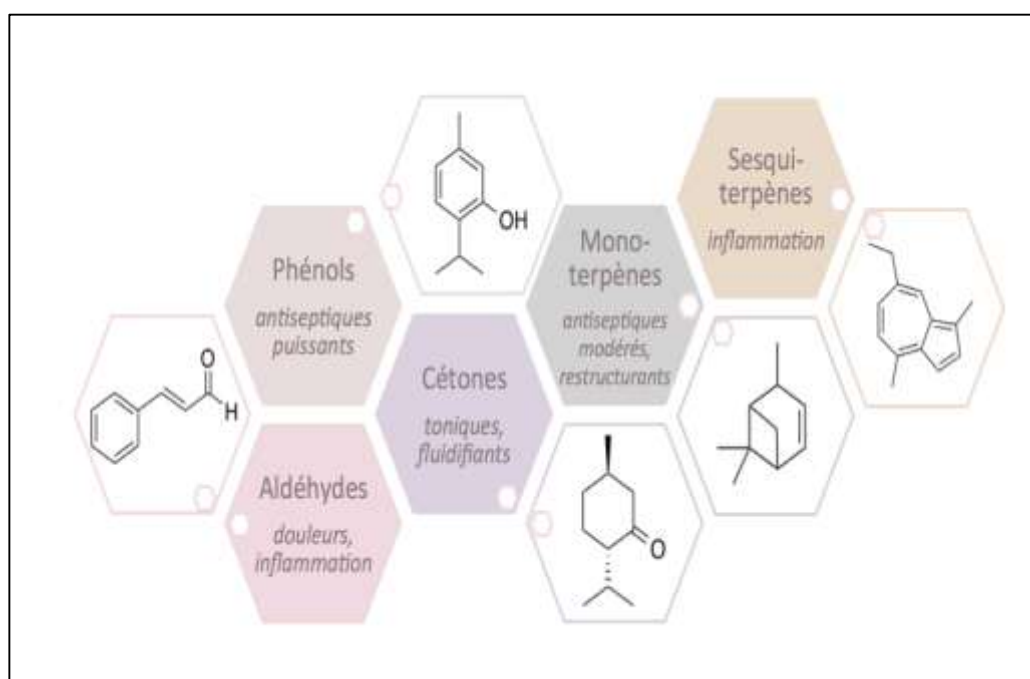
Figure_15 : Teste de qualité des huiles essentielles

Les propriétés des huiles essentielles dépendent étroitement de la nature des molécules aromatiques qui les composent, ainsi que de leur action synergique. La relation entre la structure chimique et l'activité thérapeutique constitue la base de l'aromathérapie scientifique. Il est donc impossible d'évaluer les propriétés d'une huile essentielle sans prendre en compte l'ensemble de ses constituants. Ainsi, la qualité des huiles essentielles doit être appréciée en fonction du respect de leur composition biochimique naturelle, telle qu'elle est produite par la plante, et non modifiée ou reconstituée artificiellement. Le respect de ces critères garantit à la fois leur

authenticité, leur sécurité d'utilisation et leur efficacité thérapeutique. À l'inverse, toute modification du profil moléculaire peut entraîner une baisse d'efficacité et augmenter le risque d'effets indésirables, tels que des réactions allergiques, une dermocausticité ou encore une neurotoxicité (**Laurain-Mattar, 2018**).

Par ailleurs, le mode de culture joue un rôle déterminant dans la qualité des huiles essentielles. Celles destinées à un usage thérapeutique devraient idéalement provenir de plantes sauvages ou cultivées selon des pratiques biologiques. Des études ont montré que des facteurs tels que l'ajout de sels minéraux dans le sol peuvent modifier significativement la composition physico-chimique des huiles essentielles. Il est donc essentiel de sélectionner des plantes saines, appartenant à l'espèce recherchée, pour garantir la qualité du produit final (**Djendli et Bouali, 2022**).

8. Composition chimique



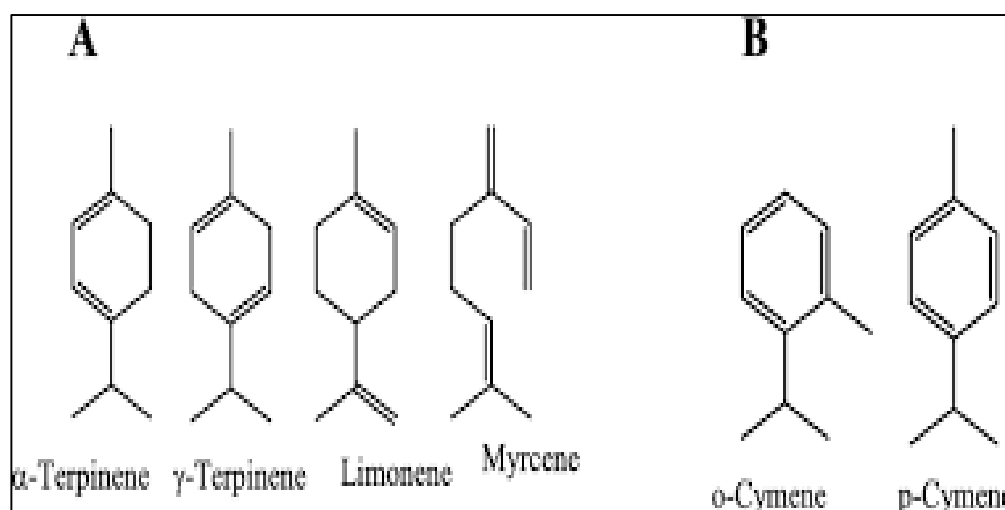
Figure_16 : Différents composants chimiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont constituées de composés organiques volatils, généralement de faible masse moléculaire (souvent inférieure à 300). Ces substances appartiennent à diverses familles chimiques, telles que les alcools, les éthers (ou oxydes), les aldéhydes, les cétones, les esters, les amines, les amides, les phénols, les composés hétérocycliques, ainsi que, majoritairement, les terpènes. Les alcools, les aldéhydes et les cétones sont responsables d'une grande diversité de notes aromatiques, allant des senteurs fruitées (comme le (E)-nerolénol) aux notes florales (comme le linalol), en passant par des arômes d'agrumes (comme le limonène) ou encore des

notes herbacées (comme le γ -sélinène) (**Fethi, 2015**). De manière générale, les propriétés biologiques des huiles essentielles reposent principalement sur deux grandes catégories de composés issus de la biosynthèse végétale. La première regroupe les terpènes, tandis que la seconde comprend des composés aromatiques et aliphatiques, également caractérisés par leur faible masse moléculaire. Par ailleurs, d'autres constituants peuvent être présents en plus faible proportion, tels que les diterpènes, les composés soufrés et azotés, ainsi que les lactones (**Kada Mostefa, 2023**).

8.1. Les Monoterpènes hydrocarbonés

Les monoterpènes hydrocarbonés sont des composés organiques volatils constitués de dix atomes de carbone, largement présents dans les huiles essentielles de nombreuses plantes aromatiques. Parmi eux, on retrouve des molécules comme l' α -pinène, le limonène ou encore le myrcène, responsables des arômes typiques de certaines espèces telles que les pins, les agrumes ou la menthe.



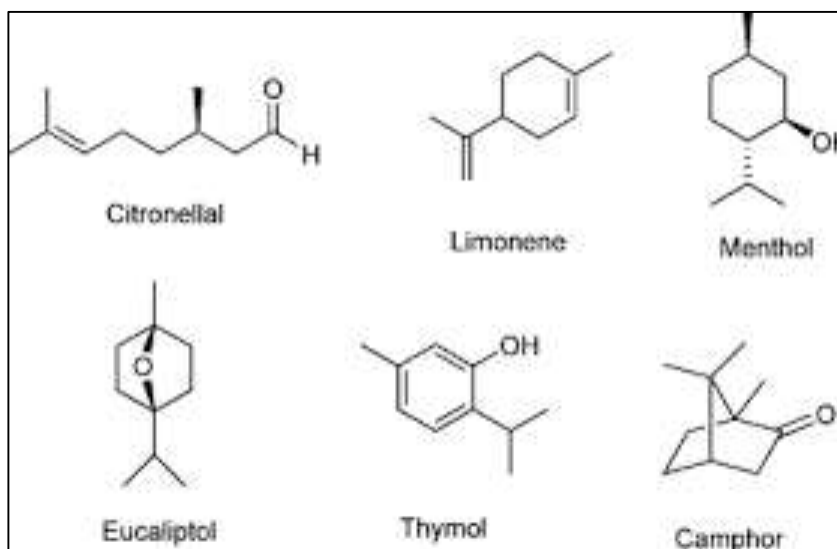
Figure_17 : Monoterpènes hydrocarbonés

Ces composés jouent un rôle essentiel dans la plante, notamment en assurant sa protection contre les herbivores et les agents pathogènes, tout en participant à l'attraction des pollinisateurs. Leur structure, qu'elle soit acyclique ou cyclique, favorise une grande diversité de réactions chimiques, en particulier des phénomènes d'oxydation dans l'atmosphère, contribuant ainsi à la formation d'aérosols organiques secondaires (**Pasik et al., 2024**).

Sur le plan biologique, les monoterpènes hydrocarbonés présentent diverses activités, notamment anti-inflammatoires, antimicrobiennes et antioxydantes, ce qui explique leur large utilisation en pharmacologie et en aromathérapie (**Mikhaeil et al., 2003**).

8.2. Les Monoterpènes oxygénés

Les monoterpènes oxygénés, également appelés monoterpénoïdes, résultent de la transformation des monoterpènes hydrocarbonés par l'ajout de fonctions oxygénées telles que les alcools, les cétones, les aldéhydes ou encore les oxydes. Parmi les composés les plus connus, on retrouve le linalol, le menthol, la carvone et le 1,8-cinéole, largement présents dans de nombreuses huiles essentielles à usage médicinal.



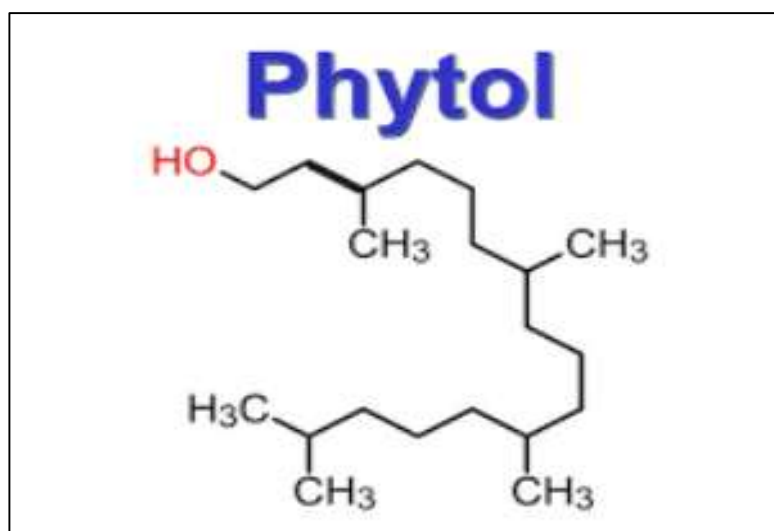
Figure_18 : Monoterpènes oxygénés (linalol)

Ces substances sont à l'origine de diverses activités biologiques, notamment des effets antimicrobiens, antiviraux, expectorants et apaisants (**Mikhaeil et al., 2003**). Leur structure chimique améliore leur solubilité et leur biodisponibilité, ce qui renforce leur intérêt dans les domaines thérapeutique et cosmétique.

Par ailleurs, les monoterpènes oxygénés font l'objet de nombreuses études pour leur capacité à influencer l'activité enzymatique et à freiner la prolifération de certaines cellules cancéreuses (**Yang et al., 2020**).

8.3. Diterpènes hydrocarbonés

Les diterpènes hydrocarbonés sont des composés organiques constitués de vingt atomes de carbone, issus de l'assemblage de quatre unités d'isoprène. Ils sont présents dans de nombreuses plantes, en particulier chez les conifères, où ils participent à la formation des résines ainsi qu'à certains pigments impliqués dans la photosynthèse. Leur structure peut être soit linéaire, soit cyclique, et ils constituent des précurseurs de molécules biologiquement actives comme le phytol ou le rétinol (vitamine A).

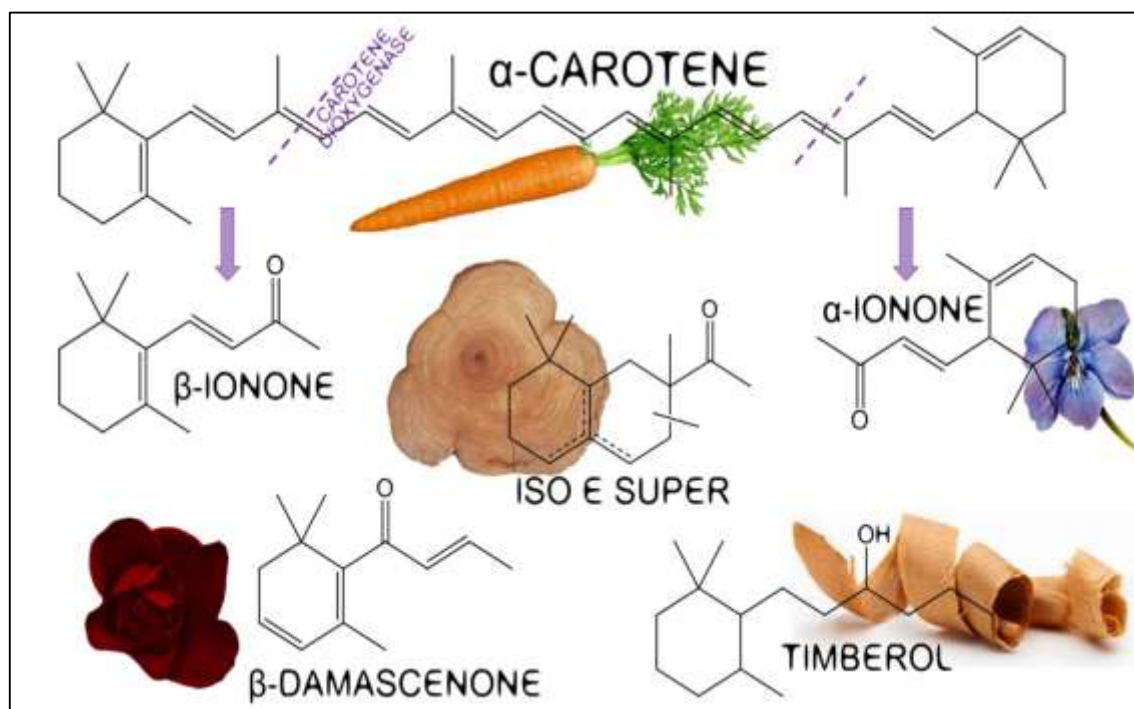


Figure_19 : Diterpènes hydrocarbonés (Phytol)

Sur le plan écologique, ces composés contribuent à la défense des plantes contre les insectes et les agents pathogènes. Par ailleurs, ils sont utilisés comme biomarqueurs en géochimie pour déterminer l'origine de la matière organique présente dans les sédiments (**Nielsen, 1989**).

8.4. Diterpènes oxygénés

Les diterpènes oxygénés, aussi appelés diterpénoïdes, proviennent de l'oxydation des diterpènes hydrocarbonés. Ils possèdent différents groupes fonctionnels, tels que des alcools, des cétones, des acides ou encore des lactones.



Figure_20 : Différents diterpènes oxygénés

Cette diversité chimique leur confère de nombreuses activités biologiques, notamment des propriétés anti-inflammatoires, antimicrobiennes et antitumorales (**Mikhaeil et al., 2003**). Par exemple, certains diterpènes fortement oxygénés isolés chez *Orthosiphon stamineus* ont montré des effets antiprolifératifs sur des cellules cancéreuses.

Les diterpénoïdes interviennent également dans la synthèse de molécules d'intérêt pharmaceutique, comme le taxol, largement utilisé en chimiothérapie. En raison de leur structure complexe et de leurs propriétés biologiques variées, ils font l'objet de nombreuses recherches en chimie des substances naturelles (**Yang et al., 2020**).

8.5. Les Sesquiterpènes hydrocarbonés

Les sesquiterpènes hydrocarbonés sont des terpènes composés de 15 atomes de carbone, issus de l'assemblage de trois unités d'isoprène. Ils sont largement présents dans les huiles essentielles et participent à l'arôme caractéristique de nombreuses plantes, comme le houblon ou le poivre noir. Parmi les composés les plus connus figurent le β -caryophyllène et l'humulène, reconnus pour leur forte réactivité avec l'ozone atmosphérique (**Frazier et al., 2022**).

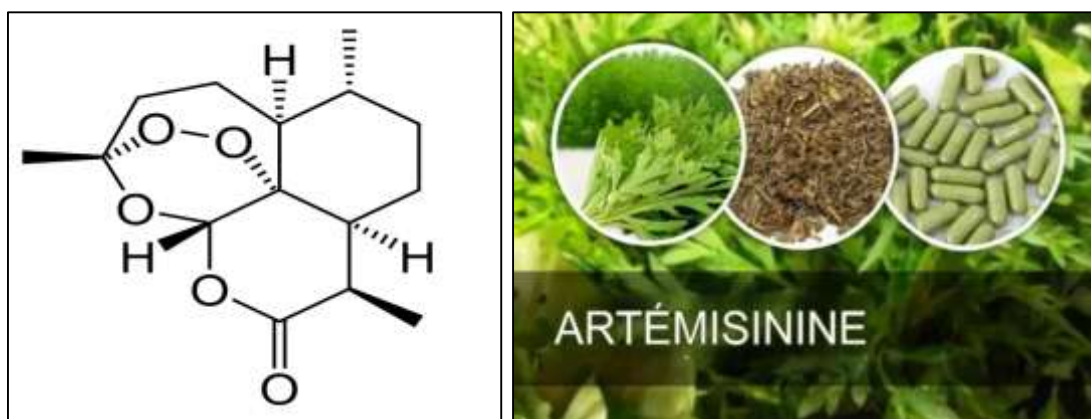


Figure_21 : Sesquiterpène hydrocarboné (beta-Caryophyllene)

Même s'ils sont généralement présents en plus faible quantité que les monoterpènes, les sesquiterpènes hydrocarbonés jouent un rôle important dans les phénomènes de chimie atmosphérique et dans la formation des aérosols organiques secondaires. Ils possèdent également plusieurs activités biologiques, notamment des propriétés anti-inflammatoires et antimicrobiennes (**Mikhaeil et al., 2003**).

8.6. Les Sesquiterpènes oxygénés

Les sesquiterpènes oxygénés, également appelés sesquiterpénoïdes, sont des dérivés des sesquiterpènes hydrocarbonés contenant des fonctions oxygénées telles que des alcools, des cétones ou des lactones. Cette oxygénation augmente leur diversité structurale ainsi que leurs activités biologiques, notamment leurs propriétés antifongiques, anti-inflammatoires et cytotoxiques (Yang et al., 2020).

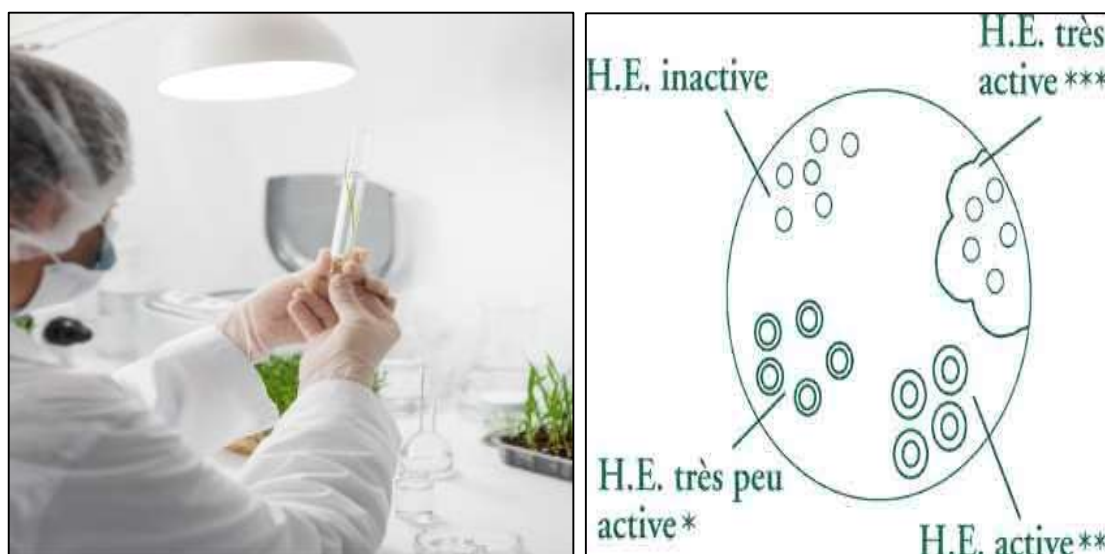


Figure_22 : Sesquiterpènes oxygénés (Artémisinine)

Parmi les composés les plus connus de cette famille figurent le farnésol et l'artémisinine, qui illustrent l'importance pharmacologique des sesquiterpénoïdes. Ces composés participent également aux interactions écologiques des plantes, en contribuant à leur défense contre les parasites et à la communication chimique entre organismes (Frazier et al., 2022).

Par ailleurs, leur réactivité vis-à-vis des oxydants atmosphériques fait l'objet de nombreuses études afin de mieux comprendre leur rôle et leur impact sur l'environnement.

9. Activités biologiques



Figure_23 : Activités biologiques des huiles essentielles

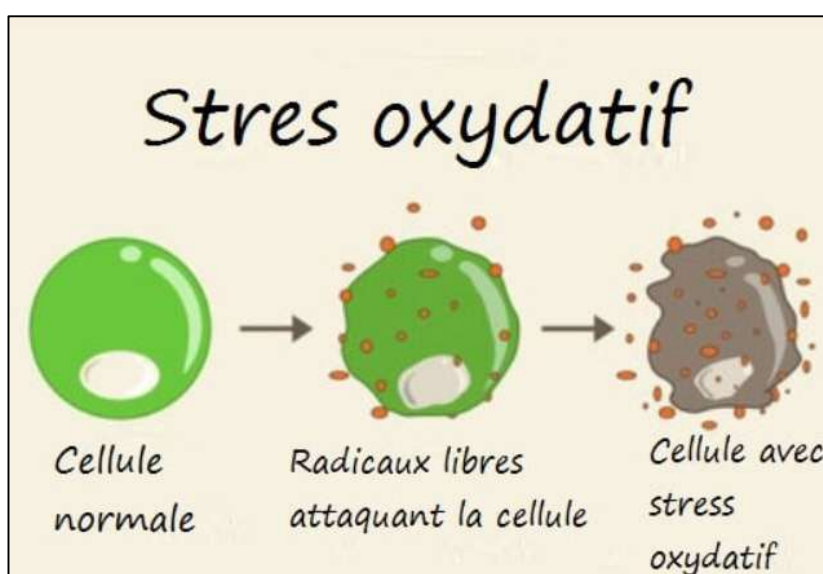
Les huiles essentielles sont utilisées pour leurs nombreuses propriétés bénéfiques, notamment leurs effets antioxydants, antiseptiques, cicatrisants, antiparasitaires, antirhumatismaux, antinévralgiques, tonifiants, antispasmodiques et hormonaux. Elles possèdent une action efficace contre de nombreux micro-organismes, y compris certaines bactéries pathogènes et des souches résistantes aux antibiotiques, ainsi que contre les champignons responsables de mycoses et les levures.

Leurs effets apparaissent généralement à de faibles concentrations, soit en inhibant la croissance des micro-organismes, soit en provoquant leur destruction (**Bazizi, 2017**). Des recherches récentes ont également montré que certaines huiles essentielles présentent des activités antivirales et antiparasitaires.

En phytothérapie et en aromathérapie, elles occupent une place importante dans le traitement de nombreuses infections et entrent aussi dans la composition de diverses préparations pharmaceutiques (**Bammi et al., 1997**).

9.1. Activités antioxydante

L'activité antioxydante correspond à la capacité d'un composé à neutraliser les radicaux libres, afin de protéger les cellules contre le stress oxydatif et les dommages qu'il peut provoquer. De nombreuses substances naturelles présentes dans les plantes possèdent cette propriété, notamment les polyphénols, la vitamine C, la vitamine E et les caroténoïdes. Ces composés agissent en captant les radicaux libres ou en empêchant le déclenchement des réactions d'oxydation (**Bourrel, 2024 ; Médecine/Sciences, 2004**).



Figure_24 : Mécanisme du stress oxydatif

Des tests réalisés in vitro, tels que les méthodes FRAP et DPPH, sont fréquemment utilisés pour mesurer l'activité antioxydante des extraits végétaux (**Evenamede et al., 2017**). Plusieurs études ont montré qu'il existe une forte relation entre la richesse en composés phénoliques et le pouvoir antioxydant, ce qui explique l'intérêt grandissant porté aux extraits de plantes dans la prévention des maladies associées au stress oxydatif.

En outre, certains antioxydants d'origine végétale sont également employés comme colorants naturels ou comme additifs alimentaires, démontrant ainsi la diversité de leurs applications (**Médecine/Sciences, 2004**).

9.2. Activités antibactérienne

L'activité antibactérienne des extraits naturels suscite un grand intérêt en raison de leur capacité à freiner le développement des bactéries pathogènes. À titre d'exemple, les extraits bruts du basidiocarpe et du sclérote du champignon *Pleurotus tuber-regium* ont montré une activité inhibitrice notable contre plusieurs souches bactériennes, notamment *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*, avec des concentrations minimales inhibitrices comprises entre 6,25 et 12,5 mg/ml (**Defat, 2022**).

Même si leur efficacité reste généralement inférieure à celle des antibiotiques synthétiques, les résultats obtenus demeurent comparables à ceux de certains antibiotiques de référence (**Chelela et al., 2014**). L'activité antibactérienne varie selon la nature des composés, leur concentration ainsi que la souche bactérienne étudiée. Ainsi, les extraits naturels représentent une voie prometteuse dans la recherche de nouveaux agents antimicrobiens (**Defat, 2022**).

9.3. Activités antiinflammatoire

L'activité anti-inflammatoire est essentielle pour réguler la réponse immunitaire de l'organisme face à une infection ou une agression. Des travaux récents ont montré que certains extraits de plantes, notamment *Inula viscosa*, présentent des effets anti-inflammatoires importants chez le rat, en diminuant significativement l'œdème provoqué par le formol (**Bougherra, 2024**).

Cette activité serait liée à la présence de composés bioactifs capables de réduire la production de certains médiateurs de l'inflammation, tels que le TNF- α , l'IL-6 et l'IL-17 (**Serhan et al., 2007 ; Leitch et al., 2008**). Pour évaluer l'efficacité des extraits végétaux, des modèles animaux comme l'inflammation induite par le formol sont fréquemment utilisés (**Bougherra, 2024**).

9.4. Activités antiinsecticide

L'activité insecticide des extraits naturels, en particulier des huiles essentielles, suscite un intérêt croissant dans la protection des cultures et la lutte contre les insectes ravageurs. À titre d'exemple, l'huile essentielle de *Lippia alba* a montré une action insecticide efficace, aussi bien par contact que par fumigation, contre *Sitophilus zeamais*, un ravageur des grains. En revanche, les argiles utilisées seules ou sous forme de formulation n'ont pas présenté d'effet significatif **(Defat, 2022)**. Cette activité toxique est principalement liée à la présence de composés terpéniques, tels que le limonène, capables de perturber la cuticule ainsi que le système nerveux des insectes **(Losic & Korunic, 2018)**. L'utilisation de ces extraits naturels représente ainsi une alternative plus écologique aux insecticides chimiques, contribuant à limiter les risques pour l'environnement et la santé humaine **(Defat, 2022)**.

9.5. Activités anticancéreuse

Les propriétés anticancéreuses des extraits naturels et des molécules issues de la recherche académique occupent une place importante dans le développement de nouvelles thérapies en oncologie. Par exemple, une étude publiée dans le *New England Journal of Medicine* a montré que l'ajout d'une immunothérapie après une chimiothérapie permettait d'améliorer la survie des patients atteints de lymphome **(GCO, 2016)**.

De nombreux composés naturels étudiés in vitro et in vivo présentent des effets cytotoxiques sur les cellules tumorales, en freinant leur prolifération ou en déclenchant leur apoptose **(Bourrel, 2024)**. Les recherches actuelles s'orientent donc vers l'identification de nouveaux agents antitumoraux d'origine végétale ou fongique afin de compléter et d'améliorer les traitements déjà disponibles **(GCO, 2016)**.

L'intégration de ces molécules dans des essais cliniques académiques est essentielle pour évaluer leur efficacité ainsi que leur sécurité d'utilisation chez l'être humain.

MATERIELS ET METHODE



Matériel et méthodes

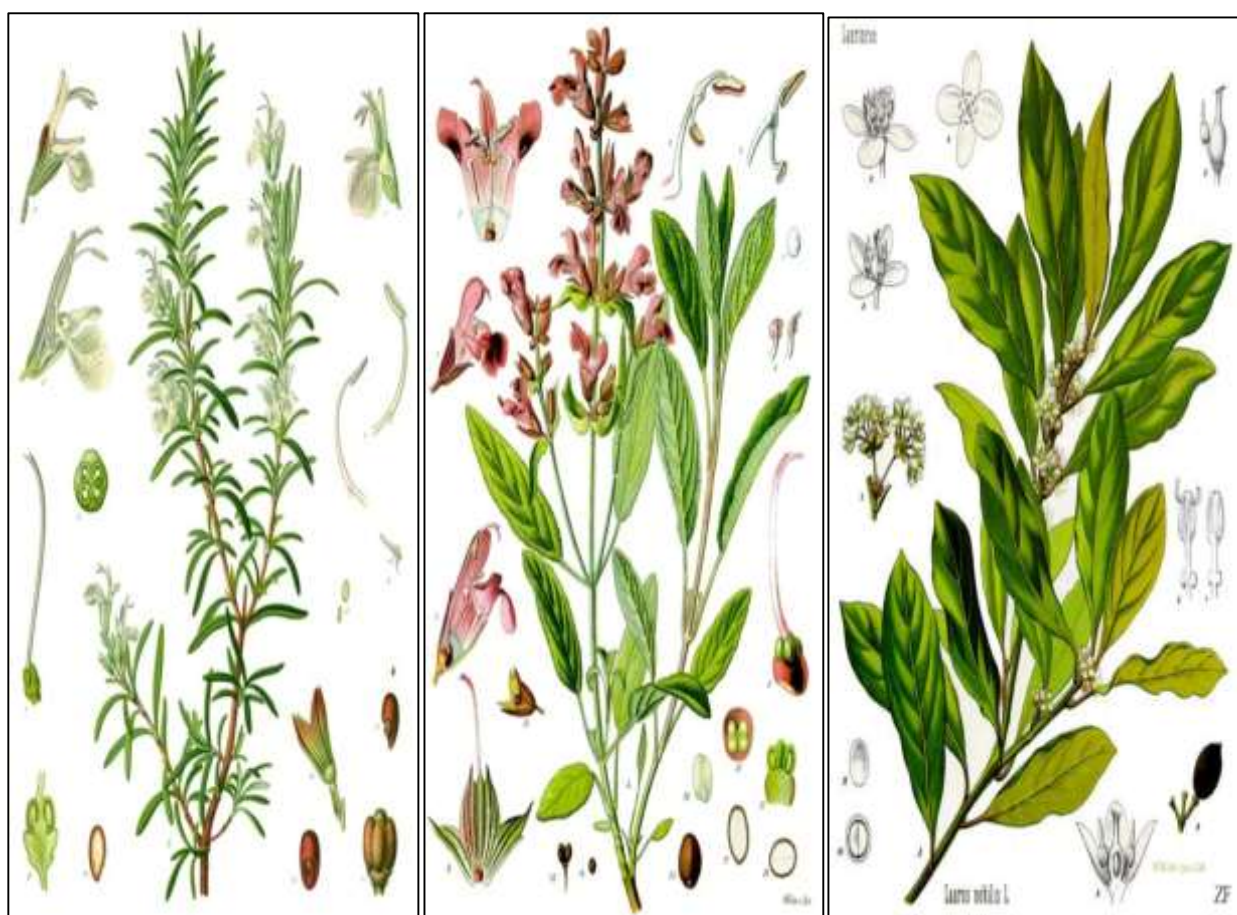
I. Matériel végétal

L'étude a porté sur la partie aérienne de trois plantes médicinales suivantes :

Plante 01 : ***Rosmarinus officinalis* L**

Plante 02 : ***Salvia officinalis***

Plante 03 : ***Laurus nobilis***



Figure_22: Plantes médicinales étudiées.

Les huiles essentielles (HE) ont été extraites par la technique d'hydrodistillation.

2. Extraction d'huile essentielle (HE)

2.1. Principe

L'hydrodistillation est une technique traditionnelle utilisée pour extraire les huiles essentielles. Elle repose sur le chauffage d'un mélange d'eau et de matière végétale, ce qui entraîne la rupture des cellules de la plante et la libération des composés aromatiques volatils. Ces substances sont ensuite transportées par la vapeur d'eau, puis condensées grâce à un système de refroidissement. Le liquide obtenu, constitué d'eau et d'huile essentielle, est finalement séparé selon la différence de densité entre les deux phases.

2.2. Mode opératoire

L'extraction des HEs a été effectuée par hydrodistillation pendant une durée de 3 heures et 30 minutes, en utilisant le dispositif présenté dans la **Figure 23**:



Figure_25: Dispositif utilise pour l'extraction des HEs.

Concrètement, une quantité déterminée de matière végétale est introduite dans une cocotte contenant 2.5 litres d'eau distillée. Le mélange est ensuite chauffé jusqu'à ébullition à l'aide d'une plaque chauffante. Les vapeurs formées passent dans un condenseur où elles se refroidissent et se liquéfient. Enfin, l'huile essentielle est récupérée puis séparée de l'eau par décantation



Figure_26 : Séparation des HEs par décantation

Après l'extraction, l'huile essentielle a été conservée dans un flacon stérile en verre ambré soigneusement fermé afin de réduire le contact avec l'air et de prévenir toute évaporation ou oxydation. Le flacon a ensuite été recouvert de papier aluminium pour le protéger davantage de la lumière, puis stocké à 4°C dans un endroit sec, à l'abri de la chaleur, jusqu'à son utilisation lors des tests d'activité antibactérienne.

3. Etude de l'activité anti bactérienne

3.1. Matériel utilisé

	
Bec bunsen	Les tubes à essai
	
Papier whatman (Ø=6mm)	Les flacons
	
Les boite de Pétrie	Les Ecouvillon

3.2. Appareils

Différents appareils ont été utilisés pour l'évaluation de l'activité antimicrobienne. (Tableau 9).

Tableau_4 : Appareils de laboratoire utilisés

Matériel	Utilisation
Plaque chauffante agitatrice	Préparation du milieu de culture
Réfrigérateur	Conservation des échantillons
Autoclave	Stériliser les matériels et les milieux de culture
Etuve	Incubation les souches bactériennes

3.3. Matériel biologique

Les souches bactériennes utilisées sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau_5: Les souches utilisées dans les différents tests.

Souches	Gram	Code
<i>Escherichia. coli</i>	Négatif	ATCC 25922
<i>Citrobacterfreundii</i>		ATCC 13316
<i>Klebsiella pneumoniae</i>		ATCC 13883
<i>Staphylococcus aureus</i>	Positif	ATCC 43862
<i>Bacillus cereus</i>		ATCC 10876
<i>Candida albicans</i>	Levure	ATCC 10231

A.T.C.C: American type culture collection.

3.4. Milieu utilisés

Tableau_6: Milieux utilisés pour l'activité antimicrobienne d'huile essentielle

Milieu		Utilisation
Liquide	Bouille Mueller Hinton	Préparation de l'inoculum des souches bactérienne.
Solide	Gélose Mueller Hinton	Colé dans des boîtes Pétri pour l'ensemencement des souches bactériennes.

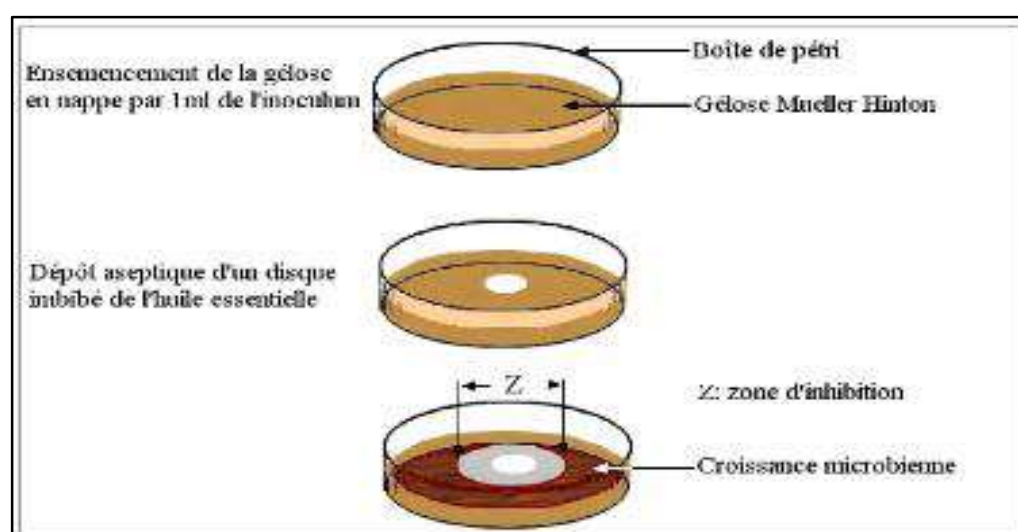
3.5. Méthodes d'évaluation de l'activité antimicrobiennes

3.5.1. Purification

Dans le respect des conditions d'asepsie et afin de régénérer les souches de référence, les micro-organismes ont été transférés à partir de cultures conservées sur gélose nutritive inclinée (GNI). Chaque souche a été inoculée séparément dans 10 ml de bouillon MH, puis incubée à 37°C pendant 24 heures. Après incubation, deux ensemencements par épuisement ont été réalisés à partir de chaque tube dans des boîtes de Pétri contenant le milieu de culture MH. Les boîtes ont ensuite été incubées à 37°C pendant 24 heures.

3.5.2. Test de l'activité antibactérienne (*Méthode de diffusion sur disques*)

Ce test permet d'évaluer l'activité antimicrobienne des huiles essentielles (huiles essentielles individuelles et croisées des plantes) de manière simultanée. La méthode se déroule en trois étapes principales : la préparation de l'inoculum, l'ensemencement et le dépôt des disques. Des disques stériles de papier filtre de 6 mm de diamètre, imprégnés de 10 µl ou 15 µl d'huile essentielle, sont déposés à la surface d'un milieu Mueller-Hinton contenu dans une boîte de Pétri préalablement ensemencée.



Figure_27 : Méthode de diffusion sur disques. (BENDJABOUR, 2019)

L'ensemencement est réalisé à l'aide d'un écouvillon imbibé d'une suspension bactérienne préparée dans le bouillon MH. La densité optique de cette suspension doit être comprise entre 0,08 et 0,1 à 625 nm, correspondant approximativement à 10^8 UFC/ml. La suspension bactérienne est ensuite répartie uniformément sur toute la surface de la gélose MH sèche en effectuant des stries serrées de haut en bas. Cette opération est répétée deux fois en tournant

la boîte de 60° à chaque passage, tout en faisant pivoter l'écouvillon sur lui-même. Enfin, l'ensemencement est complété en passant l'écouvillon sur le bord de la gélose.

3.5.3.Lecture des résultats

Les boîtes de Pétri ont été maintenues à 4 °C pendant environ 2 heures afin de favoriser la diffusion des huiles essentielles dans le milieu de culture. Elles ont ensuite été incubées à 37 °C pendant 24 heures. Après incubation, l'activité antibactérienne a été déterminée en mesurant, en millimètres, le diamètre des zones d'inhibition observées autour des disques. Des disques d'antibiotiques contenant de la Gentamicine (10 µg) ont été utilisés comme référence.

L'efficacité de l'huile essentielle se traduit par l'apparition d'un halo transparent autour du disque, indiquant une absence de croissance bactérienne. Cette zone, appelée zone d'inhibition, est mesurée en millimètres afin d'évaluer la sensibilité des souches bactériennes vis-à-vis du principe actif testé. Selon l'échelle de concordance utilisée, les bactéries peuvent être classées comme sensibles, intermédiaires ou résistantes.

RESULTATS ET DISCUSSIONS



I. Résultats

I.1. Résultat d'extraction d'huile essentielle (HE)

Tableau_07 : Résultat d'extraction.

Plante	Partie utilisé	Rendement
<i>Rosmarinus officinalis L</i>	Tiges + Feuilles + Fleures	0.97 %
<i>Salvia officinalis</i>	Tiges + Feuilles + Fleures	0.64 %
<i>Laurus nobilis</i>	Tiges + Feuilles + Fleures	0.51 %

I.2. Résultats d'activités antibactériennes

L'aromatogramme, également désigné sous le terme de méthode de diffusion sur disque, constitue une approche qualitative permettant d'évaluer la sensibilité ou, inversement, la résistance des microorganismes face aux huiles essentielles. Les résultats de cette étude, exprimés par les diamètres d'inhibition, sont synthétisés dans le **tableau 08** et illustrent la sensibilité des différentes souches microbiennes testées aux huiles essentielles étudiées.

I.2.1. Matrice individuelle des huiles essentielles

Le tableau 08 résume l'évaluation de la sensibilité des bactéries choisies vis-à-vis des huiles essentielles de *R. officinalis*, *S. officinalis*, *L. nobilis* et le témoin positif (Gentamycine).

Tableau_08: Résultats d'activités antimicrobiennes des HEs individuelles.

Microorganismes	Disc diffusion	... Niveaux d'activité	... Disc diffusion	
	<i>R. officinalis</i>	<i>S. officinalis</i>	<i>L. nobilis</i>	T (+)
bactéries Gram négative				
<i>Escherichia coli</i>	+++	+/-	+++	+++
<i>Citrobacter freundii</i>	-	-	++	++++
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	+	-	-	++++
bactéries Gram positive				
<i>Staphylococcus aureus</i>	++	+++	+++	++++
<i>Bacillus cereus</i>	-	+	++	++++
Levures				
<i>Candidas albicans</i>	++++	+	+	++++

Comme le montre le tableau 08, les huiles essentielles individuelles de *R. officinalis*, *S. officinalis*, *L. nobilis* ont montré des effets inhibiteurs contre les différentes bactéries testées.

L'huile essentielle de ***L. nobilis*** a exercé un excellent effet inhibiteur sur la majorité des souches étudiées. Les souches les plus sensibles ont été *E. coli*, *B. cereus* et *S. aureus*, alors que l'huile de ***R. officinalis*** a montré une activité sélective et inégale selon les groupes microbiens. Cette huile s'est révélée particulièrement efficace contre les levures, avec une zone d'inhibition remarquable sur *Candida albicans*, dépassant même le témoin positif. Elle a également bien inhibé *E. coli* et *S. aureus*, mais est restée quasi inefficace contre *Citrobacter freundii*, *Klebsiella pneumoniae* et *Bacillus cereus*, suggérant une sensibilité différenciée selon les espèces même au sein d'un même groupe taxonomique. L'huile essentielle de ***S. officinalis*** a présenté l'activité la plus faible de toutes les huiles testées, et une absence totale d'effet sur *Citrobacter freundii*. Elle a montré une activité modérée uniquement contre *S. aureus* et *B. cereus*, demeurant inefficace contre les bactéries Gram négatives *E. coli* et *K. pneumoniae*, ainsi que contre *C. albicans*. Ces résultats indiquent que ***S. officinalis*** possède un spectre d'action très restreint, limité principalement aux bactéries Gram positives.

Comparativement, le **témoin positif** a systématiquement affiché des zones d'inhibition importantes, confirmant la validité du protocole expérimental. Il est notable que ***R. officinalis*** surpasse le témoin contre *C. albicans*, ce qui constitue un résultat particulièrement significatif pour des applications antifongiques.

En résumé, ***L. nobilis*** se distingue par un **spectre large et équilibré** couvrant bactéries Gram négatives et positives, ***R. officinalis*** par une **puissance antifongique exceptionnelle** associée à une efficacité modérée sur certaines bactéries, tandis que ***S. officinalis*** présente un **intérêt limité** en raison de son spectre étroit et de ses faibles diamètres d'inhibition.

1.2.2. Matrice croisée des huiles essentielles

Le tableau présente l'évaluation de l'activité antimicrobienne des matrices croisées des huiles essentielles (*R. officinalis*, *S. officinalis* et *L. nobilis*). Les résultats sont exprimés en diamètres moyens des zones d'inhibition (mm) $\pm$ écart-type, mesurés par la méthode de diffusion sur disques en milieu gélosé, avec un témoin positif (T+) assurant la validation du protocole expérimental. Cette approche comparative permet d'identifier les spectres d'action des **matrices croisées**, et de mettre en évidence d'éventuels effets synergiques ou antagonistes entre les huiles, et de déterminer les combinaisons optimales en fonction des cibles microbiennes visées.

Tableau_09: Résultats d'activités antimicrobiennes des HEs croisées.

Microorganismes	Niveaux d'activité	...	Niveaux d'activité	...	Niveaux
	<i>R. offi</i> + <i>S. offi</i>	<i>R. offi</i> + <i>L. nobi</i>	<i>S. offi</i> + <i>L. nobi</i>	<i>R</i> + <i>S</i> + <i>L.</i>	d'activité
Gram négative bactéries					
<i>Escherichia coli</i>	+++	++++	+++	++++	
<i>Citrobacter freundii</i>	-	-	+++	++++	
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	++++	+++	-	++++	
Gram positive bactérie					
<i>Staphylococcus aureus</i>	+/-	++++	+	++++	
<i>Bacillus cereus</i>	+++	-	+/-	-	
Levures					
<i>Candidas albicans</i>	+	++++	++++	++++	

En associations, Le mélange ternaire (***R. officinalis* + *S. officinalis* + *L. nobilis***) a donné les meilleurs résultats globaux, particulièrement sur *C. albicans*, *S. aureus*, *E. coli* et *C. freundii*, couvrant ainsi un large spectre de microorganismes. le mélange ***R. officinalis* + *L. nobilis*** a affiché une activité élevée et régulière sur *C. albicans*, *S. aureus* et *E. coli*. Le mélange ***S. officinalis* + *L. nobilis*** a été très efficace contre *C. albicans* et *C. freundii*. Le mélange ***R. officinalis* + *S. officinalis*** n'a été remarquable que sur *K. pneumoniae*.

2. Discussions

La présente étude a évalué l'activité antimicrobienne de trois huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis*, *Salvia officinalis* et *Laurus nobilis* (individuelles et croisées), contre (05) cinq souches bactériennes, deux à Gram négatif et trois à Gram positif et une souche fongique.

L'HE de *R. officinalis* a démontré une excellente activité inhibitrice contre les bactéries à Gram positif, avec une efficacité allant de **sensible à très sensible**. Ces observations sont en accord avec les résultats rapportés par **Zaouali et al. (2010)**, **Gachkar et al. (2007)** et **Jordan et al. (2013)**. En revanche, l'efficacité antibactérienne observée dans notre étude s'est avérée **supérieure** à celle rapportée par **El Kamli et al. (2019)**, et **inférieure** à celle rapportée par **Kassoussi & Guidadou (2022)** et **Djouama et al. (2024)**.

L'huile essentielle de *R. officinalis* a montré une activité **variable** contre les bactéries à Gram négatif. Ces observations sont en accord avec les résultats rapportés par **Zaouali et al. (2010)** et **Jordan et al. (2013)**. En revanche, l'efficacité antibactérienne observée dans notre étude s'est avérée **supérieure** à celle rapportée par **Eid Ahmed Mousa et al. (2022)**, **Jawad et al. (2020)** et **Amirouche et al. (2023)**, mais **inférieure** à celle rapportée par **El Kharraf et al. (2023)** et **Benmansour & Soudani (2022)**.

L'huile essentielle de *R. officinalis* a démontré une **activité remarquable** contre *Candida albicans*, bien supérieure à celle rapportée par **Eid Ahmed Mousa et al. (2022)**.

L'huile essentielle de *R. officinalis* a démontré une très bonne activité inhibitrice contre l'ensemble des souches testées, avec une efficacité allant de **sensible à extrêmement sensible**. Il est également à noter que cette huile s'est révélée particulièrement active vis-à-vis des **bactéries à Gram positif** et des **levures**, davantage que contre les **bactéries à Gram négatif**. Ces observations sont en accord avec les résultats rapportés par **Zaouali et al. (2010)**, **Gachkar et al. (2007)** et **Jordan et al. (2013)**. En revanche, l'efficacité antibactérienne observée dans notre étude s'est avérée **variable** par rapport à celles rapportées par **Eid Ahmed Mousa et al. (2022)**, **El Kamli et al. (2019)** et **Amirouche et al. (2023)**, selon les souches considérées.

L'huile essentielle de *S. officinalis* a démontré une **activité remarquable** contre les bactéries à Gram positif, avec une efficacité allant de **sensible à extrêmement sensible**. Ces observations sont en accord avec les résultats rapportés par **Ben Akacha et al. (2023)**, **Bouchareb et al. (2022)** et **Lahlou et al. (2023)**. En revanche, l'efficacité antibactérienne observée dans notre étude s'est avérée **nettement supérieure** à celle rapportée par **Hamidi & Laksari (2020)**, **GORMI & LEMBARKI (2023)** et **BOUZAOUÏ & HARIDI (2013)**.

Concernant *Bacillus cereus*, notre résultat contraste fortement avec l'absence d'activité rapportée par **Ben Akacha et al (2023)**.

L'huile essentielle de *S. officinalis* a montré une **activité modérée à faible** contre les bactéries à Gram négatif. Ces observations sont partiellement en accord avec les résultats rapportés par **Hamidi & Laksari (2020)** et **DRIDER & KADZA (2019)** qui ont également rapporté une faible ou nulle activité contre *E. coli*. En revanche, l'efficacité antibactérienne observée dans notre étude s'est avérée **inférieure** à celle rapportée par **BOUZAOUÏ & HARIDI (2013)**, **Bouchareb et al. (2022)** et **GORMI & LEMBARKI (2023)**. Concernant *Citrobacter freundii*, notre résultat contraste avec l'activité rapportée par **Lahlou et al (2023)**.

L'huile essentielle de *S. officinalis* a montré une **activité modérée** contre *Candida albicans*. Cette observation est en accord avec les résultats rapportés par **Anane & Boualili (2014)**. En revanche, l'efficacité observée dans notre étude s'est avérée **inférieure** à celle rapportée par **Tularat Sookto et al. (2013)**.

L'huile essentielle de *S. officinalis* a démontré une bonne activité inhibitrice contre l'ensemble des souches testées, avec une efficacité allant de **modérément sensible à extrêmement sensible**. Il est également à noter que cette huile s'est révélée particulièrement active vis-à-vis des **bactéries à Gram positif** et des **levures**, davantage que contre les **bactéries à Gram négatif**. Ces observations sont en accord avec les résultats rapportés par **Ben Akacha et al. (2023)**, **Bouchareb et al. (2022)** et **Lahlou et al. (2023)**. En revanche, l'efficacité antibactérienne observée dans notre étude s'est avérée **variable** par rapport à celles rapportées par **Hamidi & Laksari (2020)**, **BOUZAOUÏ & HARIDI (2013)** et **Tularat Sookto et al. (2013)**, selon les souches considérées.

L'huile essentielle de *L. nobilis* a démontré une **activité remarquable** contre toutes les bactéries à Gram positif, avec une efficacité **très sensible**. Ces observations sont en accord avec les résultats rapportés par **DIF & SADKI (2019)**, et **GUELLADRES & TOUMI (2024)** et **CHEHBI et al (2015)**. En revanche, l'efficacité antibactérienne observée dans notre étude s'est avérée **supérieure** à celle rapportée par **AL-ABRI et al (2022)**, **KHERIEF & ZITOUNI (2023)** et **STEFANOVA et al (2020)**, mais **inférieure** à celle rapportée par **BOUCHAALE et al (2015)** et **MILIANI et al (2017)**.

L'huile essentielle de *L. nobilis* a montré une **activité exceptionnelle** contre *Escherichia coli*, contrastant avec une activité **modérée** contre *Klebsiella pneumoniae*. Ces observations sont en accord avec les résultats rapportés par **DIF & SADKI (2019)** et **MILIANI et al (2017)**. En revanche, l'efficacité antibactérienne observée dans notre étude s'est avérée **nettement**

supérieure à celle rapportée par **SALEH AL-ABRI et al. (2022)** , **KHERIEF & ZITOUNI (2023)** et **GOUMNI & SALHI (2013)**, et supérieure à celle rapportée par **GUELLADRES & TOUMI** et **STEFANOVA et al (2020)**. Concernant *Citrobacter freundii*, notre résultat dépasse légèrement les valeurs rapportées par **STEFANOVA et al. (2020)** et **AOUCHICHE & BOUMGHAR (2015)**, mais reste inférieur à celui de **GUERROUF (2017)**.

L'huile essentielle de *L. nobilis* a montré une **activité notable** contre *Candida albicans*. Cette observation est **supérieure** à celle rapportée par **SALEH AL-ABRI et al (2022)**. En revanche, l'efficacité observée dans notre étude s'est avérée **inférieure** à celle rapportée par **GUELLADRES & TOUMI (2024)** et **très inférieure** à celle rapportée par **ADDOU & BECHLAGHEM (2024)**, ce qui pourrait s'expliquer par des différences dans la composition chimique des huiles selon l'origine géographique et la méthode d'extraction.

L'huile essentielle de *L. nobilis* a démontré une excellente activité inhibitrice contre l'ensemble des souches testées, avec une efficacité allant de **modérément sensible à extrêmement sensible**. Il est également à noter que cette huile s'est révélée particulièrement active vis-à-vis des **bactéries à Gram négatif**, notamment *Escherichia coli*, davantage que contre les **bactéries à Gram positif** et les **levures**, ce qui la distingue des deux autres huiles essentielles testées (*R. officinalis* et *S. officinalis*). Ces observations sont en accord avec les résultats rapportés par **DIF & SADKI (2019)** et **MILIANI et al (2017)** et **GUERROUF (2017)**. En revanche, l'efficacité antibactérienne observée dans notre étude s'est avérée **variable** par rapport à celles rapportées par **SALEH AL-ABRI et al (2022)**, **KHERIEF & ZITOUNI (2023)** et **ADDOU & BECHLAGHEM (2024)** , selon les souches considérées, ce qui pourrait être attribué aux variations dans la composition chimique des huiles essentielles selon l'origine botanique, la période de récolte et la méthode d'extraction.

Les profils d'activité des huiles essentielles individuelles sont hétérogènes et complémentaires, révélant des spécialisations fonctionnelles distinctes en fonction de la composition chimique de chaque essence. L'HE de *R. officinalis* présente une activité prédominante contre la levure *C. albicans*, légèrement supérieure au témoin gentamycine, et une activité modérée contre *E. coli* et *S. aureus*). Son activité quasi-nulle contre *C. freundii* et *K. pneumoniae* suggère une faible pénétration de la barrière LPS des Gram négatif. Cette spécialisation antifongique peut être attribuable à sa richesse en acide rosmarinique et en diterpènes (carnosol, acide carnosique) spécifiquement actifs contre les membranes fongiques riches en ergostérol. L'HE de *S. officinalis* est sélectivement actif contre *S. aureus* et *B. cereus*, mais quasi-inactif contre les bactéries Gram négatif : *E. coli* , *C. freundii* et *K. pneumoniae* probablement en raison de la barrière

LPS des bactéries concernées. Son activité contre *C. albicans* reste modeste. Cette sélectivité Gram positive s'explique par ses terpènes lipophiles (thujone, 1,8-cinéole) capables d'interagir avec les membranes phospholipidiques des bactéries à paroi épaisse. L'HE de *L. nobilis* excelle contre *E. coli* et *B. cereus*, avec une activité intermédiaire contre *C. freundii* et *S. aureus*. Cette supériorité en termes d'activité peut être attribuée à la forte proportion de terpènes oxygénés dans l'HE (eucalyptol et linalol), connus pour leur efficacité à perturber la membrane externe des bactéries Gram-négatives, expliquant sa supériorité sur *E. coli* comparée aux deux autres essences. Ces profils distincts s'inscrivent dans le modèle de la barrière physiologique de Nikaido (1994), qui hiérarchise trois niveaux de résistance : la membrane externe, les systèmes d'efflux et les cibles intracellulaires. Chaque essence présente une signature antimicrobienne unique, déterminée par sa capacité à franchir ces barrières successives.

Les interactions dans les mélanges binaires révèlent des phénomènes complexes où la combinaison de deux essences génère des effets imprévisibles, allant de la synergie marquée à l'antagonisme total.

L'association ***R. officinalis* + *L. nobilis*** génère une **synergie forte** contre *C.*, soit une **additivité quasi-parfaite**), mais surtout une **synergie exceptionnelle** contre *E. coli*, *K. pneumoniae* et *S. aureus*. Ce phénomène s'explique par un mécanisme de coopération membranaire : les terpènes oxygénés de *L. nobilis* fluidifient la membrane, facilitant l'accès des polyphénols de *R. officinalis* aux cibles intracellulaires. Contre *B. cereus* et *C. freundii*, ce mélange présente un **antagonisme fort**, probablement dû à la formation de micelles amphiphiles trop volumineuses pour diffuser à travers les pores de la paroi sporale épaisse ou la membrane externe des Gram négatif.

Contre *K. pneumoniae*, le mélange ***R. officinalis* + *S. officinalis***, alors que les huiles seules sont quasi-inactives, suggérant une coopération tripartite où les terpènes de *S. officinalis* modifient la conformation des porines membranaires, permettant l'entrée des polyphénols de *R. officinalis* qui inhibent les pompes d'efflux RND (Resistance-Nodulation-Division). Une **synergie modérée** est également observée contre *E. coli* et Une **synergie forte** contre *B. cereus*. En revanche, un **antagonisme fort** est observé contre *C. freundii*, *S. aureus* et *C. albicans*. Ce dernier illustre une dilution fonctionnelle où l'extrait inactif dilue la concentration de l'extrait actif sous le seuil critique. Le mélange ***S. officinalis* + *L. nobilis*** présente un **antagonisme fort** sur la plupart des bactéries, mais une **synergie forte** remarquable sur *C. freundii* et *C. albicans*. Il est particulièrement intéressant de noter que *S. officinalis* seul est inactif sur *C. freundii*, démontrant que l'association peut révéler une activité latente par modification de la biodisponibilité. Contre *K. pneumoniae*, ce mélange présente un **Synergie modérée**.

Le mélange ternaire (***R. officinalis* + *S. officinalis* + *L. nobilis***) présente un profil polyvalent avec des **synergies fortes** sur toutes les souches testées. Et un **antagonisme fort** est observé contre *B. cereus*.

Les interactions huiles-micro-organismes révèlent une **dichotomie marquée** : synergies spectaculaires sur certaines souches, antagonismes sévères sur d'autres. Nos résultats montrent des interactions complexes entre les mélanges d'huiles essentielles et différentes souches microbiennes. Les synergies les plus marquées concernent le couple ***R. officinalis* + *S. officinalis*** contre *K. pneumoniae* et ***S. officinalis* + *L. nobilis*** contre *C. albicans*, suggérant que certains binômes amplifient considérablement l'activité antibactérienne ou antifongique. À l'inverse, les antagonismes les plus sévères apparaissent également avec le mélange ***R. officinalis* + *S. officinalis***, mais cette fois contre *C. albicans* et *S. aureus*, indiquant que la même combinaison peut être bénéfique ou délétère selon la cible microbienne. *B. cereus* apparaît particulièrement sensible aux antagonismes, étant inhibé négativement par trois mélanges différents. Globalement, l'efficacité d'un mélange ne se prédit pas par simple addition des effets individuels : elle dépend étroitement de la nature du micro-organisme cible, soulignant l'importance d'un criblage spécifique avant toute application thérapeutique.

La comparaison avec la gentamycine révèle que les mélanges ***R. officinalis* + *L. nobilis*** et ***R. officinalis* + *S. officinalis*** surpassent l'antibiotique de référence contre *E. coli* et *K. pneumoniae*. Cette supériorité est particulièrement significative contre *K. pneumoniae*, pathogène prioritaire OMS en raison des souches KPC résistantes aux carbapénèmes. L'infériorité contre *B. cereus* et *C. freundii* indique que l'intérêt des extraits végétaux réside dans les infections à pathogènes résistants ou les levures, où les options thérapeutiques conventionnelles sont limitées. Cette multi-ciblage réduit statistiquement la probabilité d'émergence de résistance (Piddock, 2012), un avantage majeur dans le contexte de la résistance aux antibiotiques. Ces résultats soutiennent le concept de repositionnement phytothérapeutique : ***R. officinalis*** comme agent antifongique de première intention, ***L. nobilis*** comme perméabilisant de membrane contre les Gram négatif, et ***S. officinalis*** comme adjuvant antistaphylococcique. La médecine de précision phytothérapeutique, où la formulation est adaptée au pathogène identifié, émerge comme une stratégie prometteuse : ***R. officinalis* + *L. nobilis*** pour les candidoses, R+S pour les infections à *Klebsiella*, ***R. officinalis* + *S. officinalis*** + ***L. nobilis*** pour les infections polymicrobiennes à spectre large, en évitant systématiquement les mélanges avec ***L. nobilis*** contre *B. cereus*. L'optimisation des associations requiert une compréhension fine des mécanismes moléculaires sous-jacents, ouvrant la voie à une phytothérapie rationnelle et personnalisée.

Conclusion générale

C*onclusion Générale*

Conclusion générale

Conclusion Générale



Conclusion

En conclusion, cette étude a évalué l'activité antimicrobienne de trois huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis*, *Salvia officinalis* et *Laurus nobilis* individuelles et en combinaisons, contre cinq bactéries et une levure. Les résultats montrent que chaque huile possède une signature antimicrobienne spécifique : *R. officinalis* est particulièrement actif sur les levures (*C. albicans* : 37,67 mm), *S. officinalis* sur les bactéries à Gram positif (*S. aureus* : 22,00 mm), et *L. nobilis* sur certaines bactéries à Gram négatif (*E. coli* : 26,67 mm). Les mélanges révèlent des interactions complexes où les antagonismes prédominent (58,3%) sur les synergies (33,3%), avec des phénomènes de coopération multi-cibles contre *K. pneumoniae* et *C. freundii* (terpènes perméabilisant la membrane, polyphénols attaquant les cibles intracellulaires), mais aussi des antagonismes marqués contre *B. cereus*, *C. albicans* et *S. aureus* par séquestration ou compétition. Certains mélanges synergiques surpassent la gentamycine sur *E. coli*, *K. pneumoniae*, *S. aureus* et *C. albicans*, soutenant l'intérêt du repositionnement phytothérapeutique, bien que la complexité des interactions nécessite une optimisation ciblée par souche.

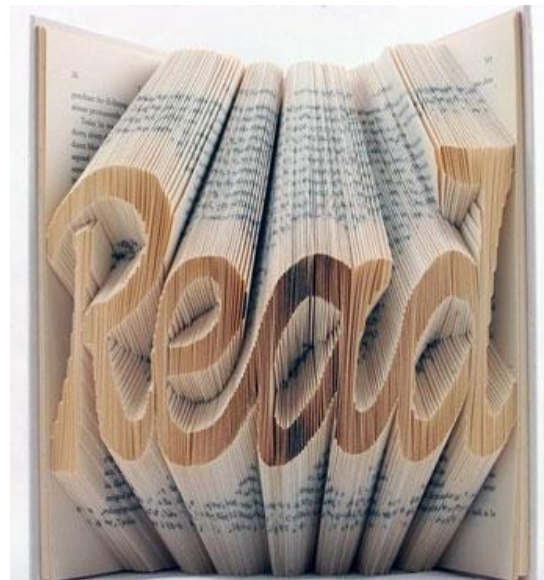
En guise de perspectives, la transposition clinique nécessite l'optimisation des ratios, la validation des mécanismes moléculaires (microscopie, cytométrie, transcriptomique), l'évaluation de la toxicité et de la pharmacocinétique, la standardisation chromatographique, l'extension aux souches résistantes (ESBL, KPC, MRSA), et les essais précliniques. Ce travail démontre que la phytopharmacologie rationnelle, fondée sur une compréhension mécanistique des interactions, peut concevoir des formulations antimicrobiennes innovantes contre la résistance aux antibiotiques.

Références bibliographiques

R*éférences bibliographiques*

Références bibliographiques

Références bibliographiques



Références bibliographiques

Simou Y., (2001). Mills, Evidence for the clinician a pragmatic framework for solvent-free microwave extraction of essential oil from dried *Cuminum cyminum*.

Kacimi. R, Megharbi. S, Zenasni. S (2024). Etude d'activité antioxydante et activité antibactérienne des plantes médicinales de la région d'Ain Témouchente. Mémoire de master. Université d'Ain Témouchent BELHADJ BOUCHAIB, Algérie. Pp 82.

Bruneton J. (1999). Pharmacognosie- Phytochimie, Plantes médicinales, Editions Tec & Doc, Editions médicales internationales, 1120 p.

Bruneton, J. (1999). Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales, 3ème Ed

PELT J. M., 1980. Les drogues, leur histoire et leurs effets. ÉditionDoin, Paris: 221

Mateu-Andrés I, Aguilera A, Boisset F, Currás R, Guara M, Laguna E, Marzo A, Puche MF, Pedrola J. 2013. Geographical patterns of genetic variation in rosemary (*Rosmarinus officinalis*) in the Mediterranean basin. *Botanical Journal of the Linnean Society* 171: 700–712.

Dejene Tadesse Banjaw B, Tigist German Wolde , Aynalem Gebre and Bemnet Mengesha 2016. Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) Variety Verification Trial at Wondogenet, South Ethiopia.

Bekri Melka Abdol, Gelila Asaminew, Beriso Mieso and Weretaw Sisay 2018. Chemotypic Characterization and Antioxidant Activities of *Rosmarinus officinalis* Essential Oil from Ethiopian Cultivars.

Quszel P et santa S., (1963). La nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Paris: tome II. CNRS. 1170p.

Boullard B. (2001). Plantes médicinales du monde réalités et croyances.ESTEM (Ed) Paris. 660p.

Schauenberg O.and Paris F., (1977). Guide to Medicinal Plants.Keats, New Canaan, CT

Bruneton J., 2009. Pharmacognosie phytochimie, plantes médicinales: Huiles essentielles. 3ème édition. Editions Tec et Doc, Lavoisier, page 567, 571, 580

Références bibliographiques

BAKKALI et al. 2018. Étude de la composition chimique de l'huile essentielle de *Rosmarinus Officinalis* et évaluation de son effet acaricide sur l'acarien ravageur *Tetranychus Urticae* koch (Acari, Tetranychidae). *Afrique science* 14:411–423

Mans H. Boelens, Destilaciones Bordas Chinchurreta SA, Seville, Spain (1995), The Essential Oil from *Rosmarinus officinalis* L.

Laura Pérez-Fons María T. GarzÓN et Vicente Micol (2010), Relationship between the Antioxidant Capacity and Effect of Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) Polyphenols on Membrane Phospholipid Order.

D. Edwards, Anne Dubberke, Nadin Meyer, Simone Kugel, Juliane Hellhammer (2004), Assessment of the Effects of a Sage (*Salvia officinalis*) Extract on Cognitive Performance in Adolescents and Young Adults .

Boelens, M.H. (1985). *Chemical and sensory evaluation of rosemary oil.* *Perfumer & Flavorist*, 10, 23–30. Référence classique sur la composition (α -pinène, camphre, cinéole, etc.).

Boutekedjiret, C., Bentahar, F., Belabbes, R., & Bessiere, J.M. (2003). *Extraction of rosemary essential oil by steam distillation and hydrodistillation.* *Flavour and Fragrance Journal*, 18(6), 481–484. Donne la composition chimique détaillée (~30 composés) et confirme les principaux constituants.

Angioni, A., Barra, A., Cereti, E., et al. (2004). *Chemical composition, plant genetic differences, antimicrobial and antifungal activity investigation of the essential oil of Rosmarinus officinalis L.* *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(11), 3530–3535. Explique la variabilité selon l'origine (sauvage vs cultivé).

Zaouali, Y., Bouzaine, T., & Boussaid, M. (2010). *Essential oils composition in two Rosmarinus officinalis L. varieties and incidence for antimicrobial and antioxidant activities.* *Food and Chemical Toxicology*, 48(11), 3144–3152. Très pertinent pour la diversité chimique et les activités biologiques.

Santos-Gomes, P.C., & Fernandes-Ferreira, M. (2001). *Organ- and season-dependent variation in the essential oil composition of Salvia officinalis L. and Rosmarinus officinalis L.* *Journal of*

Références bibliographiques

Agricultural and Food Chemistry, 49(6), 2908–2916. Montre la variation selon les conditions et les variétés.

European Pharmacopoeia (Pharmacopée Européenne), dernière édition. Source officielle pour la composition standard de l'huile essentielle de romarin.

Bouras, M. (2018) Thèse de Doctorat : Évaluation de l'activité antibactérienne des extraits de certaines plantes de l'est algérien sur des souches résistantes aux antibiotiques. Université Badji mokhtar-annaba.Algérie

Botineau M, Pelt J., 2015. Guide des plantes à fruits charnus comestibles et toxiques. Paris: Ed. Tec&Doc; 320 p.

Beloued A., 2005. Plantes médicinales d'Algérie. Office des publications universitaires. Alger. 124p

Bruneton J., 1993. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales . 2^e Edition, Université de paris sud, France, pp .389-617.

Bruneton J., 1993. Pharmacognosie, phytochimie des plantes médicinales. Edition. Technique et documentaire, 3^eme édition. 484,485 p.

Fiorini C., David B., Fouraste I., Vercauteren J., 1998. Acylated kaempferol glycosides from Laurus nobilis leaves. Phytochemistry. 47: 821–824

Geerts P., Rammeloo J., Van Cauteren G., 2002. Laurus nobilis : le livre du laurier. Gand: Ed. Ludion; 131 p.

Kivcak B., Mert T., 2002. Preliminary evaluation of cytotoxic properties of Laurus nobilis L. leaf extracts. Fitoterapia. 73: 242-243.

Myose M., Paris R., 1976. Précis des matières médicales. Ed Masson. 161-162p

Quezel P. et Santa S., 1962. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales, Tome I. Ed CNRS. Paris. 565p.

Quezel P. et Santa, S., 1963. La nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales, Tome II. Ed CNRS. Paris. 360-361 p

Références bibliographiques

Stursa J., 2001. Arbres et Arbustes à feuilles persistantes .Grand.Paris. P118-203

European Food Safety Authority (EFSA). (2008). Opinion of the Scientific Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Materials in Contact with Food on thujone. *The EFSA Journal*, 793, 1-31.

European Medicines Agency (EMA). (2012). *Assessment report on Salvia officinalis L., folium and Salvia officinalis L., aetheroleum*. London: EMA.

European Medicines Agency (EMA). (2016). *Community herbal monograph on Salvia officinalis L., folium*. London: EMA.

Fellah, S., Romdhane, M., & Abderraba, M. (2006). Chemical composition and biological activities of Salvia officinalis essential oil from Tunisia. *Journal of Essential Oil Research*, 18(3), 343-347.

Ghorbani, A., & Esmaeilzadeh, M. (2017). Pharmacological properties of Salvia officinalis and its components. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 7(4), 433-440.

Guenther, E. (2010). *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications*. Boca Raton: CRC Press.

Hamidpour, M., Hamidpour, R., Hamidpour, S., & Shahlari, M. (2014). Chemistry, pharmacology, and medicinal property of sage (*Salvia officinalis*) to prevent and cure illnesses such as obesity, diabetes, depression, dementia, lupus, autism, heart disease and cancer. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 4(2), 82-88.

Loïc, F. (2009). *Plantes médicinales et aromatiques: classification et propriétés*. Paris: Lavoisier.

Lu, Y., & Foo, L. Y. (2001). Antioxidant activities of polyphenols from sage (*Salvia officinalis*). *Food Chemistry*, 75(2), 197-202.

Messaili, H. (1995). *Contribution à l'étude des plantes médicinales algériennes*. Université d'Alger.

Meyer, F. G., et al. (2004). *Botany and medicinal plants classification*. Springer Publishing.

Références bibliographiques

Perry, N. S. L., Bollen, C., Perry, E. K., & Ballard, C. (2003). Salvia for dementia therapy: review of pharmacological activity and pilot tolerability clinical trial. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 75(3), 651-659.

Tisserand, R., & Young, R. (2014). *Essential Oil Safety: A Guide for Health Care Professionals* (2nd ed.). Edinburgh: Churchill Livingstone Elsevier.

Walker, J. B., Sytsma, K. J., Treutlein, J., & Wink, M. (2004). Salvia phylogeny and distribution in the Mediterranean basin. *American Journal of Botany*, 91(7), 1115-1125.

AFNOR, 1992.

Boukhatem, M. N. (2021). Évaluation de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle d'*Artemisia herba alba* (Mémoire de Master, Université de Skikda). Université de Skikda.

Bouras, 2018.

KADA MOSTEFA Mohamed Amine, (2023) : Activité anti-oxydante et anti-microbienne de l'huile essentielle d'une plante médicinale *Ammoides verticillata* de la région d'Ain temouchent, Mémoire de master, Université -Belhadj Bouchaib-d'Ain-Temouchent, pp 43.

Marie Elisabeth LUCCHESI, (2005). Extraction Sans Solvant Assistée par Micro-ondes Conception et Application à l'extraction des huiles essentielles, UNIVERSITE DE LA REUNION, Faculté des Sciences et Technologies.

Burt S., (2004.) - Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods – a review. *International Journal of Food and Microbiology*.p223-253

KADA MOSTEFA Mohamed Amine, (2023) : Activité anti-oxydante et anti-microbienne de l'huile essentielle d'une plante médicinale *Ammoides verticillata* de la région d'Ain temouchent, Mémoire de master, Université -Belhadj Bouchaib-d'Ain-Temouchent, pp 43.

Laurain-Mattar, D. (2018). Critères de qualité des huiles essentielles. Actualités Leila Riahi, Myriam Elferchichi, Hanene Ghazghazi, Jed Jebali, Sana Ziadi, Chedia Aouadhi, Hnia Chograni, Yosr Zaouali, Nejia Zoghلامي, Ahmed Mliki.

Références bibliographiques

Mikhaeil, B. R., Maatooq, G. T., Badria, F. A., & Amer, M. M. (2003). Chemistry and immunomodulatory activity of frankincense oil.

Pasik, M. F., et al. (2024). Monoterpene oxidation pathways initiated by acyl peroxy radical addition. *Environmental Science & Technology*, 58(1), 123–135.

Yang, Y., et al. (2020). Monoterpenes and their derivatives—Recent development in biological, medical, and chemical research. *Molecules*, 25(23), 5624

Ponce, A. G., Fritz, R., Del Valle, C., & Roura, S. I. (2003). Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard. *LWT-Food Science and Technology*, 36(7), 679-684.

Iserin P, 2001, Encyclopédie des plantes médicinales. 2ème Ed. Larousse. Londres, 225-226p

Kivcak B., Mert T, 2002, Preliminary evaluation of cytotoxic properties of *Laurus nobilis* leaf extracts. *Fitoterapia*. 73, 242-3p

Ouafi N., Moghrani H., Benaouda N., Yassaa N., Maachi R, 2017, Evaluation qualitative et quantitative de la qualité des feuilles de Laurier noble Algérien séchées dans un séchoir solaire convectif. *Revue des Energies Renouvelables*, 20(1), 161-168p

Sayyah M., Kamalinejad M., Bahrami Hidage R., Rustaiyan A, 2002. Antiepileptic potential and composition of the fruit essential oil of *Ferulagummosabois*. *Iranian Biomedical Journal*, 5, 69-72p

Simi F., Arnold N.A., Piozzi F, 2003, Chemical composition of the essential oil of *Salvia multicaulis* Vahl. var. *simplicifolia* Boiss. growing wild in Lebanon. *J Chromatogr A*. 1052, 237-240p

Paparella, A., Nawade, B., Shaltiel-Harpaz, L., & Ibdah, M. (2022). *A Review of the Botany, Volatile Composition, Biochemical and Molecular Aspects, and Traditional Uses of Laurus nobilis*. *Plants*, 11(9),

Essawi, T., & Srour, M. (2000). Screening of some Palestinian medicinal plants for antibacterial activity. *Journal of Ethnopharmacology*, 70, pp. 343-349.

Références bibliographiques

MEBARKI. N., Extraction de l'huile essentielle de *Thymus fontanesii* et application a la formation d'une forme médicamenteuse antibacterienne, Mémoire de magister à l'université Méhamed Bougara Boumerdes, 2010, 185p.

MORALES R (2002). The history, botany and taxonomy of the genus *Thymus*. In : *Thyme : the Thymus*. Ed. Taylor & Francis, London. pp. 1-43. évolutive des composés secondaires. Thèse de doctorat-Ecole nationale supérieure d'Agronomie de Montpellier.

NAIT A.K (2012). Etude de la composition chimique des essences de quatre espèces d'*eucalyptus* poussant dans la région de tiziouzou. Thèse de magistère en chimie appliquée, université Mouloud mameri; pp:13.

Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2003). Directives OMS sur les bonnes pratiques agricoles et les bonnes pratiques de récolte (BPAR) relatives aux plantes médicinales. Genève, Suisse, 96 p.

Serrano M. A., Martí'nez-Romero D., Guille'n F., Valverde J. M., Zapata P. J., Castillo S et Valero D., 2008. The addition of essential oils to MAPas a tool to maintain the overall quality of fruits. *Trends in Food Science & Technology*. 19, 464-471.

Suffredini, J. B., Sader, H. S., Goncalves, A. G., Reis, A. O., Gales, A. C., Varella, A. D., et al. (2004). Screening of antimicrobial extracts from plants native to the Brazilian Amazon rainforest and Atlantic forest. *Brazil. J. Med. Biol. Res* , 37, pp. 379-384

Ahmad M. Eid Ahmed Mousa , Nidal Jaradat a , Linda Issa , Abdalraziq Zarour, Aya Abu-Hasan , Nada Salah Mohamad Dalal, 2022 Evaluation of anticancer, antimicrobial, and antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus Officinalis*) essential oil and its Nanoemulgel.

Jawad J. Mohammed J. Al Zuhairi , Fereshteh Jookar Kashi , Akram Rahimi-Moghaddam , Morteza Yazdani, 2020 Antioxidant, cytotoxic antibacterial activity of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil against bacteria isolated from urinary tract infection

Références bibliographiques

Yosr Zaoualia, , Taroub Bouzaine, Mohamed Boussaid, 2010. Essential oils composition in two *Rosmarinus officinalis* L. varieties and incidence for antimicrobial and antioxidant activities

Latif Gachkar , Davood Yadegari , Mohammad Bagher Rezaei , Masood Taghizadeh , Shakiba Alipoor Astaneh , Iraj Rasooli , 2007. Chemical and biological characteristics of *Cuminum cyminum* and *Rosmarinus officinalis* essential oils

Maria J. Jordána, Vanesa Laxa, Maria . Rotab, Susana Loránb, José . Sotomayora, 2013. Effect of the phenological stage on the chemical composition, and antimicrobial and antioxidant properties of *Rosmarinus officinalis* L essential oil and its polyphenolic extract.

Iman Bajalana, Razieh Rouzbahania, Abdollah Ghasemi Pirbaloutib, Filippo Maggi, 2017. Antioxidant and antibacterial activities of the essential oils obtained from seven Iranian populations of *Rosmarinus officinalis*

Sara El Kharraf , Soukaina El-Guendouz El Mestafa El Hadrami, Abdellah Farah , M. Graça Miguel , Bahia Bennani , Maria C. Mateus, 2023. Hydrodistillation and simultaneous hydrodistillation-steam distillation of *Rosmarinus officinalis* and *Origanum compactum*: Antioxidant, anti-inflammatory, and antibacterial effect of the essential oils

Laura Risaliti, Aspasia Kehagia, Eirini Daoultzi, Diamanto Lazari, Maria Camilla Bergonzi, Souzana Vergkizi-Nikolakaki, Dimitra Hadjipavlou-Litina, Anna Rita Bilia, 2019. Liposomes loaded with *Salvia triloba* and *Rosmarinus officinalis* essential oils: In vitro assessment of antioxidant, antiinflammatory and antibacterial activities

KASSOUSSI Djazia GUIDADOU Fatima Zohra, 2022. Activité antibactérienne des huiles essentielles de la plante *Rosmarinus Officinalis*.L

El Kamli, T., el Hamdani, M., Eloutassi, N., Errachidi, F., Chabir, R., & Bour, A. (2019). Chemical Composition, Antioxidant, and Antimicrobial Activities of *Rosmarinus officinalis* Essential Oil From Moroccan Middle Atlas. *Phytothérapie*, 18(3–4), 162–168.
<https://doi.org/10.3166/phyto-2019-0128>

Références bibliographiques

ABIB Anies et LAZIB Céline. Etude de l'activité antibactérienne de l'association huile essentielle / huile essentielle et huile essentielle / antibiotique

Djouama assala, Larab Rania, Necib Djihane et Sedour khansa, 2024. Activité antibactérienne de quelques huiles essentielles (*Rosmarinus officinalis*, *Mentha longifolia*, *mentha pulegium*)

Hanine AMIROUCHE, Salsabil BENLAMARI et Manel BOULEBGHAL,2023. Effet antibactérien d'une plante médicinale «*Rosmarinus officinalis*»

Benmansour Arslen et Soudani Souha,2022. Romarin : Extraction des composants actifs et leurs effets antibactériens de quelques souches bactériennes

Boutheina Ben Akacha I , Anis Ben Hsouna , Rania Ben Saad , Wissem Mnif , Ivana Generalić Mekini, Améni BenBelgacem, , Miroslava Kačaniováand Stefania Garzoli, 2023. *Salvia officinalis* L. and *Salvia sclarea* Essential Oils: Chemical Composition, Biological Activities and Preservative Effects against *Listeria monocytogenes* Inoculated into Minced Beef Meat

Tularat Sookto, The erathavaj Srithavaj, Sroisiri Thaweboon, Boonyanit Thaweboon, Binit Shrestha, 2013. In vitro effects of *Salvia officinalis* L. essential oil on *Candida albicans*

BOUZAOUI Nassima et HARIDI Zeyneb,2013. Détermination de l'effet antibactérien de l'huile essentielle de *Salvia officinalis* L.

Hamidi Hadjer et Laksari Nour el houda, 2020. L'effet antibactérien de l'huile essentielle de la sauge (*Salviaofficinalis*.L) vis-à-vis des souches pathogènes responsables de l'infection vaginale (*Escherichia Coli*, *Staphylococcus aureus*)

Bouchareb Yassamine, Boussekine Ikram, Bourema Wissam et Boulifa Khouloud, 2022. Evaluation de l'activité antibactérienne d'extraits de *Salvia officinalis* vis-à-vis de souches cliniques isolées à partir du pied diabétique

Références bibliographiques

Annane Assia et Boualili Mariama, 2014. Evaluation in vitro de l'Action Antibactérienne d'Huile Essentielle de Sauge Officinale.L. (*Salvia officinalis*) de la région Nord-ouest de Tizi-Ouzou.

DRIDER Nour El houda et KADZA Fatima, 2019. Etude des activités antibactériennes et antifongiques des huiles essentielles de *Salvia Officinalis* L, *Juniperus phoenisaea* et *Mentha puleguim*

GORMI Selma et LEMBARKI Maroua, 2023. Etude des activités antibactériennes de cinq plantes médicinales de la région de Biskra

Youssef Lahlou, Sara Moujabbir, Abdelghani Aboukhalaf, Belkassem El Amraoui et Toufiq Bamhaoud, 2023. ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF ESSENTIAL OILS OF *SALVIA OFFICINALIS* GROWING IN MOROCCO

Siham Saleh Al-Abri , Sadri Abdullah Said , Salem Said Al Touby , Mohammed Amzad Hossain , Jamal Nasser Al-Sabahi, 2022. Composition analysis and antimicrobial activity of essential oil from leaves of *Laurus nobilis* grown in Oman

DIF Inas et SADKI Maroua. Activité antibactérienne de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* vis-à-vis de souches responsables de toxi-infection alimentaire

GUELLADRES Khayra et TOUMI Chahinez. Etude de l'activité biologique de l'extrait des feuilles de *Laurus nobilis* L. récoltée dans deux régions différentes

BOUCHAALE Ikram; KAHALERRAS Amira et ZOUAOUI Sawsen. Etude comparative de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Laurus nobilis* de deux régions (Algérie et Tunisie)

GOUMNI Zahira et SALHI Asma, 2013. ETUDE DE L'ACTIVITE ANTIMICROBIENNE DE L'HUILE ESSENTIELLE EXTRAIT DE LA PLANTE *LAURUS NOBILIS* L.

Références bibliographiques

KHERIEF GHADA et ZITOUNI MANAR, 2023. Enquête ethnobotanique et étude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles du laurier (*Laurus nobilis* L.) et du thym (*Thymus vulgaris* L.)

CHEHBI Amina? CHAHMANI et Hadja BOULAKHRAS Amina. Evaluation in vitro de l'activité antimicrobienne des extraits de feuilles de *Laurus nobilis* L.

GUERROUF Asma, 2017. Application des huiles essentielles dans la lutte microbiologique cas d'un cabinet dentaire

ADDOU Hadjer et BECHLAGHEM Samia. Évaluation de l'activité antifongique des huiles essentielles de *Laurus nobilis* pour le traitement des onychomycoses

Miliani A., Boukhatem M.N., Saidi F, 2017. Chemical composition and antimicrobial activity of the Algerian *Laurus nobilis* essential oil, *Algerian Journal of Natural Products*, 51 | p

Stefanova G., Girova T., Gochev V., Stoyanova M., Petkova Z., Stoyanova A., Zheljazkov V. D, 2020. Comparative study on the chemical composition of laurel (*Laurus nobilis* L.) leaves from Greece and Georgia and the antibacterial activity of their essential oil. *Heliyon*, 6(12),

AOUCHICHE Ryma et BOUMGHAR Nassima, 2015. Evaluation de l' d'extraits de feuilles de laurier et de l'activité antimicrobienne et antioxydante d'extraits de feuilles de laurier et de sous-produits de l'olivier