

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 سعيدة - د. موالى الطاهر
Université de Saida - Dr. MOULAY TAHAR



كلية العلوم
Faculté des Sciences

قسم البيولوجيا
Département de Biologie

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en sciences biologiques

Spécialité : Biochimie

Thème

Étude Bibliographique des Activités Antibactérienne, Antifongiques et Antioxydantes des Huiles Essentielles d'Eucalyptus dans les Pays du Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc)

Présenté par :

Melle : BENTAHHER Amel

Melle : DJEDID Hayame

Soutenu le : 22/06/2023

Devant le jury composé de :

Président

Mr. HACHEM Kadda

Pr Université De Saida

Examineur

Mr. BELLIL Yahia

MCA Université De Saida

Rapporteur

Mr. ZIANI Kaddour

MCA Université De Saida

Année Universitaire 2022/2023

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 سعيدة - د. موالى الطاهر
Université de Saida - Dr. MOULAY TAHAR



كلية العلوم
Faculté des Sciences

قسم البيولوجيا
Département de Biologie

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en sciences biologiques

Spécialité : Biochimie

Thème

Étude Bibliographique des Activités Antibactérienne, Antifongiques et Antioxydantes des Huiles Essentielles d'Eucalyptus dans les Pays du Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc)

Présenté par :

Melle : BENTAHHER Amel

Melle : DJEDID Hayame

Soutenu le : 22/06/2023

Devant le jury composé de :

Président

Mr. HACHEM Kadda

Pr Université De Saida

Examineur

Mr. BELLIL Yahia

MCA Université De Saida

Rapporteur

Mr. ZIANI Kaddour

MCA Université De Saida

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions, du plus profond de notre coeur, Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté d'achever ce travail.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Dr. ZIANI Kaddour**, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire, pour sa gentillesse et sa compréhension. Merci pour tout.

Nous remercions le président du jury Mr. **HACHEM Kadda**, professeur à la faculté des sciences à l'Université de SAIDA, d'avoir accepté la présidence du jury, qu'il trouve ici l'expression de nos profonds respects.

Nous adressons nos vifs remerciements à **Mr. BELLIL Yahia** pour ses encouragements, ses conseils pendant toute l'année, pour le grand honneur qu'il nous a fait en acceptant de juger ce travail, qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect.

Dédicaces

A DIEU, pour m'avoir donné la force dans les moments difficiles d'éditer ce travail.

Je dédie ce mémoire :

À ma chère maman Kheira

Qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude. Que Dieu tout Puissant puisse te garder encore longtemps parmi nous.

À mon cher frère Mouffak

A tous les moments d'enfance passés avec toi mon frère, en gage de ma profonde estime pour l'aide que tu m'as apporté. Tu m'as soutenu, réconforté et encouragé. Que Dieu vous apporte le bonheur, vous aide à réaliser tous vos vœux et vous offre un avenir plein de succès.

À ma meilleure copine Wassila KASSOUAR

Qui a toujours été là pour moi, son soutien inconditionnel et son encouragement a été d'une grande aide. Je te dis merci et je te souhaite bonheur, réussite et prospérité. Aucun langage ne saurait exprimer mon respect et ma considération pour votre soutien et encouragements

Amel

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance envers tous ceux qui ont participé de près ou de loin à ma réussite, avec l'expression de ma reconnaissance à ceux qui, quels que soient les termes, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

À la mémoire de :

*L'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir un jour, mon adorable cher père : **ALI** Toute l'encre du monde ne peut suffire pour exprimer mes sentiments pour toi. Tu as toujours été mon maître de patience, de confiance et surtout d'espoir et d'amour. Tu étais et tu resteras pour moi ma référence et la lumière qui éclaire mon chemin.*

*Ma mère **DOUMA FATNA** qui a toujours voulu nous voir réussir, hélas, elle a quitté ce monde très tôt.*

*À mon frère et mon confident **BAHAA** et mon petit frère **MILOUDE** le bonheur de la maison, à la meilleure sœur qu'on puisse avoir **FATIMA**, et toute ma famille pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral tout au long de mes études.*

A mon grand-père et ma grand-mère

Que dieu le tout puissant vous accueille dans son vaste paradis et vous accorde son infinie miséricorde.

Hayame

Liste des abréviations

HEECi	Huile essentielle d'eucalyptus citriodora
HEECI	Huile essentielle d'eucalyptus cladocalyx
HEEG	Huile essentielle d'eucalyptus globulus
HEECa	Huile essentielle d'eucalyptus camaldulensis
DPPH	1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl
EEOCi	Essential oil of eucalyptus citriodora
EEOCI	Essential oil of eucalyptus cladocalyx
EEOG	Essential oil of eucalyptus globulus
EEOCa	Essential oil of eucalyptus camaldulensis
HEEP	Huile essentielle d'eucalyptus punctata
HE	Huile essentielle
HEE	Huile essentielle d'eucalyptus
SFE	Extraction par fluide à l'état supercritique
MAE	Extraction assisté par micro-ondes
SFME	Extraction par micro-ondes sans solvant
EAU	Extraction assisté par ultrasons
SW	Subcritical water extraction
GC-MS	Chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse
CMI	Concentration minimale inhibitrice
CMB	Concentration minimale bactéricide
CMF	Concentration minimale fongicide
LPIC	Capacité d'inhibition de la peroxydation lipide
RP	Reducing power
TAEC	Trolox equivalent antioxydant capacity
ORAC	Oxygen radical absorbance capacity
EC50	Concentration efficace médiane
IC50	Concentration inhibitrice médiane
TAC	Total antioxydant capacity

ABTs	L'acide 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique)
NO	Monoxyde d'azote
O2	Superoxide anion radical-scavenging activity
TBARS	Thiobarbituric Acid Reactive Substance

Liste des Tableaux

Tableau1: Classification scientifique d'eucalyptus.....	4
Tableau 2 : Les espèces d'eucalyptus dans certaines régions d'Algérie.....	5
Tableau 3: Importance des Eucalyptus dans chaque Gouvernorat de la Tunisie.....	7
Tableau 4: Surfaces plantées en Eucalyptus par région au Maroc.....	8
Tableau 5: les huiles essentielles des espèces d'eucalyptus avec des activités insecticide	26
Tableau 6: les HEE avec les activités acaricide.....	27
Tableau 7: Nombres d'articles collectés pour chaque base des données.....	31
Tableau 8: Nombres des espèces d'eucalyptus identifiées dans les trois pays de Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc).....	31
Tableau 9: Critères d'inclusion et d'exclusion.....	32
Tableau 10 : Les espèces d'eucalyptus identifiés dans les trois pays de Maghreb.....	33
Tableau 11: Les rendements des espèces d'eucalyptus dans les trois pays de Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc).....	37
Tableau 12 : Composition chimique des HEE en Algérie	40
Tableau 13: Composition chimique des HEE en Tunisie.....	41
Tableau 14 : Composition chimique des HEE en Maroc.....	43
Tableau 15 : les diamètres de zone d'inhibition par HEE en Algérie	45
Tableau 16 : Diamètres de zone d'inhibition (mm) par HEE en Tunisie par la méthode de diffusion sur gélose.....	47
Tableau17 : la concentration minimale inhibitrice et bactéricide par HEE en Tunisie.....	47
Tableau 18: le diamètre des zones d'inhibition par l'huile essentielle d'eucalyptus au Maroc	48
Tableau19 : activité antioxydante des HEE en Algérie.....	50.

Tableau 20 : activité antioxydante des HEE en Tunisie.	50
Tableau 21 : activité antioxydante des HEE au Maroc.	50
Tableau 22 : activité antifongiques des HEE en Algérie.	52
Tableau 23 : activité antifongique des HEE en Tunisie.	52

Liste des Figures

Figure 1: Huile d'eucalyptus	10
Figure 2: Méthodes d'extraction non conventionnelles et conventionnelles des huiles essentielles	11
Figure 3: Comparaison des méthodes conventionnelles et non conventionnelles d'extraction des huiles essentielles.....	11
Figure 4: Procédé d'extraction par distillation à la vapeur	13
Figure 5: Principe schématisé l'hydrodistillation (HD).....	14
Figure 6 : Représentation schématique du système d'extraction par fluide supercritique (SF...)	15
Figure 7: Représentation schématique du système d'extraction par micro-ondes sans solvant (SFME).....	16
Figure 8: Représentation schématique du système d'extraction assistée par ultrasons (EAU)...	17
Figure 9: Quelques principaux constituants des huiles essentielles de feuilles d'eucalyptus)	19
Figure 10: Diverses applications thérapeutiques du genre Eucalyptus	20
Figure 11: Activité antimicrobienne des constituants de l'eucalyptus	21
Figure 12: Mécanismes d'action des huiles essentielles sur la cellule bactérienne.....	22
Figure 13: Activité antioxydante de l'eucalyptus pour la chimioprévention	23
Figure 14 : Mécanisme anti-inflammatoire moléculaire de 1,8-cinéole.....	25

Résumé

Cette analyse bibliographique visait à évaluer les activités biologiques (antibactériennes, antifongiques et antioxydantes) des huiles essentielles de plusieurs espèces d'eucalyptus dans les trois pays du Maghreb (Algérie, Tunisie et Maroc). Cette revue de la littérature a été réalisée suite à une recherche bibliographique dans des bases de données (Pubmed, Springer-Link et Google School). Sur les 130 articles recueillis, seuls 84 ont été retenus. Les résultats préliminaires de cette recherche montrent que le rendement le plus élevé des huiles extraites par hydrodistillation et distillation à la vapeur d'eau est enregistré pour *Eucalyptus citriodora* (HEECi) acclimaté en Tunisie avec une valeur variant entre (2,9-6,0%). L'huile essentielle d'*Eucalyptus cladocalyx* (HEECI) représente un rendement moyen de (0,49%) le plus faible observé. L'analyse par chromatographie en phase gazeuse (GC) a permis d'identifier 153 composants dans l'ensemble des huiles étudiées. D'après notre étude bibliographique, le 1,8-cinéole est le composant majoritaire de l'espèce. L'huile essentielle d'*Eucalyptus Globulus* (HEEG) de Tunisie présente la plus forte teneur en 1,8-cinéole, soit 95,61%. Les données primaires recueillies sur les activités biologiques de ces huiles ont montré que l'activité antibactérienne est la plus marquée contre *Staphylococcus aureus* et *Enterobacter sakazakii* avec un diamètre de la zone d'inhibition pouvant atteindre 85 mm, suivi par *Staphylococcus epidermidis* (66mm). Parallèlement, *Pseudomonas aeruginosa* est considérée comme l'espèce la plus résistante à cet effet. L'activité antifongique est la plus marquée contre *Fusarium culmorum*, *Fusarium pseudograminearum*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium proliferatum*, *Fusarium avenaceum*, *Fusarium nygamai*, *Fusarium verticillioides* avec un pourcentage d'inhibition qui peut atteindre 100%, cependant, les souches les plus résistantes à l'huile sont *Aspergillus fumigatus* et *Aspergillus flavus*. L'activité antioxydante la plus élevée a été enregistrée pour l'huile essentielle d'eucalyptus camaldulensis (HEECa) selon le test du 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl (DPPH) (IC₅₀= 342 mg/mL).

Mots clés : Activité biologique, Algérie, Eucalyptus, Huile essentielle, Maroc, Tunisie.

Abstract

This literature review aimed to evaluate the biological activities (antibacterial, antifungal, and antioxidant) of essential oils from several eucalyptus species in the three Maghreb countries (Algeria, Tunisia and Morocco). This literature review was done following a bibliographic search of scientific databases: Pubmed, Springer-Link, and Google School. Of the 130 articles collected, only 84 were selected. The preliminary results of this research show that the highest yield of oils extracted by hydrodistillation and steam distillation is recorded for eucalyptus citriodora (HEECi) acclimatized in Tunisia with a value varying between (2.9-6.0%). Eucalyptus cladocalyx (HEECI) essential oil represents an average yield of (0.49%) the lowest observed. Gas chromatographic analysis (GC) enabled 153 components to be identified in all the oils studied. According to our bibliographical study, 1.8-cineole is the species' major component. Eucalyptus Globulus Essential Oil (HEEG) from Tunisia has the highest 1.8-cineole content, at 95.61%. The primary data collected on the biological activities of these oils showed that the antibacterial activity is most marked against *Staphylococcus aureus* and *Enterobacter sakazakii* with a diameter of the zone of inhibition that can reach 85 mm, followed by *Staphylococcus epidermidis* (66mm). At the same time, *Pseudomonas aeruginosa* is considered the most resistant species to this effect. Antifungal activity is most marked against *Fusarium culmorum*, *Fusarium pseudograminearum*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium proliferatum*, *Fusarium avenaceum*, *Fusarium nygamai*, *Fusarium verticillioides* with a percentage of inhibition that can reach 100%, however, the strains most resistant to oil are *Aspergillus fumigatus* and *Aspergillus flavus*. The highest antioxidant activity was recorded for the essential oil of eucalyptus camaldulensis (HEECa) according to the 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) test (IC_{50} = 342 mg/mL).

Key words: Biological Activity, Algeria, Eucalyptus, Essential Oil, Morocco, Tunisia.

ملخص

هدفت هذه الدراسة الى مراجعة المنشورات المتاحة حول تقييم الأنشطة البيولوجية (المضادة للبكتيريا والفطريات ومضادات الأكسدة) للزيوت الأساسية المستخلصة من أنواع الأوكالبتوس في بلدان المغرب العربي الثلاثة (الجزائر، تونس والمغرب) تم إجراء هذا التقييم بعد البحث في قواعد البيانات (Pub med وSpringer-Link وGoogle School) ومن بين 130 مقال تم جمعها، اعتمدنا فقط على 84 مقالا. أظهرت النتائج الأولية لهذا الفحص أن أعلى إنتاجية من الزيوت المستخرجة بالتقطير المائي والتقطير البخار سجلت لأوكالبتوس سيترودورا (HEECi) الموجودة في تونس بقيمة تتراوح بين (2,9-6,0%)، في حين يمثل زيت الأوكالبتوس كلادوكاليكس الأساسي (HEECI) متوسط عائد (0,49%) وهو أدنى مستوى لوحظ، كما أن الدراسة لتحليل كروماتوغرافي للغاز أظهرت 153 مكونا في جميع الزيوت التي تمت دراستها وفقا لمراجعة المنشورات التي اطلعنا عليها، كما تجلى أيضا أن 1,8-سينيول هو المكون الاساسي لمعظم الأنواع الزيوت العطرية، مثال ذلك أوكالبتوس قلوبيليس (HEEG) من تونس التي احتوت على نسبة قاربت 95,61%. فيما يخص البيانات الأولية التي تم جمعها حول الأنشطة البيولوجية لهذه الزيوت، كان النشاط المضاد للبكتيريا هو الأكثر وضوحا ضد *Staphylococcus aureus* و *Enterobacter sakazakii*، أين تعد قطر منطقة تثبيط 85 مم، تلاها *Staphylococcus epidermidis* (66 مم) في الوقت نفسه، تعتبر *Pseudomonas aeruginosa* أكثر الأنواع مقاومة. كما تبين أيضا أن النشاط المضاد للفطريات هو الأكثر وضوح ضد من سلالة *Fusarium* (*oliferatum*، *aminearum*، *avenaceum*، *nygamai*، *verticillioides*) مع نسبة تثبيط يمكن أن تصل إلى 100 ٪، ومع ذلك، فإن أكثر السلالات مقاومة للزيت هي *Aspergillus fumigatus* و *Aspergillus flavus*. فيما يخص خاصية المضادة للأكسدة، فقد تم تسجيل أعلى نشاط مضاد للأكسدة لزيت الأوكالبتوس كامالوليدسييس الأساسي (HEECa) وفق الاختبار 1,1-ثنائي فينيل 2-بيكريلهيدرازيل (CI50 = 342) (DPPH / مل)

الكلمات المفتاحية: النشاط البيولوجي، الجزائر، الأوكالبتوس، الزيوت الأساسية، المغرب، تونس

Table des Matières

DÉDICACES.....	III
REMERCIEMENTS.....	V
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	VI
LISTE DES TABLEAUX	VIII
LISTE DES FIGURES	X
RÉSUMÉ	XI
ABSTRACT	XII
ملخص	XIII
TABLE DES MATIÈRES	XIV
1. INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
CHAPITRE 1. GÉNÉRALITÉ SUR L'EUCALYPTUS	3
1.1 Genre Eucalyptus.....	3
1.2 Caractères morphologiques d'eucalyptus	4
1.3 Historique d'Eucalyptus dans les Pays de Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc)....	5
1.3.1 Eucalyptus en Algérie.....	5
1.3.2 Eucalyptus en Tunisie.....	6
1.3.3 Eucalyptus au Maroc	7
1.4 Huiles Essentielles d'Eucalyptus	8
1.5 Méthodes d'extraction des huiles essentielles	10

1.5.1	Extraction par pression à froid.....	12
1.5.2	Distillation à la vapeur.....	12
1.5.3	Hydrodistillation.....	13
1.5.4	Extraction par fluide à l'état supercritique (SFE).....	14
1.5.5	Extraction assistée par micro-ondes (MAE).....	15
1.5.6	Extraction par solvant.....	16
1.5.7	Extraction assistée par ultrasons.....	17
1.5.8	Extraction d'eau sous-critique	17
1.6	Composition Chimique des HEs.....	18
1.7	Inconvénients de l'usage abusif des produits issus d'eucalyptus.....	19
2.	CHAPITRE 02 : APPLICATIONS THÉRAPEUTIQUE D'EUCALYPTUS.....	20
2.1	Activité antimicrobienne	21
2.2	Activités antioxydantes.....	23
2.3	Activité antifongique	24
2.4	Activité anti-inflammatoire	24
2.5	Activité insecticide	25
2.6	Activité acaricide.....	26
2.7	Activité larvicide	27
2.8	Activité phytotoxique	28
2.9	Activité antibiofilm.....	28
2.10	Activité anticancéreuse.....	28
2.11	Activité analgésique	29

2.12	Activité antihistaminique.....	29
2.13	Activité antidiabétique (Antihyperglycemiant)	29
2.14	Activité anti-douleur.....	30
3.	CONCEPTION DE L'ÉTUDE.....	31
3.1	Formulation de sujet de recherche	31
3.2	Sélection et éligibilité	32
4.	RÉSULTATS & DISCUSSION.....	35
4.1	Méthodes d'extraction	35
4.2	Rendement	35
4.3	Composition chimique.....	38
4.4	Activités biologiques des huiles essentielles d'eucalyptus dans les trois pays de Maghreb.....	45
4.4.1	Activité Antibactérienne (Algérie, Tunisie, Maroc).....	45
4.4.2	Activités Antioxydantes des espèces d'eucalyptus dans les trois pays de Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc).....	50
4.4.3	Activité antifongique des huiles essentielles d'eucalyptus dans les trois pays de Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc).....	52
5.	CONCLUSION	55
6.	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	56

Introduction Générale

Les plantes aromatiques telles que celles de la famille des Myrtacées, sont connues pour leur large utilisation à la fois traditionnelle et commerciale pour augmenter la durée de conservation et la sécurité des aliments. Ils ont démontré plusieurs propriétés thérapeutiques (**Tolba et al., 2018**). Cette famille comprend 133 genres et 3800 espèces d'arbres et d'arbustes (**Ben Marzoug et al., 2011**), L'eucalyptus est l'un des genres les plus importants et les plus largement plantés au monde qui appartient à cette famille (**Sliti et al., 2015**)

Originaire d'Australie, le genre eucalyptus (famille des Myrtacées) contient environ 900 espèces et sous-espèces. Il s'est répandu dans le monde entier, en particulier en Afrique, en raison de sa facilité d'adaptation et de sa croissance rapide et il est maintenant largement cultivé dans de nombreux pays pour plusieurs applications tels que la cellulose, la pâte à papier, la gomme, les huiles essentielles et la production de miel, ainsi que pour la construction et comme plante ornementale (**Kouki et al., 2022**). Un grand nombre d'espèces d'eucalyptus ont été introduites en Algérie, notamment par les colons français de 1864 à 1876 (**Atmani-Merabet et al., 2018**), ainsi que, plus de 100 espèces ont été introduites en Tunisie de puis les années 1950 (**Amri et al., 2023**), ils ont été aussi introduites et plantés, avec un très grand succès au Maroc (**Farah et al., 2002**).

L'eucalyptus a été largement étudié comme source d'huile essentielle (**Tolba et al., 2018**), Plus de 300 espèces contiennent de l'huile volatile dans leurs feuilles, les huiles essentielles d'eucalyptus ont été obtenues par différentes méthodes, telles que l'hydrodistillation, l'extraction au CO₂ supercritique, l'extraction assistée par microondes et l'extraction sous vide par des solvants (**Elaissi et al., 2010**), distillation à la vapeur, expression à froid, extraction par solvant organique, Extraction par fluide à l'état supercritique (**Boukhatem et al., 2019**). L'huile essentielle d'eucalyptus est connue pour être utilisée pour sa vertu thérapeutique (**Dorsaf et al., 2010**). De nombreux rapports ont attribué diverses activités biologiques à des composants particuliers de l'huile essentielle d'eucalyptus et ont constaté que les variations de la composition de l'huile étaient généralement associées à des changements substantiels d'activité en particulier l'activité antibactérien, analgésique, anti-inflammatoire, antifongique, antioxydante et insecticide (**Sliti et al., 2015**), l'un des composés les plus importants extraits de nombreux espèces d'eucalyptus est le 1,8-cineole (**Naceur Ben Marzoug et al., 2010**), dont la teneur dans l'huile peut atteindre jusqu'à 80-90% du total (**Polito et al., 2022**). Outre le 1,8-cineole, les feuilles d'huile essentielle d'eucalyptus contiennent en quantités relativement élevées, plusieurs monoterpènes hydrocarbonés (α -pinène, limonène, p-cymène, β -pinène, α -phellandrene, camphène, γ -terpinène, etc., avec les trois premiers en grandes quantités) et en pourcentage inférieur plusieurs sesquiterpènes hydrocarbonés (aromadendrene, allo-aromadendrene, globulol, etc.), les monoterpènes oxygénés (myrtenal, carvone et pinocarvone)

(Fouad et al., 2015). Enfin les plantes d'eucalyptus attirent l'attention des chercheurs et des écologistes du monde entier car elles représentent une source de bois à croissance rapide ainsi qu'une d'huile utilise à plusieurs fins **(Dikshit Rathva et al., 2008)**

L'objectif de notre étude est la réalisation d'une recherche bibliographique sur les activités biologiques huiles essentielles issues de plusieurs espèces d'eucalyptus dans les trois pays de Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc). Pour cela nous avons :

1. Évaluer les propriétés antimicrobiennes : L'huile essentielle d'eucalyptus est connue pour ses propriétés antimicrobiennes. Une étude bibliographique peut chercher à recueillir des informations sur les effets de cette huile essentielle sur différents micro-organismes tels que les bactéries, les champignons ;
2. Étudier les effets antioxydants : L'huile essentielle d'eucalyptus est riche en composés antioxydants. Une étude bibliographique peut se concentrer sur les études existantes qui ont exploré les capacités antioxydantes de cette huile et leurs implications potentielles pour la santé humaine.

Chapitre 1. Généralité sur L'Eucalyptus

1.1 Genre Eucalyptus

Une attention particulière a été portée dans le monde entier aux plantes d'eucalyptus dans divers domaines de l'industrie, parmi lesquels la parfumerie, les produits pharmaceutiques, les nutraceutiques et les meubles. Par conséquent, ils représentent une source de bois à croissance rapide ainsi qu'une source d'huile utilisée à plusieurs fins. Conceptuellement, le nom Eucalyptus vient du préfixe "Eu", qui signifie « vrai » et calyptus (kalypto) qui signifie « couvrir » ; décrivant le bouton floral formé par des parties unies du calice et la corolle, qui scellent la fleur jusqu'à ce qu'elle fleurisse (Salehi *et al.*, 2019). En 1788, le terme eucalyptus a été inventé par le botaniste français, Charles Louis L'Héritier de Brutelle (Kouki *et al.*, 2022) sous le nom d'*Eucalyptus obliqua* (Naithani, 2014).

L'eucalyptus est un grand genre de la famille des myrtacées, qui comprend 900 espèces et sous-espèces. On le trouve principalement en Australie, en Tasmanie, aux États-Unis, au Portugal, au Brésil, en Afrique du nord et du sud, en Inde, en France et en Europe du sud. Avec quelques espèces indigènes de Papouasie-Nouvelle-Guinée, d'Indonésie et des Philippines (Saadaoui *et al.*, 2017). Est le deuxième plus grand après l'acacia. Depuis les années 1850, il a été introduit avec succès dans 90 pays du monde où il est aujourd'hui l'un des genres les plus importants et les plus largement plantés. Dans les temps anciens, la plante d'eucalyptus était utilisée à plusieurs fins par les peuples autochtones, à la fois comme médicament et comme nourriture. De nos jours, la plante est utilisée dans la foresterie (bois d'œuvre, combustible, pâte à papier), la plantation environnementale (lutte contre l'érosion hydrique et éolienne), comme source d'huile essentielle (huiles médicinales, de parfumerie), pour les arts et l'artisanat, les plantes d'eucalyptus des chercheurs et des écologistes du monde entier car elles représentent une source de bois à croissance rapide ainsi qu'une source d'huile utilisée à plusieurs fins (Dikshit Rathva *et al.*, 2008). Parmi les nombreuses espèces australiennes, *d'eucalyptus globulus* a été largement introduite, devenant ainsi l'espèce la plus largement cultivée dans les régions méditerranéennes et subtropicales ainsi qu'au Nigeria (Chandorka *et al.*, 2021).

L'eucalyptus est une plante fréquemment présente et cultivée dans les régions arides en raison de sa forte adaptation à la sécheresse. De plus il est connu par ses nombreuses espèces ce qui représente une belle opportunité de choisir plusieurs espèces tolérantes aux usages variables. Est un arbre forestier avec un fort potentiel de séquestration du carbone de la biomasse et d'épuisement des éléments nutritifs du sol ; son développement dans les communautés forestières mixtes améliorerait la fonction écologique des plantations d'eucalyptus. De plus, plusieurs facteurs contribuent au succès de l'eucalyptus ; la capacité de

croître dans une large gamme d'environnement et de sol, le taux de croissance rapide et la production importante de biomasse, la bonne qualité du bois pour les produits en bois massif et la fibre cellulosique courte, adaptée à la production de pâte, en particulier pour le papier et les tissus. Ainsi, plusieurs espèces sont connues pour leur croissance et leur adaptation aux régions arides, tropicales ou tempérées ; *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus camaldulensis* et leurs hybrides prédominaient dans les régions arides et utilisés comme plantations commerciales, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* et leurs hybrides pour les régions tropicales et subtropicales et *Eucalyptus globulus* connus pour les climats tempérés (Saadaoui *et al.*, 2017).

Tableau 1: Classification scientifique d'eucalyptus (Kesharwani *et al.*, 2018)

Royaume	Plantes
Sous-royaume	Trachéobionte
Superdivision	Spermatophytes
Division	Magnoliophyta
Classe	Dicotylédones
Sous-classe	Rosidés
Commande	Myrtales
Famille	Myrtacées
Genre	Eucalyptus

1.2 Caractères morphologiques d'eucalyptus

Les eucalyptus sont des plantes ligneuses vivaces, allant des arbustes aux grands arbres : ils peuvent atteindre des tailles gigantesques et sont la plupart persistants. Les espèces d'eucalyptus présentent un dimorphisme foliaire : les feuilles juvéniles sont opposées, ovales à arrondies, parfois sessiles et glauques ; les feuilles matures sont alternes, entières, pétiolées, lancéolées/ elliptiques/ oblongues/ ovales/, souvent épaisses, raide, très cutinée et coriace. Différentes types d'inflorescences sont observés au sein de l'espèce, axillaire, ombelle, cymes, panicules et corymbes ; uniquement chez *Eucalyptus globulus* Lbill. Des fleurs solitaires sont présentes. Les fruits sont des capsules ligneuses avec des graines de taille >1 mm à < 2 cm, sphérique, cuboïdes, elliptiques, de couleur jaune à noire (Kouki *et al.*, 2022), les nervures des feuilles sont de types pinniveinées ou étalées ou obliques. L'écorce d'eucalyptus est de divers types, persistante ou caduque, rugueuse ou lisse ou les deux. La longueur des fibres de l'écorce, le modèle de chute, la dureté, l'épaisseur, la couleur et le niveau de sillons varient avec l'âge de la plante. Chez *Eucalyptus macrorhyncha*, l'écorce est constituée de fibres longues, lâchement entrelacées et facilement arrachées (stringybarks) ou chez *Eucalyptus leptophleba*, l'écorce est constituée de fibres courtes, plus étroitement adhérentes (encadré). Chez certaines espèces, comme *Eucalyptus crebra* et *Eucalyptus jensenii*, l'écorce est rugueuse, non fibreuse, de couleur foncée, dure et profondément sillonnée (écorces de fer). Chez *Eucalyptus*

sheathiana, *Eucalyptus diversicolor*, *Eucalyptus cosmoohylla* et *Eucalyptus cladocalyx*, l'écorce est lisse et tombe sous la forme de grandes dalles, laissant une surface lisse marbrée de couleurs. Une écorce en forme de ruban avec une partie supérieure lisse mais rugueuse à la base se trouve chez *Eucalyptus youngiana* et *Eucalyptus viminalis* (Salehi et al., 2019). Les espèces d'eucalyptus peuvent varier considérablement en hauteur, allant de 30 à 200 pieds. Le plus grand arbre d'eucalyptus, le sorbier, peut atteindre plus de 301 pieds. L'arbre *Eucalyptus radiata* mesure généralement environ 98 pieds de haut, atteignant parfois jusqu'à 164 pieds. *Eucalyptus globulus* semble être unique car les cellules de son écorce peuvent photosynthétiser en l'absence de feuillage, ce qui augmente leur capacité à retenir le CO₂ interne, suite à une défoliation partielle. Cette capacité permet à l'arbre de pousser dans des climats moins qu'idéaux, lui offrant en outre une meilleure chance de remettre des dommages causés à ses feuilles lors d'événements tels que des incendies de forêt, des infestations d'insectes ou d'agents pathogènes fongiques des feuilles, le pâturage, etc. (Chandorka et al., 2021)

1.3 Historique d'Eucalyptus dans les Pays de Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc)

1.3.1 Eucalyptus en Algérie

Les Eucalyptus occupent une place très importante dans les reboisements à l'échelle mondiale en raison de leur rapidité de croissance, leur plasticité et de la qualité de leur fibre. Cette essence forestière a été plantée dans de nombreux pays, pour la production de bois ou pour assécher les sols. En Algérie, l'eucalyptus a été introduit par les Français entre 1860 et 1870, d'abord pour l'assèchement des marais touchés par la Malaria. À partir des années 1960 et 1970 et a été retenu massivement dans les programmes de reboisement à l'Est, au centre et à l'Ouest du pays dans le but de répondre aux besoins nationaux en produits ligneux (Adel Sellami et al., 2020).

Tableau 2 : Les espèces d'eucalyptus dans certaines régions d'Algérie.

Espèces	Références	Régions
<i>Globulus</i>	Benabdesslem <i>et al.</i> , 2020	Saida
<i>Globulus</i>	Benayache <i>et al.</i> , 2001	Constantine
<i>Sideroxylon</i>		
<i>Robusta</i>		
<i>Gomphocephala</i>		
<i>Camaldulensis</i>		
<i>Viminalis</i>	Benayache <i>et al.</i> , 2001	Saleh bey
<i>Globulus</i>	Atmani-Merabet <i>et al.</i> , 2018	Constantine
<i>Globulus</i>	Daroui-Mokaddem <i>et al.</i> , 2010	Constantine
<i>Camaldulensis</i>	Raho Ghalem et Benali, 2014	Sidi Bel Abbes.
<i>Camaldulensis</i>	Fenghour <i>et al.</i> , 2021	Tebessa
<i>Camaldulensis</i>	Mehani et Segni, 2014	région Nord Ouest de l'Algérie
<i>Punctata</i>	Elaissi <i>et al.</i> , 2021	Algérie
<i>Punctata</i>	Faudil-Cherif <i>et al.</i> , 2000	Bainem forest
<i>Sideroxylon</i>		
<i>Cladocalyx</i>		
<i>Citriodora</i>	Tolba <i>et al.</i> , 2015	Alger
<i>Bosistoana</i>	Bouzabata <i>et al.</i> , 2014	Tamanrasset
<i>Globulus</i>	Ghalem and Benali, 2008	Mascara
<i>Camaldulensis</i>		

1.3.2 Eucalyptus en Tunisie

Depuis la fin du 18^{ème} siècle, et à cause de sa croissance rapide et sa large plasticité, l'Eucalyptus (Famille des Myrtacées), originaire de l'Australie et de la nouvelle Guinée, a été choisi comme espèce de reboisement dans de nombreuses régions du monde. Il possède actuellement une vaste répartition surtout dans les pays où règne un climat adéquat. Cet arbre est limité par le froid et la sécheresse extrême. La Tunisie n'a pas fait exception à ces pays, car sur le plan productif, les forêts tunisiennes sont généralement pauvres et l'eucalyptus a été choisi pour ses qualités d'adaptation. En plus des Eucalyptus, choisi comme essence principale de reboisement, plusieurs autres espèces ont été essayées pour leurs facultés d'acclimatation dans l'environnement et de combattre avec la production des espèces autochtones sur les deux plans : quantitatif (production de biomasse en une courte durée) et qualitatif (bois avec une meilleure qualité technologique). L'Eucalyptus a été introduit, en Tunisie, vers les années 30 et depuis, la superficie de ses plantations n'a pas cessé de s'accroître. En effet, elle a été estimée à 29 000 ha en 1966, à 31 000 ha en 1995 (soit 3.2% de la superficie de la forêt tunisienne) et il couvre actuellement 41 000 ha. Il est localisé principalement des les Gouvernorats du Nord (Bizerte, Béja, Jendouba, Tunis, Nabeul, Zaghuan) où on rencontre plus de 25 000 ha soit, environ, 80% de la superficie totale nationale. Les 20% restant sont réparties équitablement entre le Centre (10%) et le Sud (10%) (Dhahri & Ben Jamâa, 2008).

Tableau 3: Importance des Eucalyptus dans chaque régions de la Tunisie (**Dhahri & Ben Jamâa, 2008**)

Régions	Superficie (ha)	Superficie (%)
<i>Bizerte</i>	10 778	34,80
<i>Béja</i>	4 138	13,40
<i>Jendouba</i>	3 897	12,60
<i>Tunis</i>	2 987	9.70
<i>Zaghouan</i>	2 458	8.00
<i>Sfax</i>	1 508	4.90
<i>Nabeul</i>	954	3.00
<i>Mahdia</i>	947	3.00
<i>Siliana</i>	652	2.10
<i>Gafsa</i>	598	1.90
<i>Sousse</i>	557	1.80
<i>Sidi Bouzid</i>	446	1.40
<i>Gabès</i>	322	1
<i>Kairouan</i>	297	1
<i>Kébili</i>	138	0.40
<i>Le Kef</i>	96	0.30
<i>Kasserine</i>	84	0.30
<i>Monastir</i>	75	0.20
Total	30 932	100

1.3.3 Eucalyptus au Maroc

Le Maroc bénéficie d'un climat très diversifié et d'une flore riche qui compte environ 42000 espèces et sous espèces, 150 familles et 940 genres, cependant, est l'habitat d'un nombre important d'espèces de plantes aromatiques et médicinales (**Mounchid et al., 2004**).

L'histoire des eucalyptus au Maroc s'écrit depuis le début du 20 ème siècle (**Marien & Idrissi Azami, 2011**). Ce genre été introduit et planté ave un très grand succès dans ce pays (**Farah et al., 2002**),

En particulier dans les parties occidentales et le centre du pays. Les plantations d'eucalyptus couvrent environ 200000 hectares et sont essentiellement utilisées pour leur pate, leur bois et leurs bois de chauffage (**Zrira et al., 2004**).

Tableau 4: Surfaces plantées en Eucalyptus par région au Maroc

Région forestière	Superficie (ha)	Espèces majeurs
Nord-Ouest	112 855	<i>Eucalyptus clonal camaldulensis x grandis</i>
		<i>Eucalyptus camaldulensis</i>
		<i>Eucalyptus grandis</i>
		<i>Eucalyptus saligna</i>
		<i>Eucalyptus globulus</i>
		<i>Eucalyptus gomphocephala</i>
		<i>Eucalyptus cladocalyx</i>
Centre	27 312	<i>Eucalyptus gomphocephala</i>
		<i>Eucalyptus camaldulensis</i>
		<i>Eucalyptus sideroxylon</i>
Rif	11 800	<i>Eucalyptus grandis</i>
		<i>Eucalyptus clonal camaldulensis x grandis</i>
		<i>Eucalyptus camaldulensis</i>
		<i>Eucalyptus gomphocephala</i>
Nord-Est	3 990	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>
		<i>Eucalyptus gomphocephala</i>
		<i>Eucalyptus viminalis</i>
		<i>Eucalyptus sideroxylon</i>
		<i>Eucalyptus xérophiles</i> (torquata, salmonophloia, woodwardi, etc.)
Oriental	15 445	<i>Eucalyptus xérophiles</i>
		<i>Eucalyptus gomphocephala</i>
Moyen Atlas	2 437	<i>Eucalyptus grandis</i>
		<i>Eucalyptus camaldulensis</i>
		<i>Eucalyptus sideroxylon</i>
		<i>Eucalyptus viminalis</i>
		<i>Eucalyptus cladocalyx</i>
Fès-Boulmane	715	<i>Eucalyptus gomphocephala</i>
		<i>Eucalyptus camaldulensis</i>
		<i>Eucalyptus xérophiles</i>
		<i>Eucalyptus sideroxylon</i>
Haut Atlas	27 771	<i>Eucalyptus gomphocephala</i>
		<i>Eucalyptus camaldulensis</i>
		<i>Eucalyptus xérophiles</i>
		<i>Eucalyptus sideroxylon</i>
Sud-Ouest	4 142	<i>Eucalyptus xérophiles</i>
Sud-Est	342	<i>Eucalyptus xérophiles</i>
Total	206 809	

1.4 Huiles Essentielles d'Eucalyptus

Les huiles essentielles sont définies comme toutes huiles volatiles qui ont de forts composants aromatiques et qui donnent une odeur, une saveur ou un parfum distinctif à une

plante. Ce sont les sous produits du métabolisme des plantes et sont communément appelés métabolites secondaires volatils des plantes. Ces huiles se trouvent dans les poils glandulaires ou les cavités sécrétoires de la paroi cellulaire végétale et sont présentes sous forme de gouttelettes de liquide dans les feuilles, les tiges, l'écorce, les fleurs, les racines et/ou les fruits de différentes plantes **(Koul et al., 2008)**.

De point de vue biologique, les HE sont des substances obtenues à partir d'une matière végétale par des procédures d'extraction telles que l'entraînement à la vapeur, l'hydrodistillation, la distillation sèche et par l'extraction mécanique à partir de l'épicarpe de certaines plantes telles que le citrus, Tandis que de point de vue biochimique, les HE sont des mélanges complexes de composés naturels de structures organiques diverses (sauf les corps gras contenus dans les huiles végétales). Le mot huile est attribué à son caractère hydrophobe et à ses propriétés de solubilisation dans les graisses, alors que le mot essentiel reflète l'odeur distinctive dégagée par la plante productrice, sont biométabolisées par les plantes dites aromatiques comme métabolites secondaires et ont habituellement l'odeur caractéristique de la plante productrice. La composition chimique d'une HE est formée essentiellement des terpènes et de leurs dérivés oxygénés **(Bouyahya et al., 2018)**.

Cependant, de point de vue physiologique, les plantes aromatiques synthétisent les HE dans des structures végétales très spécifiques. Ces structures sont de nature différente en fonction de la plante aromatique. En général, on trouve les trichomes glandulaires, les cavités sécrétrices et les canaux sécréteurs. Ces trois structures peuvent être présentes chez certaines espèces dans tous les organes végétaux (fleurs, feuilles et écorces). La teneur et la composition d'une HE peuvent varier entre la même espèce provenant de deux origines différentes et parfois même au sein de la même plante entre deux organes différents **(Bouyahya et al., 2018)**. Il existe plus de 3000 huiles essentielles décrits dans la littérature existante, dont environ 300 sont utilisés commercialement, y compris ceux de diverses espèces d'eucalyptus **(Barbosa et al., 2016)**, Parmi les huiles essentielles, l'huile d'eucalyptus, en particulier, est plus utile car elle est facilement extractible commercialement (valeur industrielle) et possède un large éventail de propriétés antiparasitaire **(Ben Slimane et al., 2014)**. Ces HEE se trouvent dans les feuilles, les fruits, les bourgeons et l'écorce de l'arbre **(Zrira et al., 2004)**, sont aromatiques, épicés et incolores ou jaune pâle, bien que certaines études aient rapporté que la couleur était brunâtre ou verdâtre **(Barbosa et al., 2016)**.



Figure 1: Huile d'eucalyptus (Rathva et al., 2008).

1.5 Méthodes d'extraction des huiles essentielles

Les HE obtenues à partir de plantes aromatiques représentent une source diversifiée et unique de produits naturels, largement utilisés pour des applications bactéricides, fongicides, antivirus, antiparasitaires, insecticides, médicinales ou cosmétiques, notamment dans les industries pharmaceutique, sanitaire, alimentaires et agricole. Cependant, avant que les HE puissent être utilisées ou analysées, elles doivent être extraites de la matrice végétale (**Reyes-Jurado et al., 2015**), il existe différentes méthodes d'extraction, mais la qualité et le pourcentage de rendement en HE ne restent jamais les mêmes. Ainsi, des techniques innovantes et non conventionnelles d'extraction d'huiles essentielles à partir des plantes médicinales ont été développées pour obtenir un rendement quantitatif et qualitatif (**Murti et al., 2023**).



Figure 2: *Méthodes d'extraction non conventionnelles et conventionnelles des huiles essentielles (Murthi et al., 2023)*

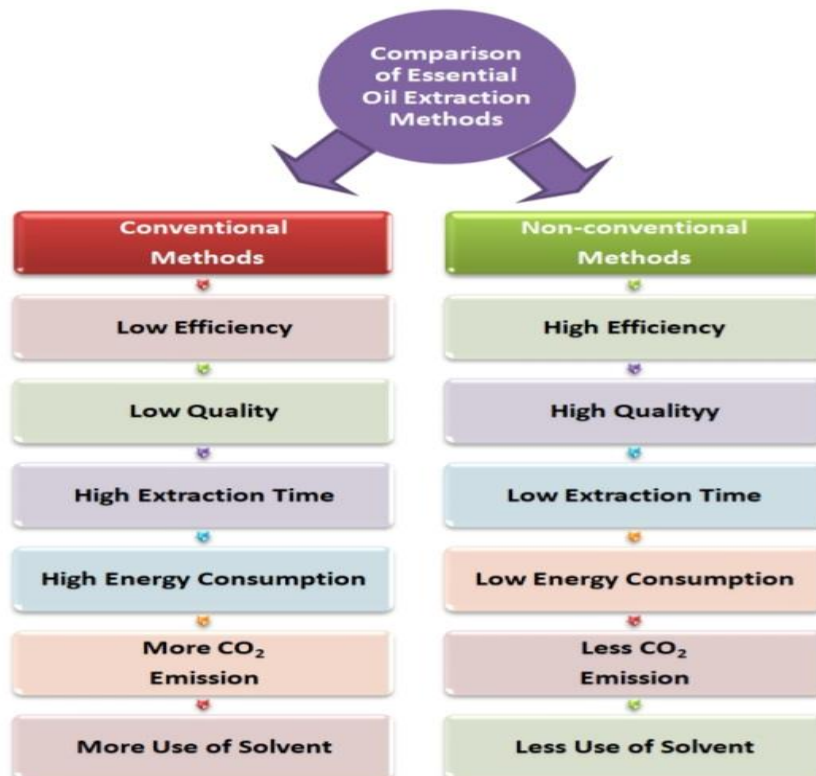


Figure 3: *Comparaison des méthodes conventionnelles et non conventionnelles d'extraction des huiles essentielles (Murthi et al., 2023).*

1.5.1 Extraction par pression à froid

Est l'une des méthodes d'extraction mécanique et nécessite moins d'énergie que les autres techniques d'extraction d'huile. Cette méthode n'implique ni chaleur ni extraction chimique (**Çakaloğlu et al., 2018**). Elle s'applique particulièrement pour les HE des agrumes (orange, mandarine, cédrat, pamplemousse, etc) et elle consiste à exercer sur les fruits une pression pour extraire les HE leur écorce (**Aboughe Angone et al., 2015**), ainsi que est une technique est plus simple, moins nocive et la meilleur pour maintenir l'intégrité de l'huile essentielle (**Nakatsu et al., 2000**).

1.5.2 Distillation à la vapeur

Cette méthode est la plus couramment utilisée pour les extractions à l'échelle industrielle, mais elle est également largement utilisée dans les études en laboratoire (**Nakatsu et al., 2000**). Est introduite à la base d'un alambic dans un vide sous une grille perforée, qui supporte la charge de la matière végétale (**Sovová & Aleksovski, 2006**). Dans ce système d'extraction, le matériel végétal est soumis à l'action d'un courant de vapeur sans macération préalable. 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 (**Boukhatem et al., 2019**). Bien qu'il s'agisse d'un processus très efficace, la chaleur appliquée, l'acidité/basicité de l'eau ou les traces de métaux dans l'échantillon ou l'appareil peuvent provoquer des saponifications, des isomérisations ou d'autres réactions indésirables qui peuvent affecter l'équilibre de l'odeur et/ou de la saveur de l'huile essentielle (**Nakatsu et al., 2000**). La vapeur est produite dans une chaudière et soufflée par un tuyau dans le fond du conteneur, où la matière végétale repose sur un plateau perforé. Le distillat condensé consiste en un mélange d'eau et d'huile, l'huile est séparée de l'eau au moyen d'un ballon florentin, qui les sépare en fonction de leurs densités différentes. Les caractéristiques typiques de cette méthode sont que la vapeur est toujours complètement saturée, humide et jamais surchauffée, et que le matériau n'est en contact qu'avec la tige et non avec l'eau bouillante (**Reyes-Jurado et al., 2014**).

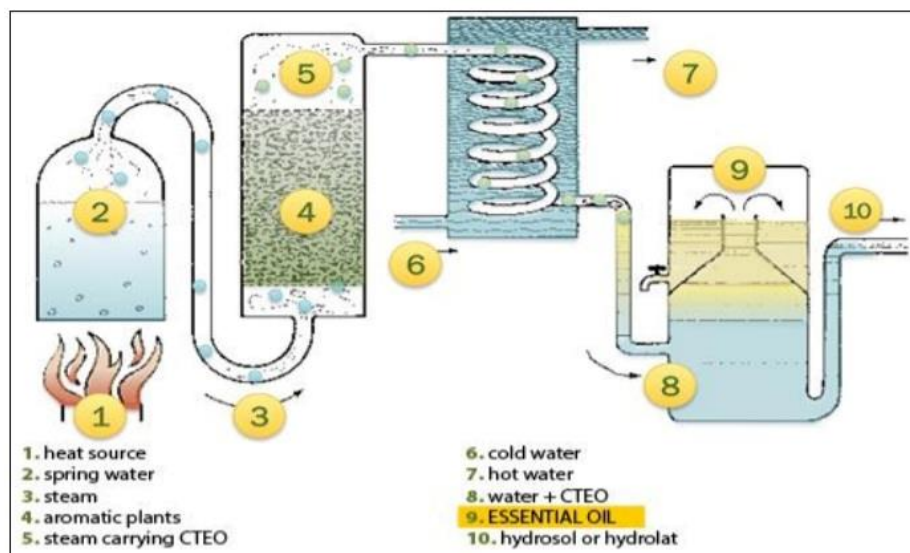


Figure 4: *Procédé d'extraction par distillation à la vapeur (Kesharwani et al., 2018).*

1.5.3 Hydrodistillation

Dans l'hydrodistillation (distillation de l'eau), contrairement à la distillation à la vapeur, la matière végétale est complètement immergée dans l'eau bouillante. Cette méthode protège les huiles ainsi extraites dans une certaine mesure (Sovová & Aleksovski, 2006). La particularité de ce procédé est qu'il y a un contact direct entre l'eau bouillante et la matière première (Reyes-Jurado et al., 2014). Elle est généralement conduite à pression atmosphérique. La distillation peut s'effectuer avec ou sans cohobage des eaux aromatiques obtenues lors de la décantation. Ce procédé présente des inconvénients dus principalement à l'action de la vapeur d'eau ou de l'eau à l'ébullition ; Certains organes végétaux, en particulier les fleurs, sont trop fragiles et ne supportent pas les traitements par entraînement à la vapeur d'eau et par hydrodistillation, Cependant, le contact direct des constituants de l'HE avec l'eau occasionne des réactions chimiques conduisant à des changements dans la composition finale de l'extrait. Les conditions opératoires et, notamment, la durée de distillation ont une influence considérable sur le rendement et la composition de l'HE. L'hydrodistillation possède des limites. Le chauffage prolongé et puissant engendre une détérioration de certains végétaux et la dégradation de certaines molécules aromatiques. L'eau, l'acidité et la température peuvent induire l'hydrolyse des esters mais aussi des réarrangements, des isomérisations, des racémisations et/ou des oxydations (Boukhatem et al., 2019).

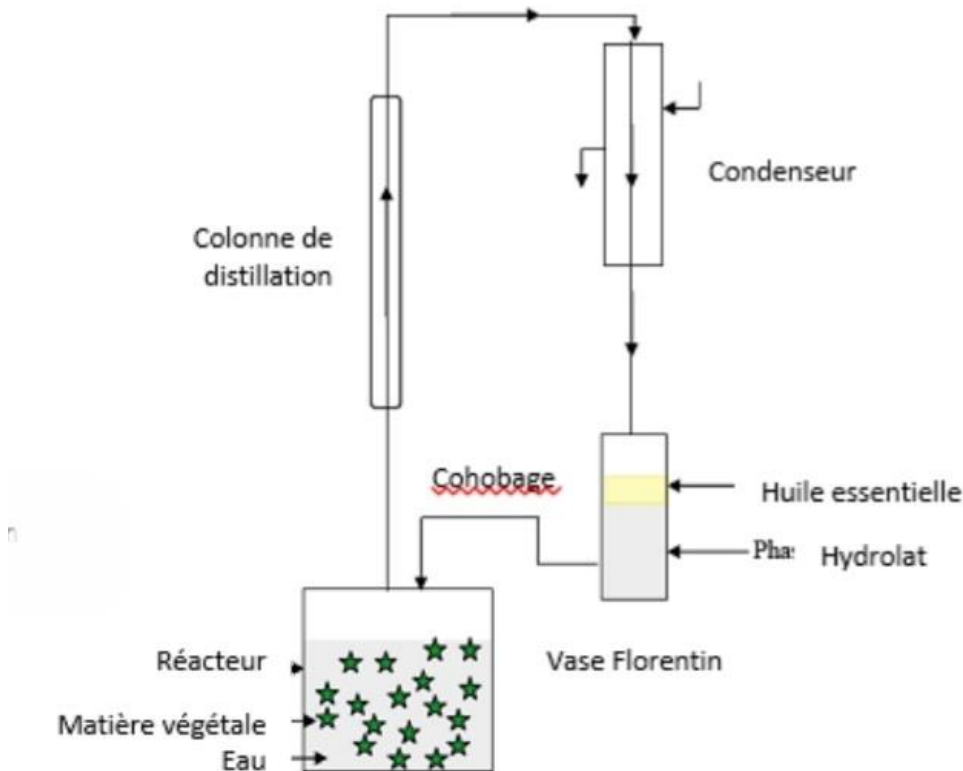


Figure 5: Principe schématisé l'hydrodistillation (HD) (Boukhatem et al., 2019).

1.5.4 Extraction par fluide à l'état supercritique (SFE)

L'originalité de la technique d'extraction par fluide supercritique, dite « SFE », provient de l'utilisation de solvants dans leur état supercritique, c'est-à-dire dans des conditions de températures et de pressions où le solvant se trouve dans un état intermédiaire aux phases liquide et gazeuse et présente des propriétés physico-chimiques différentes, notamment un pouvoir de solvation accru. Si, en pratique, de nombreux solvants peuvent être employés, 90% des SFE sont réalisées avec le dioxyde de carbone (CO_2), principalement pour des raisons pratiques. En plus de sa facilité d'obtention due à ses pression et température critiques relativement basses, le CO_2 est relativement non toxique, disponible à haute pureté et à faible prix, et il possède l'avantage d'être éliminé aisément de l'extrait. La SFE est une technique dite « verte » utilisant pas ou peu de solvant organique et présentant l'avantage d'être bien plus rapide que les méthodes traditionnelles. Les compositions chimiques des HE ainsi obtenues peuvent présenter des différences, qualitatives et quantitatives, avec celles issues de l'hydrodistillation (Boukhatem et al., 2019).

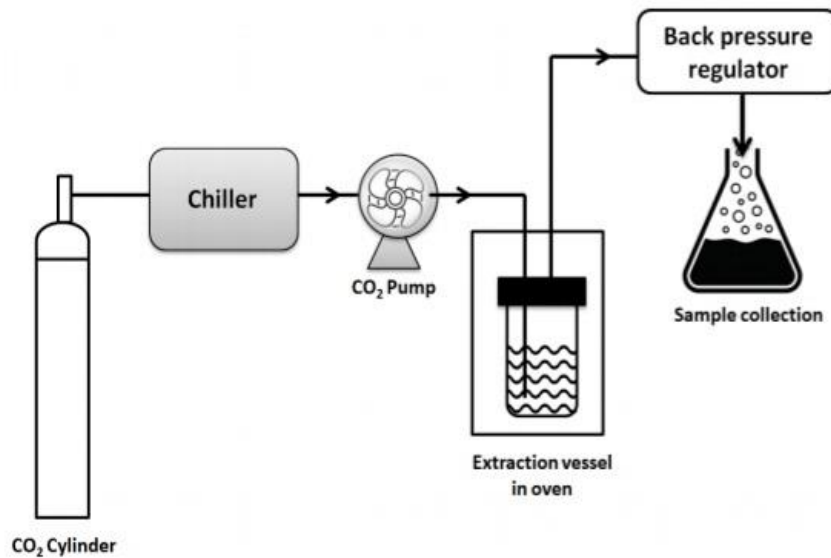


Figure 6 : Représentation schématique du système d'extraction par fluide supercritique (SFE) (Murti et al., 2023).

1.5.5 Extraction assistée par micro-ondes (MAE)

Ces dernières années, différents chercheurs ont appliqué les micro-ondes pour l'extraction de plusieurs HE et ont rapporté que les HE obtenues en 30 min ou moins étaient comparables, tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif, à ceux après plus du double du temps avec des techniques traditionnelles sélectionnées. MAE utilise le rayonnement micro-ondes comme source de chauffage pour le mélange solvant-échantillon. En raison des effets particuliers des micro-ondes sur la matière (à savoir la rotation dipolaire et la conductance ionique), le chauffage aux micro-ondes est instantané de l'échantillon, conduisant à des extractions très rapides. Un avantage du chauffage par micro-ondes est la rupture des liaisons hydrogène faibles, favorisée par la rotation dipolaires des molécules. Le processus MAE sont différents de ceux des méthodes conventionnelles car l'extraction se produit à la suite de changements dans la structure cellulaire provoqués par les ondes électromagnétiques (Reyes-Jurado et al., 2014). L'avantage de ce procédé est de réduire considérablement la durée de distillation et incrémenter le rendement. Toutefois, aucun développement industriel n'a été réalisé à ce jour. La distillation assistée par micro-ondes fait aujourd'hui l'objet de beaucoup d'études et ne cesse d'être améliorée parce qu'elle présente beaucoup d'avantages : technologie verte, économie d'énergie et de temps, investissement initial réduit et dégradations thermiques et hydrolytiques minimisées. A titre d'exemple, La SFME (Solvent Free Microwave Extraction) est une combinaison originale des techniques de chauffage par micro-ondes et de distillation sèche. La SFME se caractérise par une diminution de la consommation énergétique et des rejets en CO₂

mais, surtout, par un temps d'extraction de l'ordre de 9 fois plus rapide. Les HE issues de ce procédé sont composées d'un taux plus important en composés oxygénés, de valeurs odorantes plus significatives, alors que les monoterpènes sont présents en moindre quantité (**Boukhatem et al., 2019**)

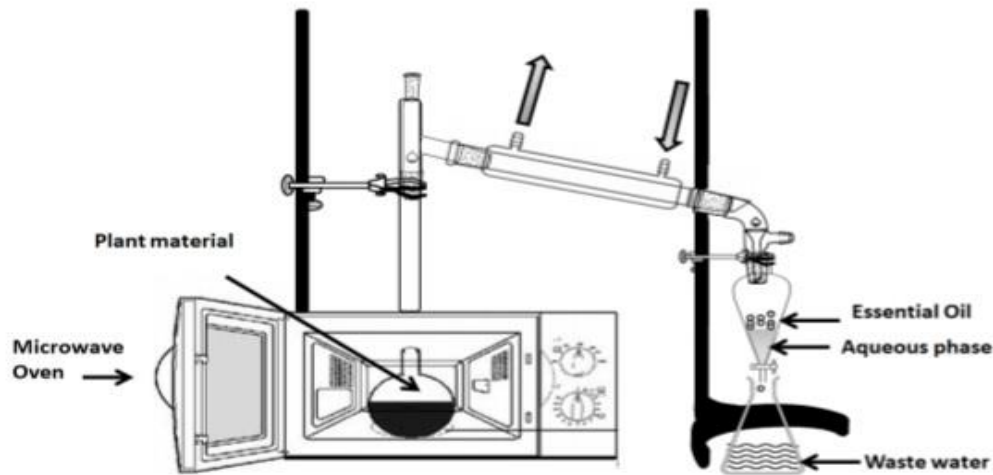


Figure 7: Représentation schématique du système d'extraction par micro-ondes sans solvant (SFME) (**Murti et al., 2023**).

1.5.6 Extraction par solvant

L'extraction par solvant peut être réalisée à l'aide du procédé d'extraction Soxhlet qui utilise différentes combinaisons de solvants en fonction de la partie de la plante utilisée (**Surbhi et al., 2011**). Le caractère hydrophobe et non polaire des HE permet leur extraction par des solvants organiques, en particulier des solvants dérivés du carburant. Cette extraction fait référence à la distribution d'un soluté entre deux phases liquides non miscibles en contact l'une avec l'autre. Cette extraction est de loin la méthode la plus simple pour obtenir des HE et est le plus souvent utilisée en laboratoire. Son principal inconvénient est la contamination de l'échantillon par solvant (ou les impuretés du solvant) qu'il faut éliminer complètement soit pour caractériser les qualités olfactives de l'huile, soit pour étudier son activité biologique. Malheureusement, souvent, de nombreuses espèces de faible poids moléculaires sont perdues lors de l'évaporation du solvant, modifiant ainsi, dans certains cas de manière très spectaculaire, l'équilibre aromatique de l'huile essentielle (**Reyes-Jurado et al., 2015**).

1.5.7 Extraction assistée par ultrasons

L'application industrielle potentielle des ultrasons a été reconnue dans l'industrie de l'extraction phytopharmaceutique pour une large gamme d'extraits de plantes. L'UAE est utilisé pour l'isolement des composés volatils des produits naturels à température ambiante avec des solvants organiques raccourcissant le temps de traitement, diminuant le volume de solvant et augmentant le rendement de l'extrait par rapport aux méthodes conventionnelles. Des augmentations des rendements d'extraction ont été signalées lorsque les EAU ont été utilisées pour obtenir des HE par rapport à toutes les méthodes traditionnelles (Reyes- Jurado *et al.*, 2015).

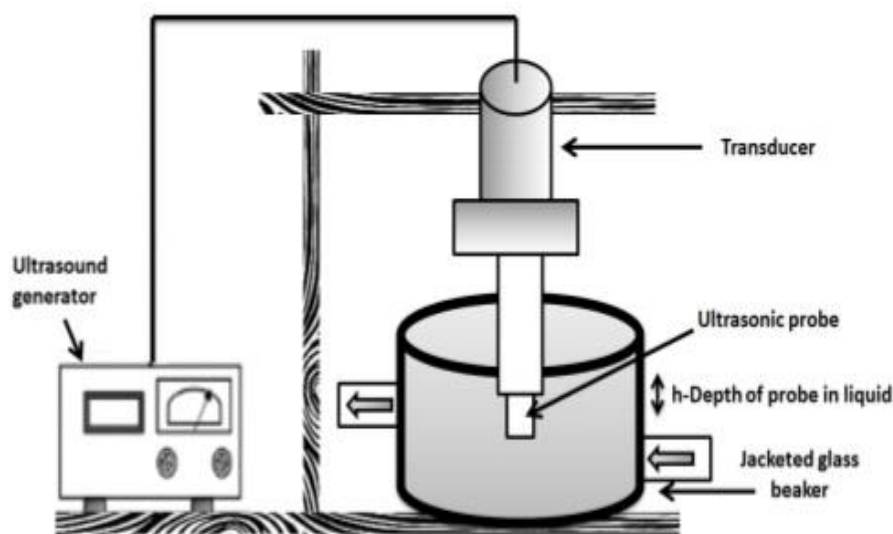


Figure 8: Représentation schématique du système d'extraction assistée par ultrasons (EAU) (Murti *et al.*, 2023).

1.5.8 Extraction d'eau sous-critique

L'extraction avec de l'eau sous-critique (SW) est un mécanisme qui dépend principalement de l'eau comme extractant à une pression relativement élevée pour maintenir la forme liquide et une température allant de 100 °C à 374 °C. SW facilite une opération d'extraction rapide et utilise des températures basses, qui empêchent les pertes de volatils ainsi que la dégradation des composées. La technique SW comprend une transmission des solutés de l'échantillon au milieu d'extraction en utilisant la convection, la diffusion et l'équilibre de partage. L'eau offre des caractéristiques inégalées dans des conditions sou-critiques. Le taux d'extraction écologique, adorable et rapide sont les principaux avantages de ce procédé. SW a été utilisé pour extraire plusieurs composés d'espèces d'eucalyptus. Selon Wu *et al.*, la condition idéale de l'huile

d'extraction SW est inférieure 300 °C pendant 30 min. ce qui est suffisant pour obtenir 30,1% de bio-huile (**Sawalha et al., 2021**)

1.6Composition Chimique des HEs

Les constituants des huiles essentielles peuvent être largement classés en fractions volatiles et non volatiles. La composition chimique globale de la fraction volatile de l'huile aromatique comprend des composants mono et sesquiterpènes et plusieurs dérivés oxygénés ainsi que des alcools, des aldéhydes aliphatiques et des esters. D'autre part, 1 à 10% en poids d'huile essentielle isolée comprennent des caroténoïdes, des acides gras, des flavonoïdes et des cires qui sont classés comme. Généralement, la méthode de chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse (GC-MS) est utilisée pour déterminer les constituants présents dans les huiles essentielles. Cette méthodes est simple, permet des réponses rapides, est efficace et est une technique analytique largement utilisée pour la détermination largement utilisé pour la détermination des constituants des huiles essentielle. Un rapport GC-MS est l'empreinte digitale d'un lot particulier d'huile essentielle. Les propriétés uniques des huiles essentielle peuvent être déduites de sa composition chimique et la GC-MS est capable d'indiquer la pureté des huiles essentielles dans la plupart des cas (**Zarith Asyikin et al., 2018**)

L'huile d'eucalyptus est un mélange complexe d'une variété de mono terpènes et de sesquiterpènes, et de phénols aromatiques, d'oxydes, d'éthers, d'alcools, d'esters, d'aldéhydes et de cétones ; cependant, dont la composition et la proportion exactes varient selon les espèces (**Batish et al., 2008**). Les composés volatils présents dans les feuilles et les pousses sont le 1,8-cinéole (*eucalyptol*), le citronellal, le globulol, la pipertone, l' α -gurjunène, le β -pinène, l'*aromadendrène*, l'*allo-aromadendrène* et les α -, β - et γ -terpinen-4 -ol. Les fleurs sont riches en dextrine et en saccharose (**Stackpole et al ., 2011**). Les fruits contiennent de l'*asparagine*, du bornéol, de l'*acide caproïque*, du citral, de la cystéine, de l'*eudesmol*, de la fenchone, de l'*acide glutamique*, de la glycine, du *p-menthane*, du myrécène, du myrténol, de l'*ornithine α -terpinéol*, de la thréonine et de la verbinone (**Boulekbache-Makhlouf et a l., 2010**)

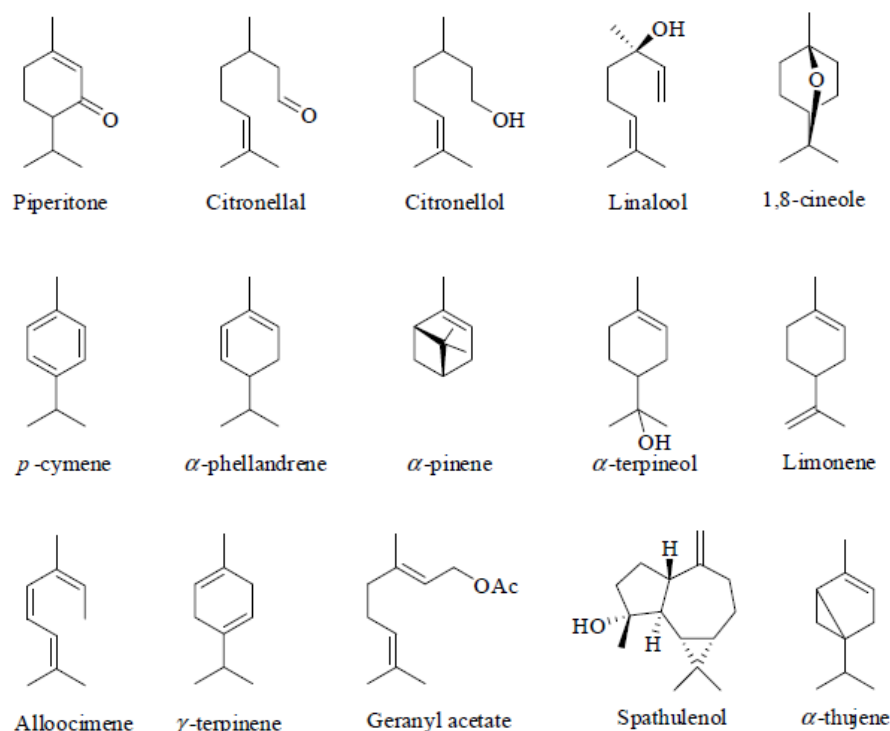


Figure 9: *Quelques principaux constituants des huiles essentielles de feuilles d'eucalyptus (Barbosa et al., 2016)*

1.7 Inconvénients de l'usage abusif des produits issus d'eucalyptus

Cette plante présente quelques inconvénients, il extrait l'eau de la terre, diminue la nappe phréatique et perturbe le système de puits tubulaires du monde. De plus, cette plante a besoin de plus d'eau, elle a donc tendance à concurrencer les autres plantes de la région. La racine de cette plante va très profondément ce qui affecte la plaine de l'agriculteur. Malgré ses applications remarquables qui peuvent constituer une avancée majeure dans le domaine de la santé, la traduction clinique est encore dans sa phase d'amorçages et présente un certain nombre de complications et inconvénients qui lui sont liés. Les composés phénoliques et trapénoïdes trouvés dans les espèces d'eucalyptus sont potentiellement toxiques. Chez l'homme, une consommation excessive d'huile d'eucalyptus peut provoquer une irritation gastro-intestinale, une gêne gastrique, des nausées, des convulsions, une diminution de la respiration, une suppression du système nerveux central et peut également entraîner la mort. Par conséquent une évaluation plus approfondie des risques de toxicité des HEE est nécessaires en termes de sécurité (Chandorka et al., 2021).

Chapitre 02 : Applications thérapeutique d'eucalyptus

Les vertus thérapeutiques des essences aromatiques sont connues depuis l'antiquité ; cependant l'intérêt accordé à l'étude scientifique du pouvoir des plantes aromatiques et médicinales n'a augmenté que durant ces dernières années dans le but de rechercher des alternatives aux substances chimiques qui présentent des risques pour la santé humaine et pour l'environnement. Plusieurs travaux ont mis en évidence les différentes activités biologiques des plantes aromatiques et médicinales, en particulier leurs pouvoirs antifongique, antibactérien, antioxydant et insecticide (**Hmiri et al., 2011**). les métabolites secondaires des plantes ont un grand potentiel en tant que nouvelles sources naturelles pour contrôler les micro-organismes pathogènes, tels que les virus, les nématodes, les bactéries et les champignons responsables de nombreuses maladies des plantes à grande richesse écologique (**Yangui et al., 2017**).

L'eucalyptus a été largement étudié comme source d'huile essentielle, qui a diverses activités biologiques (**Tolba et al., 2018**). HEE est une HE d'importance ethnomédicale et populaire avec diverses activités thérapeutiques telles qu'analgésique, antimicrobienne, antioxydante, antibactérien, antiviral, sédatif, stimulant, décongestionnant pulmonaire, antispasmodique (**Chandorkar et al., 2021**), anti-inflammatoire, analgésiques, fumigant (**Sliti et al., 2015**), insecticides et acaricides (**Tolba et al., 2018**). A part son potentiel thérapeutique, HEE a trouvé son application dans le traitement de diverses affections telles que la bronchite, sinusite, asthme, maladie pulmonaire obstructive chronique, douleur, infections, blessures, cancer, paludisme et le dernier mais pas le moindre COVID-19 (**Chandorkar et al., 2021**).

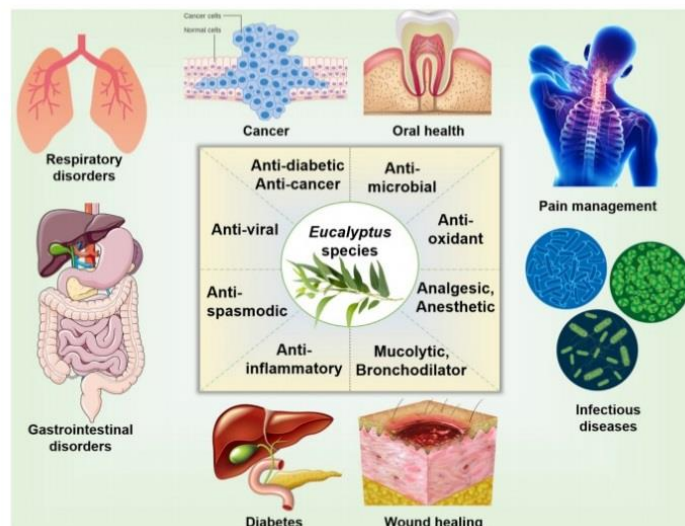


Figure 10: Diverses applications thérapeutiques du genre *Eucalyptus* (**Chandorkar et al., 2021**).

2.1 Activité antimicrobienne

Les propriétés antimicrobiennes des huiles essentielles (HE) étaient reconnues depuis longtemps et continuent de faire l'objet de plusieurs études. En raison de leurs propriétés, les HE ont gagné beaucoup d'attention et ont donné naissance à diverses investigations sur leur potentiel antimicrobien alternatif en industrie agroalimentaire (**Djenane et al., 2011**). Les effets antimicrobiennes contre un large éventail de micro-organismes ont été pris en compte dans plusieurs études (**Tolba et al., 2018**). L'eucalyptus présente la plus grande diversité de gènes pour des métabolites particuliers tels que les terpènes qui agissent comme défense chimique fournissent des huiles pharmaceutiques uniques. HEE et son composant principal, le 1.8-cinéole, ont des effets antimicrobiens contre de nombreuses bactéries, virus, champignons (**Saadaoui et al., 2017**).

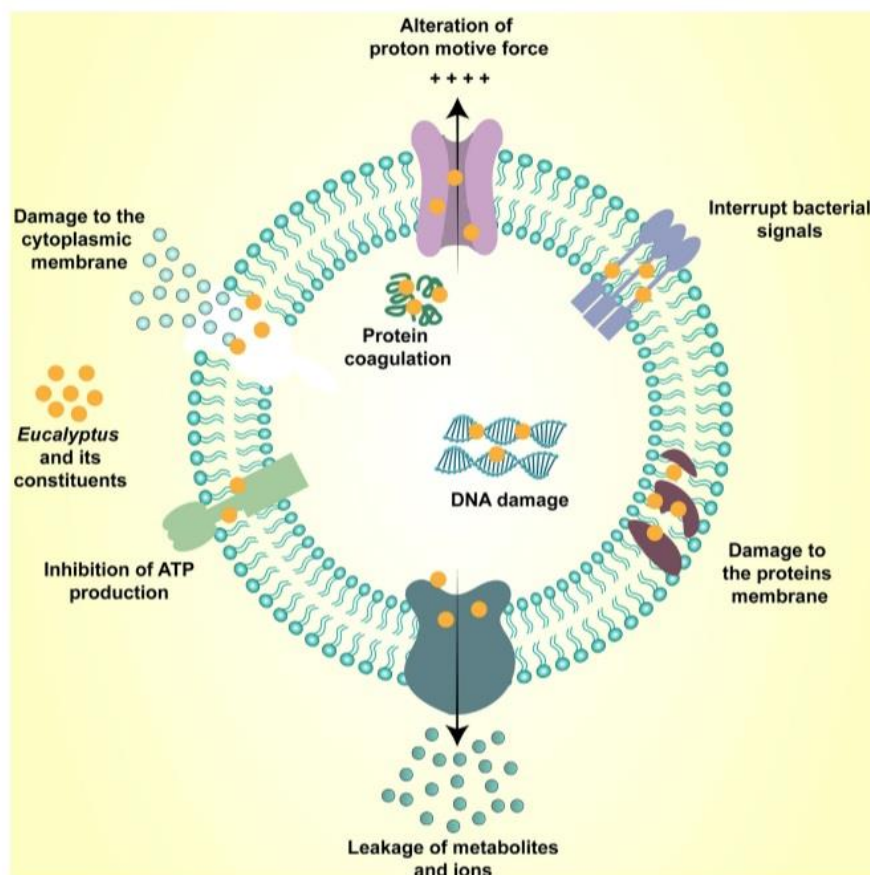


Figure 11: *Activité antimicrobienne des constituants de l'eucalyptus (Chandorkar et al., 2021).*

L'application de plantes aromatiques comme agents antibactériens pour inhiber la croissance bactérienne et la prévention de la pourriture est appliquée depuis l'antiquité. Scientifiquement, diverses études ont rapporté le potentiel des huiles essentielles pour prévenir la croissance

bactérienne dans de nombreux domaines (**Zarith Asyikin et al., 2018**), tels que *E.camaldulensis* peut être suggérée comme une nouvelle source d'agents antibactériens naturels (**Sliti et al., 2015**), ainsi que plusieurs rapport ont étudié les activités antibactériennes de HEE et ont démontré leur potentiel d'action. Les HEE peut augmenter la perméabilité des membranes cellulaires de la souche bactérienne, modifier leurs enzymes microbiennes, et provoque la mort cellulaire, se sont avérés efficaces contre les bactéries Gram (+) et Gram (-) qui sont généralement plus réticentes à subir l'action des antibiotiques conventionnels. Il est généralement difficile de trouver une substance capable de diminuer la virulence bactérienne et de limiter tous les mécanismes conduisant à une agression bactérienne accrue, conduisant à plus de difficulté à éradiquer les infections qu'elles déclenchent. Par conséquent, l'activité manifestée par ces huiles essentielles d'eucalyptus contre les agents pathogène utilisé dans ces expériences pourrait être comme ayant une signification observable, à la fois à des fins alimentaires et sanitaires (**Khammassi et al., 2022**), cependant les Huiles essentielles d'eucalyptus *maideni*, *E. bicostata*, *E. cinerea* ont montré l'activité antibactérienne la plus élevée contre *Listeria ivanovii* et *Bacillus cereus*, elles peuvent avoir des applications potentielles dans les produits alimentaires et pharmaceutique (**Sebei et al., 2015**). **Elaissi et al., (2021)** ont montré aussi l'activité antibactérienne des HEE contre les souches responsables d'otites tels que HEE Accedens, HEE Bosistoana, HEE Lesoufi, HEEP⁺, HEE Melliodora, HEE Robusta, HEEWandoo, de plus les résultats obtenues par (**Fenghour et al., 2021**) montre que HEECa a un large spectre d'activité antibactérienne contre les bactéries Gram (+) et Gram (-).

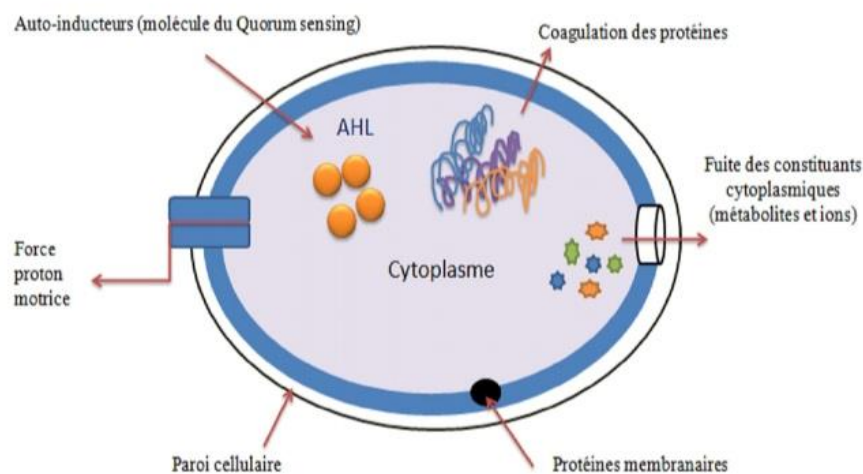


Figure 12: Mécanismes d'action des huiles essentielles sur la cellule bactérienne

2.2 Activités antioxydantes

L'évaluation du potentiel antioxydant des trois huiles essentielles a montré ses activités intéressantes pouvant contribuer à la valorisation des huiles essentielles d'espèces forestières, notamment du genre eucalyptus. Ces résultats sont en accord avec la littérature. En effet plusieurs études ont étudié les propriétés antioxydantes de différentes espèces d'eucalyptus telles qu'*Eucalyptus Oleosa*, *Eucalyptus gracilis*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus salubris*, *Eucalyptus salmonophloia*. De plus HEECi présentait un potentiel antioxydant plus élevé dans tous les méthodes (Amri *et al.*, 2023), *Eucalyptus camaldulensis* est peut être aussi suggérée comme une nouvelle source d'agents antioxydant naturels (Sliti *et al.*, 2015). Il existe plusieurs rapports concernant l'activité antioxydante des huiles essentielles mesurée par diverses méthodes (Aazza *et al.*, 2011). *Eucalyptus tereticornis* est une source d'huile riche en monoterpénoides présentant une activité antioxydante (Dhakad *et al.*, 2017).

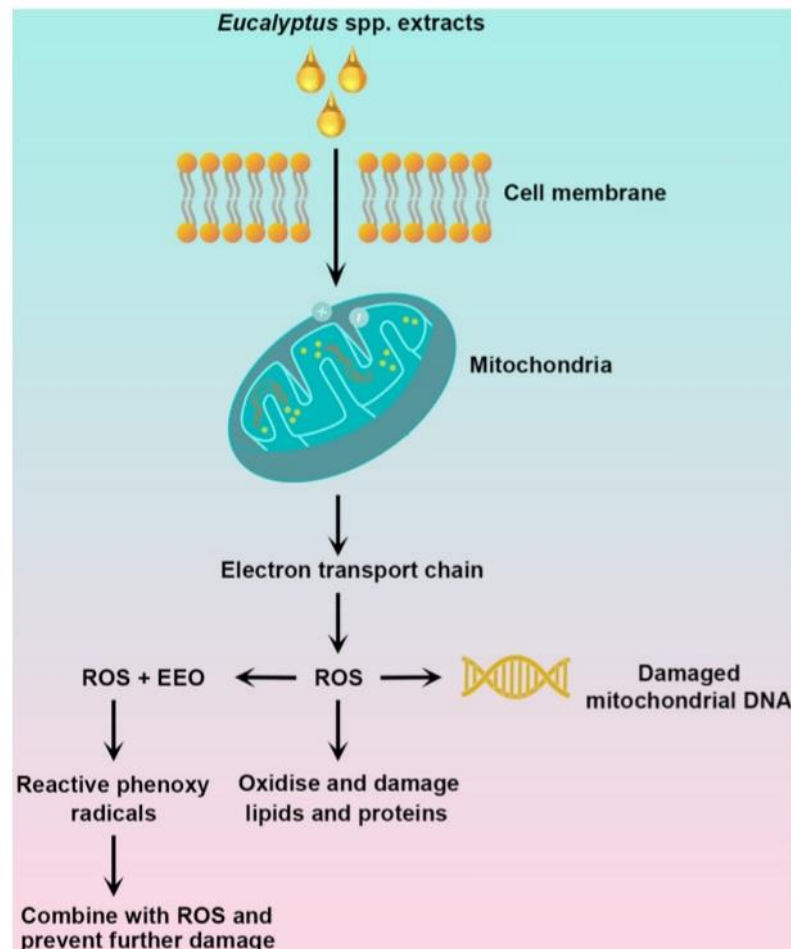


Figure 13: *Activité antioxydante de l'eucalyptus pour la chimioprévention (Chandorkar et al., 2021).*

2.3Activité antifongique

Il y a plus de 60 000 ans, les aborigènes australiens ont développé une compréhension empirique sophistiquée des plantes indigènes tels que l'eucalyptus. Ils utilisaient traditionnellement les feuilles d'eucalyptus pour soigner les plaies et les infections fongiques (Doll-Boscardin *et al.*, 2012).

Les HE sont bien connues pour posséder des effets antifongiques considérables contre plusieurs champignons tels que *Biscogniauxia Mediterranea* est largement sensitive au HEECa (Yangui *et al.*, 2017), selon (Tolba *et al.*, 2015) HEECi présentait un potentiel antifongique plus élevé contre les quatre dermatophytes, alors il pourrait être utilisé comme source naturel d'agent antifongique pour contrôler les infections humaines et les agents fongiques. Ainsi que d'autre étude montre l'efficacité des HEE contre les souche fongiques (*Aspergillus clavatus*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium cladosporioides*, *Chaetomium globosum*, *Myrothecium verrucaria*, *Penicillium citrinum*, *Trichoderma viridide*, *Trametes versicolor*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Phaeolus schweintzii*, *Lenzites sulphureu*) telles que HEECa, HEECi, HEEGrandis, HEEUrophylla (Su *et al.*, 2006). L'étude de l'activité antifongique a révélé que l'huile essentielle d'*E. erythrocorys* inhibant significativement la croissance de cinq champignons phytopathogènes en particulier *Bipolaris sorokiniana* et *Botrytis cinerea* (Ben Ghnaya *et al.*, 2013).

2.4Activité anti-inflammatoire

Les propriétés anti-inflammatoires des huiles d'eucalyptus ont été étudiées à l'aide de plusieurs méthodes pharmacologiques standard. Les résultats révèlent généralement que les HEEG, HEET et HEECi ont suscité des activités anti-inflammatoire d'intensité différentes (Silva *et al.*, 2003). Le 1,8-cinéole, constituant majeur présent dans l'huile volatile d'eucalyptus est un puissant inhibiteur des cytokines, qui pourrait convenir au traitement à long terme de l'inflammation des voies respiratoires dans l'asthme bronchique et d'autres troubles sensibles aux stéroïdes (Patil & Nitave. 2014), de plus HEEG était la plus active contre tyrosinase (IC₅₀ = 38.21 ± 0.13 µg/mL) et 5-lipoxygénase (IC₅₀ = 0.88 ± 0.01 µg/mL) (Assaggaf *et al.*, 2022).

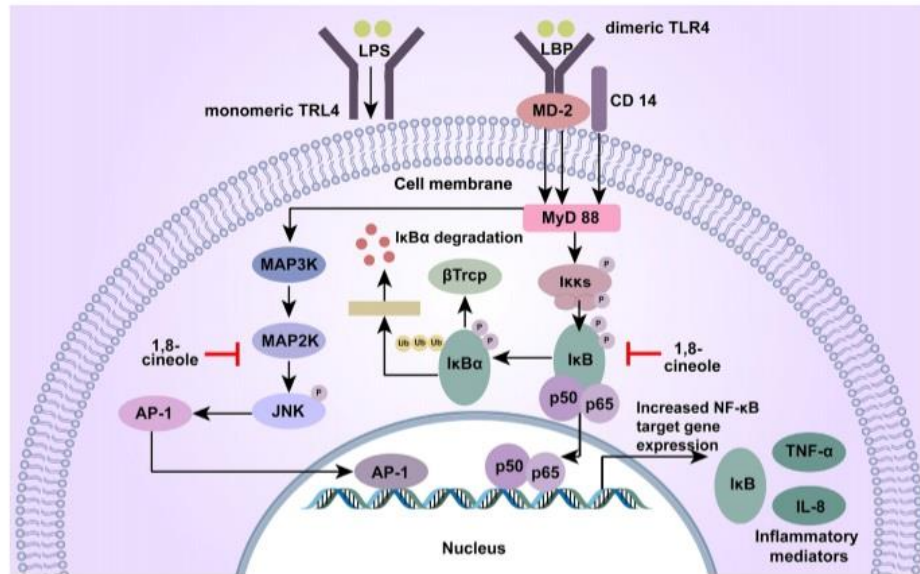


Figure 14 : Mécanisme anti-inflammatoire moléculaire de 1,8-cinéole (Chandorkar et al., 2021).

2.5 Activité insecticide

De nombreux métabolites végétaux secondaires sont connus pour leurs propriétés insecticides et dans de nombreux cas, les plantes ont une histoire d'utilisation comme remèdes maison pour tuer ou repousser les insectes. Au cours des dernières décennies, les recherches sur les interactions entre les plantes et les insectes ont révélé l'utilisation potentielle de métabolites végétaux ou d'allélochimiques à cette fin. Il est connu que certains constituants chimiques des huiles essentielles ont des propriétés insecticides. Parmi les huiles essentielles, l'huile d'eucalyptus, en particulier est plus utile car il est facilement extractible commercialement (valeur industrielle), de plus la présence de monoterpènes volatils fournit une stratégie de défense importante aux plantes, en particulier contre les insectes ravageurs herbivores (**Ben Slimane et al., 2014**), par conséquent, le contrôle des insectes est hautement souhaitable et nécessaire pour améliorer la qualité de vie et la santé humaines. Cependant, les huiles essentielles de nombreuses espèces d'eucalyptus montrent des résultats positifs dans le contrôle d'une variété d'espèces d'insectes. Comme montre dans le tableau (**Barbosa et al., 2016**).

Tableau 5: les huiles essentielles des espèces d'eucalyptus avec des activités insecticide (**Barbosa et al., 2016**)

Espèces d'eucalyptus	Espèces cibles
Astringens	<i>Callosobruchus maculatus</i> , <i>Ephestia cautela</i> , <i>Ephestia kuehniella</i> , <i>Rhyzopertha dominica</i> , <i>Tribolium castaneum</i>
Badjensis	<i>Aedes aegypti</i> , <i>Haematobia irritans</i>
Benthamii	<i>Sitophilus zeamais</i>
Botryoides	<i>Aedes aegypti</i> , <i>Haematobia irritans</i>
Camaldulensis	<i>Aedes aegypti</i> , <i>Aedes albopictus</i> , <i>Atta sexdens rubropilosa</i> , <i>Ectomyelois ceratoniae</i> , <i>Ephestia cautela</i> , <i>Ephestia kuehniella</i> , <i>Pediculus humanus capitis</i> , <i>Sitophilus zeamais</i> , <i>Thyreteina arnobia</i>
Cinerea	<i>Aedes aegypti</i> , <i>Musca domestica</i> , <i>Pediculus humanus capitis</i>
Citriodora	<i>Aedes aegypti</i> , <i>Anopheles gambia</i> , <i>Atta sexdens rubropilosa</i> , <i>Callosobruchus maculatus</i> , <i>Lutzomyia longipalpis</i> , <i>Nasutitermes corniger</i> , <i>Pediculus humanus capitis</i> , <i>Sitophilus zeamais</i> , <i>Thyreteina arnobia</i> , <i>Tribolium castaneum</i>
Dunnii	<i>Aedes aegypti</i> , <i>Blattella germanica</i> , <i>Pediculus humanus capitis</i> , <i>Sitophilus zeamais</i>
Globulus	<i>Aedes aegypti</i> , <i>Lutzomyia longipalpis</i> , <i>Musca domestica</i> , <i>Odontotermes assamensis</i> , <i>Pediculus humanus capitis</i> , <i>Sitophilus oryzae</i> , <i>Sitophilus zeamais</i> , <i>Tribolium castaneum</i> , <i>Tribolium confusum</i>

2.6 Activité acaricide

Un acaricide peut être défini comme toute substance ou mélange de substances destiné à prévenir, détruire, repousser ou atténuer les tiques et les acariens. De nombreuses études ont démontré les effets acaricides des HE obtenues à partir de différentes espèces d'eucalyptus tels qu'*Eucalyptus Globulus*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus bicostata*, *Eucalyptus approximans*, *Eucalyptus maidenii*, *Eucalyptus sideroxylon*, *Eucalyptus staigeriana*, *Eucalyptus tereticornis*. D'après la littérature examinée, il était clair que les effets acaricides des huiles essentielles d'eucalyptus dans certains cas sont élevés et pourraient conduire au développement d'un produit commercial respectueux de l'environnement pour contrôler ces parasites (**Barbosa et al., 2016**). Comme indiqué dans le (**Tableau 6**).

Tableau 6: Les HEE avec les activités acaricide (Barbosa et al., 2016).

Espèces d'eucalyptus	Espèces cibles
<i>Approximans</i>	<i>Tetranychus urticae</i>
<i>Bicostata</i>	<i>Tetranychus urticae</i>
<i>Camaldulensis</i>	<i>Varroa destructor</i>
<i>Citriodora</i>	<i>Boophilus microplus</i> , <i>Dermanyssus gallinae</i> , <i>Neoseiulus californicus</i> , <i>Tetranychus urticae</i>
<i>Globulus</i>	<i>Boophilus microplus</i>
<i>Maidenii</i>	<i>Tetranychus urticae</i>
<i>Sideroxylon</i>	<i>Tetranychus urticae</i>
<i>Staigeriana</i>	<i>Boophilus microplus</i> , <i>Dermanyssus gallinae</i>
<i>Tereticornis</i>	<i>Amblyoma variegatum</i>

2.7 Activité larvicide

Les moustiques jouent un rôle prédominant dans la transmission de la malaria, de la dengue, de la fièvre, de la filariose et de plusieurs maladies qui comptent aujourd'hui parmi les grands problèmes de santé dans le monde. Elles provoquent également des réactions allergiques chez les humains, notamment des réactions cutanées locales et systématiques tels que l'œdème de Quincke (Cheng et al., 2009). Le contrôle de ces larves de moustiques dépend souvent d'application continues d'organophosphorés tels que le téméphos et le fenthion et de régulateur de croissance d'insectes tels que le diflubenzuron et le méthoprène. Bien qu'efficaces, leur utilisation répétée a perturbé les systèmes naturels de contrôle biologique et a conduit à des épidémies d'espèces d'insectes, entraînent parfois le développement généralisé de la résistance, a eu des effets indésirables sur les organismes non ciblés et a suscité des préoccupations environnementales et de la santé humaine. Ces problèmes ont mis en évidence la nécessité de développer de nouvelles stratégies de lutte sélective contre les larves de moustiques. Beaucoup d'efforts ont été concentrés sur les extraits de plantes ou les composés phytochimiques en tant que sources potentielles d'agents commerciaux de lutte contre les moustiques ou de composés chimiques bioactifs (Yang et al., 2002). Les HE de plantes peuvent constituer une source alternative d'agent de lutte contre les larves de moustiques, car elles constituent une riche source de composés bioactifs biodégradables en produits non toxiques et potentiellement utilisables dans des programmes de gestion intégrée. En effet, de nombreux chercheurs ont rapporté l'efficacité des huiles essentielles végétales contre les larves moustiques telles que HEECa et HEE *Urophylla* qui montre une activité contre les larves moustiques *Aedes aegypti* et *Aedes albopictus* (S.-S. Cheng et al., 2009). Un article récent a rapporté que l'huile essentielle d'*E. benthamii* fournissait des activités larvicides et adulticides contre *Aedes aegypti* (Alejandro Luci et al., 2012). De plus HEE *Grandis* a un effet délétère sur les stades 3 et 4 d'*Aedes aegypti* et de

Culexquinque fasciatus lorsqu'elle est exposée à la solution acétonique (Dhakad et al., 2017).

2.8 Activité phytotoxique

L'activité phytotoxique a été évaluée sur la germination et l'élongation radicalaire des graines de *Raphanus sativus*, *Lolium multiflorum*, et *Sinapis arvensis*, les résultats montrent que HEE était actif contre la germination et l'élongation radicale tels que *HEE Pyriformis*, *HEE Viminalis*, *HEE Griffithsii*, *HEE Hemiphloia*, *HEE Longicornis*. De nombreux auteurs ont rapporté des effets phytotoxiques et alléopatiques de plusieurs HEE tels que *Eucalyptus citriodora* Hook, *Eucalyptus nicholii* Maiden et Blakely, *Eucalyptus nicholii*, *Eucalyptus globulus* Labill. La phytotoxicité était probablement due à la présence d'eucalyptol : comme suggéré dans la littérature, ce composé peut provoquer une diminution de la germination, inhibant la respiration mitochondriale, la mitose et la synthèse d'ADN (Khedhri et al., 2022).

2.9 Activité antibiofilm

Les HE étaient des inhibiteurs actifs du métabolisme des cellules sessiles, au stade précoce de la formation du biofilm bactérien, et l'activité inhibitrice sur les processus d'adhésion était principalement causée par l'action exercée sur le métabolisme cellulaire. C'est le cas par exemple d'*Acinetobacter baumannii*, contre lequel, à quelque exceptions près, les taux d'inhibition s'élevaient à pas moins de 53,64% (*Eucalyptus viminalis*), et qui atteignait plus de 83% (*Eucalyptus griffithsii*, *Eucalyptus hemiphloia* et *Eucalyptus pyriformis*). Dans le cas d'*Escherichia coli*, la plus forte concentration d'HE utilisée a provoqué une inhibition aussi élevée que 90,7% (*Eucalyptus lesoufii*). En générale, cependant ces HE ont montré une efficacité inhibitrice apparente sur le métabolisme cellulaire de toutes les souches. Une telle efficacité a également été observée dans des tests effectués sur les biofilms matures (Khedhri et al., 2022).

2.10 Activité anticancéreuse

La propriété anticancéreuse de HEE est due à la présence de composés bioactifs tels que le terpinène-4-ol, α -pinène et γ -terpiène. Il a été rapporté que le terpinène-4-ol présente une activité antitumorale en provoquant sélectivement une nécrose et un arrêt du cycle cellulaire dans les cellules de mélanome ou une autre manière consiste à déclencher l'apoptose dépendante de la caspase dans les cellules de mélanome humain. Les propriétés anticancéreuses du terpinène-4-ol ont été étudiées sur des lignées cellulaires humaines

induites par des conditions tumorales. Il a été observé que le terpinène-4-ol inhibait la croissance des cancers colorectaux, pancréatiques, gastriques et de la prostate de manière dose-dépendante (0.005-0.1%) (**Surbhi et al., 2021**), ainsi que les feuilles jeunes et adultes d'*E. benthamii* sont actuellement indiquées comme pratique populaire pour le traitement du cancer. De plus, cette espèce a été prise sous forme de thé obtenu en infusant ses feuilles dans l'eau chaude ou utilisée en inhalation de vapeur. L'infusion est particulièrement recommandée pour les cancers de la gorge, de l'œsophage et de l'estomac ainsi que les lymphomes et le cancer du col de l'utérus. Pour le cancer du poumon, les agriculteurs familiaux et leurs communautés inhalent profondément les fumées issues de l'huile essentielle d'*E. benthamii* (**Doll-Boscardin et al., 2012**).

2.11 Activité analgésique

Selon les études de **Silva et al., (2003)** ont montré que les HEECi, d'eucalyptus *terticornis* et d'eucalyptus *globulus* induisaient des effets analgésique dans les deux modèles, suggérant actions périphériques et centrale.

2.12 Activité antihistaminique

L'histamine est principalement responsable de l'allergie. L'huile de feuilles d'*E. Globulus* est utilisée comme médicament indonésien pour le traitement des allergies. Il a été scientifiquement prouvé que l'HE inhibait la libération d'histamine dépendante des IgE par les cellules RBL-2H3 (**Dhakad et al., 2017**).

2.13 Activité antidiabétique (Antihyperglycemiant)

L'huile essentielle de feuilles d'*E. Globulus* à des propriétés antidiabétiques et antioxydantes, réduit le stress oxydatif en diminuant le taux de glucose plasmatique chez les rats diabétiques, contrôlant ainsi la production inutile de radicaux libres par glycation des protéines. *E. citriodora* a montré une activité antidiabétique importante qui est analogue au médicament standard Glibenclamide. Une étude de Basak et Candan a rapporté une évaluation in vitro des propriétés antidiabétiques de HEECa par l'inhibition de l' α -amylase et de l' α -glucosidase. L' α -amylase et l' α -glucosidase ont été inhibées par un mécanisme non compétitif (**Dhakad et al., 2017**).

2.14 Activité anti-douleur

L'huile de feuilles d'eucalyptus agit comme analgésique naturel et empêche également la zone de contracter une infection, ce qui accélère la guérison en raison de la teneur en cinéole, qui pénètre facilement dans les tissus. Par conséquent, il est souvent suggéré aux patients souffrant de courbatures, de fibrose, de rhumatisme, de lumbago, d'entorses aux ligaments et tendons, de raideurs musculaires et même de douleurs nerveuses d'utiliser l'huile essentielle de feuilles d'eucalyptus. C'est la principale raison de son efficacité dans les décongestionnants et les analgésiques. Les produits à base d'huile d'eucalyptus sont également utilisés dans les médicaments pour le soulagement des douleurs musculaires. HE de feuilles d'*Eucalyptus Radiata* et d'*Eucalyptus Smithi* est également utilisé comme analgésique et anti-fatigue. Il a été rapporté que l'huile de feuilles d'*Eucalyptus staigeriana* était bonne pour l'anxiété, l'agitation, le stress et les comportements difficiles (**Dhakad et al., 2018**).

Conception de l'étude

3.1 Formulation de sujet de recherche

L'objectif de cette étude est d'évaluer les activités biologiques (antibactérienne, antifongique, antioxydante) des huiles essentielles issues de plusieurs espèces d'eucalyptus dans les trois pays de Maghreb (Algérie, Tunisie et Maroc). Cette analyse documentaire a été réalisée suite à une recherche bibliographique dans les bases des données (PubMed, Springer-Link, researchgate et Google scolaire), 130 articles ont été collectés, seuls 84 documents ont été sélectionnés.

Les mots clés introduits dans les moteurs de recherche de ces bases de données sont : "Eucalyptus" AND/OR "Huile essentielle" AND/OR "Activités biologiques" AND/OR "Activité Antibactérienne" AND/OR "Activité Antifongique" AND/OR "Activité Antioxydante" AND/OR "Algérie" AND/OR "Tunisie" AND/OR "Maroc" (En français) et "Eucalyptus" AND/OR "Essential oil" AND/OR "Biological Activity" "Biological activity" AND/OR "Antibacterial activity" AND/OR "Antifungal activity" AND/OR "Antioxidant activity" AND/OR "Algeria" AND/OR "Tunisia" AND/OR "Morocco"

Tableau 7: Nombres d'articles collectés pour chaque base des données.

Mots clés	Google scolaire	Spinger-link	PubMed	Reaserchgate
Eucalyptus	1030000(0.04s)	40.629	5.917	100
Huile essentielle d'eucalyptus	4130	46	46	100
Eucalyptus essential oil	131000(0.04s)	8.452	887	100
Activités biologiques d'eucalyptus	4560	12	78	100
Biological activity of eucalyptus	281000(0.08s)	15 .890	912	100

Tableau 8: Nombres des espèces d'eucalyptus identifiées dans les trois pays de Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc)

Pays	Nombres d'espèces identifiées
Algérie	35
Tunisie	74
Maroc	44

3.2 Sélection et éligibilité

Tableau 9: Critères d'inclusion et d'exclusion

Critères d'exclusion	Critères inclusion
Articles publiés avant 2000	Articles publiées depuis 2000 au 2023
Articles publiés dans d'autres langues que l'anglais et français	Articles et les articles revus
Articles en double (répétés)	Termes de recherche : en rapport à l'eucalyptus, huile essentielle et les activités biologique d'eucalyptus
Articles hors sujets	Nombres d'articles sélectionnés : 84
Mémoires, les livres, les chapitres, les rapports, les thèses	Langue de recherche : français, anglais
Nombres d'articles identifiés : plus que 1000 articles	Pays étudiés : Algérie, Tunisie, Maroc
Nombres d'articles collectés : 130	Nombres d'espèces inclus : 5 Nombres d'espèces inclus : 5 (meme méthode d'extraction, composition chimique CPG, présence d'activité biologique : antibactérienne, antioxydantee, antifongique)
Articles exclus : 46	Activité antibactérienne : méthode de disque de diffusion, méthode de disque de vapeur, test de microatmosphère, méthode de diffusion sur gélose, concentration minimale inhibitrice, concentration minimale bactéricide.
Nombres d'espèces exclus :	Activité antioxydantee : DPPH, Reducing power, b-carotene/linoleic acid, Chelation IC50, TAC, ABTS, TBARS, TEAC, Hydroxyl, NO, ORAC TE*, Liposomes, Inhibition of Lipid Peroxidation, O ₂ .
Algérie : 30	Activité antifongique : méthode de disque diffusion, méthode de disque de vapeur, méthode de disque de diffusion, méthode de volatilisation de disque, méthode de microatmosphère, concentration minimale inhibitrice, concentration minimale fongicide.
Tunisie : 69	
Maroc : 39	

Tableau 10 : Les espèces d'eucalyptus identifiés dans les trois pays de Maghreb.

Algérie	Tunisie	Maroc
	<i>E.globulus</i> <i>E.cladocalyx</i> <i>E.camaldulensis</i> <i>E.punctata</i>	
<i>E.sideroxylon</i>		<i>E.grandis</i>
<i>E.leucoxylon</i>		<i>E. salmonophloia</i>
<i>E.citriodora</i>		<i>E. baueriana</i>
<i>E.robusta</i>		<i>E. smithii</i>
<i>E.ovata</i>		<i>E. bridgesiana</i>
<i>E.gomphocephala</i>		<i>E. microtheca</i>
<i>E.viminalis</i>		<i>E. foecunda</i>
<i>E.bosistoana</i>		<i>E. pulverulenta</i>
<i>E.melliodora</i>		<i>E.cinerea</i>
<i>E.wandoo</i>		<i>E.cinerea</i>
<i>E. albens</i>		<i>E.hemiphloia</i>
<i>E. saligna</i>		<i>E. hemiphloia</i>
<i>E. microcorys</i>		<i>E.torquata</i>
<i>E. blakelyi</i>		<i>E.torquata</i>
<i>E. tereticornis(E.umbellata)</i>		<i>E.brockwayi</i>
		<i>E.brockwayi</i>
<i>E.smithii</i>	<i>E.salmonophloa</i>	<i>E. propinqua</i>
<i>E.astringens</i>	<i>E.grandis</i>	<i>E. erythrocorys</i>
<i>E.botryoides</i>	<i>E.astrengens</i>	<i>E.gomphocephala</i>
<i>E.maculata</i>	<i>E. lehmani</i>	<i>E. tereticornis</i>
<i>E.siderophloia</i>	<i>E.diversicolor</i>	<i>E.milliodora</i>
<i>E.elaeophora</i>	<i>E.wandoo</i>	<i>E.diversicolor</i>
<i>E.microcorys</i>	<i>E. diversifolia</i>	<i>E.dives</i>
<i>E.bicostata</i>	<i>E. dundasii</i>	<i>E.astrengens</i>
<i>E.occidentalis</i>	<i>E. falcata</i>	<i>E. paniculata</i>
<i>E.paniculata</i>	<i>E. kitsoniana</i>	<i>E. occidentalis</i>
<i>E.maideni</i>	<i>E. maculate</i>	<i>E. bosistoana</i>
<i>E.gunnii</i>	<i>E. platypus</i>	<i>E. sargenti</i>
<i>E. amygdalina</i>	<i>E. polyanthemos</i>	<i>E. falcata</i>
<i>E.radiata</i>	<i>E. populifolia</i>	<i>E. wandoo</i>
<i>E.cypellocarpa</i>	<i>E. rudis</i>	<i>E. leucoxylon</i>
	<i>E.maidenii</i>	<i>E. saligna</i>
	<i>E.astrengens</i>	<i>E.viminalis</i>
	<i>E.bicostata</i>	<i>E.sideroxylon</i>
	<i>E. falcata</i>	<i>E. woodwardi</i>
	<i>E. exerta</i>	<i>E.robusta</i>
	<i>E. gunnii</i>	<i>E. salubris</i>
	<i>E. macrorrhyncha</i>	<i>E. flocktoniae</i>
	<i>E. pauciflora</i>	<i>E.erythrocorys</i>
	<i>E. tereticornis</i>	<i>E.sideroxylon</i>
	<i>E. odorata</i>	<i>E.maideni</i>
	<i>E. gigantea</i>	<i>E. fastigata</i>
	<i>E. macarthurii</i>	<i>E.ovata</i>
	<i>E. ficifolia</i>	
	<i>E.lesouefi</i>	
	<i>E.accedens</i>	
	<i>E. griffithsii</i>	

	<i>E. longicornis</i>	
	<i>E. pyriformis</i>	
	<i>E. erythrocorys</i>	
	<i>E. occidentalis</i>	
	<i>E. largiflorens</i>	
	<i>E. stricklandii</i>	
	<i>E. woodwardii</i>	
	<i>E. gillii</i>	
	<i>E. loxophleba</i>	
	<i>E. oldfieldii</i>	
	<i>E. gracilis</i>	
	<i>E. sargentii</i>	
	<i>E. botryoides</i>	
	<i>E. fasciculosa</i>	
	<i>E. alba</i>	
	<i>E. paniculata</i>	
	<i>E. bicolor</i>	
	<i>E. pimpiniana</i>	
	<i>E. oleosa</i>	
	<i>E. incompressa</i>	
	<i>E. salubris</i>	
	<i>E. loxophleba</i>	
	<i>E. microtheca</i>	
	<i>E. intertexta</i>	
	<i>E. obliqua</i>	
	<i>E. striatocalyx</i>	
	<i>E. transcontinentalis</i>	

Les espèces d'eucalyptus retenus dans cette étude selon les critères précédemment cités dans le tableau au dessus sont : *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus cladocalyx*, *Eucalyptus camaldulensis* et *Eucalyptus punctata*.

Résultats & Discussion

4.1 Méthodes d'extraction

Différentes méthodes peuvent être utilisées pour l'extraction des huiles essentielles, la méthode la plus courante est l'hydrodistillation (HD) et la distillation à la vapeur. L'hydrodistillation est la méthode d'extraction des huiles essentielles la plus ancienne et la plus simple (**Zarith Asyikin et al., 2018**), le matériel végétale est complètement immergé dans de l'eau bouillante, il s'agit d'un contact direct entre l'eau bouillante et la matière première (**Reyes-Jurado et al., 2014**), l'avantage de cette technique est capable de protéger les huiles essentielles à extraire à un certain degré sans les surchauffer, sa capacité à isoler le matériel végétal en dessous de 100°C (**Zarith Asyikin et al., 2015**). Ce procédé présente des inconvénients dus principalement à l'action de la vapeur d'eau ou de l'eau à l'ébullition ; certains organes végétaux, en particulier les fleurs, sont trop fragiles et ne supportent pas les traitements par entraînement à la vapeur d'eau et par hydrodistillation, Cependant, le contact direct des constituants de l'HE avec l'eau occasionne des réactions chimiques conduisant à des changements dans la composition finale de l'extrait (**Boukhatem et al., 2019**)

Par contre dans la distillation à la vapeur, le matériel végétale n'est pas en contact direct avec l'eau (**Reyes-Jurado et al., 2014**), soumis à l'action d'un courant de vapeur sans macération préalable (**Boukhatem et al., 2019**), leur avantage est d'éviter certains phénomènes d'hydrolyse ou de dégradation pouvant nuire à la qualité de l'huile. 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, L'emploi en aromathérapie impose de prolonger l'opération aussi longtemps qu'il est nécessaire afin de récupérer la totalité des composants aromatiques volatils (**Boukhatem et al., 2019**). Ainsi que, (**Yildirim et al., 2004**), il a été signalé qu'elle avait un rendement plus élevé en composants antioxydantes que les huiles extraites par hydrodistillation.

4.2 Rendement

Le rendement des huiles essentielles extraites par hydrodistillation à partir des feuilles des espèces d'eucalyptus dans les trois pays de Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc) varie entre (1.63-6.0%) pour l'huile essentielle d'eucalyptus *citriodora* (HEECi), (0.30-5.1%) pour HEECl, (0.74-4.5%) pour HEEG, (0.30-4.21%) pour HEECa, (1.3-1.41%) pour HEEP.

En Algérie, les principaux données recueillies sur Les rendements des cinq huiles essentielles d'eucalyptus ont varié selon les espèces de (1.63-3.4%) pour HEECi suivi par (0.2-2.53%) pour HEEG, (0.30-1.45%) pour HEECa, (1.41%) pour HHEP et finalement (0.49%) pour HEECl.

En Tunisie, Les principaux donnés recueillies sur les rendements des cinq huiles essentielles d'eucalyptus ont varié selon les espèces de (2.9-6.0%) pour HEECi suivi par (1.9-5.1%) pour HEECl, (0.73-3.8%) pour HEEG, (1.4%) pour HEEP et finalement (0.73-1.32%) pour HEECa.

Au Maroc, les principaux donnés recueillies sur Les rendements des cinq huiles essentielles d'eucalyptus ont varié selon les espèces de (2.46-4.5%) pour HEEG suivi par (4.3%) pour HEECi, (0.84-4.21%) pour HEECa, (1.3%) pour HEEP et finalement (0.30-0.8) pour HEECl.

Le rendement le plus important des huiles essentielles d'eucalyptus extraient par hydrodistillation est enregistré pour l'espèce *citriodora* acclimatée en Tunisie (2.9-6.0%). Par contre le plus faible rendement est observé pour l'espèce *cladocalyx* acclimatée en Algérie (0.49%). De plus, l'huile essentielle des feuilles d'eucalyptus *punctata* a montré des rendements similaires entre les trois pays (1.3-1.41%)

Les résultats de cette analyse bibliographique dans l'ensemble des trois pays de Maghreb ont montrés que les huiles essentielles d'*eucalyptus globulus* caractérisés par un pourcentage plus au moins élevé que ce du Congo (44.3%) (**Cimanga et al., 2002**), kenya (17.2%), Egypt (21.4%) (**Barbosa et al., 2016**), HEECa est riche en 1.8-cineole que d'Argentina (19.1%), HEECi d'Algérie et Tunisie est riche en citronellal que de china (55.3-65.9%), d'Australie (68.9%), Colombie (40.0) (**Olivero-Verbel et al., 2010**), Inde (52.23%) (**Batish et al., 2005**) et Taiwan (49.5%) (**Su et al., 2006**), d'autre part HEECi de Tunisie et Maroc est plus riche en 1.8-cineole que du Kenya (11.2%) (**Barbosa et al., 2016**). Cependant, les valeurs observés pour HEEP en Australie (1.3 – 1.57%) sont presque similaires aux celles cités dans la littérature pour les trois pays de Maghreb (**Elaissi et al., 2021**).

Tableau 11: Rendements des espèces d'eucalyptus dans les trois pays de Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc)

Espèces d'eucalyptus	Algérie		Tunisie		Maroc	
	Rendements %	Références	Rendements %	Références	Rendements %	Références
<i>Globulus</i>	2.53 %	Harkat-Madouri <i>et al.</i> , 2015	3.8%	Elaissia <i>et al.</i> , 2010	4.5%	Habbadi <i>et al.</i> , 2022
	2.5%	Daroui-Mokaddem <i>et al.</i> , 2010	1.25%	Ben Slimane <i>et al.</i> , 2014	3,38%	Farah <i>et al.</i> , 2002
	2.46%	Benabdesslem <i>et al.</i> , 2020	0.74	Jerbi <i>et al.</i> , 2017	3%	Jaber <i>et al.</i> , 2021
	1.87%	Boukhatem <i>et al.</i> , 2014			2,46%	Farah <i>et al.</i> , 2002
	1.1%	Benayache <i>et al.</i> , 2001			1.21	Barbosa <i>et al.</i> , 2016
<i>Camaldulensis</i>	1.45 %	Fenghour <i>et al.</i> , 2021	1.32%	Haouel & Mediouni, 2010	4.21 %	Habbadi <i>et al.</i> , 2022
	0.84%	Raho Ghalem & Benali, 2014	1.3%	Elaissia <i>et al.</i> , 2010	1,40 %	Hmiri <i>et al.</i> , 2011
	0,99 %	Mehani et Segni.2014	0.73	Sliti <i>et al.</i> , 2015		
	0.7%	Benayache <i>et al.</i> , 2001			0.84%	Farah <i>et al.</i> , 2002
	0.30	Boukhatem <i>et al.</i> , 2014				
<i>Punctata</i>	1.41%	Faudil-Cherif <i>et al.</i> , 2000	1.4%	Elaissi <i>et al.</i> , 2021	1.3%	Ameur <i>et al.</i> , 2021
<i>Citriodora</i>	3.4%	Benchaa <i>et al.</i> , 2018	6.0%	Elaissi <i>et al.</i> , 2020	4.3%	Habbadi <i>et al.</i> , 2022
	2.26%	Tolba <i>et al.</i> , 2015	3.3%	Elaissia <i>et al.</i> , 2011		
	1.63	Boukhatem <i>et al.</i> , 2014	2.9%	Amri <i>et al.</i> , 2023		
<i>Cladocalyx</i>	0.49%	Faudil-Cherif <i>et al.</i> , 2000	5.1%	Elaissi <i>et al.</i> , 2021	0.8 %	Fouad <i>et al.</i> , 2015
			3.06%	Ben Hassine <i>et al.</i> , 2010	0.30%	Farah <i>et al.</i> , 2002
			1.9%	Elaissi <i>et al.</i> , 2011		

4.3 Composition chimique

Les composants majeurs des huiles essentielles d'eucalyptus sont variés d'une espèce à une autre et d'un pays à l'autre. À titre d'exemple, le 1.8-cineole peut atteindre 95.61 % pour HEEG, et 78.11% pour HEECi, 65.55% pour HEECa, 58.2% pour HEEP, et enfin 44.0% pour HEECl.

En Algérie, le **1.8-cineole** est le composant majeur de la majorité des espèces étudiées (3/5) essentiellement pour *E. Globulus*, sa teneur est comprise entre 94.03% pour HEEG, 58.9% pour HEECa, et (58.2%) pour HEEP. Cependant, le citronellal est marqué comme un composant majeur seulement pour *E.citriodora* (69.77%).

Le deuxième composant majeur observé dans les huiles essentielles d'eucalyptus est le Benzaldéhyde, sa teneur est de (32.3%) dans l'espèce *Cladocalyx*.

En Tunisie, le 1.8-cineole est le composant principal de la majorité des espèces étudiées (3/5) essentiellement pour *E.Globulus*, sa teneur est comprise entre 95.61%, (71.19%) pour HEECl, (54.1%) pour HEECi, (53.8%) pour HEEG. Cependant, le citronellal est marqué comme un composant majeur seulement pour *E.citriodora* (78.7%). Le p-cymène est le composant majeur pour deux espèces (2/5) essentiellement pour *E.camaldulensis*, sa teneur est comprise entre (29.77%) pour HEECa et (28.7%) pour HEEP.

Au Maroc, le 1.8-cineole est le composant majeur de la majorité des espèces étudiées (5/5) essentiellement pour *E.Globulus*, sa teneur est comprise entre (90.14%) pour HEEG, (78.11%) pour HEECi, (65.55%) pour HEECa, (44.0%) pour HEEP et HEECl.

Les résultats de cette analyse bibliographique dans l'ensemble des trois pays de Maghreb ont montré que les huiles essentielles d'eucalyptus *globulus* caractérisées par un pourcentage plus ou moins élevé que ce du Congo (44.3%) (**Cimanga et al., 2002**), Kenya (17.2%), Egypte (21.4%) (**Barbosa et al., 2016**), HEECa est riche en 1.8-cineole que d'Argentine (19.1%), HEECi d'Algérie et Tunisie est riche en citronellal que de Chine (55.3-65.9%), d'Australie (68.9%), Colombie (40.0) (**Jesus Olivero-Verbel et al., 2010**), Inde (52.23%) (**Batish et al., 2005**) et Taiwan (49.5%) (**Su et al., 2006**), d'autre part HEECi de Tunisie et Maroc est plus riche en 1.8-cineole que du Kenya (11.2%) (**Barbosa et al., 2016**)

Les HEECa de Taiwan sont pauvres en 1.8-cineole (9.48-29.6%) (**Su et al., 2006**) et (**Cheng et al., 2009**) que ceux d'Algérie et Maroc, par contre HEECl est riche en p-cymène que du Taiwan (21.7%) (**Cheng et al., 2009**). Il est aussi intéressant de noter que HEECl de

Tunisie et Maroc est libre de benzaldehyde que HEECl d'Algérie et d'Uruguay (34.20%) **(Faudil-Cherif et al., 2000)**

Cette variation dans le rendement et la composition chimique des huiles essentielles des espèces d'eucalyptus était influencée par certains facteurs tels que l'âge des feuilles, le moment de récolte, l'origine géographique, la méthode de distillation, de plus pour le genre eucalyptus la quantité et la composition des feuilles peuvent varier de façon saisonnière et diurne pour certaines plantes, en fonction des conditions environnementales **(Sebei et al., 2015)**, les composants des huiles essentielles varient non seulement selon les espèces végétales mais aussi en fonction du climat, de la composition du sol, de la partie de la plante **(Ben slimane et al., 2014)**. La variation pourrait être due à la fréquence d'hybridation chez le genre eucalyptus **(Elaissi et al., 2020)**. La petite différence dans les pourcentages peut être due à plusieurs facteurs tels que le patrimoine génétique, les facteurs biotiques et abiotiques **(Amri et al., 2023)** ainsi que les facteurs exogènes tels que les précipitations, la température, la lumière, la lumière d'altitude et les facteurs endogènes liés principalement aux caractéristiques anatomiques, physiques et génétiques de la plante, contrôlant la biosynthèse des huiles essentielles. L'environnement peut influencer l'ADN des plantes aromatiques, ce qui entraîne des génotypes différents **(Elaissi et al., 2021)**. La différenciation dans les rendements et les constituants chimiques peut être aussi attribué à la variétés végétales, localisation, saison d'échantillonnage, régime de fertilité, mode de séchage du matériel végétal **(Siramon et al., 2013)**

La qualité, la quantité et la composition des huiles essentielles extraites modifiées en fonction de l'organe de la plante et des étapes du cycle de la vie végétale **(Zarith Asyikin et al., 2018)**.

Tableau 12 : Composition chimique des HEE en Algérie

HEEG					
Boukhatem <i>et al.</i> , 2020	Djenane <i>et al.</i> , 2011	Benayache <i>et al.</i> , 2001	Daroui- Mokaddem <i>et al.</i> , 2010	Atmani-Merabet <i>et al.</i> , 2018	Harkat-Madouri <i>et al.</i> , 2015
1,8-Cineole (94.03%) α -Pinene (2.93%) γ -Terpinene (1.93%)	1,8-cinéole (81,70%) γ -terpinène (8,50%) α-pinène (2,30%) p-cymène (1,07%)	1.8-cinéole 71.3% α -pinene (8.8%) limonene (2.7%) trans- pinocarveol (3.3%) α -terpineol (2.7%) Globulol (1.6%)	1.8-cinéole (48.6%) Trans- pinocarveol (10.7%) Globulol (10.9%) α -Pinene (9.7%) α -Terpineol (6.6%) Aromadendrane (4.6%) Pinocarvone (1.0%)	1,8-cineole (78.45%) o-cymene (2.18%) Isopinocarveole (1.74%) α -pinene (1.69%) α -terpineol (1.36%) Pinocarvone (1.34%) Veridiflorol (1.31%) Spathulenol (1.05%)	1,8-Cineole (55.29%) Isovaleraldehyde (10.04%) Spathulenol (7.44%) α -Terpineol (5.46%) α -pinene (4.61%) Cryptone (3.10%) Globulol (2.96%) o-Ocymene (1.83%) 2-pentanone-4- hydroxy-4- methyl (1.69%) Caryophyllene- oxide (1.66%)
HEECi			HEECa	HEECI	HEEP
Benchaa <i>et al.</i> , 2018	Tolba <i>et al.</i> , 2015		Benayach <i>et al.</i> , 2001	Faudil-cherif <i>et al.</i> , 2000	Faaudil- cherif <i>et al.</i> , 2000
Citronellal (64.7%) Citronellol (10.9%) Citronelly lacetate (3.2%) Caryophyllene oxide (1.5%) 1,8-Cineole (1.0%)	Citronellal (69.77%) Citronellol (10.63%) Isopulegol (4.66%) p-Menthane-3,8- diol (2.76%) Citronellyl acetate (2.16%) β -Caryophyllene (1.34%)		1.8-cinéole (38.6%) Limonen (4.5%) p-cymen (15.2%) sabinen (3.6%) α -pinene (2.8%) spathulenol (4.0%) α -terpineol (2.8%)	Benzaldehyde (32.3%) 1.8-cinéole (14.9%) β -phellandrene (12.1%) p-cyrnene (9.0%) α -pinene (6.7%) α -phellandrene (4.1%) terpinen-4-ol (1.5%) p-cymen-8-ol (2.5%) α -thujene (1.1%)	1 .8-cinéole (58.2%) α -pinene (7.7%) β -pinene (4.1%) p-cymen (8.8%) trans- pinocarveol (2.8%) p-cymen-8-ol (2.5%) α -terpineol (1.6%) rnyrtenal (1.5%)

HEEG : Huile Essentielle D'eucalyptus Globulus ; HEECi : huile essentielle d'eucalyptus citriodora, HEECa : huile essentielle d'eucalyptus camaldulensis, HEECI : huile essentielle d'eucalyptus cladocalyx, HEEP : huile essentielle d'eucalyptus punctata.

Tableau 13: Composition chimique des HEE de Tunisie

HEEG			HEECI			HEEP
Noumi <i>et al.</i> , 2011	Ben slimane <i>et al.</i> , 2014	Elaisia <i>et al.</i> , 2011	Elaissia <i>et al.</i> , 2011	Ben Hassine <i>et al.</i> , 2010	Elaissi <i>et al.</i> , 2021	Elaissia <i>et al.</i> , 2021
1-8-cineole (95.61%) α -pinene (1.50%)	1. 8-Cineol (43.18%) α -Pinene (13.61%) β -Cymene (3.95%) trans-Pinocarveol (3.76%) Pinocarvone (2.99%) α -Terpineol (1.65%) 4-Carene (6.90%) Allo-Aromandrene (2.23%) α -Gurjunene (1.33%) Ledene (1.06%)	1,8-Cineole (53.8%) α -Pinene (12.1%) limonene (2.4%) globulol (4.4%) pinocarvone (1.7%) trans-Pinocarveol (3.7%) α -Terpineol (3.3%) Aromadendrene (3.4%) Isospathulenol (1.9%)	1,8-cineole (39.2%) Globulol (12.7%) Methyl amyl acetate (8.9%) Aromadendrene (8.7%) α -Pinene (3.9%) Viridiforol (2.6%) Epiglobulol (2.3%) trans-Pinocarveol (2.0%) Rosifoliol (1.7%)	1-8cinéole (71.19%) Oxyde de β -caryophyllène (6.74%) α thujène (5.53%) α pinène (2.92%) α -copaène (2.49%) α -campholénal (2.44%) Cédrol (1.66%)	1,8-cineole (39.2%) Globulol (12.7%) Methyl amyl acetate (8.9%) Aromadendrene (8.7%) α -Pinene (3.9%) Viridiforol (2.6%) Epiglobulol (2.3%) trans-Pinocarveol (2.0%) Rosifoliol (1.7%)	<i>p</i> -cymene (28.7%) 1,8-cineole (20.7%) Cryptone (8.4) β -pinene (5.4) α -Pinene (4.2) trans-Pinocarveol (4.2%) <i>p</i> -Cymen-8-ol (3.0%) Cuminaldehyde (2.1%) Spathulenol (1.6%)

.....suite au Tableau 13

HEECa			HEECi		
Elaissia et al., 2012	Sliti et al., 2015	Yangi et al., 2017	Amri et al., 2023	Elaissi et al., 2011	Elaissi et al., 2020
<i>Spathulenol</i> (28.0%) <i>p</i> -Cymene (11.7%) <i>Cryptone</i> (12.7%) <i>1,8-Cineole</i> (3.7) <i>Terpinene-4-ol</i> (2.0) <i>Phellandra</i> (3.7) <i>Thymol</i> (1.0%) <i>Aromadendrene</i> (0.3%) <i>Viridiflorol</i> (1.0%). <i>Limonene</i> (0.3%)	(+)- <i>Spathulenol</i> (20.2%) <i>p</i> -Cymene (14.83%) <i>1,8-Cineole</i> (12.16%) <i>Cryptone</i> (7.02%) <i>Globulol</i> (6.16%) <i>Phellandral</i> (6.0%) <i>Terpen-4-ol</i> (4.72%) α -Pinene (3.06%) <i>p</i> -Menth-2-en-1-ol (1.88%) δ -Terpinene (1.36%) <i>Carvacrol</i> (1.5%) <i>Allo-aromadendrene</i> (1.20%) <i>Iso-Spathulenol</i> (1.05%)	<i>p</i> -cymen (29.77%) <i>Phellandral</i> (17.44%) <i>Cryptone</i> (13.07%) <i>b</i> -Phellandrene (11.58%) <i>b</i> -Panasinsene (6.23%) <i>y</i> -terpinenr (4.04%) <i>Cuminaldehyde</i> (4.0%) <i>Cymenene</i> (2.26%) <i>Carvacrol</i> (1.37%)	<i>Citronellal</i> (48.7%) <i>Citronellol</i> (20.2%) <i>Isopulegol</i> (8.1%) <i>Citronellylacetate</i> (8.1%) <i>trans-β-terpineol</i> (4.1%) <i>caryophylleneoxide</i> (2.5%) <i>spathulenol</i> (1.4%)	<i>1,8-cineole</i> (54.1%) <i>α-pinene</i> (23.6%) <i>α-Terpineol</i> (3.0%) <i>p</i> -Cymene (2.8%) <i>limonene</i> (2.5%) <i>trans-Pinocarveol</i> (2.3%) <i>Pinocarvone</i> (1.6%) <i>Borneol</i> (1.5%)	<i>Citronellal</i> (78.7%) <i>Isopulegol</i> (4.7%) <i>Citronellol</i> (4.0%) <i>Citronellylacetate</i> (3.6%) <i>β-Pinene</i> (1.8%) <i>1.8-Cineole</i> (1.2%)

Tableau 14 : Composition chimique des HEE de Maroc

<i>HEEG</i>						<i>HEEP</i>	<i>HEECi</i>
<i>Farah et al., 2002</i>	<i>Farah et al., 2002</i>	<i>Ait-Ouazzou et al., 2011</i>	<i>Habbadi et al., 2022</i>	<i>Assaggaf et al., 2022</i>	<i>Jaber et al., 2021</i>	<i>Elaissi et al., 2021</i>	<i>Habbadi et al., 2022</i>
1,8-cinéole (74,18) α -pinène (7,57) α -terpinéol (1,80) Acétate d' α -terpinyl (1,20) Spathuléno l(1,50)	1,8-cinéole (81,00) Trans- pinocarvéol (2,00) Bornéol (1,00) Globulol (2,00)	1,8-cinéole (79.85) Limonene (6.72) p-cymen (5.14) y-terpinene (3.93)	1-8Cineole (71.69) α -Pinene (15.21) β -Pinene2 (3.73) ρ -Cymene (3.39)	,8-cineole (90.14) α -pinene (3.85) γ -terpinene (2.39)	1.8 cineole(55.9) Globulol(12.99) α -Terpineol(5.52) α -Pinene(4.67) β -Pinene(2.07)	1,8-cineole (44.0%) α -pinene (19.6%)	1-8Cineole (78.11) α -Pinene (12.21) β -Pinene-2 (5.27) Aromadendrene (1%)

..... suite au Tableau 14

HEECI			HEECa		
Elaissi et al., 2021	Farah et al., 2002	Fouad et al., 2015	Hmiri et al., 2011	Farah et al., 2002	Habbadi et al., 2022
1,8-cineole (44.0%) α -pinene (19.6%)	α -pinène (23,05%) p-cymène (16.30%) 1,8-cinéole (13,70%) β -pinène (6.30%) Trans-pinocarvéol (4.30%) Nérol (3.20%) Globulol (2.10%) a-phéllandrène(1.90%) Terpinen-4-ol(1.30%) Trans-carvéol (1.20%)	Spathulenol (21.6%) 1.8-Cineole (20.5%) p-Cymene (15.1%) Terpinen-4-ol (1.8%)	1,8-cinéole (42,30%) α -pinène (28,30%) γ -terpinène (7,30%) p-cymène (6,50%) trans-pinocarvéol (1,50%) terpinen-4-ol (1,40%) pinocarvone (1,10%) β -pinène (1,00%) α -thujène (1,00%)	1,8-cinéole (50,69%) α -pinène (11,23%) p-cymène (11,24%) Spathulénol (4,90%) Terpinen-4-ol (4,58%) β -pinène (1.88%) Nérol (1,31%) Trans-pinocarvéol (1,46%)	1-8Cineole (65.55%) α -Pinene (10.24%) ρ -Cymene (3%) β -Pinene-2 (2.33%) γ -Gurjunene (1.97%)

4.4 Activités biologiques des huiles essentielles d'eucalyptus dans les trois pays de Maghreb

Les activités biologiques des huiles essentielles d'eucalyptus sont variées d'une espèce à une autre et d'un pays à l'autre.

4.4.1 Activité Antibactérienne (Algérie, Tunisie, Maroc)

Tableau 15 : les diamètres de zone d'inhibition par HEE en Algérie

H.E.E/Méthode/Dose	Microorganismes	Diamètre de zone d'inhibition	Références
HEEG méthode de disque de diffusion Dose (20µL ;40µL ;60µL)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> .Gram(-)	-	Boukhatem et al., 2020
	<i>Enterobacter sakazakii</i> .Gram(-)	12mm-15mm-25mm	
	<i>Klebsiella ornithinolytica</i> .Gram(-)	(-)-10mm-19mm	
	<i>Escherichia coli</i> .Gram(-)	11mm-19mm-34mm	
	<i>Bacillus cereus</i> .Gram(+)	15mm-35mm-50mm	
	<i>Staphylococcus aureus</i> .Gram(+)	18mm-48mm-85mm	
HEEG méthode de disque de vapeur Dose (20µL ;40µL ;60µL)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> .Gram(-)	-	
	<i>Enterobacter sakazakii</i> .Gram(-)	(-)-85mm-85mm	
	<i>Klebsiella ornithinolytica</i> .Gram(-)	-	
	<i>Escherichia coli</i> .Gram(-)	(-)-(-)-36mm	
	<i>Bacillus cereus</i> .Gram(+)	24mm-40mm-59mm	
	<i>Staphylococcus aureus</i> .Gram(+)	41mm-85mm-85mm	
HEEG Test de microatmosphère Dose (20 µl)	<i>Staphylococcus aureus</i>	40 mm	Chalem et Benali. 2008
	<i>Escherichia coli</i>	24 mm	
HEEG méthode de diffusion sur gélose	<i>Salmonella enteritidis</i>	35,26 mm	Djenane et al., 2011
HEEG Concentration minimale inhibitrice (CMI)	<i>Salmonella enteritidis</i>	8(µl/ml)	
HEEG CMI	<i>Fusobacterium nucleatum</i> Gram(-)	1.14(µl /mL)	Harkat-Madouri et al., 2015
	<i>Aggregatibacter actinomycetemcomitans</i> Gram(-)	9.13(µl /mL)	
	<i>Porphyromonas gingivalis</i> Gram(-)	0.28(µl /mL)	
	<i>Porphyromonas gingivalis</i> Gram(-)	4.56(µl /mL)	
	<i>Porphyromonas gingivalis</i> Gram(-)	2.28(µl /mL)	
	<i>Streptococcus mutans</i> Gram(+)	11.4(µl /mL)	
	<i>Streptococcus sobrinus</i> Gram(+)	11.4(µl /mL)	
HEEG Méthode de diffusion sur disque	<i>Citrobacter freundii</i>	12(mm)	Daroui-Mokaddem et al., 2010
	<i>Enterobacter aerogenes</i>	15(mm)	
	<i>Escherichia coli</i>	16(mm)	
	<i>Escherichia coli</i>	20(mm)	
	<i>Proteus mirabilis</i>	18(mm)	
	<i>Providencia alcalifaciens</i>	12(mm)	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	20(mm)	
	<i>Bacillus thuringiensis</i>	32(mm)	
	<i>Bacillus subtilis</i>	0	
	<i>Staphylococcus aureus</i>	16(mm)	

H.E.E/méthodes/doses	Microorganismes	Diamètre de zone d'inhibition	Références
HECa CMI	<i>Entérocoques faecalis</i>	0	Fenghour et al., 2021
	<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	0.08 µL/mL	
	<i>Staphylococcus aureus</i>	0.09 µL/mL	
	<i>Escherichia coli</i>	0.08 µL/mL	
	<i>Klebsiella pneumonia</i>	0.09 µL/mL	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	
	<i>Proteus mirabilis</i>	0.36 µL/mL	
HECa méthode de diffusion sur gélose	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	6.33 mm	Mehani et Segni .2014
	<i>Escherichia coli</i>	9.69 mm	
	<i>Porteus</i>	10 mm	
	antibactère	11.66mm	
HECa test diffusion sur disque	<i>Escherichia coli</i>	10-31mm	Ghalem et Benali.2014
	<i>Staphylococcus aureus</i>	10mm-25mm	
HECa Test de microatmosphère Dose (20 µl)	<i>Staphylococcus aureus</i> .Gram (+)	30 mm	Ghalem et Benali.2008
	<i>Escherichia coli</i> Gram (-)	18 mm	
HECa Méthode de diffusion sur gélose Dose (10 µL)	<i>Entérocoques faecalis</i>	0	Fenghour et al., 2021
	<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	12.03mm	
	<i>Staphylococcus aureus</i>	17.50mm	
	<i>Escherichia coli</i>	15.60mm	
	<i>Klebsiella pneumonia</i>	13.66mm	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	
	<i>Proteus mirabilis</i>	8.20mm	
HECi méthode disque de diffusion Dose (10µL ;20µL; 30µL)	<i>Escherichia.coli</i>	26mm-38mm-40mm	Tolba et al., 2018
	<i>Salmonella enteritidis</i>	9mm-11mm-14.5mm	
	<i>Salmonella Typhi Murium</i>	9mm-12mm-13.5mm	
	<i>Salmonella Gallinarum Pullorum</i>	11.5mm-14.5mm-15.5mm	
	<i>Staphylococcus.aureus</i>	20mm-24mm-26mm	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	
	<i>Corynebacterium striatum</i>	20.5mm-31.5mm-44mm	
	<i>Bacillus subtilis</i>	16mm-30mm-41mm	
	<i>Salmonella seftenberg</i>	10mm-14mm-15mm	
	<i>Staph epidermidis</i>	50mm-51mm-66mm	
HECi méthode de diffusion de vapeur Dose (10µL ;20µL; 30µL)	<i>Escherichia.coli</i>	13.5mm-19mm-31mm	Tolba et al., 2018
	<i>Salmonella enteritidis</i>	0	
	<i>Salmonella Typhi Murium</i>	0	
	<i>Salmonella Gallinarum Pullorum</i>	0	
	<i>Staphylococcus.aureus</i>	13mm-17mm-20mm	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	
	<i>Corynebacterium striatum</i>	14mm-16mm-18mm	
	<i>Bacillus subtilis</i>	13mm-48mm-49mm	
	<i>Salmonella seftenberg</i>	0	
	<i>Staphylocoque epidermidis</i>	27mm-38mm-42mm	
	<i>Enterococcus faecalis</i>	0	
HECi (CMI)	<i>Staph saprophyticus</i>	14mm-26mm-32mm	Tolba et al., 2018
	<i>Escherichia.coli</i>	5(µl/ml)	
	<i>Salmonella enteritidis</i>	>20(µl/ml)	
	<i>Salmonella Typhi Murium</i>	>20(µl/ml)	
	<i>Salmonella Gallinarum Pullorum</i>	>20(µl/ml)	
	<i>Staphylococcus.aureus</i>	1.25(µl/ml)	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	
	<i>Corynebacterium striatum</i>	1.25(µl/ml)	
	<i>Bacillus subtilis</i>	0.6(µl/ml)	
	<i>Salmonella seftenberg</i>	>20(µl/ml)	
	<i>Staphylocoque epidermidis</i>	0.6(µl/ml)	
	<i>Enterococcus faecalis</i>	0	
	<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	1.25(µl/ml)	

Tableau 16 : Diamètres de zone d'inhibition (mm) par HEE en Tunisie par la méthode de diffusion sur gélose.

Microorganismes	HEEG Elaissi et al., 2022	HECa Elaissi et al., 2012	HECl Elaissi et al., 2021	HEEP Elaissi et al., 2021
<i>Staphylococcus aureus</i> . Gram (+)	9.0	11.7	8.0	9.7
<i>Escherichia coli</i> Gram(-)	8.0	7.3	15.7	6.0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> Gram(-)	8.7	7.0	6.0	6.0
<i>Enterococcus faecalis</i> Gram(+)	8.7	9.0		
<i>Haemophilus influenzae</i> Gram(-)			6.0	11.7
<i>Haemophilus parainfluenzae</i> Gram(-)			6.3	10.7
<i>Klebsiella pneumoniae</i> Gram(-)			15.0	7.0

Tableau 17 : la concentration minimale inhibitrice et bactéricide par HEE en Tunisie.

Microorganismes	HEECa (Sliti et al., 2015)	
	CMI (%)	Concentration minimale bactéricide (CMB) (%)
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.1	0.5
<i>Streptococcus agalactiae</i>	0.5	1
<i>Escherichia coli</i>	1.5	2.5
<i>Salmonella enteritidis</i>	1	-
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	1	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1	-

Tableau 18: Diamètre des zones d'inhibition par l'huile essentielle d'eucalyptus au Maroc

HEE	Microorganismes	Zone de diamètre d'inhibition	Références
HEEG méthode de disque de diffusion	<i>Staphylococcus aureus</i>	14.0	Ait-Ouazzou et al., 2011
	<i>Listeria monocytogenes</i>	12.5	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	0	
	<i>Enterococcus faecalis</i>	0	
	<i>Escherichia coli</i>	0	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	
HEEG CMI	<i>Staphylococcus aureus</i>	10.0(µL/ ml)	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	2.0(µL/ mL)	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5.0(µL/ mL)	
	<i>Enterococcus faecalis</i>	10.0(µL/ mL)	
	<i>Salmonella enteritidis</i>	5.0(µL/ mL)	
	<i>Escherichia coli</i>	10.0(µL mL)	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	30.0(µL/ mL)	
HEEG CMB	<i>Staphylococcus aureus</i>	30.0(µL/ mL)	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	5.0(µL/ mL)	
	<i>Listeria monocytogenes</i>	15(µL/ mL)	
	<i>Enterococcus faecalis</i>	15.0(µL/ mL)	
	<i>Salmonella enteritidis</i>	15(µL/ mL)	
	<i>Escherichia coli</i>	30.0(µL/ mL)	
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	>30.0(µL/ mL)	
HEEG test diffusion sur disque	<i>Allorhizobium vitis strain</i>	14.25%	Habbadi et al., 2022
HEEG CMI	<i>Allorhizobium vitis strain</i>	40 µL/mL	
HEECa test diffusion sur disque	<i>Allorhizobium vitis strain</i>	14.01%	
HEECa CMI	<i>Allorhizobium vitis strain</i>	40 µL/mL	
HEECi test diffusion sur disque	<i>Allorhizobium vitis strain</i>	13.67%	
HEECi CMI	<i>Allorhizobium vitis strain</i>	40 µL/mL	

Les zones de diamètres d'inhibitions des bactéries par l'huile essentielles d'eucalyptus est varié entre (6.0-85mm) dans les trois pays de Maghreb, la valeur la plus faible est observé pour HEEG de Tunisie, par contre la valeur maximale a été enregistré pour HEEG en Algérie.

En Algérie, le diamètre de zone d'inhibition le plus élevé a été enregistré pour HEEG qui atteint 85 mm avec une concentration d'huile essentielle (40-60 µl) contre la bactérie *Staphylococcus aureus* et *Entobacter Sakazakii*. En suite HEEG montre aussie une activité anti-salmonelle moyenne contre *Salmonella enteritidis* (35,26) avec une dose en l'huile (40-60 µl), la CMI de HEEG varie entre (0.28-11.4mg/mL). La bactérie la plus résistante en HEEG est *Bacillus subtilus*, HEECa montre un diamètre de zone d'inhibition plus au moins élevé (31mm) contre *Escherichia coli* et la CMI varie entre (0.36-0.08), les bactéries les plus résistantes pour cette huile sont *Pseudomonas aeruginosa* et *Enterococcus faecalis*

HEECi montre un diamètre de zone d'inhibition qui peut atteinte (66mm, a une dose de 30µL) contre *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Enterococcus faecalis*

sont les plus résistantes, par contre *Salmonella enteritidis*, *Salmonella Typhimurium* et *Salmonella Gallinarum Pullorum* qui sont sensibles en l'huile dans la phase liquide deviennent résistantes dans la phase de vapeur. La CMI de HEECi est $>20(\mu\text{L}/\text{mL})$ pour *Salmonella enteritidis*, *Salmonella Typhi Murium*, *Salmonella Gallinarum Pullorum* et *Salmonella seftenberg*.

En Tunisie, Le diamètre de la zone d'inhibition des huiles essentielles des espèces d'eucalyptus variait de (6.0-15.7mm). La plus large zone d'inhibition a été obtenue pour HEECl contre *Escherichia coli* et *Klebsiella pneumonia* (15.7-15.0mm) suivi par HEECa (11.7) contre *Staphylococcus aureus* et HEEP contre *Haemophilus influenzae* par contre HEEG montre un diamètre de zone d'inhibition modéré (9.0mm), cela montre que l'espèce bactérienne la plus sensible est *Escherichia coli* par contre l'espèce la plus résistante est *Pseudomonas aeruginosa*. La CMI de HEECa varie entre (0.1-1.5%), cependant la CMB pour la même huile varie entre (0.5-2.5%).

Au Maroc, le diamètre de zone d'inhibition est de (12.5-14.25) pour HEEG, (14.01%) pour HEECa et (13.67%) pour HEECi, cependant la concentration minimale inhibitrice est similaire pour les trois huiles (40 $\mu\text{L} / \text{mL}$) par contre la concentration minimale bactéricide est ($>30.0 \mu\text{L} / \text{mL}$) pour HEEG.

En général, les souches bactériennes à Gram (+) sont plus sensibles à l'huile essentielle d'eucalyptus que celles à Gram (-). Ceci peut être rationalisé en considérant que les bactéries à Gram(-) possèdent une membrane lipopolysaccharidique qui est restrictive à la diffusion des composés hydrophobes. De plus, le contact direct entre les composants hydrophobes des huiles essentielles et la bicouche phospholipidique de la membrane cellulaire peut se produire chez les bactéries à Gram(+). En conséquence, les composants exercent leurs effets tels que l'augmentation de la perméabilité aux ions, la fuite de composants intracellulaires vitaux ou compromettent les enzymes bactériennes (Barbosa et al., 2016).

4.4.2 Activités Antioxydantes des espèces d'eucalyptus dans les trois pays de Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc)

Tableau 19 : Activité antioxydante des HEE en Algérie.

Méthodes	HEEG		HEECi
	Harkat-Madouri <i>et al.</i> , 2015	Boukhatem <i>et al.</i> , 2020	Tolba <i>et al.</i> , 2018
DPPH	33.33 (mg/mL)	2.48 (mg/mL)	0.896 mg/ml
Reducing power	115.39 (mg/mL)		
β -carotene/linoleic acid	6.753(mg/mL)		
Chelation IC50		8.43 (mg/mL)	

Tableau 20 : Activité antioxydante des HEE en Tunisie

Méthodes	HEECi	HEECa	HEEG
	Amri <i>et al.</i> , 2023	Sliti <i>et al.</i> , 2015	Ref
TAC (mg GAE/g)	80.21		
DPPH (IC50 mg/mL)	71.37	342	57
ABTS (IC50mg/mL)	53.26		
O ₂ .-			14
RP EC50			48
β -carotenes IC50			48

O₂ : Superoxide anion radical-scavenging activity, TAC: Total antioxydant capacity, RP : Reducing power, DPPH : 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, ABTS : L'acide 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique).

Tableau 21 : Activité antioxydante des HEE au Maroc

Méthodes	HEEG		
	Aazza <i>et al.</i> , 2014	Aazza <i>et al.</i> , 2011	Assaggaf <i>et al.</i> , 2022
DPPH		34.8	0.37 mg/mL
TBARS		1.109 (mg/mL)	
TEAC	1.43		
Hydroxyl	2.90		
NO	60.4 (mg/ mL)		
ORAC TE*	5.9		
Chelating	0.05		
Liposomes	3.66		
LPIC			0.17 mg/mL
RP			0.29 mg/mL

TBARS : Thiobarbituric Acid Reactive Substance, TEAC : Trolox equivalent antioxydant capacity, NO : Monoxyde d'azote, ORAC : Oxygen radical absorbance capacity, LPIC : Capacité d'inhibition de la Peroxidation liquide, TE* : Trolox Equivalent

En Algérie, HEEG possède une activité antioxydante plus au moins élevée qui varie entre (2.48-33.33 mg/mL) selon l'essai de piégeage des radicaux DPPH que HEECi (0.896 mg/ml). Par contre HEEG montre une activité antioxydante avec une concentration d'inhibition (IC₅₀) qui peut atteindre 115.39 (mg/mL) selon l'essai du pouvoir de réduction (RP), 6.753(mg/mL) avec β -carotène/linoléic acid, 8.43 (mg/mL) avec l'essai de Chélation.

En Tunisie, la forte activité antioxydante a été enregistrée pour HEECa selon l'essai de piégeage des radicaux DPPH (342 mg/mL) suivi par HEECi (71.37 mg/mL) et HEEG (57 mg/mL), par contre HEECi a montré une activité antioxydante avec le test TAC (80.21 mg GAE/g), ainsi que HEEG montre une activité modérée avec une concentration efficace médiane (EC₅₀) (48 mg/mL) selon le test de RP et une concentration inhibitrice de (48 mg/mL) avec le test de β -carotènes.

Au Maroc, HEEG montre une activité antioxydante plus au moins élevée avec le test au monoxyde d'azote (NO) (60.4mg mL⁻¹) et une activité modérée avec le test DPPH. Cependant cette huile a enregistré une faible activité antioxydante par les autres tests.

L'activité antioxydante la plus élevée a été enregistrée pour l'espèce *E.camaldulensis* en Tunisie (IC₅₀=342mg/mL) selon le l'essai de piégeage des radicaux DPPH, par contre la plus faible activité a été enregistrée pour l'espèce *E. Globulus* de Maroc (0.05 mg/mL) avec le test de chélation.

4.4.3 Activité antifongique des huiles essentielles d'eucalyptus dans les trois pays de Maghreb (Algérie, Tunisie, Maroc)

Tableau 22 : Activité antifongiques des HEE en Algérie.

HEE	Souches fongiques	Zone de diamètre d'inhibition	Références
HEECi méthode de disque de diffusion Dose (10 µl ;20 µl ;30 µl)	<i>Microsporum canis</i>	64mm-90mm-90mm	Tolba et al., 2015
	<i>Microsporum gypseum</i>	12mm-12mm-29.5mm	
	<i>Trichophyton mentagrophytes</i>	65mm-90mm-90mm	
	<i>Trichophyton rubrum</i>	39mm-90mm-90mm	
HEECi méthode de diffusion de vapeur Dose (10 µl ;20 µl ;30 µl)	<i>Microsporum canis</i>	90mm-90mm-90mm	
	<i>Microsporum gypseum</i>	R-R-24.5mm	
	<i>Trichophyton mentagrophytes</i>	48.5mm-90mm-90mm	
	<i>Trichophyton rubrum</i>	24mm-33mm-37.5mm	
HEECi CMI	<i>Microsporum canis</i>	0.6(µl /mL)	
	<i>Microsporum gypseum</i>	5(µl /mL)	
	<i>richophyton mentagrophytes</i>	1.25(µl /mL)	
	<i>Trichophyton rubrum</i>	0.6(µl /mL)	
HEECi CMF	<i>Microsporum canis</i>	1.25(µl /mL)	
	<i>Microsporum gypseum</i>	5(µl /mL)	
	<i>Trichophyton mentagrophytes</i>	1.25(µl /mL)	
	<i>Trichophyton rubrum</i>	1.25(µl /mL)	
HEEG test de disque de diffusion 20µl ; 40µl ; 60µl	<i>Candida albicans</i>	(-)-11mm-40mm	Boukhatem et al., 2020
	<i>Candida albicans</i>	10mm-25mm-27mm	
	<i>Candida albicans</i>	14mm- 19mm- 24mm	
	<i>Candida parapsilosis</i>	12mm- 17mm- 20mm	
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	11mm- 37mm- 49mm	
	<i>Trichosporon sp.</i>	16mm- 34mm- 39mm	
HEEG test de volatilisation de disque 20µl ; 40µl ; 60µl	<i>Candida albicans</i>	-	
	<i>Candida albicans</i>	(-)(-)-53mm	
	<i>Candida albicans</i>	85mm- 85mm 85mm	
	<i>Candida parapsilosis</i>	85mm- 85mm 85mm	
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	(-)(-)-59mm	
	<i>Trichosporon sp.</i>	21mm- 85mm- 85mm	
HEEG Test disque de diffusion 20µl ; 40µl ; 60µl	<i>Aspergillus niger</i>	12mm- 21mm- 29mm	
	<i>Aspergillus niger</i>	(-)-10mm-15mm	
	<i>Aspergillus fumigatus</i>	-	
	<i>Aspergillus flavus</i>	-	
	<i>Aspergillus brasiliensis</i>	(-)(-)-14mm	
HEEG Test de volatilisation de disque 20µl ; 40µl ; 60µl	<i>Aspergillus niger</i>	-	
	<i>Aspergillus niger</i>	-	
	<i>Aspergillus fumigatus</i>	-	
	<i>Aspergillus flavus</i>	-	
	<i>Aspergillus brasiliensis</i>	(-)-43mm-85mm	

Tableau 23 : Activité antifongique des HEE en Tunisie.

HEE	Souches fongiques	Pourcentage d'inhibition %	Référence
HEECi	<i>Fusarium culmorum</i>	100	Amri et al., 2023
	<i>Fusarium pseudograminearum</i>	100	
	<i>Fusarium graminearum</i>	100	
	<i>Fusarium proliferatum</i>	100	
	<i>Fusarium avenaceum</i>	100	
	<i>Fusarium nygamai</i>	100	
	<i>Fusarium verticillioides</i>	100	
	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	77.64	

HEEG d'Algérie montre une activité antifongique avec un diamètre de zone d'inhibition (85mm) a (20µl) de l'huile contre les levures *Candida albicans*, *Candida parapsilosis*, *Trichosporon sp* et contre les moisissures *Aspergillus brasiliensis* dans la phase de volatilisation ainsi HEECi présent une activité antifongique très intéressante contre les souches fongique *Microsporum canis*, *Trichophyton mentagrophytes* et *Trichophyton mentagrophytes* (99mm) avec une dose de (10 µl) ainsi que la concentration minimale inhibitrice et fongique la plus élevé est enregistré pour *Microsporum gypseum* (5µl /mL) par contre HEECi de Tunisie montre une activité antifongique très intéressante (77.64-100) contre toute les souche fongiques testés.

Dans l'ensemble, les activités biologiques des huiles essentielles affichées une variation considérable entre les différentes huiles d'espèces d'eucalyptus dans les trois pays de Maghreb. Cette variation pourrait être attribuée à leur composition chimique différente (**Elaissi et al., 2012**), la plus forte activité antibactérienne était surtout évidante pour HEEG d'Algérie ainsi que l'activité antioxydante, antifongique, qui sont fortement liés au pourcentage de 1.8-cineole et d'autres composants mineurs tell que α -Pinene ,suivi par HEEG de Maroc et Tunisie. Par contre les HEECi d'Algérie et Tunisie possède une activité antifongique plus élevé et presque similaire avec une différenciation de (10%) seulement, cette différenciation est due au pourcentage du deuxième composant majeur qui le citronellol (10.63 % pour l'Algérie et 20.2% pour Tunisie), HEECi de Tunisie montre une activité antioxydante plus élevé que d'Algérie grâce a sa richesse en citronellal et en citronellol. HEECa de Tunisie montre une faible activité antibactérienne par rapport au HEECa d'Algérie car il est pauvre en 1.8-cineole. Cependant, d'autre résultat obtenus par d'autre chercheurs ont montré que HEECi et HEEG d'Algérie renferme une activité antimicrobienne plus au moins élevé que du Congo avec un diamètre de zone d'inhibition qui varie entre (8-16mm) pour HEECi et (6-22mm) pour HEEG, cette variation est due a une différenciation dans le pourcentage de composés majeurs (1.8-cineole et citronellal) et au certains composés mineurs tels que citronellol, Isopulegol et citronellyl acétate (**Cimanga et al., 2002**)

En générale, l'activité antibactérienne la plus élevée ne dépendait pas seulement d'un pourcentage moyen élevé sur un composé majeur tel que le 1.8-cineole (**Elaissi et al., 2021**) mais elle dépend de la combinaison synergique des composés mineurs et majeurs (**Habbadi et al., 2022**), ainsi que la technique de test, la source botanique de la plante, l'âge de la plante, l'état du matériel végétal utilisé (séché ou frais), la quantité d'huile utilisée pour le test et la technique d'isolement sont quelques facteurs impliqués dans la grande variation d'activité (**Cimanga et al., 2002**). Ainsi que la variation du pouvoir antioxydant peut etre lié la composition chimique, la méthode de distillation et des aspects environnementaux de l'âge, des conditions de stockage et des situations géoclimatiques. Ainsi que les contrôles positifs et les unités utilisées ne sont pas les meme (**Boukhatem et al., 2020**)

De nombreux rapports ont attribué diverses activités biologiques à des composants particuliers de l'huile essentielle d'eucalyptus et ont constaté que la variation de la composition de l'huile étaient généralement associées à des changements substantiels d'activité, en particulier les propriétés antibactériennes, analgésiques, antiviral, antioxydante, fumigant et insecticide (**Sliti *et al.*, 2015**).

Conclusion

L'huile essentielle d'eucalyptus globulus est doté par une activité antibactérienne plus importante que les autres, cependant l'huile essentielle d'eucalyptus citriodora est marquée par ces propriétés antifongique et antioxydantes

Cette activité biologique est fortement liée à la composition chimique de chaque huile, en effet, les huiles riches en cinéole sont marquées par un effet antibactérien, tandis que les huiles riches en citronellal montrent une activité antifongique plus notable. Ces activités biologiques ne sont pas toujours liées aux composants majeurs tels que le 1,8-cinéole mais ils ont aussi une relation avec les composants mineurs car une simple différence dans ces composés peut induire une influence et une variation d'activité d'une espèce à une autre et d'un pays à un autre.

Références bibliographiques

Abdellah Farah, Badr Satrani, Mohamed Fechtal, Abdelaziz Chaouch & Mohamed Talbi (2001) Composition chimique et activités antibactérienne et antifongique des huiles essentielles extraites des feuilles d'Eucalyptus camaldulensis et de son hybride naturel (clone 583), *Acta Botanica Gallica*, 148:3, 183-190

Abdellah Farah, Mohamed Fechtal, Abdelaziz Chaouch. Effet de l'hybridation interspécifique sur la teneur et la composition chimique des huiles essentielles d'eucalyptus cultivés au Maroc, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2002 6 (3), 163–169

Abdenour Ait-Ouazzou, Susana Loran, Mohammed Bakkali, Amin Laglaoui, Carmen Rota, Antonio Herrera, Rafael Pagan and Pilar Conchello. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils of *Thymus algeriensis*, *Eucalyptus globulus* and *Rosmarinus officinalis* from Morocco, *J Sci Food Agric* 2011; 91: 2643–2651

Adel-sellami, madiha, et al. "l'entomofaune associée au gommier rouge (eucalyptus camaldulensis dehn, 1832) dans l'algérois." *bull. Soc. Zool. Fr* 145.3 (2020): 341-355.

Alejandro Lucia & Laura W. Juan & Eduardo N. Zerba & Leonel Harrand & Martín Marcó & Hector M. Masuh. Validation of models to estimate the fumigant and larvicidal activity of Eucalyptus essential oils against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae), *Parasitol Res* (2012) 110:1675–1686

Ali Yildirim, Ahmet Cakir, Ahmet Mavi, Mehmet Yalcin, Gunter Fauler and Yavuz Taskesenligil. The variation of antioxidant activities and chemical composition of essential oils of *Teucrium orientale* L. var. *orientale* during harvesting stages, *Flavour Fragr. J.* 2004; 19: 367–372

Amel Bouzabata, Ange Bighelli, Lahouari Abed, Joseph Casanova and Félix Tomi. Composition and Chemical Variability of Eucalyptus bosistoana Essential Oil from Algerian Sahara, *Natural Product Communications* Vol. 9 (5) 2014

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

Ameur Elaissi , Zyed Rouis , Samia Mabrouk , Karima Bel Haj Salah , Mahjoub Aouni , Mohamed Larbi Khouja , Farhat Farhat , Rachid Chemli and Fethia Harzallah-Skhiri. Correlation Between Chemical Composition and Antibacterial Activity of Essential Oils from Fifteen Eucalyptus Species Growing in the Korbous and Jbel Abderrahman Arboreta (North East Tunisia), *Molecules* 2012, 17, 3044-3057

Ameur Elaissi, Sarra Moumni, Kevin Roeleveld and Mohamed Larbi Khouja. Chemical Characterization of Five Tunisian Eucalyptus Essential Oils Species, *Chem. Biodiversity* 2020, 17, e1900378

Ameur Elaissia, Hane`ne Medinia, Mohamed Larbi Khoujab, Monique Simmonds , Frederic Lynend, Farhat Farhate, Rachid Chemlia, and Fethia Harzallah-Skhiri. Variation in Volatile Leaf Oils of Five

Eucalyptus Species Harvested from Jbel Abderrahman Arboreta (Tunisia), CHEMISTRY & BIODIVERSITY – Vol. 8 (2011)

Amri, I.; Khammassi, M.; Ben Ayed, R.; Khedhri, S.; Mansour, M.B.; Kochti, O.; Pieracci, Y.; Flamini, G.; Mabrouk, Y.; Gargouri, S.; et al. Essential Oils and Biological Activities of Eucalyptus falcata, E. sideroxylon and E. citriodora Growing in Tunisia. Plants 202, 12, 816.

Asma Ben Ghnaya • Mohsen Hanana • Ismail Amri • Hazar Balti • Samia Gargouri • Bassem Jamoussi • Lamia Hamrouni. Chemical composition of Eucalyptus erythrocorys essential oils and evaluation of their herbicidal and antifungal activities, J Pest Sci (2013) 86:571–577

Assaggaf, H.M.; Naceiri Mrabti, H.; Rajab, B.S.; Attar, A.A.; Hamed, M.; Sheikh, R.A.; Omari, N.E.; Menyiy, N.E.; Belmehdi, O.; Mahmud, S.; et al. Singular and Combined Effects of Essential Oil and Honey of Eucalyptus Globulus on Anti-Inflammatory, Antioxidant, Dermatoprotective, and Antimicrobial Properties: In Vitro and In Vivo Findings. Molecules 2022, 27, 5121.

Bachir Raho Ghalem, Benali Mohamed. Antibacterial activity of essential oil of north west Algerian Eucalyptus camaldulensis against Escherichia coli and Staphylococcus aureus, Journal of Coastal Life Medicine 2014; 2(10): 799-804

Bachir Raho Ghalem, Benali Mohamed. Antibacterial activity of leaf essential oils of Eucalyptus globulus and Eucalyptus camaldulensis, African Journal of Pharmacy and Pharmacology Vol. 2(10). pp. 211-215, December, 2008

Badreddine Ben Slimane, Olfa Ezzine, Samir Dhahr, and Mohamed Lahbib Ben Jamaa. Essential oils from two Eucalyptus from Tunisia and their insecticidal action on Orgyia trigotephra (Lepidoptera, Lymantriidae), Biological Research 2014, 47:29

ben hassine dorsaf, ben ismail hanen, jribi chokri, khouja mohamed larbi and abderrabba manef. Chemical composition of some Tunisian Eucalyptus essential oils as obtained by hydrodistillation using Clevenger type apparatus, Biosci., Biotech. Res. Asia, Vol. 7(2), 647-656 (2010)

BOUKHATEM Mohamed Nadjib, FERHAT Amine et KAMELI Abdelkrim. MÉTHODES D'EXTRACTION ET DE DISTILLATION DES HUILES ESSENTIELLES, Revue Agrobiologia (2019) 9(2): 1653-1659

Bouyahya, A., et al. "Résistance aux antibiotiques et mécanismes d'action des huiles essentielles contre les bactéries." *Phytothérapie* 16.S1 (2018): S173-S183.

D. Djenane, K. Lefsih1, J. Yangüela, P. Roncalés. Composition chimique et activité anti-Salmonella enteritidis CECT 4300 des huiles essentielles d'Eucalyptus globulus, de Lavandula angustifolia et de Satureja hortensis. Tests in vitro et efficacité sur les œufs entiers liquides conservés à 7 ± 1 °C, Phytothérapie (2011) 9: 343–353

Daizy R. Batisha, Harminder Pal Singhb, Nidhi Setiaa, Shalinder Kaura and Ravinder K. Kohli. Chemical Composition and Inhibitory Activity of Essential Oil from Decaying Leaves of *Eucalyptus citriodora*, Z. Naturforsch. 61 c, 52-56 (2006)

Dhahri, Samir, and M. L. Ben Jamâa. "Les insectes ravageurs des Eucalyptus en Tunisie." *Ann. INRGREF* 12.2 (2008): 363-372.

Dhakad, Ashok K., et al. "Biological, medicinal and toxicological significance of Eucalyptus leaf essential oil: a review." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98.3 (2018): 833-848.

Dikshit Rathva, Prince Pal, Devendra Parmar, Dr. Siddhi Upadhyay, Dr. Umesh Upadhyay. A Basic Review on Eucalyptus Oil, International Journal of Pharmaceutical Research and Applications Volume 5, Issue 2, pp: 771-781 (2008)

DÖLL-BOSCARDIN, Patrícia Mathias, SARTORATTO, Adilson, SALES MAIA, Beatriz Helena Lameiro de Noronha, *et al.* In vitro cytotoxic potential of essential oils of *Eucalyptus benthamii* and its related terpenes on tumor cell lines. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2012, vol. 2012.

Elaissi Ameer, Moumni Sarra , Derbali Yosra , Khouja Mariem , Abid Nabil, Frederic Lynen and Khouja Mohamed Larbi. Chemical composition of essential oils of eight Tunisian Eucalyptus species and their antibacterial activity against strains responsible for otitis, BMC Complement Med Ther (2021) 21:209

Emira Noumi, Mejdi Snoussi, Hafedh Hajlaoui, Najla Trabelsi, Riadh Ksouri, Eulogio Valentin and Amina Bakhrouf. Chemical composition, antioxidant and antifungal potential of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) and *Eucalyptus globulus* essential oils against oral *Candida* species, Journal of Medicinal Plants Research Vol. 5(17), pp. 4147-4156, 9 September, 2011

Farah, Abdellah, et al. "Composition chimique et activités antibactérienne et antifongique des huiles essentielles extraites des feuilles d'*Eucalyptus camaldulensis* et de son hybride naturel (clone 583)." *Acta botanica gallica* 148.3 (2001): 183-190.

Fatima Reyes-Jurado • Avelina Franco-Vega • Nelly Ramírez-Corona • Enrique Palou • Aurelio López-Malo. Essential Oils: Antimicrobial Activities, Extraction Methods, and Their Modeling, Food Eng Rev

Ghania Atmani-Merabet, Abdelmalik Belkhiri¹, Mohamed Abdeslam Dems, Abdeldjalil Lalaouna, Zakaria Khalfaoui, Bouzid Mosbah. Chemical composition, toxicity and acaricidal activity of *Eucalyptus globulus* essential oil from Algeria, Curr. Issues Pharm. Med. Sci., Vol. 31, No. 2, Pages 89-93, 2018

H. Fenghour, H. Bouabida, D. Dris, M. Houhamdi. Antibacterial effect of essential oils of two plants *Eucalyptus camaldulensis* and *Artemisia herba alba* on some bacterial strains, Biosyst. Divers., 2021, 29(2)

Habbadi Khaoula , El Iraqui EL Houssaini Salma , Benbouazza Abdellatif , Benali Taoufiq and Achbani El Hassan . (2022), Yield, phytochemical characterization and anti-*Allorhizobium vitis* activity of essential oils from four *Eucalyptus* species growing in Morocco, AFRIMED AJ –Al Awamia (137). p. 87-101

Hajer Naceur Ben Marzoug , Mehrez Romdhane , Ahmed Lebrihi , Florence Mathieu , François Couderc , Manef Abderraba , Mohamed Larbi Khouja and Jalloul Bouajila. Eucalyptus oleosa Essential Oils: Chemical Composition and Antimicrobial and Antioxidant Activities of the Oils from Different Plant Parts (Stems, Leaves, Flowers and Fruits), *Molecules* 2011, 16, 1695-1709

Hajer Naceur Ben Marzoug, Jalloul Bouajila, Monia Ennajar, Ahmed Lebrihi, Florence Mathieu, François Couderc, Manef Abderraba and Mehrez Romdhane. Eucalyptus (gracilis, oleosa, salubris, and salmonophloia) Essential Oils: Their Chemical Composition and Antioxidant and Antimicrobial Activities, *J Med Food* 13 (4) 2010, 1005–1012

Haouel, S, Mediouni-Ben Jemâa, J and Khouja, M.L. 2010. Postharvest control of the date moth *Ectomyelois ceratoniae* using eucalyptus essential oil fumigation. *Tunisian Journal of Plant Protection* 5: 201-212.

Hassna Jaber , Asmaa Oubihi,¹ Imane Ouryemchi,¹ Rachid Boulamtat , Ali Oubayoucef , Brahim Bourkhiss and Mohammed Ouhssine. Chemical Composition and Antibacterial Activities of Eight Plant Essential Oils from Morocco against *Escherichia coli* Strains Isolated from Different Turkey Organs, *Biochemistry Research International* Volume 2021, Article ID 6685800, 9 pages

Helena Sovová and Slavcho A. Aleksovski. Mathematical model for hydrodistillation of essential oils, *Flavour Fragr. J.* 2006; 21: 881–889

Islem Yanguï, Meriem Zouaoui Boutiti, Mohamed Boussaidb, Chokri Messaoud. Essential oils of Myrtaceae species growing wild in Tunisia: Chemical variability and antifungal activity against *Biscogniauxia mediterranea*, the causative agent of charcoal canker

Jeane Silva, Worku Abebe, S.M. Sousa, V.G. Duarte, M.I.L. Machado, F.J.A. Matos. Analgesic and anti-inflammatory effects of essential oils of *Eucalyptus*, *Journal of Ethnopharmacology* 89 (2003) 277–283

Jesus Olivero-Verbel, Luz S Nerio and Elena E Stashenko. Bioactivity against *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) of *Cymbopogon citratus* and *Eucalyptus citriodora* essential oils grown in Colombia, *Pest Manag Sci* (2010)

K. Cimanga, K. Kambu, L. Tona, S. Apers, T. De Bruyne, N. Hermans, J. Totte, L. Pieters, A.J. Vlietinck. Correlation between chemical composition and antibacterial activity of essential oils of some aromatic medicinal plants growing in the Democratic Republic of Congo, *Journal of Ethnopharmacology* 79 (2002) 213–220

Khaled Sebei, Fawzi Sakouhi , Wahid Herchi , Mohamed Larbi Khouja and Sadok Boukhchina. Chemical composition and antibacterial activities of seven *Eucalyptus* species essential oils leaves, *Biological Research* 2015, 48:7

Khedhri, S.; Polito, F.; Caputo, L.; Manna, F.; Khammassi, M.; Hamrouni, L.; Amri, I.; Nazzaro, F.; De Feo, V.; Fratianni, F. Chemical Composition, Phytotoxic and Antibiofilm Activity of Seven *Eucalyptus* Species from Tunisia. *Molecules* 2022, 27, 8227.

Kouki, H.; Polito, F.; De Martino, L.; Mabrouk, Y.; Hamrouni, L.; Amri, I.; Fratianni, F.; De Feo, V.; Nazzaro, F. Chemistry and Bioactivities of Six Tunisian Eucalyptus Species. *Pharmaceuticals* 2022, 15, 1265.

Kouki, H.; Polito, F.; De Martino, L.; Mabrouk, Y.; Hamrouni, L.; Amri, I.; Fratianni, F.; De Feo, V.; Nazzaro, F. Chemistry and Bioactivities of Six Tunisian Eucalyptus Species. *Pharmaceuticals* 2022, 15, 1265.

KOUL, Opende, WALIA, Suresh, et DHALIWAL, G. S. Essential oils as green pesticides: potential and constraints. *Biopesticides international*, 2008, vol. 4, no 1, p. 63-84.

LILA BOULEKBACHE-MAKHLOUF, EMMANUELLE MEUDEC, MOHAMED CHIBANE, JEAN-PAUL MAZAURIC, SAKINA SLIMANI, MAX HENRY, VERONIQUE CHEYNIER AND KHODIR MADANI. Analysis by High-Performance Liquid Chromatography Diode Array Detection Mass Spectrometry of Phenolic Compounds in Fruit of Eucalyptus globulus Cultivated in Algeria, *J. Agric. Food Chem.* 2010, 58, 12615–12624

Lila Harkat-Madouri , Boudria Asmaa , Khodir Madani , Zakia Bey-Ould Si Saida , Peggy Rigouc , Daniel Grenier , Hanane Allaloua , Hocine Remini , Abdenmour Adjaouda , Lila Boulekbache-Makhlouf. Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of essential oil of Eucalyptus globulus from Algeria, *Industrial Crops and Products* 78 (2015) 148–153

Luiz Claudio Almeida Barbosa, Claudinei Andrade Filomeno and Robson Ricardo Teixeira. Chemical Variability and Biological Activities of Eucalyptus spp. *Essential Oils, Molecules* 2016, 21, 1671

Marien, Jean-Noël, and A. Idrissi Azami. "Le développement des plantations clonales d'eucalyptus au Maroc-Une dynamique toujours plus actuelle." *Forêt méditerranéenne* 32.1 (2011): 31-38.

Mohamed Nadjib Boukhatem , Asma Boumaiza , Hanady G. Nada , Mehdi Rajabi and Shaker A. Mousa. Eucalyptus globulus Essential Oil as a Natural Food Preservative: Antioxidant, Antibacterial and Antifungal Properties In Vitro and in a Real Food Matrix (Orangina Fruit Juice), *Appl. Sci.* 2020, 10, 5581

Mohamed Nadjib Boukhatem¹, Ferhat Mohamed Amine, Abdelkrim Kameli, Fairouz Saidi , Kerkadi Walid , Sadok Bouziane Mohamed. Quality assessment of the essential oil from Eucalyptus globulus Labill of Blida (Algeria) origin, *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy* 17(3) (2014) 303-315

Mouna MEHANI et Ladjel SEGN. Effet antimicrobien des huiles essentielles de la plante Eucalyptus camadulensis sur certaines bactéries pathogènes, *Annales des Sciences et Technologie* Vol. 6, N 1, Mai 2014

Mrs. Vishin A. Patil *, Mr. Sachin A. Nitave. A REVIEW ON EUCALYPTUS GLOBULUS: A DIVINE MEDICINAL HERB, *WORLD JOURNAL OF PHARMACY AND PHARMACEUTICAL SCIENCES*, Volume 3, Issue 6, 559-567.

Murti, Y., Divya, J. A. Ī. N., Semwal, B. C., SINGH, S., Janmeda, P., & Bhaskar, P. (2023). Innovative methods for extraction of essential oils from medicinal plants. *International Journal of Secondary Metabolite*, 10(2), 190-230.

Naithani, H. B. "Botany of genus Eucalyptus." *Botany of Genus Eucalpytus; Bhojvaid, PP, Kaushik, S., Singh, YP, Kumar, D., Thapliyal, M., Barthwal, S., Eds* (2014): 1-20.

Nakatsu, T., Lupo Jr, A. T., Chinn Jr, J. W., & Kang, R. K. (2000). Biological activity of essential oils and their constituents. *Studies in natural products chemistry*, 21, 571-631.

Nikhil Chandorkar, Srushti Tambe, Purnima Amin, Chandu Madankar. A systematic and comprehensive review on current understanding of the pharmacological actions, molecular mechanisms, and clinical implications of the genus Eucalyptus, *Phytomedicine Plus* 1 (2021) 100089

Polito, F.; Kouki, H.; Khedhri, S.; Hamrouni, L.; Mabrouk, Y.; Amri, I.; Nazzaro, F.; Fratianni, F.; De Feo, V. Chemical Composition and Phytotoxic and Antibiofilm Activity of the Essential Oils of Eucalyptus bicostata, E. gigantea, E. intertexta, E. obliqua, E. pauciflora and E. tereticornis. *Plants* 2022, 11, 3017

Pornpun Siramon , Yoshito Ohtani and Hideaki Ichiura. Chemical Composition and Antifungal Property of Eucalyptus camaldulensis Leaf Oils from Thailand, *Rec. Nat. Prod.* 7:1 (2013) 49-53

Rida Fouad , Dalila Bousta , Abdelhakim El Ouali Lalami , Fouad Ouazzani Chahdi , Ismail Amri , Bassem Jamoussi , Hassane Greche. Chemical Composition and Herbicidal Effects of Essential Oils of Cymbopogon citratus (DC) Stapf, Eucalyptus cladocalyx, Origanum vulgare L and Artemisia absinthium L. cultivated in Morocco, *TEOP* 18 (1) 2015 pp 112 – 123

S. Benayache , F. Benayache , S. Benyahia , Jean-Claude Chalchat & Raymond-Philippe Garry (2001) Leaf Oils of some Eucalyptus Species Growing in Algeria, *Journal of Essential Oil Research*, 13:3, 210-213

Saadaoui, Ezzeddine, et al. "An overview of adaptative responses to drought stress in spp." *Forestry Studies* 67.1 (2017): 86-96.

Salehi, B., Sharifi-Rad, J., Quispe, C., Llaïque, H., Villalobos, M., Smeriglio, A., ... & Martins, N. (2019). Insights into Eucalyptus genus chemical constituents, biological activities and health-promoting effects. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 609-624.

Samira Sliti , Sameh Ayadi , Feten Kachouri , Mohamed Arbi Khouja, Manef Abderrabba , Nabiha Bouzouita. Leaf essential oils chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of Eucalyptus camaldulensis and E. rudis from korbous (Tunisia), *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (3) (2015) 743-748

Sara Benchaa, Mohamed Hazzit and Hacene Abdelkrim. Allelopathic Effect of Eucalyptus citriodora Essential Oil and Its Potential Use as Bioherbicide, *Chem. Biodiversity* 2018, 15, e1800202

Sawalha, H.; Abiri, R.; Sanusi, R.; Shaharuddin, N.A.; Noor, A.A.M.; Ab Shukor, N.A.; Abdul-Hamid, H.; Ahmad, S.A. Toward a Better Understanding of Metal Nanoparticles, a Novel Strategy from Eucalyptus Plants. *Plants* 2021, 10, 929.

Sen-Sung Cheng, Chin-Gi Huang, Ying-Ju Chen, Jane-Jane Yu, Wei-June Chen, Shang-Tzen Chang. Chemical compositions and larvicidal activities of leaf essential oils from two eucalyptus species, *Bioresource Technology* 100 (2009) 452–456.

Shama HMIRI , Mohamed RAHOUTI, Zakaria HABIB , Badr SATRANI , Mohamed GHANMI et Mustapha EL ajjour. évaluation du potentiel antifongique des huiles essentielles de mentha pulegium et d'eucalyptus camaldulensis dans la lutte biologique contre les champignons responsables de la détérioration des pommes en conservation, Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, Vol. 80, 2011, p.824 – 836

Smail Aazza, Badiâ Lyoussi and Maria G. Miguel. Antioxidant and Antiacetylcholinesterase Activities of Some Commercial Essential Oils and Their Major Compounds, *Molecules* 2011, 16, 7672-7690

Smail Aazaa,b, Badiâ Lyoussib , Cristina Megíasc , Isabel Cortés-Giraldoc , Javier Vioquec , A. Cristina Figueiredod and Maria G. Miguel. Anti-oxidant, Anti-inflammatory and Anti-proliferative Activities of Moroccan Commercial Essential Oils, *Natural Product Communications* Vol. 9 (4) 2014, 587 – 594

Stackpole, D. J., Vaillancourt, R. E., Alves, A., Rodrigues, J., & Potts, B. M. (2011). Genetic variation in the chemical components of *Eucalyptus globulus* wood. *G3: Genes| Genomes| Genetics*, 1(2), 151-159.

Su YC, Ho CL, Wang IC, Chang ST. 2006. Antifungal activities and chemical compositions of essential oils from leaves of four eucalypts. *Taiwan J For Sci* 21(1):49-61

Surbhi, Kumar, A., Singh, S., Kumari, P., & Rasane, P. (2021). Eucalyptus: phytochemical composition, extraction methods and food and medicinal applications. *Advances in Traditional Medicine*, 1-12.

Tolba H, et al. Essential oil of Algerian *Eucalyptus citriodora*: Chemical composition, antifungal activity. *Journal De Mycologie Médicale* (2015)

TOLBA H., MOGHRANI H., ABOUN A. and MAACHI R., Essential oil of Algerian *Eucalyptus citriodora*: Chemical composition, antimicrobial activity, *Nature & Technology Journal*, Vol. B : Agronomic and Biological Sciences, 18 (2018) 105-111

Vipin Kesharwani, Shashank Gupta, Nikhil Kushwaha, Roohi Kesharwani and Dilip KM Patel. A review on therapeutics application of eucalyptus oil, *International Journal of Herbal Medicine* 2018; 6(6): 110-115

Y. Foudil-Cherif , B. Y. Meklati , A. Verzera , L. Mondello & G. Dugo (2000) Chemical Examination of Essential Oils from the Leaves of Nine *Eucalyptus* Species Growing in Algeria, *Journal of Essential Oil Research*, 12:2, 186-191

Yang, Young-Cheol, et al. "A piperidine amide extracted from *Piper longum* L. fruit shows activity against *Aedes aegypti* mosquito larvae." *Journal of agricultural and food chemistry* 50.13 (2002): 3765-3767.

Yasmina Benabdesslem , Kadda Hachem & Moubarek Mébarki (2020) Chemical Composition of the Essential Oil from the Leaves of *Eucalyptus globulus* Labill. Growing in Southwest Algeria, *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 23:5, 1154-1160

Yasmina Benabdesslem, Kadda Hachem, Moubarek Mébarki. Chemical Composition of the Essential Oil from the Leaves of *Eucalyptus globulus* Labill. Growing in Southwest Algeria, *TEOP* 23 (5) 2020 pp 1154 – 1160

Zarith Asyikin Abdul Aziz¹, Akil Ahmad¹, Siti Hamidah Mohd Setapar, Alptug Karakucuk, Muhammad Mohsin Azim, David Lokhat, Mohd. Rafatullah, Magdah Ganash, Mohammad A. Kamal and Ghulam Md Ashraf. Essential Oils: Extraction Techniques, Pharmaceutical And Therapeutic Potential - A Review, Current Drug Metabolism, 2018, Vol. 19, No. 00

Zrira, S., et al. "Chemical composition of the essential oil of nine Eucalyptus species growing in Morocco." *Flavour and fragrance journal* 19.2 (2004): 172-175.

Büşra Çakaloğlu, Vasfiye Hazal Özyurt, Semih Ötleş. Cold press in oil extraction. A review, Ukrainian Food Journal. 2018. Volume 7. Issue 4

Mounchid K, N. Dersi, A. Bellik, T. Aboussaouira, A. Rachidai, K. Zarrouck, A. Tantaoui-Elaraki, M. Alaoui-Ismaili. Caractérisation chimique et recherche ; effet antibactérien des huiles essentielles de Rosmarinus officinalis, Eucalyptus globulus et Mentha pulegium du sud marocain, Biotechnologies, Congrès International de Biochimie, Marrakech, 525-527.

Aboughe Angone S. R.R.R. Aworet Samseny · C. Eyele Mve Mba. Quelques propriétés des huiles essentielles des plantes médicinales du Gabon, *Phytothérapie* 13.5 (2015): 283-287.

