

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 الإخوة منتوري قسنطينة ١
Frères Mentouri Constantine I University
Université Frères Mentouri Constantine I

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie et d'écologie végétale

كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم البيولوجيا والإيكولوجيا النباتية

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Science de biotechnologie
Spécialité : biotechnologie génomique végétale

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

Étude du potentiel biologique d'une crème dermique formulée à base d'un extrait de *Lavandula angustifolia* et *Mentha spicata L.*

Présenté par : BERKANE Nour El-Islam Le 25/06/2025
GHODBANE Rim Yasmine

Jury d'évaluation :

Présidente : BOUSBAA Ratiba (Professeure- Université Frères Mentouri, Constantine 1).
Encadrant 1 : KITOUNI Rachid (MCA - Université Frères Mentouri, Constantine 1).
Encadrant 2 : BOUTITI Ameur (MCA - Université Salah Boubnider, Constantine 3).
Examinateuse : LOUALI Yamouna (MCB- Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Année universitaire 2024 - 2025

Remerciement

Nous souhaitons exprimer notre sincère reconnaissance à tous ceux qui ont apporté leur contribution à l'élaboration de ce mémoire de fin d'études.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers M. KITOUNI Rachid, maître de conférences « classe A », Université Frères Mentouri et M. BOUTITI Ameur, maître de conférences « classe A », Université Salah Boubnider, pour leur soutien scientifique, leurs orientations précieuses, leurs recommandations avisées et leur présence constante durant l'exécution de ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à la Professeure BOUSBAA Ratiba, présidente du jury de ce mémoire, pour avoir accepté d'évaluer notre travail et pour l'attention bienveillante accordée à celui-ci.

Nous remercions chaleureusement Madame LOUALI Yamouna. maître de conférences « classe B », examinatrice, pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant d'évaluer ce travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à l'ensemble du personnel de recherche permanent, et tout particulièrement à Monsieur BEZZI Tarek ainsi qu'au personnel technique du Centre de Recherche en Biotechnologie (CRBT) de Constantine. Leur accueil chaleureux, leur soutien technique et leur aide précieuse ont été d'une grande importance tout au long de notre travail. Enfin, nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude à nos familles et à nos proches pour leur soutien moral constant, leur patience et leurs encouragements sans faille tout au long de nos parcours académiques.

Dédicace

Je dédie ce travail humblement : À mes chers parents, Ghodbane B. et Barche L., Merci pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices silencieux et votre soutien sans faille. C'est grâce à vous que ce chemin a été possible.

À mes frères : Hachem, Salah, Loukman Et à mes sœurs : Manel, Khadidja, Rania Vous avez toujours été ma source de motivation et de courage.

À tous mes amis(es) sincères, merci pour votre encouragement constant.

Une mention toute particulière à mon collègue et binôme Berkane Nour El Islam, pour sa coopération précieuse, son engagement sérieux et son respect mutuel tout au long de cette aventure scientifique.

GHODBANE Rim Yasmine

Dédicace

À ma chère maman, que Dieu la protège,

À mon père, que son âme repose en paix, un pilier inoubliable, À mes frères et sœurs, Abdelhalim, Sara, Yasmine, Ibtissem et Iman,

À tous mes amis qui m'ont encouragé tout au long de mon parcours,

Sans oublier ma collègue et amie GHODBANE Rim Yasmine, qui a placé toute sa confiance en moi et m'a offert son soutien précieux. Je lui adresse tout mon respect et ma profonde gratitude pour son aide et sa générosité.

BERKANE Nour El-Isalm

RESUME

Ce mémoire présente une étude approfondie sur deux huiles essentielles extraites de plantes médicinales courantes : *Lavandula angustifolia* Mill (lavande vraie) et *Mentha spicata* L (menthe verte). L'étude se structure autour de trois axes principaux.

Le premier axe est consacré à l'aspect théorique de l'étude. Il définit les huiles essentielles et décrit les méthodes d'extraction, avec un accent particulier sur la distillation à la vapeur d'eau, la technique la plus couramment utilisée pour préserver les composés volatils. Cette section aborde également la composition chimique de chaque huile essentielle et explore leurs propriétés biologiques bien établies, telles que leurs effets antioxydants, antibactériens et antifongiques, en plus d'autres caractéristiques pertinentes.

Le deuxième axe se concentre sur l'aspect expérimental mené au **Centre de Recherche en Biotechnologie de Constantine (CRBT)**. L'objectif de cette phase était d'évaluer l'activité biologique des huiles essentielles extraites, en particulier leur capacité à inhiber la croissance bactérienne, leur activité antioxydante et leurs effets antifongiques. Ces tests ont permis d'obtenir des données précieuses sur l'efficacité de ces huiles dans des applications thérapeutiques potentielles.

Le troisième axe de cette étude a consisté en la formulation d'une crème cosmétique naturelle, intégrant les huiles essentielles de lavande vraie et de menthe verte, sur la base des résultats des tests biologiques. Il s'agit d'une **crème de jour** conçue pour traiter diverses problématiques cutanées, en exploitant les propriétés apaisantes, antibactériennes et protectrices des huiles essentielles. Cette formulation vise à offrir une alternative naturelle et efficace aux produits cosmétiques traditionnels.

Ainsi, ce mémoire s'inscrit dans une démarche pluridisciplinaire, associant la chimie analytique, la microbiologie, la pharmacologie et la biotechnologie végétale. Il met en lumière l'importance de l'utilisation des plantes médicinales dans le développement de solutions cosmétiques et thérapeutiques durables, tout en contribuant à la valorisation des ressources végétales locales.

Mot clés : Huiles essentielles, activité antioxydante, activité antibactérienne, activité antifongique, crème naturelle

الملخص

تقدم هذه الاطروحة دراسة شاملة على زيتين أساسين مستخلصين من نباتات طبية شائعة الاستخدام: الخزامة الحقيقية والنعناع الفلفلي و تنظم هذه الدراسة على ثلاث محاور رئيسية وهي:

المحور الأول يركز على الجوانب النظرية للدراسة حيث يتم تعريف الزيوت الأساسية وتوضيح طرق استخراجها، مع التركيز بشكل خاص على التقشير بالبخار، وهي التقنية الأكثر شيوعاً لحفظ المركبات الطيارة. كما يتناول هذا الجزء من التركيب الكيميائي لكل زيت ويستعرض خصائصه البيولوجية المعروفة مثل التأثيرات المضادة للأكسدة، والمضادة للبكتيريا، والمضادة للفطريات، بالإضافة إلى الخصائص الأخرى ذات الصلة.

المحور الثاني يتعلق بالعمل التجاري الذي تم في مركز البحوث التجريبية في البيو تكنولوجيا في قسنطينة.

هدف هذه المرحلة كان تقييم النشاط البيولوجي للزيوت الأساسية المستخلصة، ولا سيما خصائصها المضادة للبكتيريا، والمضادة للأكسدة، والمضادة للفطريات. قدمت هذه الاختبارات بيانات هامة حول الفعالية العلاجية المحتملة لهذه الزيوت.

المحور الثالث من الدراسة تضمن صياغة كريم تجميلي طبيعي، يتضمن زيوت الخزامة الحقيقية والنعناع الفلفلي، بناءً على نتائج الفحوصات البيولوجية. تم تصميم هذا الكريم النهاري لمعالجة البشرة المختلفة مستفيضاً من الخصائص المهدئة والمضادة للبكتيريا والواقية لهذه الزيوت. وتحدف هذه الصياغة إلى تقديم بديل طبيعي وفعال للمنتجات التجميلية التقليدية.

وبذلك تقع هذه الاطروحة ضمن إطار متعدد التخصصات يدمج الكيمياء التحليلية، والبيولوجيا، والكيمياء الحيوية، وعلوم التكنولوجيا الحيوية النباتية. وتبرز أهمية استخدام النباتات الطبية في تطوير حلول تجميلية وعلاجية مستدامة، مع تعزيز الموارد النباتية المحلية.

الكلمات المفتاحية : الزيوت الأساسية، النشاط المضاد للأكسدة، النشاط المضاد للبكتيريا، النشاط المضاد للفطريات، كريم طبيعي.

ABSTRACT

This thesis presents a comprehensive study on two essential oils extracted from widely used medicinal plants : *Lavandula angustifolia* Mill (true lavender) and *Mentha spicata* L (spearmint). The study is structured around three main axes.

The first axis focuses on the theoretical aspects of the study. It defines essential oils and describes the methods of extraction, with a particular emphasis on steam distillation, the most commonly used technique for preserving volatile compounds. This section also addresses the chemical composition of each oil and explores their well-established biological properties, such as antioxidant, antibacterial, and antifungal effects, in addition to other relevant characteristics.

The second axis concerns the experimental work carried out at the **Center for Biotechnology Research of Constantine (CRBT)**. The objective of this phase was to evaluate the biological activity of the extracted essential oils, particularly their antibacterial, antioxidant, and antifungal properties. These tests provided valuable data on the potential therapeutic efficacy of these oils.

The third axis of the study involved the formulation of a natural cosmetic cream, incorporating the essential oils of true lavender and spearmint, based on the results of the biological assays. This **day cream** was designed to address various skin issues, leveraging the soothing, antibacterial, and protective properties of the essential oils. The formulation aims to offer a natural and effective alternative to traditional cosmetic products.

Thus, this thesis is situated within a multidisciplinary framework, integrating analytical chemistry, microbiology, pharmacology, and plant biotechnology. It highlights the significance of using medicinal plants in the development of sustainable cosmetic and therapeutic solutions, while contributing to the valorization of local plant resources.

Keywords : Essential oils, antioxidant activity, antibacterial activity, antifungal activity, natural cream.

Liste des figures

Figure I. 1 : Image des plantes aromatiques et médicinales.(3)	5
Figure I.2 : Image montrant différents types de graines des plantes médicinales et aromatiques.(6).....	6
Figure 3 : Les grandes classes des métabolites secondaires.(11).....	8
Figure 4 : Les voies métaboliques des plantes : biosynthèse, régulation et applications pour l'Homme.(13).....	9
Figure 5 : Image d'huiles essentielles utilisées en aromathérapie.(15)	9
Figure 6 : Voie de biosynthèse des principaux diterpénoïdes composant l'xsudat des TGS du tabac.(18).....	10
Figure 7 Structure des composés majoritaires de l'huile essentielle de <i>la sciure de bois</i> .(23)	12
Figure 8 Image de plante la lavande vraie.....	14
Figure 9 : Image de plante la lavande vraie (<i>Lavandula angustifolia Mill</i>)	15
Figure 10 : Image de plante la Menthe Verte.....	18
Figure 11 : Schéma illustrant la méthode d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau.(64)	22
Figure 12 : Schéma illustrant la méthode d'extraction au CO ₂ supercritique(66)	23
Figure 13 : Schéma illustrant la méthode d'extraction par solvants volatils.(68).....	24
Figure 14 : Schéma illustrant la méthode d'extraction par Hydrodistillation (Clevenger).(70)	25
Figure 15 : Schéma illustrant la méthode de Chromatographie en Phase Gazeuse (CPG / GC).(72)	27
Figure 16 : L'effet du stress oxydant.(87)	31
Figure 17 : Mécanismes physiologiques de la défense antioxydant.(92).....	32
Figure 18 : Changement de couleur du DPPH lors de la réaction avec un antioxydant.(104)	35
Figure 19 : Principe du test antioxydant basé sur l'oxydation de l'ABTS.(107)	36
Figure 20 : Infections fongiques.....	38
Figure 21 : Image des antifongiques naturels.(122).....	40
Figure 22 : Infection bactérienne.....	42
Figure 23 : Rôle de l'α-amylase et de l'α-glucosidase dans la digestion et le métabolisme de l'amidon.(146)	44
Figure 24 Histogramme montre les valeurs de l'IC50 du test DPPH.	73
Figure 25 Résultats du test DPPH sur microplaques.....	73
Figure 26 histogramme montre les valeurs de l'IC50 du test ABTS•+.....	75
Figure 27 résultats du test ABTS sur microplaques,.....	75
Figure 28 histogramme montre les valeurs de l'A0.5 du test FRAP.....	76
Figure 29 Résultats du test FRAP sur microplaques.....	78
Figure 30 Histogramme montre les diamètres des zones d'inhibition des HE_L, HE_M et de la gentamicine.	80
Figure 31 Image représente les résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des huiles L et M.	81
Figure 32 Image illustrant le résultat de l'activité antifongique de HE_M (huile essentielle de la Menthe verte)	83
Figure 33 Image illustrant le résultat de l'activité antifongique de HE_L (huile essentielle de la lavande vraie).	83

Figure 34 Histogramme montre les valeurs de l'IC50 du test enzymatique (α -amylase)	85
Figure 35 Résultats du test enzymatique (α -amylase) sur microplaques	85
Figure 36 Le résultat final de la crème que nous avons fabriquée	88

Liste des tableaux

Tableau 1: Composition chimique de l'huile essentielle de lavande vraie	16
Tableau 2 : Comparatif de la composition chimique de l'huile essentielle de la menthe verte (Mentha spicata) dans deux pays.	20
Tableau 3 : Mécanismes de résistance aux antifongiques	39
Tableau 4 : Réactifs utilisés dans les différentes activités biologiques	53
Tableau 5 : Différentes concentrations des dilutions des extraits par rapport à la concentration initiale.	60
Tableau 6 : Inhibition de DPPH par les Huile Essentielles HE_M et HE_L.	72
Tableau 7 : Huile Essentielle Pourcentage Inhibition % de l'ABTS ^{•+}	74
Tableau 8 : Absorbances du pouvoir réducteur par les extraits HE_L et HE_M	77
Tableau 9 : Diamètres des zones d'inhibition (en mm) des huile essentielles (HE_L et HE_M) et de la gentamicine contre différentes souche bactériennes	80
Tableau 10 : Résultats de l'activité antifongique des extraits végétaux	82
Tableau 11 : Résultats de l'activité enzymatique (alpha-amylase)	84

Liste des abréviations

ABTS : Acide 2,2'-azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)

α-amylase : Alpha-amylase

α-glucosidase : Alpha-glucosidase

ATCC 3153 : American Type Culture Collection, souche de référence n°3153

BHA : Butylated Hydroxyanisole

BHT : Butylated Hydroxytoluene

C10, C15, C30 : Composés terpéniques à 10, 15 ou 30 atomes de carbone (unité de pression)

CAT : Catalase

CMI : Concentration Minimale Inhibitrice

CMF : Concentration Minimale Fongicide

CLSI : Clinical and Laboratory Standards Institute

CO₂ : Dioxyde de carbone

CpG : Séquences riches en cytosine-phosphate-guanine

CRBT : Centre de Recherche en Biotechnologie (Constantine, Algérie)

DPPH : 2,2-Diphényl-1-picrylhydrazyle

DNSA : Acide 3,5-dinitrosalicylique

DT2 : Diabète de type 2

ERO : Espèces réactives de l'oxygène (Espèces Réactives de l'Oxygène)

FRAP : Ferric Reducing Antioxidant Power

GC : Gas Chromatography (Chromatographie en phase gazeuse)

GC-MS : Gas Chromatography – Mass Spectrometry

GMS : Glycéryl monostéarate

GSH : Glutathion réduit

GSSG : Glutathion oxydé

GR : Glutathion réductase

HCl : Acide chlorhydrique

HE : Huile Essentielle

HE-L : Huile essentielle de *Lavandula angustifolia*

HE-M : Huile essentielle de *Mentha spicata*

IA : Intelligence Artificielle

IC50 : Concentration inhibitrice à 50%

IkI (I₂/KI) : Solution de Lugol (iode/iodure de potassium)

IPP : Isopentényl Pyrophosphate

IR : Spectroscopie Infrarouge

IX^e : Neuvième (forme abrégée en chiffres romains pour '9^e)

MEP : Voie du Méthylérythritol Phosphate

MeOH : Méthanol

MVA : Voie du Mévalonate

m/z : Rapport masse/charge en spectrométrie de masse

MRSA / SARM : Staphylococcus aureus résistant à la méthicilline

PAM : Plantes Aromatiques et Médicinales

PDA : Potato Dextrose Agar (milieu de culture pour champignons)

ROS : Reactive Oxygen Species

SM : Spectrométrie de masse

TCA : Acide trichloroacétique

TEAC : Trolox Equivalent Antioxidant Capacity

TGS : Trichomes Glandulaires Sécréteurs

µg/ml : Microgramme par millilitre

µM : Micromolaire

mg/ml : Milligramme par millilitre

UV : Ultraviolet

VITEK2 : Système automatisé d'identification et de sensibilité bactérienne

% : pourcentage

°C : Degré Celsius

Sommaire

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Table des matières

Introduction Générale.....	2
Chapitre I : Partie théorique	5
I.1 Les Plantes Aromatiques et Médicinales et leurs Métabolites Secondaires	5
I.1.1 Introduction aux Plantes Aromatiques et Médicinales (PAM)	5
1.1 Les Métabolites Secondaires Végétaux	7
1.2 Les Huiles Essentielles (HE)	9
1.2.1 Définition des Huiles Essentielles	9
1.2.2 Localisation cellulaire des voies MVA et MEP chez les plantes	10
1.2.3 Propriétés physico-chimiques des huiles essentielles	11
1.2.4 Composition chimique générale des huiles essentielles	11
1.2.5 Facteurs influençant la composition des huiles essentielles.....	12
2. Présentation des Espèces Étudiées	13
2.1. La Lavande Vraie (<i>Lavandula angustifolia Mill</i>)	13
2.1.1 Description botanique	14
2.1.1 Origine de la lavande vraie.....	14
2.1.2 Répartition Géographique de la lavande vraie en Algérie.....	14
2.1.3 Usages Traditionnels	15
2.1.4 Importance économique de la lavande vraie	15
2.1.5 Composition chimique de l'huile essentielle de lavande vraie (<i>Lavandula angustifolia Mill</i>)	16
2.1.6 Propriétés Biologiques	16
2.2 La Menthe Verte (<i>Mentha spicata L</i>)	18
2.2.1 Description botanique	18
2.2.2 Origine de la Menthe Verte :.....	19

2.2.3	Répartition Géographique de la Menthe Verte en Algérie.....	19
2.2.4	Importance économique de la Menthe Verte	20
2.2.5	Composition chimique de l'huile essentielle de la Menthe Verte (50,51)	20
2.2.6	Propriétés biologiques.....	21
3.Extraction, Caractérisation et Évaluation Biologique des Huiles Essentielles	22	
3.1	Méthodes d'Extraction des HE	22
3.1.1	Distillation à la vapeur d'eau	22
3.1.2	Expression à froid	22
3.1.3	Extraction au CO ₂ supercritique	23
3.1.4	Extraction par solvants volatils.....	24
3.1.5	Hydrodistillation (Clevenger) :	24
3.2	Méthodes de Caractérisation Chimique des HE	26
3.2.1	Chromatographie en Phase Gazeuse (CPG / GC)	26
3.2.2	Couplage CPG-Spectrométrie de Masse (CPG-SM / GC-MS) :	27
3.2.3	Indices de Rétention (IR) :	29
3.3	Introduction aux Activités Biologiques Étudiées et Méthodes d'Évaluation in vitro	30
3.3.1	Le Stress Oxydant et l'Activité Antioxydante.....	30
3.3.2	Les Infections Fongiques et l'Activité Antifongique	38
3.3.3	Les Infections Bactériennes et l'Activité Antibactérienne :	41
3.3.4	L'Hyperglycémie et l'Activité Inhibitrice de l'Alpha-Amylase :	44
4. dermo-cosmétiques naturels : à la croisée du soin cutané et de la cosmétique verte	48	
4.1	Introduction aux dermo-cosmétiques naturels.....	48
4.2	Principaux actifs utilisés dans les dermo-cosmétiques naturels	48
4.3	Intérêt des huiles essentielles en dermo-cosmétiques.....	49
4.4	Applications thérapeutiques et dermatologiques des produits dermo-cosmétiques naturels.....	50
Chapitre II: Matériel et méthodes.....	53	
II. 1 Matériels	53	
II. 1. 1 Matériels végétaux	53	
4.4.1	Les parties utilisées:	53
4.5	Les réactifs.....	53
4.6	Appareils.....	54
5. Méthodes	55	

5.1	Extraction des huiles essentielles	55
5.1.1	Préparation des plantes.....	55
5.1.2	Extraction par hydrodistillation (Clevenger).....	57
5.2	Les activités biologiques	58
	Les travaux expérimentaux ont été effectués dans le Laboratoire 05 spécialisé en biochimie, situé au Centre de Recherche en Biotechnologie de Constantine (CRBT).	58
5.2.1	Préparation des échantillons.....	58
5.2.2	Remarque :.....	59
5.2.3	Les activités antioxydantes	59
5.2.4	L'activité enzymatiques	64
5.2.5	Activité antibactérienne	65
5.2.6	Activité antifongique	67
5.3	Fabrication d'une crème de jour apaisante, antibactérienne et protectrice.....	68
6.	Résultats d'évaluation des activités biologiques	71
6.1	Activité antioxydante.....	71
6.1.1	L'activité de piégeage de radical libre DPPH.....	71
6.1.2	Activité du piégeage du cation radical ABTS ^{•+}	74
6.1.3	Activité du pouvoir antioxydant réducteur ferrique (FRAP)	76
6.2	Résultats de l'activité antibactérienne.....	79
6.3	Résultats de l'activité antifongique	81
6.4	Résultats de l'activité enzymatique.....	84
7.	Discussion des résultats d'évaluation des activités biologiques	86
7.1	Activité antioxydante.....	86
7.1.1	L'activité de piégeage de radical libre DPPH.....	86
7.1.2	Activité du piégeage du cation radical ABTS ^{•+}	86
7.1.3	Activité du pouvoir antioxydant réducteur ferrique (FRAP)	87
7.2	Discussion des résultats de l'activité antimicrobienne.....	87
7.3	Discussion des résultats de l'activité antifongique	87
7.4	Discussion des résultats de l'activité enzymatique	88
7.5	Résultats d'une crème dermo- cosmétique	88
	Conclusion.....	89
	Références bibliographiques.....	95

INTRODUCTION

Introduction Générale

Depuis l'antiquité, l'être humain a toujours puisé dans la nature une source essentielle d'alimentation et de soins. L'observation minutieuse des plantes et l'expérimentation empirique ont permis de découvrir leurs nombreuses propriétés médicinales et aromatiques. Ces savoirs traditionnels, transmis de génération en génération, ont constitué le fondement des médecines populaires dans de nombreuses civilisations à travers le monde. Ces pratiques ancestrales, bien que basées sur l'expérience, ont souvent révélé une efficacité remarquable, notamment grâce aux composés bioactifs présents dans les plantes. Avec le développement des sciences biologiques, chimiques et pharmacologiques, ces connaissances traditionnelles ont été revisitées et approfondies à l'aide d'outils modernes tels que la chromatographie, la spectrométrie de masse et les tests biologiques *in vitro*. Cette approche scientifique a permis d'identifier précisément les molécules actives, en particulier les huiles essentielles, qui sont des mélanges complexes de composés volatils aux propriétés thérapeutiques variées. Ces huiles essentielles ont démontré leur efficacité dans plusieurs domaines, notamment pharmaceutique, cosmétique et alimentaire, suscitant un intérêt croissant pour leur utilisation dans des solutions naturelles, efficaces et respectueuses de l'environnement.(1) Dans ce contexte, ce mémoire se concentre sur deux plantes médicinales et aromatiques largement reconnues pour leur richesse en huiles essentielles et leurs vertus thérapeutiques : la menthe verte (*Mentha spicata L*) et la lavande vraie (*Lavandula angustifolia Mill*). Ces deux espèces sont non seulement appréciées pour leur parfum et leur usage culinaire, mais aussi pour leurs propriétés antioxydantes, antibactériennes, antifongiques, ainsi que pour leurs effets apaisants et protecteurs sur la peau. Ces caractéristiques en font des candidats idéaux pour le développement de produits naturels à visée thérapeutique et cosmétique. L'objectif principal de ce travail est d'extraire les huiles essentielles de ces deux plantes en optimisant les méthodes d'extraction afin de préserver la qualité et la concentration des composés actifs. Par la suite, une évaluation rigoureuse de leurs activités biologiques sera réalisée, incluant des tests antioxydants (DPPH, ABTS), antibactériens (méthode de diffusion sur gélose), antifongiques et enzymatiques (notamment l'inhibition de l'alpha-amylase). Ces analyses permettront de mieux comprendre le potentiel pharmacologique de ces huiles et d'établir un lien entre leur composition chimique et leurs effets biologiques. Par ailleurs, ce mémoire intègre une application pratique sous la forme de la formulation d'une crème cosmétique enrichie en huiles essentielles de menthe verte et de lavande vraie. Cette formulation vise à combiner les propriétés apaisantes, antibactériennes et protectrices des huiles dans un produit

Chapitre I : Partie théorique

innovant, naturel et adapté aux besoins actuels en matière de soins de la peau. La stabilité, la texture, ainsi que l'efficacité de cette crème seront également évaluées selon des protocoles standardisés. Ce travail pluridisciplinaire s'inscrit à la croisée de la chimie analytique, de la microbiologie, de la technologie pharmaceutique et de la biotechnologie végétale. Il met en lumière le potentiel des ressources végétales locales, souvent sous-exploitées, dans une démarche scientifique rigoureuse et appliquée. En valorisant ces plantes médicinales, ce mémoire contribue à la promotion de solutions naturelles, durables et respectueuses de l'environnement, répondant aux attentes croissantes des consommateurs pour des produits plus sains. Enfin, cette étude ouvre des perspectives pour des recherches futures, notamment dans l'optimisation des procédés d'extraction, la caractérisation détaillée des composés bioactifs par des techniques avancées, ainsi que l'évaluation *in vivo* des effets thérapeutiques des formulations développées.

Chapitre I

Partie théorique

Chapitre I : Partie théorique

I.1 Les Plantes Aromatiques et Médicinales et leurs Métabolites Secondaires

I.1.1 Introduction aux Plantes Aromatiques et Médicinales (PAM)

Les plantes aromatiques et médicinales (PAM) désignent des espèces végétales valorisées pour leurs propriétés thérapeutiques, préventives ou aromatiques. Ces propriétés sont attribuées à la présence de métabolites secondaires, ou composés bioactifs, tels que les huiles essentielles, les alcaloïdes, les flavonoïdes, les tanins et les saponines. Leur usage, attesté depuis l'Antiquité dans les pharmacopées traditionnelles, s'étend aujourd'hui à des domaines d'application modernes comme la phytothérapie, l'aromathérapie, la cosmétologie, ainsi qu'aux industries pharmaceutique et agroalimentaire.(2)



Figure I 1.: Image des plantes aromatiques et médicinales.(3)

À l'échelle mondiale, les PAM représentent une composante majeure de la biodiversité végétale. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), plus de 21 000 espèces sont recensées pour un usage médicinal, ce qui témoigne de leur importance cruciale dans les systèmes de santé, qu'ils soient traditionnels ou contemporains. Cette diversité floristique est particulièrement prononcée dans les régions tropicales et subtropicales, où les conditions écologiques favorisent une spéciation importante. À titre d'exemple, l'Inde intègre environ 2 500 espèces dans ses systèmes de médecine traditionnelle (Ayurveda, Unani, Siddha). De même, les PAM jouent un rôle central dans les pharmacopées et les savoirs traditionnels en Afrique, en Amérique du Sud et en Asie du Sud-Est. Toutefois, cette biodiversité est actuellement menacée par des pressions anthropiques telles que la surexploitation, la déforestation et le changement climatique. Ce constat souligne l'urgence de mettre en œuvre

Chapitre I : Partie théorique

des stratégies de conservation et de gestion durable afin d'assurer la pérennité de ce capital biologique.(4)

Les plantes aromatiques et médicinales assurent un rôle fondamental au carrefour des équilibres écologiques, du développement socio-économique et de la préservation des patrimoines culturels.

Sur le plan écologique, elles contribuent à la résilience des écosystèmes en participant à la régulation des cycles biogéochimiques, à la protection des sols et au maintien de la biodiversité. Elles soutiennent également des interactions essentielles avec la faune pollinisatrice et les communautés microbiennes du sol.

Sur le plan économique, les PAM constituent une source de revenus significative pour les communautés rurales et les économies nationales. Leur valorisation, sous forme de matière première (plantes sèches) ou de produits transformés (huiles essentielles, extraits), soutient le développement de filières industrielles structurées (pharmaceutique, cosmétique, agroalimentaire). En France, par exemple, la filière a connu une expansion notable, avec une augmentation des surfaces cultivées de plus de 77 % entre 2010 et 2021 (France AgriMer, 2021).

Enfin, sur le plan culturel, les PAM sont indissociables des savoirs vernaculaires et des pratiques médicinales ancestrales. Elles constituent un pilier des médecines traditionnelles, des rituels de soin et des usages culinaires, enrichissant ainsi le patrimoine culturel immatériel de l'humanité. Par conséquent, la préservation et la valorisation de ces plantes représentent un enjeu multidimensionnel, engageant à la fois la santé publique, la durabilité des écosystèmes et la sauvegarde des identités culturelles.(5)



Figure I.1 : Image montrant différents types de graines des plantes médicinales et aromatiques.(6)

La flore algérienne, intégrée au bassin méditerranéen, se distingue par sa richesse exceptionnelle en plantes aromatiques et médicinales (PAM), résultant d'une diversité écologique remarquable. Cette biodiversité est particulièrement manifeste dans les zones montagneuses et forestières, qui abritent une multitude d'espèces endémiques et rares. Par exemple, une étude a recensé 525 espèces endémiques en Algérie, dont 112 ont été étudiées pour leurs propriétés phytochimiques, soulignant ainsi le potentiel thérapeutique de la flore locale. De plus, les forêts algériennes offrent un considérable potentiel de production en PAM, représentant un atout économique majeur pour les différentes wilayas. Cette richesse botanique, combinée aux savoirs traditionnels ancestraux, positionne l'Algérie comme un acteur clé dans la valorisation et la conservation des PAM en Méditerranée.(7,8)

En Algérie, la phytothérapie occupe une place prépondérante dans les pratiques de santé traditionnelles, s'appuyant sur une richesse floristique exceptionnelle et des savoirs ancestraux transmis de génération en génération. Les plantes aromatiques et médicinales (PAM) sont utilisées pour traiter une variété de maux, allant des affections bénignes aux maladies plus graves, en particulier dans les zones rurales où l'accès aux soins médicaux modernes peut être limité. Les formes d'administration les plus courantes incluent les tisanes, les décoctions, les infusions, les cataplasmes et les inhalations, mettant en œuvre différentes parties des plantes telles que les feuilles, les fleurs, les racines ou les graines. Par exemple, dans la région de l'Edough, une enquête ethnobotanique a révélé que les populations locales utilisent une diversité de plantes pour leurs propriétés thérapeutiques, avec une prédominance des préparations sous forme de tisanes et d'applications cutanées. Ces pratiques, profondément enracinées dans la culture locale, témoignent d'une connaissance approfondie des ressources végétales et de leurs bienfaits pour la santé, constituant ainsi un patrimoine immatériel précieux à préserver et à valoriser.(9)

1.1 Les Métabolites Secondaires Végétaux

Les métabolites secondaires végétaux sont des composés organiques produits par les plantes à partir des métabolites primaires, mais qui ne sont pas directement impliqués dans les fonctions vitales telles que la croissance, le développement ou la reproduction. Contrairement aux métabolites primaires, qui sont universels et essentiels, les métabolites secondaires sont souvent spécifiques à certaines espèces et jouent des rôles écologiques cruciaux. Ces substances participent à la défense de la plante contre les agents pathogènes, les insectes herbivores et les stress environnementaux. Elles peuvent également servir à attirer les polliniseurs ou à inhiber la croissance des plantes concurrentes (allélopathie).

On distingue plusieurs grandes classes de métabolites secondaires, notamment les alcaloïdes, les phénols (comme les flavonoïdes, les tanins, les acides phénoliques) et les terpénoïdes.

Leur diversité chimique et fonctionnelle en fait des cibles de choix dans les domaines pharmaceutique, cosmétique et agroalimentaire.(10)

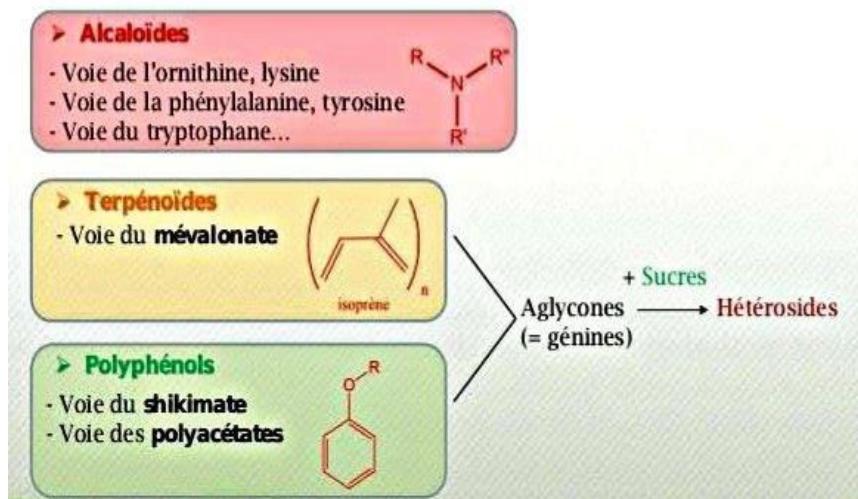


Figure 2 : Les grandes classes des métabolites secondaires.(11)

Les progrès des techniques analytiques et des approches moléculaires ont aujourd'hui permis de confirmer et de préciser la diversité et l'importance des composés phénoliques végétaux. Ils constituent des éléments essentiels dans les interactions des plantes avec leur environnement biologique et physique (relations avec les bactéries, les champignons, les insectes, résistance aux UV, mais participent aussi fortement aux critères de qualité (couleur, astringence, amertume...)) qui orientent le choix de l'homme dans la consommation et l'utilisation de végétaux et des produits qui en dérivent par transformation. Ce chapitre offre un exposé complet des connaissances actuelles sur les composés phénoliques végétaux, tant d'un point de vue fondamental (analyse et dosage de ces composés, régulation de leur métabolisme, rôles dans la biologie et la physiologie de la plante et dans ses interactions avec l'environnement) qu'appliqué (importance des composés phénoliques dans la santé et les activités humaines, propriétés sensorielles, nutritionnelles, antioxydantes, etc.). Cette référence en la matière s'adresse tout autant aux étudiants de 2^{ème} et 3^{ème} cycles qu'aux chercheurs et enseignants en biologie, biochimie, physiologie, écologie et agronomie.(12).

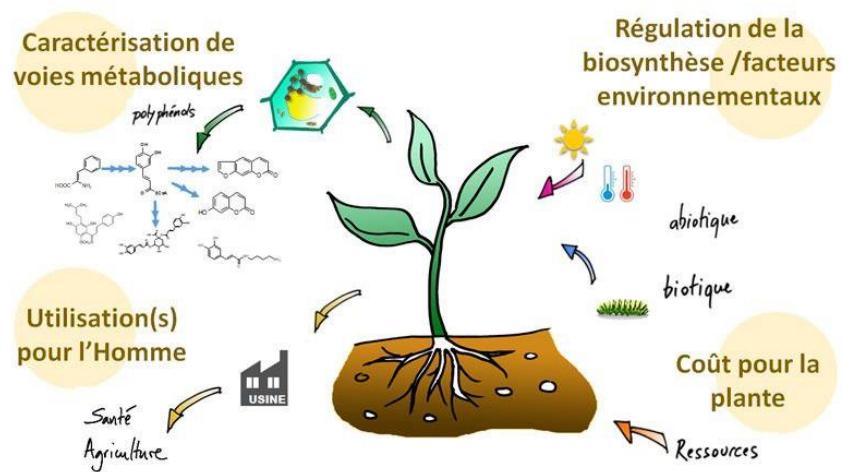


Figure 3 : Les voies métaboliques des plantes : biosynthèse, régulation et applications pour l'Homme.(13)

1.2 Les Huiles Essentielles (HE)

1.2.1 Définition des Huiles Essentielles

Une huile essentielle se définit comme un liquide volatil et aromatique extrait de diverses parties de plantes aromatiques, telles que les fleurs, les feuilles, les écorces, les racines ou les graines. Malgré son appellation, cette substance ne renferme aucune matière grasse. La composition principale de l'huile essentielle comprend des molécules telles que les terpènes, les alcools, les cétones et les aldéhydes, qui sont responsables de ses propriétés spécifiques.(14)



Figure 4 : Image d'huiles essentielles utilisées en aromathérapie.(15)

1.2.2 Localisation cellulaire des voies MVA et MEP chez les plantes

1.2.2.1 Voie du Mévalonate (MVA)

- La voie MVA est localisée dans le cytosol et le réticulum endoplasmique des cellules végétales.
- Elle est responsable de la synthèse de l'isopentényl diphosphate (IPP) et du diméthylallyl diphosphate (DMAPP), précurseurs des sesquiterpènes (C_{15}), des triterpènes (C_{30}), des stérols et des ubiquinones.
- Cette voie est essentielle pour la production de composés isoprénoïdes non plastidiques.(16)

1.2.2.2 Voie du Méthylérythritol Phosphate (MEP)

- La voie MEP se déroule dans les plastides, principalement les chloroplastes.
- Elle produit l'IPP et le DMAPP nécessaires à la biosynthèse des monoterpènes (C_{10}), des diterpènes (C_{20}), des caroténoïdes, des chlorophylles et des phytohormones.
- Des études ont confirmé la localisation des enzymes de la voie MEP dans les chloroplastes.(17)

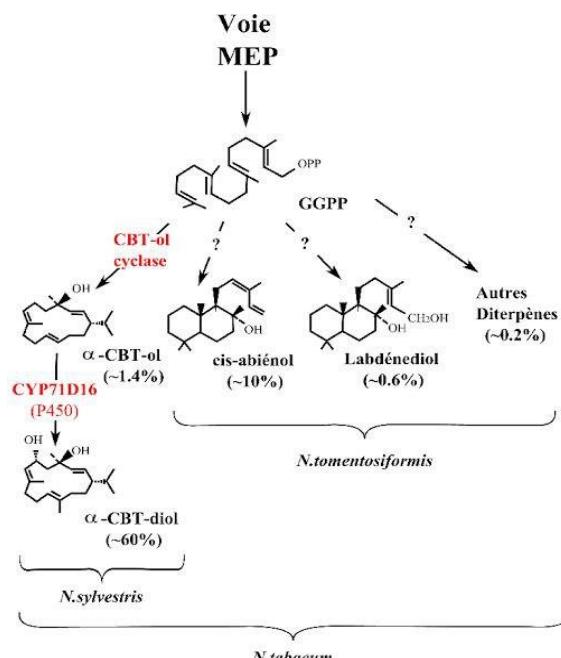


Figure 5 : Voie de biosynthèse des principaux diterpénoïdes composant l'exsudat des TGS du tabac.(18)

1.2.3 Propriétés physico-chimiques des huiles essentielles

- **Volatilité** : les huiles essentielles sont composées de substances volatiles qui s'évaporent rapidement à température ambiante. Cette volatilité est due à leur faible poids moléculaire et à leur pression de vapeur élevée. Par exemple, le citral a une pression de vapeur de 22 Pa à 20 °C, tandis que le carvacrol présente une pression de 35 Pa à 20°C. La volatilité influence la durée de perception de l'arôme et la stabilité des HE.
- **Densité** : la densité des HE varie généralement de 0,850 à 1,050 g/cm³. Par exemple, l'huile essentielle de cannelle a une densité de 1,050 g/cm³, tandis que celle de citronnelle est d'environ 0,889 g/cm³.
- **Indice de réfraction** : l'indice de réfraction des HE se situe généralement entre 1,450 et 1,531. Par exemple, l'huile essentielle de clou de girofle a un indice de réfraction compris entre 1,5230 et 1,5310, indiquant une concentration élevée en composés aromatiques.
- **Viscosité** : les HE présentent une faible viscosité, ce qui leur confère une texture fluide. Certaines huiles, comme celle de citronnelle, montrent un comportement thixotrope, c'est-à-dire que leur viscosité diminue sous agitation.
- **Solubilité** : les HE sont insolubles dans l'eau mais solubles dans la plupart des solvants organiques tels que l'éthanol, l'éther et l'acétone. Par exemple, l'huile essentielle de citronnelle est soluble dans 1 à 2 volumes d'éthanol à 80 %.
- **Rotation optique** : certaines HE sont optiquement actives, c'est-à-dire qu'elles peuvent dévier le plan de polarisation de la lumière. Par exemple, l'huile essentielle de cardamome présente une rotation optique comprise entre +16° et +41°, reflétant la présence de composés chiraux.(19)

1.2.4 Composition chimique générale des huiles essentielles

1.2.4.1 Composés majoritaires : les terpènoïdes

Les terpènoïdes représentent souvent plus de 90 % de la composition totale des huiles essentielles. On distingue principalement :

➤ Monoterpènes (C₁₀)

- Hydrocarbures : α -pinène, limonène, β -myrcène
- Oxygénés : linalol, 1,8-cinéole, géraniol, menthol, citral
- Rôles : arômes frais et légers, grande volatilité, effets antiseptiques, anti-inflammatoires.

➤ Sesquiterpènes (C₁₅)

- Hydrocarbures : β -caryophyllène, humulène
- Oxygénés : farnésol, patchoulol, spathulénol
- Rôles : moins volatils, arômes plus persistants, propriétés anti-inflammatoires, antitumorales.(20, 21)

1.2.4.2 Composés secondaires et spécifiques

➤ Phénylpropanoïdes (issus de la voie du shikimate)

- Exemples : eugénol (clou de girofle), cinnamaldéhyde (cannelle), anéthol (anis)
- Propriétés : antimicrobiennes, antioxydantes, parfois photosensibilisantes.

➤ Composés soufrés

- Présents dans les huiles d'ail ou d'oignon (ex. : diallyl disulfure) – à forte activité antimicrobienne.

➤ Coumarines et lactones

- Moins volatiles, souvent responsables de l'activité anti-inflammatoire sédative ou digestive.(22)

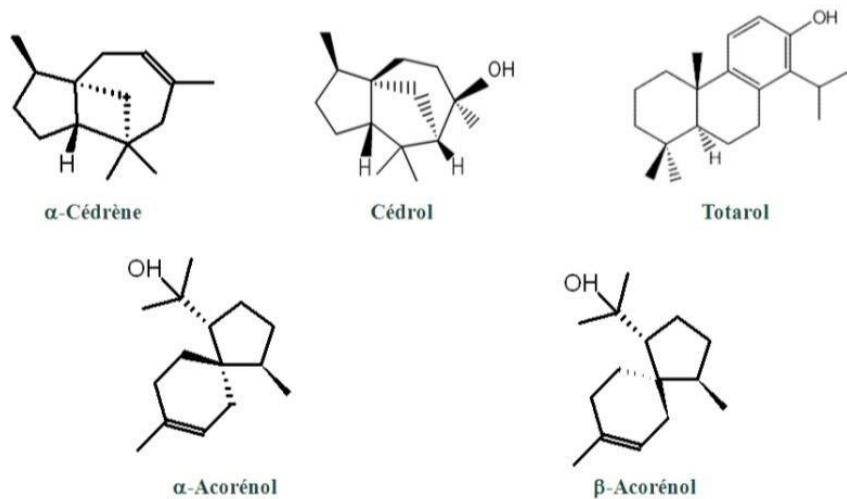


Figure 6 Structure des composés majoritaires de l'huile essentielle de *la sciure de bois*.(23)

1.2.5 Facteurs influençant la composition des huiles essentielles

La composition chimique des huiles essentielles est affectée par divers facteurs :

1.2.5.1 Facteurs endogènes (intrinsèques à la plante)

- **Espèce et variété botanique** : Chaque espèce possède un profil chimique distinct.
- **Chémotype** : Des variations chimiques au sein d'une même espèce dues à des facteurs génétiques et environnementaux.
- **Organe végétal utilisé** : Feuilles, fleurs, tiges, racines peuvent produire des huiles aux compositions différentes.
- **Stade de développement** : La maturité de la plante au moment de la récolte influence la concentration des composés.

1.2.5.2 Facteurs exogènes (environnementaux et agricoles)

- **Climat** : Température, humidité, ensoleillement et précipitations influencent la biosynthèse des composés volatils.
- **Type de sol (conditions édaphiques)** : La composition minérale et la texture du sol affectent la qualité de l'huile.
- **Pratiques culturales** : Irrigation, fertilisation, méthodes de récolte et de séchage ont un impact significatif.

1.2.5.3 Méthodes d'extraction

- **Technique utilisée** : Distillation à la vapeur, extraction par solvants, expression à froid, etc., peuvent altérer la composition chimique.
- **Conditions d'extraction** : Température, pression, durée influencent la qualité et la quantité des composés extraits.

1.2.5.4 Facteurs post-récolte

- **Stockage** : L'exposition à la lumière, à l'oxygène et aux variations de température peut entraîner la dégradation de certains composés.
- **Durée de conservation** : Avec le temps, certaines molécules peuvent s'oxyder ou se transformer, modifiant ainsi le profil chimique de l'huile.(24,25)

2 Présentation des Espèces Étudiées

2.1. La Lavande Vraie (*Lavandula angustifolia Mill*)

2.1.1 Description botanique

Lavandula angustifolia Mill est un sous-arbrisseau vivace, aromatique, originaire du bassin méditerranéen.

- **Taille** : Atteint généralement 30 à 60 cm de hauteur.
- **Tiges** : Quadrangulaires, ligneuses à la base, dressées.
- **Feuilles** : Opposées, simples, étroites, de couleur gris-vert, mesurant environ 2 à 6 cm de long.
- **Fleurs** : Petites, de couleur violette à bleu lavande, regroupées en épis terminaux.
- **Floraison** : De juin à août.
- **Fruits** : Tétrakènes contenant des graines brunes et lisses.(26)



Figure 7 Image de plante la lavande vraie.

2.1.1 Origine de la lavande vraie

La lavande vraie est une plante aromatique vivace appartenant à la famille des Lamiacées. Elle est originaire des régions montagneuses et ensoleillées du bassin méditerranéen occidental, notamment du sud de la France, de l'Espagne et de l'Italie. Elle pousse naturellement sur des pentes sèches et rocheuses, souvent sur des sols calcaires bien drainés.(27)

2.1.2 Répartition Géographique de la lavande vraie en Algérie

En Algérie, bien que la lavande vraie ne soit pas indigène, elle est cultivée dans certaines régions, notamment dans les zones à climat méditerranéen caractérisées par des étés chauds et

secs et des hivers doux et humides. Les conditions climatiques et édaphiques de ces régions sont propices à la culture de la lavande, permettant ainsi la production des huiles essentielles de qualité. (28,29)

2.1.3 Usages Traditionnels

La lavande vraie est utilisée depuis l'Antiquité dans la médecine traditionnelle. Son huile essentielle possède des propriétés antioxydantes, antimicrobiennes et anti-inflammatoires. Elle est traditionnellement employée pour :

- soulager les brûlures et les affections cutanées,
- calmer l'anxiété et favoriser le sommeil,
- traiter les troubles digestifs mineurs.(30)



Figure 8 : Image de plante la lavande vraie (*Lavandula angustifolia Mill*) .

2.1.4 Importance économique de la lavande vraie

La lavande vraie représente une culture à haute valeur économique, principalement en raison de :

- la demande croissante en cosmétiques naturels,
- son usage répandu en aromathérapie,
- sa valeur dans la production de parfums, de produits pharmaceutiques et de savons.

Elle est cultivée dans plusieurs pays méditerranéens, y compris en Algérie, dans des zones au climat sec et ensoleillé, propices à la production d'huile essentielle de haute qualité.(31)

2.1.5 Composition chimique de l'huile essentielle de lavande vraie (*Lavandula angustifolia Mill*)

L'huile essentielle de lavande vraie est principalement composée de monoterpènes et de leurs dérivés oxygénés, avec des variations quantitatives selon l'origine géographique, les conditions climatiques, le stade de développement de la plante et les méthodes d'extraction.(32).

2.1.5.1 Constituants principaux :(33)

Tableau 1: Composition chimique de l'huile essentielle de lavande vraie.

Composé	Famille chimique	Pourcentage approximatif
Linalol	Alcool monoterpénique	20-45 %
Acétate de linalyle	Ester monoterpénique	25-47 %
Lavandulol	Alcool monoterpénique	< 2 %
Acétate de lavandulyle	Ester monoterpénique	< 2 %
1,8-cinéole	Oxyde monoterpénique	1- 2,5 %
Camphre	Cétone monoterpénique	1,2 %

2.1.6 Propriétés Biologiques

• Activité antimicrobienne

L'activité antimicrobienne de l'huile essentielle de *Lavandula angustifolia Mill* est largement rapportée dans la littérature scientifique. Elle s'exerce contre un large éventail de bactéries pathogènes, incluant des souches à Gram-positif et à Gram-négatif. Son efficacité est notamment établie contre des espèces telles que *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* et *Salmonella poona*. Des études quantitatives, utilisant la méthode de diffusion sur disque, ont permis de mesurer cette activité inhibitrice. Par exemple, des diamètres d'inhibition de 24 mm et 22 mm ont été respectivement observés pour *Bacillus subtilis* et pour des isolats cliniques de *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline (MRSA). (34)

- **Activité anti-inflammatoire**

Le potentiel thérapeutique de *Lavandula angustifolia* a également été exploré pour ses activités analgésique et anti-inflammatoire. Des essais pharmacologiques menés *in vivo* ont validé l'efficacité de plusieurs de ses préparations. En particulier, l'extrait hydroalcoolique, la fraction riche en polyphénols et l'huile essentielle ont démontré une réduction significative de l'inflammation dans le modèle de l'œdème de la patte induit par la carraghénine. De même, ces extraits ont entraîné une diminution de la réponse nociceptive dans le test des contorsions induites par l'acide acétique.(35)

- **Activité antioxydante**

Les propriétés antioxydantes des extraits et de l'huile essentielle de *Lavandula angustifolia* ont fait l'objet de nombreuses investigations scientifiques. L'évaluation de leur capacité à neutraliser les espèces radicalaires a été réalisée au moyen de protocoles standardisés, incluant les tests de piégeage du radical DPPH[•] (2,2-diphénol-1-picrylhydrazyle) et du cation radical ABTS⁺ (acide 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)), ainsi que la mesure du pouvoir réducteur du fer (FRAP). Les résultats confirment que ces préparations exercent une activité de piégeage de radicaux et un pouvoir réducteur significatifs. Il a notamment été démontré que certains extraits éthanoliques présentent une IC₅₀ (concentration inhibitrice médiane) inférieure à celle de l'acide ascorbique, un antioxydant de référence, validant ainsi leur haute efficacité. (36)

- **Activité antifongique**

L'huile essentielle de *Lavandula angustifolia* a montré une activité antifongique contre *Candida albicans*. Elle inhibe la croissance, la formation de tubes germinatifs et l'elongation des hyphes de *C. albicans*. Par exemple, une concentration de 2% d'huile essentielle a tué 100% des cellules de *C. albicans* ATCC 3153 en 15 minutes.(37)

- **Inhibition enzymatique (α -amylase)**

L'inhibition de l'enzyme α -amylase par *Lavandula angustifolia* demeure un champ de recherche peu exploré dans la littérature scientifique. Néanmoins, une investigation notable a initié l'exploration de ce potentiel thérapeutique en s'intéressant à l'extrait éthanolique de la plante et à ses principaux constituants. Cette étude a adopté une approche intégrée, comprenant :

- Une caractérisation du profil phytochimique des extraits.
- Une évaluation *in vitro* de leurs activités biologiques.

- Des analyses prédictives in silico par amarrage moléculaire pour élucider les interactions au niveau du site actif de l'enzyme. (38)

2.2 La Menthe Verte (*Mentha spicata L*)

2.2.1 Description botanique

- **Taille** : Plante herbacée vivace atteignant généralement une hauteur de 30 à 100 cm. Elle se propage rapidement grâce à ses rhizomes souterrains, formant des colonies denses.
- **Tiges** : Tiges dressées, quadrangulaires (section carrée), parfois légèrement pubescentes. Elles sont robustes et peuvent être glabres ou glabrescentes.
- **Feuilles** : Feuilles opposées, simples, de forme ovale à lancéolée, mesurant environ 2 à 6 cm de long et 0,5 à 1,5 cm de large. Les bords sont dentés (serrés), et la surface peut être glabre ou légèrement pubescente. Les feuilles dégagent une odeur caractéristique de menthe due à la présence d'huiles essentielles riches en carvone.
- **Fleurs** : Fleurs petites, de couleur rose pâle à blanche, regroupées en épis terminaux denses mesurant de 4 à 10 cm de long. Chaque fleur est tubulaire, avec un calice à cinq dents et une corolle à quatre lobes presque égaux.
- **Floraison** : La floraison se produit principalement de juillet à octobre, selon les conditions climatiques.
- **Fruits** : Le fruit est un tétrakène, composé de quatre petites nucules ovoïdes, qui restent souvent enfermées dans le calice persistant après la floraison.(39–41).



Figure 9 : Image de plante la Menthe Verte.

2.2.2 Origine de la Menthe Verte :

Originaire du Proche-Orient et du sud de l'Europe, la menthe verte pousse aujourd'hui dans le monde entier, principalement dans les zones humides et ensoleillées. Ses feuilles sont utilisées pour traiter de nombreux maux, notamment les troubles digestifs, le rhume, ainsi que diverses affections cutanées et buccales, entre autres.(42)

2.2.3 Répartition Géographique de la Menthe Verte en Algérie

La menthe verte (*Mentha spicata L.*) est largement répandue en Algérie, s'adaptant à divers climats et régions du pays. Sa présence a été documentée dans plusieurs zones, notamment :

- **Ghardaïa** : Située dans le nord du Sahara algérien, cette région abrite des cultures de menthe verte. Une étude a analysé l'huile essentielle extraite de plantes cultivées à Ghardaïa, révélant des composés majeurs tels que le carvone (44,06 %) et le 1,8-cinéole (15,32 %).(43)
- **El Bayadh** : Dans l'ouest de l'Algérie, des spécimens de *Mentha spicata* ont été récoltés pour étudier leur rendement en huile essentielle et leur composition chimique.(44)
- **Béjaïa** : Située sur la côte méditerranéenne, cette région a vu des études sur les feuilles de *Mentha spicata*, mettant en évidence des composés tels que le carvone (48,5%), le limonène (20,7 %) et le 1,8-cinéole (5,4%).(45)
- **Bouira** : Dans le nord du pays, des échantillons de menthe verte ont été collectés dans la région montagneuse de Bir Ghebalou pour des études biologiques.(46)
- **Tébessa et El Tarf** : Ces régions de l'est de l'Algérie ont fourni des spécimens de *Mentha spicata* pour des recherches sur leurs activités anti-inflammatoires.(47)

Ces études démontrent que *Mentha spicata* est présente dans diverses régions algériennes, s'adaptant à des conditions climatiques variées.

Sa répartition géographique étendue reflète sa capacité d'adaptation et son importance dans la flore médicinale du pays.

Usages traditionnels de la Menthe Verte

La menthe verte est traditionnellement employée pour traiter divers maux :

- **Troubles digestifs** : utilisée comme carminatif et antispasmodique pour soulager les ballonnements et les douleurs abdominales.
- **Affections respiratoires** : utilisée pour apaiser la toux, l'asthme et le rhume.

- **Problèmes cutanés** : appliquée pour traiter certaines affections de la peau.
- **Diabète** : utilisée dans certaines cultures pour aider à réguler la glycémie.(48)

Ces usages sont soutenus par des études scientifiques qui ont mis en évidence les propriétés antimicrobiennes, antioxydantes, anti-inflammatoires et antidiabétiques de la plante.(41)

2.2.4 Importance économique de la Menthe Verte

La menthe verte a une valeur économique significative :

- **Industrie agroalimentaire** : utilisée comme arôme naturel dans les thés, les confiseries, les chewing-gums et les boissons.
- **Cosmétique et parfumerie** : son huile essentielle est incorporée dans les produits de soins, les dentifrices et les parfums.
- **Pharmaceutique** : exploitée pour ses propriétés thérapeutiques dans la fabrication de médicaments à base de plantes.

En Algérie, des études ont montré que l'huile essentielle de *Mentha spicata*, notamment celle extraite de la région de Laghouat, possède des activités antioxydantes et antimicrobiennes significatives, renforçant ainsi son potentiel économique.(49)

2.2.5 Composition chimique de l'huile essentielle de la Menthe Verte (50,51)

Tableau 2 Tableau comparatif de la composition chimique de l'huile essentielle de la menthe verte (*Mentha spicata*) dans deux pays.

Composé principal	Kermanshah, Iran (%)	Argentine (%)
Carvone	78,76	60,72 - 68,09
Limonène	11,50	14,23 - 16,41
1,8-cinéole	—	1,69 - 2,73
β-Myrcène	—	0,35 - 2,33
Menthone	1,01	—
Menthol	1,00	—
Cis-dihydrocarvénol/carvone	1,43	1,82 - 2,31
Trans-carvénol	—	1,09 - 1,19
β-Bourbonène	11,23	2,44 - 3,17
β-Caryophyllène	1,04	1,42 - 1,82
α-Pinène	—	0,12 - 3,14

2.2.6 Propriétés biologiques

• Propriétés digestives

La menthe verte stimule la production de bile, facilitant la décomposition des graisses et l'absorption des nutriments. Son action antispasmodique réduit les ballonnements et les gaz intestinaux en relaxant les muscles de l'estomac. Elle soulage également les nausées et les maux d'estomac.(52,53)

• Activité antimicrobienne

Effet sur les bactéries : L'huile essentielle de menthe verte inhibe la croissance de bactéries pathogènes (ex. *Staphylococcus aureus*), avec des diamètres d'inhibition allant jusqu'à 15 mm.(54,55)

• Pouvoir antioxydant

Les extraits de menthe verte neutralisent les radicaux libres via :

- **La méthode DPPH** : 77,75 % d'inhibition à 43,02 mg/mL.(54)

• Effets anti-inflammatoires et neurologiques

- **Anti-inflammatoire** : Réduit l'inflammation des muqueuses et de la peau.(56,57)
- **Système nerveux** : À faible dose, elle stimule le système nerveux ; à haute dose, elle devient convulsivante.(55)
- **Application** : Soulagement des céphalées et des bronchites (expectorant).(57,58)

• Activité antifongique

- Une étude démontre que l'huile essentielle de *Mentha spicata* inhibe la croissance de *Candida albicans* avec un diamètre d'inhibition allant de 14,3 à 44,3 mm.(55)
- Les extraits à base de *Mentha pulegium* (menthe pouliot) ont aussi un effet antifongique sur *Fusarium* spp., intéressant pour la conservation des céréales.(59)

• Activité enzymatique alpha-amylase

- Bien que les résultats spécifiques sur *Mentha spicata* soient moins nombreux, des extraits de plantes aromatiques comme la menthe sont connus pour inhiber l'enzyme alpha-amylase, ce qui peut aider à moduler la digestion des glucides et avoir un effet antidiabétique.
- Certaines études sur des extraits de *Mentha spicata* ont montré un potentiel d'inhibition enzymatique, notamment via leurs composés phénoliques et terpènes, mais il faut consulter les études spécifiques pour des données quantitatives précises.(55)

3 Extraction, Caractérisation et Évaluation Biologique des Huiles Essentielles

3.1 Méthodes d'Extraction des HE

Les huiles essentielles, composés aromatiques volatils extraits des plantes, jouent un rôle central en aromathérapie, en cosmétique et dans l'industrie agroalimentaire. Leur qualité dépend étroitement des méthodes d'extraction employées, chacune influençant la composition chimique et les propriétés biologiques finales.

3.1.1 Distillation à la vapeur d'eau

- **Principes et mécanismes**

La distillation à la vapeur d'eau, introduite par les Arabes au IX^e siècle, reste la méthode la plus répandue pour l'extraction des huiles essentielles. (60,61)

Le procédé implique un alambic où la vapeur traverse la matière végétale, rompant les structures cellulaires et entraînant les molécules volatiles. La condensation ultérieure dans un essencier sépare l'huile essentielle de l'hydrolat. (60,62)

- **Avantages :**

- Adaptée à la majorité des plantes (lavande, romarin, eucalyptus).
- Préservation relative des composés thermostables grâce à des températures contrôlées (100°C) (61,62)

- **Inconvénients :**

- Risque de dégradation des composés sensibles comme certains terpénoïdes.
- Rendements variables selon la teneur en huile de la plante (ex. : 200 kg de lavande pour 1 kg d'huile). (63)

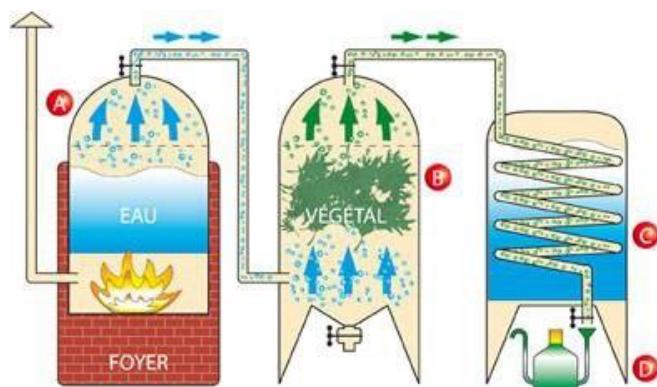


Figure 10 : Schéma illustrant la méthode d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau.(64)

3.1.2 Expression à froid

- **Procédé mécanique**

Réservée aux zestes d'agrumes (citron, orange), cette méthode utilise des presses hydrauliques pour percer les poches à essence sans chauffage. Le résultat est une « essence » plutôt qu'une huile essentielle, riche en limonène et citral. (60,62)

- **Avantages :**

- Aucune altération thermique, préservant les notes aromatiques fraîches.
- Rapidité d'exécution avec des machines automatisées modernes.

- **Inconvénients :**

- Limité aux plantes à poches superficielles.
- Risque de contamination par les pesticides sur les zestes non bio(60,62)

3.1.3 Extraction au CO₂ supercritique

- **Innovation technologique**

Ce procédé utilise du dioxyde de carbone sous pression (73,8 bars) et température (31°C) critiques, lui conférant des propriétés hybrides solvant/gaz. Il pénètre les tissus végétaux, dissout les huiles, puis se vaporise sans résidu.(60,62)

- **Avantages :**

- Extraction intégrale des molécules lourdes (cires, résines).(62)
- Absence de dégradation thermique, idéale pour les composés sensibles.(60)

- **Inconvénients :**

- Investissement initial élevé en équipements spécialisés.
- Coûts opérationnels limitant son usage aux huiles haut de gamme (vanille, rose).(65)

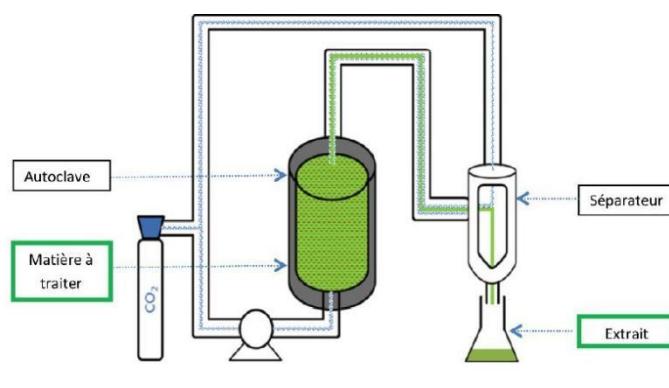


Figure 11 : Schéma illustrant la méthode d'extraction au CO₂ supercritique(66)

3.1.4 Extraction par solvants volatils

- **Procédés chimiques**

Des solvants comme l'hexane ou l'éthanol dissolvent les huiles, ensuite séparées par évaporation(60,62). Bien qu'efficace pour les fleurs délicates, cette méthode soulève des inquiétudes :

- Résidus de solvants potentiellement toxiques dans l'extrait final.(62)
- Altération du profil aromatique par sélectivité des solvants.(60)

- **Utilisations actuelles :**

- Production de concrètes et absolues en parfumerie.(67)
- Extraction de composés non volatils (résines, gommes),(62)

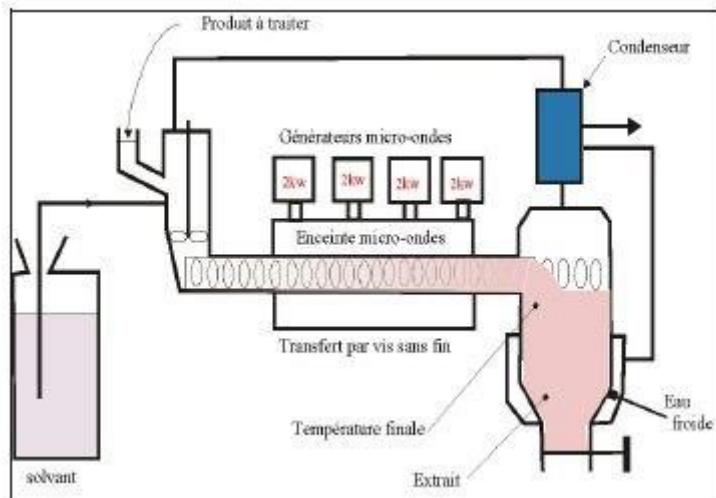


Figure 12 : Schéma illustrant la méthode d'extraction par solvants volatils.(68)

3.1.5 Hydrodistillation (Clevenger) :

- **Le principe (appareil de Clevenger)**

L'hydrodistillation à l'aide de l'appareil de Clevenger est une méthode classique et largement utilisée pour l'extraction des huiles essentielles à partir de plantes aromatiques. Le procédé consiste à chauffer la matière végétale, immergée ou non dans l'eau, jusqu'à ébullition. La vapeur d'eau entraîne les composés volatils (essentiellement des huiles essentielles), qui sont ensuite condensés dans un réfrigérant.

L'appareil de Clevenger permet la récupération continue de l'huile essentielle par séparation gravimétrique dans un tube gradué, ce qui offre à la fois une efficacité d'extraction et une mesure précise du rendement. Cette méthode est adaptée à une large gamme de plantes et permet de préserver les composés thermosensibles lorsqu'elle est bien contrôlée. (69)

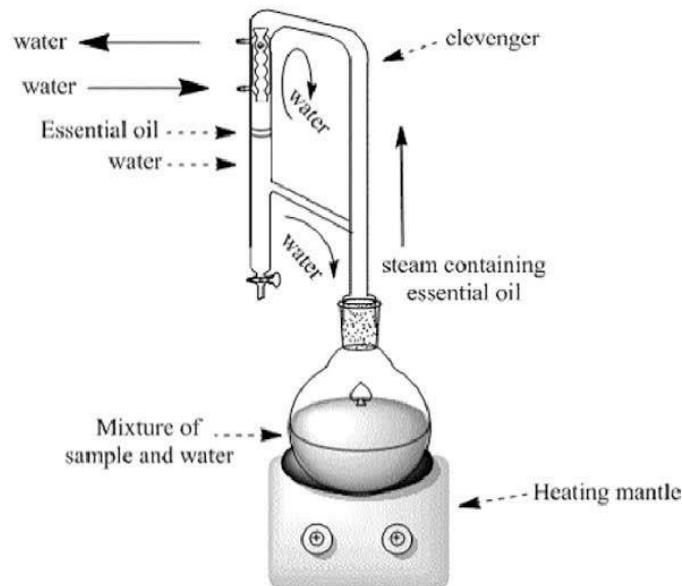


Figure 13 : Schéma illustrant la méthode d'extraction par Hydrodistillation (Clevenger).(70)

- **Paramètres influençant le rendement et la qualité**

- **Temps d'hydrodistillation**

Un temps optimal est nécessaire pour extraire un maximum d'huile sans dégrader les composés.

Pour *Rosmarinus officinalis*, 210 minutes ont été identifiées comme optimales pour un bon rendement (~2,3 %).

- **Température de chauffage**

Elle influence la vitesse de production de vapeur et la qualité de l'huile.

Une température autour de 250°C est idéale ; au-delà (350°C), des problèmes de reflux et de dégradation peuvent survenir.

- **Rapport eau/matière végétale**

Un rapport suffisant (environ 10,5 x 100 ml d'eau pour 100 g de plante) garantit une immersion complète et une bonne extraction.

Trop peu d'eau réduit l'efficacité, trop d'eau augmente la consommation énergétique inutile.

– **Durée et conditions de séchage de la matière végétale**

Un séchage d'environ 8 jours avant extraction améliore le rendement en huile essentielle.

Le séchage influence la teneur en eau et la libération des composés volatils.

– **Interactions entre paramètres**

L'effet du temps d'hydrodistillation dépend de la température de chauffage.

L'effet du séchage varie selon le rapport eau/matière végétale. (71)

➤ **Justification du choix de cette méthode**

Parmi les différentes méthodes d'extraction des huiles essentielles que nous avons explorées, telles que l'hydrodistillation, l'extraction par solvants volatils, l'extraction au CO₂ supercritique ou encore l'expression à froid, notre choix s'est porté sur l'hydrodistillation. Cette technique nous a semblé la plus adaptée à notre contexte de travail en raison de sa simplicité de mise en œuvre, de la disponibilité du matériel nécessaire (notamment l'appareil de Clevenger) et de l'absence de solvants chimiques ou de conditions extrêmes de pression. Contrairement à d'autres procédés plus coûteux ou techniquement exigeants. Comme l'extraction au CO₂ supercritique, ou potentiellement problématiques sur le plan sanitaire, comme l'extraction par solvants, l'hydrodistillation offre une solution fiable, accessible et suffisamment efficace pour extraire les composés volatils d'un grand nombre de plantes aromatiques. C'est donc une méthode que nous avons jugée en même temps pertinente, économique et adaptée à nos objectifs.

3.2 Méthodes de Caractérisation Chimique des HE

3.2.1 Chromatographie en Phase Gazeuse (CPG / GC)

La chromatographie en phase gazeuse (CPG) est une méthode clé pour la caractérisation chimique des huiles essentielles. Son principe repose sur la séparation des différents composés volatils présents dans l'huile essentielle, permettant ainsi d'identifier et de quantifier chacun d'eux.

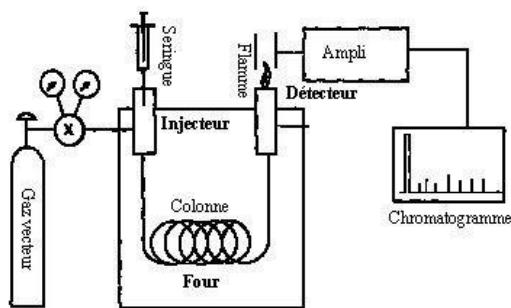


Figure 14 : Schéma illustrant la méthode de Chromatographie en Phase Gazeuse (CPG / GC).(72)

3.2.1.1 Principe appliqué aux huiles essentielles :

- L'échantillon d'huile essentielle est injecté dans un injecteur chauffé où il est vaporisé sans dégradation.
- Les composés volatils sont entraînés par un gaz vecteur inerte (comme l'hélium) à travers une colonne chromatographique contenant la phase stationnaire.
- Chaque molécule interagit différemment avec la phase stationnaire selon ses propriétés chimiques (polarité, taille, solubilité), ce qui modifie son temps de rétention dans la colonne.
- À la sortie de la colonne, les composés sont détectés un à un par un détecteur (souvent un détecteur à ionisation de flamme ou un spectromètre de masse).
- Le détecteur envoie un signal électrique proportionnel à la quantité de chaque composé, générant un chromatogramme où chaque pic correspond à un composant spécifique.

Cette méthode permet de dresser un profil chimique précis de l'huile essentielle, essentiel pour vérifier sa qualité, sa pureté, et identifier son chémotype. Elle est largement utilisée dans le contrôle qualité et la recherche pour assurer la constance et l'authenticité des huiles essentielles.(73–75)

3.2.2 Couplage CPG-Spectrométrie de Masse (CPG-SM / GC-MS) :

Le couplage chromatographie en phase gazeuse – spectrométrie de masse (CPG-SM) représente une méthode analytique de choix pour l'étude des huiles essentielles. Cette technique permet non seulement la séparation, mais également l'identification et la

quantification précise des constituants volatils, souvent très complexes, qui composent ces extraits naturels.

3.2.2.1 Principe de la méthode CPG-SM appliquée aux huiles essentielles

- Séparation par chromatographie en phase gazeuse (CPG)

L'échantillon d'huile essentielle, généralement préalablement dilué, est introduit dans un injecteur chauffé, où il est vaporisé sans altération. Les composés volatils ainsi générés sont transportés par un gaz vecteur inerte – le plus souvent de l'hélium – à travers une colonne capillaire contenant une phase stationnaire adaptée. Chaque molécule interagit différemment avec cette phase selon ses caractéristiques physico-chimiques (telles que la polarité ou la volatilité), ce qui entraîne une séparation temporelle : chaque composé atteint le détecteur à un moment précis, appelé temps de rétention.

- Identification par spectrométrie de masse (SM)

À la sortie de la colonne, les composés séparés sont dirigés vers le spectromètre de masse. Ils y subissent une ionisation, en général par impact électronique à 70 eV, entraînant leur fragmentation en ions spécifiques. Le spectromètre enregistre alors le rapport masse/charge (m/z) de ces fragments, produisant un spectre de masse caractéristique propre à chaque molécule.

- Comparaison aux bases de données spectrales

Les spectres de masse obtenus sont comparés à des bibliothèques de référence reconnues, permettant d'identifier les composés avec une grande fiabilité. Cette identification est d'autant plus robuste qu'elle est croisée avec les temps de rétention ou les indices de Kováts, renforçant la précision et la reproductibilité de l'analyse.(75,76)

3.2.2.2 Identification des composés dans les huiles essentielles

- Grâce à sa haute résolution, la CPG-SM permet d'identifier la grande majorité des composants volatils présents dans les huiles essentielles, représentant souvent plus de 99 % de leur composition. Parmi ces constituants, on retrouve une diversité de familles chimiques telles que les monoterpènes, les sesquiterpènes, les alcools, les cétones, les esters, ainsi que d'autres dérivés oxygénés.
- Chaque pic du chromatogramme correspond à un composé distinct, dont l'identité est confirmée par son spectre de masse. À titre d'exemple, l'analyse des huiles essentielles extraites de *Tetraclinis articulata* a permis d'identifier avec précision entre 22 et 28

composés, dont plusieurs constituants majeurs tels que l' α -acorénol, le cédrol ou encore le camphre .

- Enfin, cette méthode se révèle particulièrement utile pour la mise en évidence de chimiotypes spécifiques, définis par la prédominance de certains composés. Cette caractérisation chimique approfondie est essentielle pour la valorisation des huiles essentielles en tant qu'agents biologiques ou thérapeutiques (77,78)

3.2.3 Indices de Rétention (IR) :

Les indices de rétention (IR) sont des valeurs normalisées utilisées en chromatographie en phase gazeuse (GC) pour identifier les composants des huiles essentielles. Ils permettent de comparer le temps de rétention d'un composé avec ceux d'une série d'alcanes standards, ce qui facilite son identification même en présence de variations instrumentales.

➤ Calcul de l'indice de rétention (IR)

L'indice de rétention d'un composé est calculé à partir de son temps de rétention (t_R) et des temps de rétention des alcanes standards (T_n et T_{n+1}) qui l'entourent, selon la formule de Kovats :

$$IR = 100 \times \left[n + \frac{(Tr - Tn)}{(Tn+1 - Tn)} \right]$$

Où :

- n est le nombre de carbones de l'alcane précédent
- Tr est le temps de rétention du composé
- Tn et $Tn+1$ sont les temps de rétention des alcanes adjacents avec n et $n+1$ carbones respectivement.

Par exemple, une molécule élue entre les alcanes C10 et C11 aura un IR entre 1000 et 1100, selon sa position exacte.(79–81)

3.2.3.1 Utilisation des indices de rétention pour l'identification

Les IR sont utilisés pour comparer les composés détectés à des bases de données ou à la littérature (ex. base NIST, livre de Robert P. Adams) afin d'identifier les molécules présentes dans une huile essentielle.

L'IR est plus robuste que le simple temps de rétention, car il normalise les variations liées aux conditions chromatographiques.(80–82)

Pour une identification fiable, il est conseillé d'utiliser plusieurs colonnes chromatographiques (ex. DB-5 et Solgel-Wax) car certains composés peuvent coéluer sur une seule colonne.

L'IR est souvent combiné avec la spectrométrie de masse (GC-MS) pour confirmer l'identification des composants.

3.3 Introduction aux Activités Biologiques Étudiées et Méthodes d'Évaluation in vitro

3.3.1 Le Stress Oxydant et l'Activité Antioxydante

- Le stress oxydatif désigne un état de déséquilibre biologique résultant d'une production excessive d'espèces réactives de l'oxygène (ERO), dépassant les capacités de défense des systèmes antioxydants endogènes. Ces ERO — connues également sous le terme anglais Reactive Oxygen Species (ROS) — sont des molécules instables, souvent des radicaux libres, capables d'interagir avec divers constituants cellulaires, tels que les lipides, les protéines et l'ADN, entraînant ainsi des altérations structurelles et fonctionnelles potentiellement délétères pour la cellule.(83–85)
- **Origine et rôle physiologique des ERO/ROS**

Les ERO sont naturellement générées au cours du métabolisme cellulaire, notamment dans les mitochondries lors de la phosphorylation oxydative. À faibles concentrations, ces espèces réactives jouent un rôle important dans la signalisation intracellulaire, la régulation de l'expression génique ainsi que dans la réponse immunitaire, en particulier au sein des cellules phagocytaires.

Cependant, une production excessive ou un dysfonctionnement des mécanismes de détoxicification peut conduire à une accumulation de ces molécules, entraînant un stress oxydatif dommageable. Les principales ERO impliquées sont l'anion superoxyde (O_2^-), le radical hydroxyle ($\cdot OH$) et le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), chacun possédant un fort pouvoir oxydant.(83,84,86)

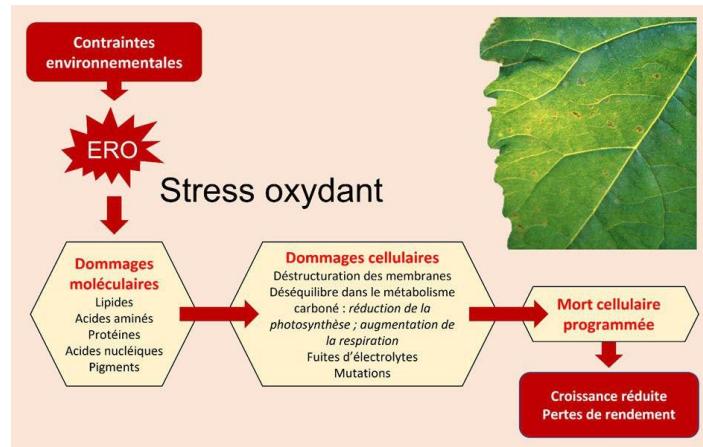


Figure 15 : L'effet du stress oxydant.(87)

- **Conséquences biologiques et pathologiques**

Lorsqu'elles sont présentes en excès, les ERO peuvent induire des dommages oxydatifs sur les macromolécules cellulaires, tels que la peroxydation des lipides membranaires, l'oxydation des résidus protéiques et les cassures de l'ADN. Ces lésions compromettent l'intégrité et le fonctionnement des cellules, pouvant entraîner des réponses cellulaires comme l'apoptose ou, dans certains cas, la nécrose.

Le stress oxydatif est aujourd'hui reconnu comme un facteur clé dans le développement et la progression de nombreuses pathologies chroniques. Parmi celles-ci figurent les maladies cardiovasculaires, les cancers, les affections neurodégénératives (telles qu'Alzheimer et Parkinson), le diabète, les états inflammatoires chroniques, ainsi que le vieillissement prématué des cellules.

Ainsi, comprendre les mécanismes du stress oxydatif et le rôle des ERO représente un enjeu majeur en biologie cellulaire et en médecine, tant pour la prévention que pour le développement de stratégies thérapeutiques ciblant les processus oxydatifs.(85,86,88)

3.3.1.1 Mécanismes de défense antioxydante

Les mécanismes de défense antioxydante jouent un rôle fondamental dans la neutralisation des espèces réactives de l'oxygène (ROS), permettant ainsi de limiter les dommages oxydatifs au niveau cellulaire. On distingue principalement deux grandes catégories de ces systèmes : les mécanismes enzymatiques et non enzymatiques, qui fonctionnent souvent de manière complémentaire :

3.3.1.1.1 Défenses enzymatiques

Parmi les enzymes antioxydantes les plus importantes, on retrouve :

- **La superoxyde dismutase (SOD)** : elle transforme l'anion superoxyde (O_2^-) en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et en dioxygène (O_2).
- **La catalase (CAT)** : elle intervient ensuite pour décomposer le H_2O_2 en eau (H_2O) et en O_2 , évitant ainsi son accumulation toxique.
- **La glutathion peroxydase (GPx)** : elle réduit le H_2O_2 et les hydroperoxydes lipidiques grâce au glutathion réduit (GSH), jouant ainsi un rôle crucial dans la protection des membranes cellulaires.
- **La glutathion réductase (GR)** : elle permet de régénérer le GSH à partir de sa forme oxydée (GSSG), assurant la continuité du cycle antioxydant.

Ces enzymes sont localisées dans différents compartiments cellulaires (comme les mitochondries, le cytosol ou les membranes), ce qui garantit une défense ciblée et efficace contre les ROS.(89–91)

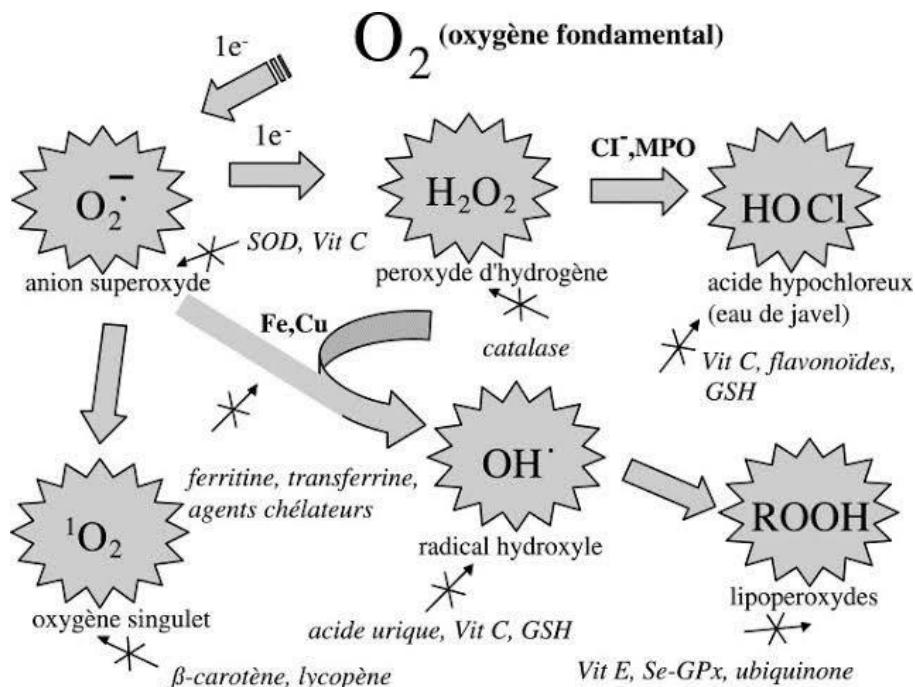


Figure 16 : Mécanismes physiologiques de la défense antioxydant.(92)

3.3.1.1.2 Défenses non enzymatiques

En parallèle, l'organisme dispose de molécules antioxydantes non enzymatiques, qu'on peut regrouper selon leur solubilité :

- Antioxydants hydrosolubles :

- La vitamine C (acide ascorbique), qui agit directement en neutralisant les radicaux libres.
 - Le glutathion (GSH), un puissant réducteur qui collabore étroitement avec la GPx dans les réactions de détoxicification.
- Antioxydants liposolubles :
- La vitamine E (α -tocophérol), qui protège les lipides membranaires de la peroxydation.
 - Les caroténoïdes (comme le β -carotène ou le lycopène), efficaces dans le piégeage des radicaux libres.
 - Les flavonoïdes (quercétine, anthocyanes), qui possèdent une double action : chélatante vis-à-vis des métaux et inhibitrice des enzymes pro-oxydantes.(93,94)

3.3.1.2 Importance des antioxydants naturels

Les antioxydants naturels occupent une place centrale dans les mécanismes de défense de l'organisme face aux radicaux libres — des espèces moléculaires instables générées à la fois par les processus métaboliques endogènes et par l'exposition à divers facteurs environnementaux tels que la pollution, le stress ou encore les rayonnements ultraviolets.(95,96)

3.3.1.3 Protection contre le stress oxydatif et le vieillissement prématué

Les radicaux libres, en excès, provoquent un déséquilibre redox au sein des cellules, entraînant un stress oxydatif susceptible d'endommager les membranes cellulaires, les protéines structurales, ainsi que l'ADN. Cette situation favorise le vieillissement cellulaire accéléré et la survenue de pathologies chroniques. Les antioxydants, par leur capacité à stabiliser ces radicaux en leur cédant un électron, interrompent la chaîne de réactions oxydatives. Ce mécanisme est particulièrement pertinent dans la préservation de l'intégrité cutanée et la prévention du vieillissement de la peau.(95–97)

3.3.1.4 Prévention des maladies dégénératives et chroniques

Une abondance d'études épidémiologiques et expérimentales souligne le rôle protecteur des antioxydants dans la prévention de maladies cardiovasculaires, de certains cancers, ainsi que de troubles inflammatoires et neurodégénératifs liés à l'âge. Les vitamines C et E, en particulier, sont associées à une diminution du risque d'accidents vasculaires cérébraux et de carcinogenèse. Par ailleurs, des antioxydants endogènes tels que le glutathion, synthétisé par l'organisme, contribuent activement à la détoxicification cellulaire et à la modulation des réponses inflammatoires.(98,99)

3.3.1.5 Renforcement du système immunitaire

Au-delà de leur action anti-radicalaire, les antioxydants jouent un rôle immunomodulateur. Ils participent au maintien de l'intégrité des cellules immunitaires, réduisant les dommages oxydatifs et améliorant la résistance de l'organisme face aux agressions virales et bactériennes.(99).

3.3.1.6 Principales sources alimentaires d'antioxydants naturels

Les antioxydants d'origine naturelle sont principalement fournis par une alimentation variée et équilibrée, riche en produits végétaux et, dans une moindre mesure, en produits animaux. Les principales catégories comprennent :

- **Vitamines** : vitamine C (agrumes, fraises, poivrons), vitamine E (oléagineux, huiles végétales), vitamine A et ses précurseurs (bêta-carotène présent dans les carottes, épinards). (96,97,99)
- Minéraux : sélénium (noix du Brésil, poissons), zinc (graines, fruits de mer).(95,97)
- Composés phytochimiques : polyphénols (thé vert, fruits rouges, vin rouge), flavonoïdes (quercétine dans les pommes et les oignons, anthocyanes dans les baies), curcumine (curcuma), lycopène (tomates, pastèque). (97)
- Autres : astaxanthine (présente dans certains crustacés), glutathion (synthétisé par le foie et trouvé dans certains aliments riches en soufre).(97,99)

3.3.1.7 Méthodes d'évaluation

3.3.1.7.1 Le test DPPH

Le test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) est une méthode couramment utilisée pour évaluer l'activité antioxydante d'une molécule ou d'un extrait végétal.

➤ Principe du test DPPH

- Le DPPH est un radical libre stable, de couleur violette, qui présente une forte absorption à 517 nm en spectrophotométrie UV-visible.
- Lorsqu'un antioxydant (souvent un composé phénolique) est ajouté, il peut transférer un atome d'hydrogène au radical DPPH, le réduisant en DPPH-H, qui est de couleur jaune pâle.
- Cette réaction de réduction entraîne une diminution de l'absorbance à 517 nm, mesurable par spectrophotométrie.

- La vitesse et l'ampleur de la diminution d'absorbance dépendent de la nature et de la concentration de l'antioxydant testé.
- En pratique, on prépare une solution de DPPH à concentration connue, puis on ajoute l'échantillon antioxydant. On mesure l'absorbance à intervalles réguliers jusqu'à stabilisation.
- Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH est calculé par la formule :

$$PI = 100 \times \frac{A0 - A1}{A0}$$

Où A0 est l'absorbance du DPPH seul (témoin) et A1 l'absorbance avec l'antioxydant.

- On peut déterminer la concentration efficace (CE₅₀) qui correspond à la concentration d'antioxydant nécessaire pour neutraliser 50 % des radicaux DPPH.(100–103)

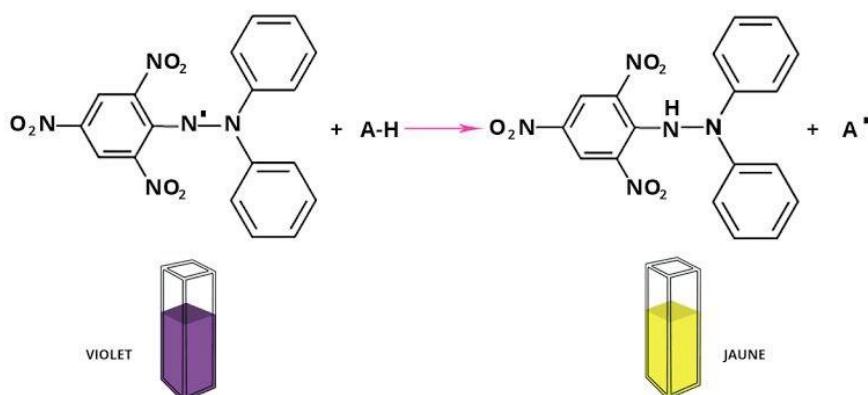


Figure 17 : Changement de couleur du DPPH lors de la réaction avec un antioxydant.(104)

3.3.1.7.2 Principe de test ABTS

Le test ABTS (2,2'-azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)) constitue une méthode couramment utilisée pour évaluer le pouvoir antioxydant des extraits naturels, des denrées alimentaires ou de composés purs. Ce test repose sur la formation du radical cation ABTS^{•+}, caractérisé par une coloration bleu-vert intense et une forte absorption à une longueur d'onde de 734 nm. La capacité antioxydante d'un échantillon est déterminée par sa faculté à neutraliser ce radical, ce qui se traduit par une diminution mesurable de l'absorbance. (105,106)

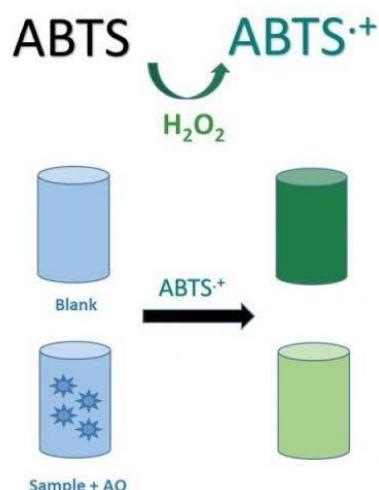


Figure 18 : Principe du test antioxydant basé sur l'oxydation de l'ABTS.(107)

➤ **Étapes du protocole**

- **Génération du radical ABTS⁺**

Le radical cation est généré par oxydation de l'ABTS en présence de persulfate de potassium ($K_2S_2O_8$). Typiquement, une solution d'ABTS à 7 mM est mélangée à une solution de persulfate de potassium à 24,24 mM. Ce mélange est incubé à température ambiante, à l'abri de la lumière, pendant une durée de 12 à 16 heures, permettant ainsi la formation complète du radical.

- **Dilution de la solution radicalaire**

La solution contenant le radical ABTS⁺ est ensuite diluée avec un tampon approprié (souvent le PBS, pH 7,4) de manière à obtenir une absorbance initiale comprise entre 0,7 et 1,2 à 734 nm.

- **Réaction avec l'antioxydant**

L'échantillon à analyser est introduit dans la solution d'ABTS⁺. Les composés antioxydants présents vont réduire le radical cation, ce qui induit une décoloration proportionnelle à l'activité antioxydante de l'échantillon.

- **Mesure spectrophotométrique**

L'absorbance est mesurée à 734 nm, généralement après un temps de réaction compris entre 6 et 20 minutes, selon les conditions expérimentales choisies.

- **Calcul de l'activité antioxydante**

L'activité antioxydante est exprimée en équivalents Trolox (TEAC), un standard de référence, à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec des concentrations connues de Trolox. (106,108,109)

3.3.1.7.3 Principe de test FRAP

Le test FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) est une méthode de référence permettant d'évaluer la capacité antioxydante d'un échantillon, en mesurant sa capacité à réduire le fer ferrique (Fe^{3+}), complexé avec le TPTZ (2,4,6-trypyridyl-s-triazine), en fer ferreux (Fe^{2+} -TPTZ). Ce dernier forme un complexe bleu intense, dont l'absorbance maximale est observée à 593 nm. La réaction se déroule dans un milieu acide (pH 3,6), condition essentielle pour assurer la solubilité du fer et favoriser le transfert électronique.(110)

Composition du réactif FRAP

- Le réactif FRAP est constitué de trois composants principaux :

Un tampon acétate à pH 3,6,

Une solution de TPTZ dissoute dans de l'acide chlorhydrique,

Et du chlorure de fer(III) hexahydraté ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$).

Mécanisme de la réaction et mesure de l'activité antioxydante

- Lorsqu'un antioxydant est présent dans l'échantillon, il agit en réduisant les ions Fe^{3+} du complexe Fe^{3+} -TPTZ en ions Fe^{2+} . Cette réduction entraîne la formation du complexe Fe^{2+} -TPTZ, responsable de la coloration bleue mesurable par spectrophotométrie à 593 nm.
- L'intensité de la coloration est directement proportionnelle à la capacité réductrice de l'échantillon, c'est-à-dire à son pouvoir antioxydant.

❖ Expression des résultats

- Les résultats du test FRAP sont exprimés en équivalents ferreux (Fe^{2+}), généralement en millimoles de Fe^{2+} par gramme ou par litre d'échantillon. L'évaluation repose sur une courbe d'étalonnage construite à partir de solutions standards de sulfate ferreux ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$).(111, 112)

3.3.2 Les Infections Fongiques et l'Activité Antifongique

Les infections à champignons constituent un problème de santé publique significatif, entraînant un nombre de décès annuel dépassant 1,5 million à l'échelle mondiale, principalement attribuables aux mycoses systémiques et aux candidoses invasives. Leur pertinence clinique est de plus en plus cruciale en raison de l'émergence de résistances aux antifongiques, ce qui complique la gestion thérapeutique.(113,114)



Figure 19 : Infections fongiques

3.3.2.1 Impact épidémiologique et clinique

- **Prévalence alarmante :** Plus de 300 millions de personnes touchées annuellement par des mycoses sévères, avec 4,1% d'incidence pour les infections invasives dans certaines populations hospitalières.(113)
- **Populations à risque :**
 - Patients immunodéprimés (VIH, chimiothérapie)
 - Utilisateurs prolongés d'antibiotiques à large spectre(115)
 - Porteurs de dispositifs médicaux invasifs(113)
- **Morbidité significative :** Les infections systémiques atteignent fréquemment poumons, foie et système nerveux central, avec une létalité atteignant 40-60% dans les candidémies.(114,116)

3.3.2.2 Mécanismes de résistance aux antifongiques

Tableau 3 : Mécanismes de résistance aux antifongiques

Mécanisme	Exemple clinique	Impact thérapeutique
Surexpression des pompes à efflux	<i>Candida glabrata</i> résistant aux azolés	Réduction de la concentration intracellulaire(117,118)
Modification de la cible	Mutations ERG11 chez <i>C. albicans</i>	Résistance au fluconazole(116,118)
Biofilm protecteur	<i>Candida</i> spp. sur cathéters	Résistance aux échinocandines(114,117)
Détournement métabolique	Utilisation de voies alternatives chez <i>Aspergillus</i>	Échappement aux polyènes(118)

3.3.2.3 Recherche de nouveaux antifongiques naturels

La recherche de nouveaux agents antifongiques naturels s'oriente de plus en plus vers l'exploration des substances bioactives produites par les micro-organismes et les plantes. Parmi les sources les plus prometteuses, les bactéries isolées de divers types de sols, notamment les actinomycètes, font l'objet d'études approfondies en raison de leur capacité à synthétiser des composés antifongiques efficaces contre une large gamme de champignons pathogènes.(119)

Parallèlement, la biodiversité végétale constitue un réservoir inestimable de métabolites secondaires, tels que certains pigments naturels ou composés phénoliques, présentant un fort potentiel antifongique. Ces substances, souvent issues de plantes médicinales ou aromatiques, sont au cœur de nombreuses investigations visant à identifier des alternatives durables aux traitements chimiques.(120,121)

Les avancées récentes dans le domaine de l'éco-extraction ont également permis de valoriser des composés d'origine végétale, comme ceux extraits du bois de vigne, pour la formulation de solutions antifongiques naturelles destinées notamment à la conservation agroalimentaire. Ces techniques, respectueuses de l'environnement, permettent de limiter l'usage d'antifongiques de synthèse tout en assurant une protection efficace des denrées.(120)

Enfin, les interactions mutualistes entre insectes sociaux et micro-organismes symbiotiques offrent un nouveau champ d'exploration pour l'identification de molécules antifongiques inédites. Ces systèmes naturels, optimisés par l'évolution, inspirent le développement de nouveaux agents antimicrobiens.

Dans un contexte de résistance croissante des champignons aux antifongiques conventionnels, ces approches innovantes apparaissent comme des alternatives prometteuses, alliant efficacité, innocuité et durabilité.(116)



Figure 20 : Image des antifongiques naturels.(122)

3.3.2.4 Les approches courantes pour évaluer l'activité antifongique

Les approches courantes pour évaluer l'activité antifongique sont :

- Méthode de diffusion en milieu gélosé : un disque ou un puits contenant l'extrait antifongique est déposé sur une gélose ensemencée avec le champignon. Après incubation, la zone d'inhibition autour du disque est mesurée pour évaluer l'efficacité antifongique. Cette méthode est simple et rapide, utilisée notamment avec des milieux comme Sabouraud ou PDA.(123,124)

- Méthode de microdilution en milieu liquide (détermination de la CMI/CMF) : consiste à préparer des dilutions en série de l'agent antifongique dans un milieu liquide, puis à y inoculer le champignon. Après incubation, on détermine la concentration minimale inhibitrice (CMI) ou minimale fongicide (CMF), c'est-à-dire la plus faible concentration empêchant la croissance visible ou tuant.
 - Le champignon. Cette méthode est quantitative et standardisée (norme CLSI).(125–127)
- Ces deux méthodes sont complémentaires pour caractériser l'efficacité antifongique d'un composé ou d'un extrait naturel.

3.3.3 Les Infections Bactériennes et l'Activité Antibactérienne :

3.3.3.1 Problématique de l'antibiorésistance.

Le phénomène de l'antibiorésistance constitue un enjeu sanitaire majeur dans le secteur cosmétique. La formulation des produits intègre systématiquement des agents biocides (conservateurs, antiseptiques) afin d'assurer leur stabilité microbiologique et de prévenir toute contamination. Toutefois, une exposition continue ou sublétale à ces agents exerce une pression de sélection favorisant l'émergence de souches bactériennes résistantes. Ce risque est aggravé par l'existence de mécanismes de résistance croisée, notamment l'hyperexpression des pompes d'efflux, qui peuvent conférer simultanément une résistance aux biocides et à plusieurs classes d'antibiotiques.(128)

Les conséquences de ce phénomène sont doubles. Premièrement, la prise en charge thérapeutique des infections cutanées associées à des produits contaminés devient plus complexe, augmentant le risque d'échec clinique. Deuxièmement, l'utilisation de ces biocides peut induire une dysbiose du microbiome cutané. Cette altération de l'écosystème microbien endogène compromet la fonction barrière de l'épiderme et crée une niche écologique favorable à la prolifération de pathogènes opportunistes et résistants.(129)

La résistance bactérienne dans le contexte cosmétique représente donc un enjeu à double dimension :

- **Sur le plan clinique** : Un risque accru d'infections cutanées d'origine exogène, dont le traitement est complexifié par la multirésistance des souches bactériennes impliquées.
- **Sur le plan de la formulation** : La nécessité de concilier la sécurité microbiologique du produit fini avec la prévention de la sélection de résistances et la préservation de l'homéostasie du microbiome cutané.(128,130)

Ce contexte souligne l'impératif de renforcer les cadres réglementaires et les stratégies de surveillance post-commercialisation. Il met également en lumière la nécessité de développer des systèmes de conservation alternatifs, notamment des agents d'origine naturelle ou des approches biotechnologiques innovantes, afin de garantir la sécurité des consommateurs tout en maîtrisant la pression de sélection et en prévenant l'expansion de l'antibiorésistance.(131)



Figure 21 : Infection bactérienne

3.3.3.2 Recherche de nouveaux antibactériens naturels

La recherche de nouveaux agents antibactériens naturels repose aujourd'hui sur plusieurs approches innovantes et complémentaires, visant à répondre à la crise croissante de l'antibiorésistance.

- L'une des pistes les plus prometteuses concerne la découverte de nouvelles molécules issues du sol. Des chercheurs français ont ainsi récemment identifié la lariocidine, une molécule antibiotique extraite d'un échantillon de terre. Cette dernière se distingue par son efficacité contre des bactéries multirésistantes, tout en préservant l'intégrité du microbiote, car elle agit en désarmant les bactéries pathogènes plutôt qu'en les éliminant de manière non sélective.(132,133)
- Les peptides antimicrobiens naturels, produits par certains micro-organismes, constituent une autre voie d'intérêt. Déjà exploités en milieu clinique pour certains d'entre eux à l'image des polymyxines ces peptides font actuellement l'objet de recherches approfondies en vue de développer des alternatives naturelles aux antibiotiques conventionnels.(130)

- Les huiles essentielles et extraits végétaux attirent également une attention croissante. Certaines espèces, comme *Tussilago farfara* ou *Tanacetum vulgare*, ont montré un potentiel antibactérien notable, y compris contre des souches résistantes, ce qui ouvre la voie à de futures applications en santé humaine ou en dermocosmétique.(134)
- Les progrès récents dans le domaine de l'intelligence artificielle (IA) permettent de modéliser et de tester virtuellement des millions de composés, naturels ou synthétiques, pour identifier plus rapidement des candidats prometteurs. Cette approche a récemment permis la découverte d'une nouvelle classe d'antibiotiques actifs contre *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline (SARM), illustrant le potentiel transformateur de ces outils technologiques.(135)
- Une stratégie émergente consiste à cibler non pas la viabilité bactérienne elle-même, mais les facteurs de virulence. Certaines molécules, qu'elles soient naturelles ou issues de synthèse, sont capables d'inhiber des protéines clés comme la protéine Mfd, essentielle à la capacité des bactéries à résister aux traitements. Cette approche permet de désarmer les agents pathogènes sans exercer une pression sélective forte, limitant ainsi le risque de résistance.(136)

3.3.3.3 Les approches courantes pour évaluer la sensibilité bactérienne aux antibiotiques

Les approches courantes pour évaluer la sensibilité bactérienne aux antibiotiques sont :

- **Antibiogramme par diffusion en milieu gélosé** : des disques imprégnés d'antibiotiques sont déposés sur une gélose ensemencée avec la bactérie. L'antibiotique diffuse, créant une zone d'inhibition dont le diamètre est mesuré. Ce diamètre est inversement proportionnel à la concentration minimale inhibitrice (CMI) et permet de classer la bactérie en sensible, intermédiaire ou résistante.(137–139)
- **Méthode de microdilution en milieu liquide (détermination de la CMI/CMF)** : consiste à exposer la bactérie à des dilutions croissantes d'antibiotiques dans un milieu liquide. Après incubation, on détermine la plus faible concentration empêchant la croissance visible (CMI) ou tuant la bactérie (CMF). Cette méthode est quantitative, standardisée, souvent automatisée (ex. Vitek2), et permet un rendu rapide des résultats.(138,140–142)

Ces deux méthodes sont complémentaires et largement utilisées en microbiologie clinique pour guider l'antibiothérapie.

3.3.4 L'Hyperglycémie et l'Activité Inhibitrice de l'Alpha-Amylase :

3.3.4.1 Rôle de l'alpha-amylase dans la digestion des glucides

L'alpha-amylase joue un rôle fondamental dans la dégradation des glucides complexes lors de la digestion. Son action débute dès la cavité buccale, étant produite à la fois par les glandes salivaires sous forme d'amylase salivaire et par le pancréas sous forme d'amylase pancréatique. Elle catalyse la rupture des liaisons α -1,4 des polysaccharides, en particulier de l'amidon, afin de les convertir en molécules plus petites telles que les oligosaccharides et le maltose. Ce processus de dégradation se poursuit dans l'intestin grêle sous l'action de l'amylase pancréatique, ce qui entraîne la libération de glucose, une forme que les cellules intestinales peuvent absorber.(143–145)

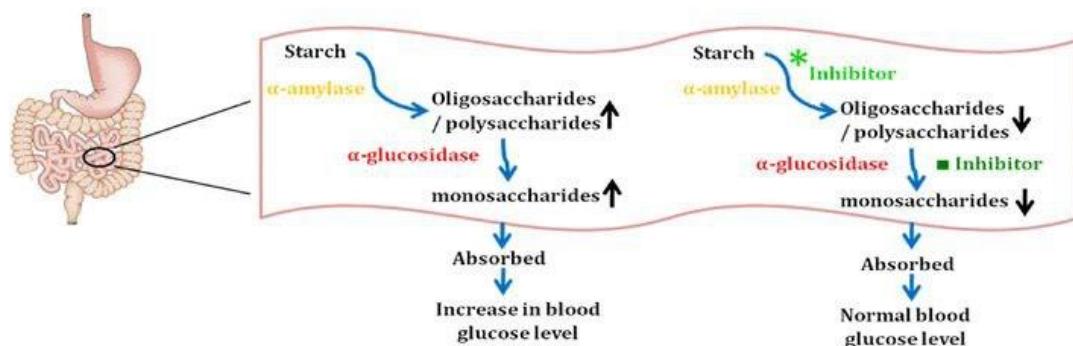


Figure 22 : Rôle de l' α -amylase et de l' α -glucosidase dans la digestion et le métabolisme de l'amidon.(146)

3.3.4.2 Lien entre l'alpha-amylase et la glycémie postprandiale

Suite à l'ingestion d'un repas contenant une grande quantité de glucides, l'activité de l'alpha-amylase a un impact direct sur la rapidité et l'ampleur de la libération du glucose dans la circulation sanguine, ce qui influence le profil de la glycémie après le repas. Une forte activité enzymatique favorise la dégradation de l'amidon, ce qui se traduit par une augmentation rapide de la glycémie. En revanche, une activité réduite entraîne une digestion plus lente, ce qui influence le pic de glycémie après les repas.

Diverses recherches ont démontré que les personnes ayant une concentration réduite d'alpha-amylase ont une propension à connaître des pics de glycémie plus prononcés suite à la consommation d'amidon. Cette situation peut être attribuée à une digestion moins efficiente des glucides complexes, ce qui peut perturber l'équilibre du glucose dans l'organisme et

favoriser, sur le long terme, l'émergence d'une résistance à l'insuline - un élément crucial dans la progression du diabète de type 2.(143,147)

3.3.4.3 Intérêt de l'alpha-amylase dans la gestion du diabète de type 2

La gestion de la glycémie après les repas est un aspect crucial du traitement du diabète de type 2 (DT2). La modulation partielle de l'activité de l'alpha-amylase est une stratégie thérapeutique largement reconnue visant à retarder la dégradation des glucides complexes, ce qui permet de limiter l'absorption rapide du glucose et de réduire les pics de glycémie postprandiale. Cette stratégie aide à prévenir les complications liées à l'hyperglycémie chronique.(144,145,148)

Des médicaments tels que l'acarbose, le miglitol et le voglibose, qui agissent en tant qu'inhibiteurs de l'alpha-amylase et de l'alpha-glucosidase, sont employés à cet effet. En retardant la transformation de l'amidon en glucose, ces thérapies favorisent une régulation plus efficace de la glycémie après les repas chez les individus atteints de diabète. Toutefois, leur utilisation peut provoquer des effets indésirables sur le système digestif tels que des flatulences et des diarrhées, qui sont dus à la fermentation des glucides non digérés dans le côlon.(145)

En outre, on explore actuellement des solutions alternatives d'origine naturelle, telles que des inhibiteurs dérivés de plantes comme le haricot commun (*Phaseolus vulgaris*) ou la margose (*Momordica charantia*). Ces substances suscitent un intérêt croissant en tant que compléments ou alternatives aux thérapies conventionnelles, démontrant des résultats prometteurs dans la diminution de la glycémie postprandiale et la prévention du diabète de type 2.(144,145,149)

3.3.4.4 Recherche d'inhibiteurs naturels de l'alpha-amylase.

➤ Plantes et composés bioactifs identifiés

- **Abies numidica (sapin d'Algérie)** : Des biomolécules extraites des aiguilles, notamment la quercétine, la rutine, l'hyperoside et l'astragoline, ont montré une forte activité inhibitrice sur l'alpha-amylase. La rutine est particulièrement efficace selon des études *in silico* (modélisation moléculaire) et pourrait être un candidat prometteur pour le traitement du diabète de type 2.(150)

- **Trigonella foenum-graecum (fenugrec) et Tetraclinis articulata** : Ces deux plantes de la médecine traditionnelle nord-africaine ont démontré une inhibition compétitive dose-dépendante de l'alpha-amylase avec des valeurs IC₅₀ respectives de 57,74 et 104,93 µg/ml, indiquant une bonne capacité à ralentir la digestion des glucides.(151)
- **Punica granatum (grenade), Vitex glabrata, et Prosopis cineraria** : Des extraits de ces plantes ont montré une inhibition plus forte de l'alpha-amylase que l'acarbose (médicament de référence), avec des IC₅₀ allant de 10,60 à 40,29 µg/ml. Ces résultats confirment leur usage traditionnel antidiabétique et leur potentiel pour réduire l'hyperglycémie postprandiale.(152)

➤ **Composés phénoliques et flavonoïdes**

- Plusieurs polyphénols et flavonoïdes ont été identifiés comme inhibiteurs puissants de l'alpha-amylase, notamment la catéchine, l'hespérétine, le kaempférol, la quercétine, la rutine, et la silibinine. Ces composés agissent souvent via des interactions hydrophobes, des liaisons hydrogène et des forces de Van der Waals avec l'enzyme.(150,153)
- Par exemple, la lutéoline extraite de *Taraxacum mongolicum* a montré une inhibition de l'alpha-amylase avec un IC₅₀ de 42,33 µg/ml, tandis que la quercetagetin-7-O-β-D-glucopyranoside de *Tagetes minuta* a présenté une inhibition plus forte que l'acarbose (IC₅₀ = 7,8 µM),(153)

3.3.4.5 Principe du test d'inhibition de l'activité de l'alpha-amylase

Le test d'inhibition de l'alpha-amylase consiste à mesurer la capacité d'un extrait ou composé à réduire l'activité enzymatique de l'alpha-amylase, enzyme responsable de l'hydrolyse de l'amidon en sucres simples.

➤ **Étapes et principe :**

- L'alpha-amylase est incubée avec un substrat (généralement l'amidon) en présence ou non d'un inhibiteur potentiel.
- Après incubation, la quantité de sucres réducteurs libérés (comme le maltose ou le glucose) est mesurée.

- Cette quantification se fait souvent par une méthode colorimétrique utilisant le réactif DNSA (acide 3,5-dinitrosalicylique), qui réagit avec les sucres réducteurs pour former un composé coloré mesurable par spectrophotométrie.
- Plus l'inhibition est forte, moins il y a de sucres libérés, donc l'intensité de la couleur diminue.
- Alternativement, des substrats chromogéniques (libérant un produit coloré lors de l'action enzymatique) peuvent être utilisés, la diminution de la coloration indiquant l'inhibition de l'activité enzymatique.(154,155)

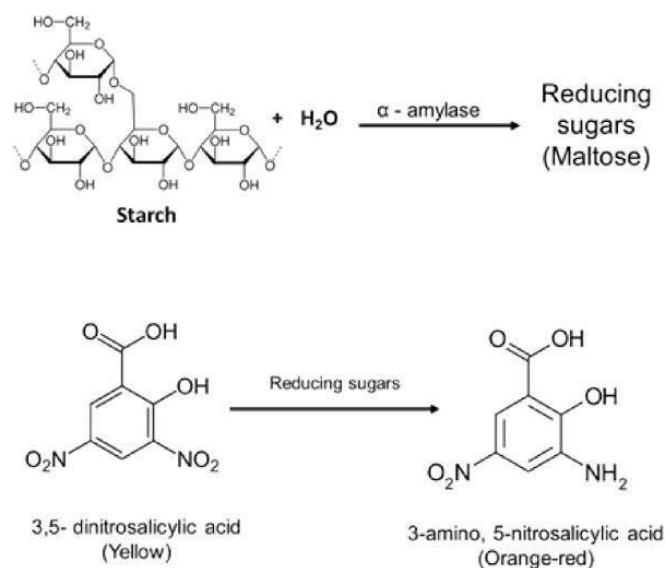


Figure 23 : Principe de l'essai à l'acide 3,5-dinitrosalicylique (DNS) pour la détection des sucres réducteurs issus de l'hydrolyse de l'amidon par l' α -amylase.(156)

➤ Méthodes courantes

- Quantification des sucres réducteurs libérés :
 - Après incubation de l'amidon avec l'alpha-amylase (avec ou sans inhibiteur), on ajoute un réactif spécifique (souvent DNSA : acide 3,5-dinitrosalicylique).
 - Ce réactif réagit avec les sucres réducteurs pour former un composé coloré dont l'intensité (absorbance) est mesurée par spectrophotométrie.
 - Plus l'inhibition est forte, plus l'absorbance est faible.(154,155,157)
- Utilisation d'un substrat chromogénique

- Des substrats synthétiques (comme l'amidon teinté à l'iodine ou des dérivés *p*-nitrophénylés) sont utilisés.
- La libération d'un produit coloré ou fluorescent est proportionnelle à l'activité enzymatique.
- L'inhibition se traduit par une diminution de la coloration mesurée.(154,157)

- **Calcul de l'inhibition**

- Le pourcentage d'inhibition est calculé en comparant l'activité enzymatique en présence et en absence d'inhibiteur.
- La concentration d'inhibiteur nécessaire pour réduire de 50 % l'activité enzymatique (IC_{50}) est souvent déterminée pour comparer l'efficacité des inhibiteurs.(157,158)

Ce type de test est largement utilisé pour le criblage d'inhibiteurs naturels de l'alpha-amylase dans la recherche antidiabétique.

4 dermo-cosmétiques naturels : à la croisée du soin cutané et de la cosmétique verte

4.1 Introduction aux dermo-cosmétiques naturels

La dermo-cosmétique naturelle est une approche qui combine les bienfaits de la nature et les avancées scientifiques pour prendre soin de la peau en profondeur. Elle utilise des actifs naturels issus de plantes, comme les huiles végétales, huiles essentielles, hydrolats ou aloe vera, reconnus pour leurs propriétés protectrices, apaisantes et régénérantes. Ces produits sont formulés pour respecter la physiologie de la peau, en favorisant son fonctionnement naturel et en prévenant les agressions extérieures (pollution, soleil, sécheresse) tout en apportant des soins adaptés à chaque type de peau.

La dermo-cosmétique naturelle vise à allier efficacité et sécurité, en s'appuyant sur des ingrédients que la peau peut reconnaître et assimiler facilement, souvent issus de filières durables et biologiques. Elle s'inscrit dans une démarche de santé et de beauté, privilégiant des formulations douces, sans substances agressives ni ingrédients synthétiques inutiles, pour une meilleure tolérance cutanée et un respect global de l'organisme,(159,160)

4.2 Principaux actifs utilisés dans les dermo-cosmétiques naturels

Les dermo-cosmétiques naturels s'appuient sur des ingrédients d'origine végétale et naturelle reconnus pour leurs bienfaits sur la peau. Voici les principaux actifs fréquemment utilisés :

- **Acide hyaluronique** : Hydratant puissant capable de retenir jusqu'à 1000 fois son poids en eau, il hydrate en profondeur, repulpe la peau et améliore son élasticité.(161,162)
- **Acide azélaïque** : Extrait de céréales comme l'orge ou le blé, il purifie la peau, régule le sébum, réduit les imperfections et apaise les inflammations liées à l'acné.(161,162)
- **Céramides** : Lipides naturels qui renforcent la barrière cutanée, aidant à protéger et réparer la peau.(161,162)
- **Glycérine** : Humectant naturel qui attire l'humidité dans la peau, favorisant une hydratation durable.(161,162)
- **Huiles végétales** (ex : squalane végétal issu de l'olive, huile de karité) : Nourrissantes, réparatrices et protectrices, elles apportent douceur et souplesse à la peau.(159,163)
- **Extraits de plantes et hydrolats** (aloé vera, mauve, orchidée, concombre) : Apaisants, antioxydants et hydratants, ils contribuent à la santé et à l'éclat de la peau.(162–164)
- **Peptides végétaux** : Stimulent la production de collagène, améliorant la fermeté et l'élasticité cutanée.(162)
- **Niacinamide (vitamine B3)** : Anti-inflammatoire, hydratante et protectrice, elle aide à uniformiser le teint et renforcer la barrière cutanée.(162)
- **Acides exfoliants naturels** (acide glycolique, acide salicylique) : Favorisent le renouvellement cellulaire et améliorent la pénétration des autres actifs.(162)
- **Actifs éclaircissants naturels** (acide kojique, arbutine, acide ascorbique ou vitamine C) : Utilisés pour réduire les taches pigmentaires et uniformiser le teint.(162)
Ces actifs naturels sont choisis pour leur efficacité, leur douceur et leur compatibilité avec la peau, tout en respectant la naturalité des formulations dermo-cosmétiques.

4.3 Intérêt des huiles essentielles en dermo-cosmétiques.

Les huiles essentielles présentent un intérêt majeur en dermo-cosmétique naturelle grâce à leurs propriétés multiples et leur efficacité concentrée. Ce sont des extraits naturels de plantes riches en composés actifs volatils, offrant des bienfaits ciblés pour la peau.

➤ Intérêts principaux des huiles essentielles en dermo-cosmétique :

- **Propriétés antibactériennes et purifiantes** : Elles aident à nettoyer la peau en profondeur, limitent l'apparition des imperfections et purifient les peaux à tendance acnéique (ex : arbre à thé, lavande, eucalyptus).(165)

- **Effets apaisants et réparateurs :** Certaines huiles essentielles comme la camomille ou la lavande calment les irritations, réduisent les rougeurs et favorisent la cicatrisation, idéales pour les peaux sensibles ou fragilisées.(162,165)
- **Action anti-âge et antioxydante :** Elles protègent la peau du vieillissement cutané en neutralisant les radicaux libres, stimulent la régénération cellulaire et améliorent la fermeté (ex : huile essentielle d'encens, verveine).(165–167)
- **Polyvalence et naturalité :** Elles remplacent des molécules chimiques potentiellement nocives, offrant une alternative plus écologique et douce pour la peau, avec une efficacité concentrée en quelques gouttes seulement.(167)
- **Bienfaits sensoriels :** Leur parfum naturel procure une expérience olfactive agréable, contribuant au bien-être global lors de l'application des soins.(165,168)

En résumé, les huiles essentielles sont des actifs naturels puissants en dermo-cosmétique, apportant des propriétés antibactériennes, apaisantes, cicatrisantes et anti-âge, tout en offrant une expérience sensorielle unique et une alternative plus naturelle aux ingrédients synthétiques.

4.4 Applications thérapeutiques et dermatologiques des produits dermo-cosmétiques naturels

Les produits dermo-cosmétiques naturels ont des applications thérapeutiques et dermatologiques variées, grâce à leurs ingrédients actifs issus de plantes et ressources naturelles qui apportent des effets bénéfiques sur la peau.

- **Applications thérapeutiques et dermatologiques principales :**
- **Traitements des troubles cutanés inflammatoires :** De nombreux extraits végétaux et huiles essentielles possèdent des propriétés anti-inflammatoires, apaisantes et cicatrisantes, utiles dans la prise en charge des dermatites, eczémas, psoriasis ou rougeurs.(169,170)
 - **Action antimicrobienne et purifiante :** Certains actifs naturels, comme les huiles essentielles de tea tree ou de géranium, ont des effets antibactériens, antifongiques et antiviraux, aidant à lutter contre l'acné, les infections cutanées et les déséquilibres microbiens.(171,172)
 - **Anti-âge et protection antioxydante :** Les composés naturels riches en antioxydants (polyphénols, flavonoïdes, vitamines) protègent la peau du stress oxydatif, retardent le

vieillissement cutané, améliorent la fermeté et l'élasticité, et favorisent la régénération cellulaire.(172)

- **Réparation et cicatrisation** : Certains extraits végétaux stimulent la réparation cutanée et la cicatrisation des plaies, brûlures ou lésions, contribuant à restaurer la barrière cutanée et la santé de la peau.(169,170)
- **Hydratation et renforcement de la barrière cutanée** : Les actifs naturels comme les céramides bio-mimétiques, les huiles végétales et certains polysaccharides améliorent l'hydratation, renforcent la barrière protectrice de la peau et préviennent la sécheresse.
- **Amélioration de la pénétration des actifs** : L'utilisation de nanotechnologies (nanoémulsions, liposomes) permet d'optimiser la délivrance des principes actifs naturels dans la peau, augmentant leur efficacité thérapeutique et cosmétique.(173)

Chapitre II:

Matériel et méthodes

Chapitre II: Matériel et méthodes

II.1 Matériels

II.1.1 Matériels végétales

Dans le cadre de cette étude, deux espèces de plantes aromatiques ont été sélectionnées pour leurs études:

- *Lavandula angustifolia Mill* (Lavande vraie).
- *Mentha spicata L* (Menthe verte).

La menthe verte (*Mentha spicata L.*) a été récoltée manuellement au début du mois de mars dans la région d'El Khroub, située dans la wilaya de Constantine (Nord-Est de l'Algérie), une zone caractérisée par un climat semi-aride favorable à la croissance de diverses plantes aromatiques.

En ce qui concerne la lavande vraie (*Lavandula angustifolia Mill.*), elle a été achetée directement sous forme sèche auprès d'un herboriste local au marché de Tanja à El Khroub au début du mois de mars, garantissant ainsi une matière végétale de qualité prête à l'emploi.

4.4.1 Les parties utilisées :

Mentha spicata L. (Menthe verte)

Parties utilisées :

- Feuilles, Tiges fines.

Lavandula angustifolia Mill. (Lavande vraie)

Parties utilisées :

- Les Fleurs sèches.

L'identification botanique des deux espèces a été réalisée et validée au niveau du Centre de Recherche en Biotechnologie de Constantine (CRBT), par le Professeur Bezzi Tarek.

4.5 Les réactifs

Tableau 4 : Réactifs utilisés dans les différentes activités biologiques

L'activité	Les réactifs
Extraction	Eau distillée
Les activités anti-oxydantes	DPPH, méthanol, ABTS, TCA, chlorure ferrique FeCl_3 , tampon phosphate, ferricyanure de potassium, Eau distillée,

	persulfate de potassium, les huiles essentielles des plantes.
l'activité antibactérienne	les huiles essentielles des plantes, disques de papiers Whatman (6mm), un antibiotique de référence (Gentamicine), un milieu de culture gélosé (Muller Hinton).
l'activité antifongique	L'eau distillée, la pomme de terre, la glucose, l'agarose, l'huile essentielle des plantes, disque mycélien de 6 mm, le champignon <i>Fusarium oxysporum</i> .
l'activité enzymatique	Enzyme α -amylase, amidon, HCl, solution KI, huile essentielle des plantes.
Les standards	α -tocophérol, BHA, BHT.
La crème	Eau distillée, Hydrolat de menthe verte, Glycérine végétale, Huile de sésame, Beurre de karité, Émulsifiant Cutina GMS, HE de lavande vraie, HE de menthe verte, conservateur Cosgard.
L'activité	Organisme vivant
l'activité antibactérienne	<i>Le Staphylococcus aureus ATCC 25923 et Escherichia coli ATCC 25922.</i>
l'activité antifongique	<i>Fusarium oxysporum</i>

4.6 Appareils

- Balance de précision.
- Tubes à essais, éppendorfs,
- Microplaques.
- Spectrophotomètres à microplaques.
- Micropipettes.

- Bain marie.
- Etuve.
- Agitateur magnétique.
- Thermomètre digital.
- Béchers en verre (100 mL, 250 mL).
- Spatules en inox.
- Contenants stériles pour le conditionnement final.
- Clevenger.
- Pipette Pasteur.
- Boîte de Petri.
- Autoclave.
- Papier aluminium.
- Broyeur.
- Polystat

5 Méthodes

5.1 Extraction des huiles essentielles

5.1.1 Préparation des plantes

➤ La menthe verte

Le matériel végétal a été lavé abondamment à l'eau distillée afin d'éliminer toute trace d'impuretés, de poussières ou de contaminants externes.

Le séchage a été effectué à température ambiante, dans un endroit sec, bien aéré et à l'abri de la lumière directe du soleil afin de préserver les composés phytochimiques sensibles à la lumière et à la chaleur.

Une fois complètement séchée, la plante a été broyée mécaniquement à l'aide d'un broyeur adapté jusqu'à l'obtention d'une poudre homogène, constituant ainsi le matériel végétal prêt à être utilisé pour l'extraction.

➤ **La lavande vraie**

Dans le cas de la lavande vraie, les fleurs ont été utilisées directement à l'état sec, sans être broyées. Les parties indésirables ont été soigneusement éliminées, ne conservant que les éléments intacts et adaptés aux manipulations expérimentales.

5.1.2 Extraction par hydrodistillation (Clevenger)

⊕ Etape 01

- **La menthe verte**

Le matériel végétal préalablement broyé a été pesé après son introduction dans le ballon destiné à l'appareil de Clevenger. Le poids obtenu était de **40,89 g**, représentant la quantité de plante sèche utilisée pour l'extraction de l'huile essentielle

- **La lavande vraie**

Les fleurs ont été utilisées directement à l'état sec et pesées après son introduction dans le ballon destiné à l'appareil de Clevenger. Le poids obtenu était de **40,58 g**, représentant la quantité de plante sèche utilisée pour l'extraction de l'huile essentielle.

⊕ Etape 02

L'eau distillée a été ajoutée au matériel végétal de manière à l'immerger complètement. Cette condition est nécessaire pour garantir une extraction optimale des composés volatils lors du procédé d'hydrodistillation.

⊕ Etape 03

Après l'ajout de l'eau distillée au matériel végétal, le ballon rond a été placé sur un chauffe-ballon. Celui-ci a ensuite été raccordé au tube de connexion, puis relié au condenseur à circulation d'eau. Enfin, le tube de collecte du dispositif de Clevenger a été installé et connecté au Polystat, assurant ainsi le refroidissement optimal de l'eau circulant dans le condenseur.

⊕ Etape 04

Le chauffage du ballon a été réalisé de manière progressive, jusqu'à ce que l'eau commence à bouillir. La vapeur ainsi produite entraîne les composés volatils présents dans la plante. Ce mélange de vapeur et d'huiles essentielles passe ensuite par le tube de raccordement pour atteindre le condenseur, où il se refroidit et se condense avant de retomber sous forme liquide.

⊕ Etape 05

Le mélange liquide formé, composé **d'hydrolat et d'huile essentielle**, s'accumule progressivement dans le tube de collecte du dispositif de Clevenger. En raison de la différence de densité entre les deux phases, l'huile essentielle, moins dense, se sépare naturellement et flotte au-dessus de la couche aqueuse. L'hydrodistillation est poursuivie jusqu'à l'arrêt complet du flux d'huile, soit une durée moyenne d'environ **trois heures et demie** pour chaque plante traitée.

 **Etape 06**

 À la fin du processus de distillation, l'huile essentielle est délicatement récupérée à l'aide d'une pipette de Pasteur. Elle est ensuite transférée dans un flacon en verre préalablement enveloppé dans du papier aluminium, afin de la protéger de la lumière. Le flacon est hermétiquement fermé, puis conservé à une température comprise entre 4°C et 10°C, dans des conditions permettant de limiter l'exposition à la lumière, à la chaleur et à l'air, afin de préserver les propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle.

5.2 Les activités biologiques

Les travaux expérimentaux ont été effectués dans le Laboratoire 05 spécialisé en biochimie, situé au Centre de Recherche en Biotechnologie de Constantine (CRBT).

5.2.1 Préparation des échantillons

HE_L : Huile essentielle de la lavande vraie.

HE_M : Huile essentielle de la menthe verte.

Deux extraits d'huiles essentielles (HE_L et HE_M) ont été préparés à différentes concentrations. La procédure a débuté par la pesée de 4 mg de chaque extrait à l'aide d'une balance analytique afin d'assurer une précision maximale. Ensuite, chaque extrait a été dilué dans 1 ml de méthanol (MEOH) à l'intérieur de tubes Eppendorf séparés (un tube par extrait). Le mélange a été soigneusement homogénéisé afin d'obtenir des solutions uniformes et bien solubilisées, garantissant ainsi la fiabilité des analyses ultérieures.

Pour chaque extrait, une série de six dilutions successives a été réalisée conformément à l'équation ($1/2^n$), où **n** représente le nombre de dilutions.

À cet effet, 0,5 ml de méthanol (MeOH) a été ajouté dans six tubes Eppendorf de 1 ml chacun.

- **Au début de l'expérience :** un volume de 1 mL de méthanol contenant 4 mg de l'huile essentielle a été ajouté dans le tube 1. Dans les autres tubes Eppendorf(2-7), un volume de 0,5 ml de méthanol a été préalablement distribué.

- **Après dilution :** un volume de 0,5 ml de l'échantillon à différentes concentrations a été réparti dans les tubes 1 à 6. Dans le dernier tube (tube 7), un volume de 1 ml de l'échantillon non dilué a été conservé.

- **Calcule des différentes concentrations des dilutions**

Le dernier tube : $V = 1 \text{ ml}$, $C = 1/2^6 = 1/64$

Tableau 5 : Les différentes concentrations des dilutions des extraits par rapport à la concentration initiale.

Les tubes	1	2	3	4	5	6	7
Les concentrations	1	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64

5.2.2 Remarque :

Les échantillons que nous avons préparés ont été utilisés pour évaluer à la fois l'activité antioxydante et l'activité enzymatique.

5.2.3 Les activités antioxydantes

L'évaluation de l'activité antioxydante a constitué une étape essentielle pour caractériser le potentiel protecteur des substances naturelles face au stress oxydatif, notamment dans les domaines de la cosmétique et de l'agroalimentaire. Dans ce cadre, nous avons étudié l'activité antioxydante de deux huiles essentielles (HE_L, HE_M) extraites de plantes différentes. Pour ce faire, nous avons réalisé trois types de tests *in vitro* reconnus et complémentaires, à savoir les méthodes ABTS, DPPH et FRAP. Ces protocoles ont permis de quantifier la capacité de chaque huile à neutraliser différents radicaux libres ou à réduire des composés oxydants, tout en tenant compte de la nature lipophile des échantillons analysés.

5.2.3.1 L'activité de piégeage de radical libre DPPH

➤ Principe

Le principe du test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) repose sur la capacité des antioxydants à piéger le radical libre stable DPPH[·]. Ce radical, de couleur violette ($\lambda_{\text{max}} \approx 517 \text{ nm}$), subit une réduction en présence d'un antioxydant, ce qui entraîne un

changement de couleur du violet au jaune pâle. La diminution de l'absorbance à 517 nm est proportionnelle à la capacité de l'échantillon à neutraliser les radicaux libres, permettant ainsi d'évaluer quantitativement l'activité antioxydante de la substance testée.(174)

➤ **Protocole**

Une solution de DPPH a été préparée en dissolvant 6 mg de DPPH dans 100 mL de méthanol (MeOH). La solution a ensuite été conservée à une température de -20°C, à l'abri de la lumière afin d'éviter toute dégradation. L'absorbance a été mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre adapté aux microplaques, chaque puits contenant un volume total de 200 µl.(175)

➤ **Test en microplaques :**

Un volume de 40 µl de chaque extrait, préparé à différentes concentrations, a été introduit dans les puits d'une microplaque de 96 puits. À chaque puits, 160 µl de solution de DPPH A ensuite été ajouté. Dans les puits témoins, l'extrait a été remplacé par du méthanol. Le mélange a été homogénéisé puis incubé à température ambiante pendant 30 minutes, à l'abri de la lumière.

La lecture de l'absorbance a été réalisée à 517 nm à l'aide d'un Spectrophotomètre à microplaques.

Les standards utilisés dans les mêmes conditions réactionnelles sont : le BHA, le BHT et l'α-Tocopherol.

Les résultats sont exprimés en IC50.

L'IC50 correspond à la concentration de l'extrait nécessaire pour inhiber 50 % de l'activité radicalaire de DPPH dans le milieu réactionnel. Une valeur d'IC50 plus faible reflète une capacité antioxydante plus importante.

A (témoin) : est l'absorbance de la réaction sans extrait (du blanc).

A (extrait) : est l'absorbance de la réaction après avoir ajouté l'extrait.

$$\text{PI (\%)} \text{ DPPH} = \frac{A \text{ témoin} - A \text{ extrait}}{A \text{ témoin}} \times 100$$

5.2.3.2 Activité du piégeage du cation radical ABTS^{·+}

➤ Principe

L'ABTS, ou acide 2,2'-azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique), est un composé utilisé pour évaluer l'activité antioxydante d'un échantillon. Le test antioxydant à l'ABTS repose sur la génération d'un radical cationique ABTS^{·+} (de couleur bleue, absorption maximale à 734 nm) par oxydation de l'ABTS avec un agent comme le persulfate de sodium. Les antioxydants présents dans l'échantillon réduisent ce radical, entraînant une diminution de l'absorbance mesurée par spectrophotométrie. Cette diminution est proportionnelle à la capacité antioxydante de l'échantillon, souvent exprimée en équivalents Trolox (TEAC). (176)

➤ Protocole

L'évaluation de l'activité antioxydante par le radical ABTS a été réalisée selon la méthode décrite par (Re et al, 1999), avec quelques ajustements mineurs. (177)

✚ Préparation du radical ABTS^{·±} :

Une solution mère d'ABTS (7mm) a été préparée puis mélangée avec une solution de persulfate de potassium (2,45 mm). Le mélange a été incubé à l'abri de la lumière, à température ambiante, pendant une durée de 12 à 16 heures, afin d'assurer la formation complète du radical cationique ABTS^{·±}.

✚ Dilution de la solution radicalaire :

La solution obtenue a ensuite été diluée avec de l'eau distillée jusqu'à atteindre une absorbance initiale de $0,70 \pm 0,02$ à une longueur d'onde de 734 nm, mesurée par spectrophotométrie.

✚ Test en microplaques :

Un volume de 40 μ l de chaque extrait, préparé à différentes concentrations, a été introduit dans les puits d'une microplaque de 96 puits. À chaque puits, 160 μ l de la solution diluée d'ABTS^{·±} a ensuite été ajouté. Dans les puits témoins, l'extrait a été remplacé par du méthanol. Le mélange a été homogénéisé puis incubé à température ambiante pendant 10 minutes, à l'abri de la lumière.

La lecture de l'absorbance a été réalisée à 734 nm à l'aide d'un Spectrophotomètres des microplaques.

Les standards utilisés dans les mêmes conditions réactionnelles sont : le BHA et le BHT.

Les résultats sont exprimés en IC50.

L'IC50 correspond à la concentration de l'extrait nécessaire pour inhiber 50 % de l'activité radicalaire de l'ABTS dans le milieu réactionnel. Une valeur d'IC50 plus faible reflète une capacité antioxydant plus importante.

A (témoin) : est l'absorbance de la réaction sans extrait (du blanc).

A (extrait) : est l'absorbance de la réaction après avoir ajouté l'extrait.

$$\text{PI (\%)} \text{ ABTS} = \frac{A \text{ témoin} - A \text{ extrait}}{A \text{ témoin}} \times 100$$

5.2.3.3 Activité du pouvoir antioxydant réducteur ferrique (FRAP)

➤ Principe

Le test FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) **selon Oyaizu (1986)** évalue l'activité antioxydant par la capacité des composés à réduire le fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}) dans un milieu acide. Cette réduction est mesurée par la formation d'un complexe coloré dont l'absorbance augmente proportionnellement à la capacité réductrice de l'échantillon.(178)

➤ Protocole

La préparation du test de réduction ferrique s'effectue en plusieurs étapes successives. Tout d'abord, un tampon phosphate est préparé à un pH de 6,6, servant de milieu réactionnel. Ensuite, une solution de ferricyanure de potassium à 1 % est élaborée en dissolvant 1 g de $K_3Fe(CN)_6$ dans 100 ml d'eau distillée. Par la suite, une solution d'acide trichloroacétique (TCA) à 10 % est préparée à raison de 1 g de TCA dans 10 ml d'eau. Enfin, une solution de chlorure ferrique ($FeCl_3$) à 0,1 % est obtenue par dissolution de 0,1 g de $FeCl_3$ dans 100 ml d'eau distillée.(179)

⊕ Test en microplaques :

L'essai est réalisé dans des microplaques de 96 puits. Chaque puits reçoit successivement 10 μ l d'extract d'huile essentielle (HE_L ou HE_M) à différentes concentrations, suivis de 40 μ l du tampon phosphate (pH 6,6) et 50 μ l de la solution de ferricyanure de potassium (1 %). L'ensemble est incubé à 50 °C pendant 20 minutes.

Après incubation, la réaction est stoppée par l'ajout de 50 μ l de la solution de TCA (10 %), suivi de 10 μ l de la solution de $FeCl_3$ (0,1 %) et enfin 40 μ l d'eau distillée.

Un témoin est également préparé selon les mêmes conditions expérimentales, à l'exception de (HE_L ou HE_M) qui est remplacé par du méthanol (MeOH). L'absorbance est mesurée à 700 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

Les standards utilisés dans les mêmes conditions réactionnelles sont : l'acide ascorbique et l' α -tocophérol.

Les résultats ont été exprimés en $A_{0.5}$ (μ g/ml), correspondant à la concentration de l'échantillon nécessaire pour atteindre une absorbance de 0,50.

Remarque :

La capacité réductrice des extraits a été évaluée selon la méthode originale proposée par Oyaizu (1986), avec quelques ajustements apportés au protocole expérimental.

5.2.4 L'activité enzymatique

5.2.4.1 Activités inhibitrice de alpha amylase

➤ **Principe**

L'α-amylase est une enzyme qui hydrolyse les liaisons α-1,4-glycosidiques dans les polysaccharides comme l'amidon, produisant des sucres réducteurs tels que le maltose. L'activité enzymatique est généralement évaluée en mesurant la quantité de ces sucres libérés à l'aide d'un réactif colorimétrique tel que le DNS (3,5-dinitrosalicylique), dont l'intensité d'absorbance à 540 nm est proportionnelle à l'activité de l'enzyme.(180)

➤ **Protocole**

L'évaluation de l'activité inhibitrice de l'α-amylase par les extraits testés a été réalisée selon une méthode colorimétrique modifiée, en utilisant l'amidon comme substrat et une lecture à 630 nm. Le protocole expérimental s'est déroulé selon les étapes suivantes :

⊕ **Pré-incubation de l'extrait avec l'enzyme :**

Dans chaque puits d'une microplaquette de 96 puits, 25 µl d'huile essentielle (à différentes concentrations) sont ajoutés à 50 µl d'une solution d'α-amylase (1 U/ml).

Le mélange est ensuite incubé à 37 °C pendant 10 minutes afin de permettre l'interaction entre l'enzyme et l'inhibiteur potentiel.

⊕ **Début de la réaction enzymatique :**

Après l'incubation, 50 µl d'une solution d'amidon à 0,1 % (préparée dans un tampon adapté) sont ajoutés à chaque puits pour amorcer la réaction enzymatique.

Le tout est incubé une seconde fois à 37 °C pendant 10 minutes.

⊕ **Arrêt de la réaction :**

Pour stopper l'activité enzymatique, 25 µl d'acide chlorhydrique (HCl 1 M) sont ajoutés à chaque puits.

 **Révélation de la réaction :**

Ensuite, 100 µl de réactif IKI (iodine-potassium iodide) sont ajoutés. Ce réactif forme un complexe bleu avec l'amidon résiduel non hydrolysé, permettant l'évaluation indirecte de l'activité enzymatique restante.

Deux rangées complètes de puits dans la microplaqué sont réservées aux blancs.

Ces blancs ne contiennent pas d'enzyme et servent à corriger l'absorbance de fond liée aux extraits ou aux réactifs. Ils permettent ainsi d'éliminer toute interférence non enzymatique, assurant une mesure précise de l'inhibition réelle de l'α-amylase.

 **Mesure spectrophotométrique :**

L'absorbance est mesurée à 630 nm à l'aide d'un lecteur de microplaques. Une absorbance plus élevée indique une plus grande quantité d'amidon non dégradé, donc une inhibition plus importante de l'enzyme.(181)

5.2.5 Activité antibactérienne

➤ **Principe**

Le principe de l'activité antibactérienne repose sur la capacité d'une substance à inhiber la croissance ou à tuer les bactéries. Les agents antibactériens agissent principalement par :

- Inhibition de la synthèse de la paroi cellulaire.
- Augmentation de la perméabilité de la membrane bactérienne.
- Inhibition de la synthèse protéique.
- Perturbation du métabolisme des acides nucléiques ou d'autres processus métaboliques essentiels.

Ces mécanismes conduisent à l'arrêt de la croissance bactérienne (effet bactériostatique) ou à la destruction des bactéries (effet bactéricide).(182)

➤ **Protocole**

 **Souches bactériennes utilisées**

Dans le cadre de cette étude, deux souches bactériennes de référence ont été sélectionnées pour évaluer l'activité antibactérienne :

Staphylococcus aureus ATCC 25923, représentant les bactéries à Gram positif

Escherichia coli ATCC 25922, représentant les bactéries à Gram négatif

Ces souches pathogènes standardisées, largement utilisées en microbiologie, permettent une comparaison fiable et reproductible des résultats obtenus.

Repiquage des souches bactériennes

Dans des conditions aseptiques, une colonie bien isolée et morphologiquement représentative de la souche a été prélevée à l'aide d'un ensemenceur stérile ou d'une pipette Pasteur. Celle-ci a été ensuite ensemencée en stries sur une boîte de Petri contenant un nouveau milieu de culture solide.

Les boîtes ont été incubées à 37 °C pendant 24 heures. Lorsque les cultures obtenues présentaient les mêmes caractéristiques que la souche d'origine, elles ont été jugées conformes et utilisées pour la préparation de l'inoculum destiné aux essais microbiologiques.

Préparation des milieux de culture et des disques d'imprégnation

Le milieu de culture solide Mueller-Hinton a été préparé puis versé à chaud dans des boîtes de Pétri stériles de 90 mm de diamètre, en veillant à obtenir une épaisseur uniforme d'environ 3 mm. Les boîtes ont ensuite été laissées à refroidir et à se solidifier à température ambiante, sur une surface horizontale ou sous une hotte à flux laminaire, tout en maintenant les couvercles fermés afin de prévenir toute contamination.

Parallèlement, des disques de papier filtre Whatman N°3, d'un diamètre de 6 mm, ont été découpés puis stérilisés par autoclavage à 120 °C pendant 20 minutes.

Application des échantillons

Après stérilisation, les disques ont été manipulés dans des conditions aseptiques. À l'aide d'une micropipette, 25 µl d'huile essentielle pure non diluée ont été déposés sur quatre disques stériles : deux disques pour chaque extrait (HE_L et HE_M).

Ces disques ayant reçu l'ajout d'huile essentielle ont ensuite été placés délicatement, à l'aide d'une pince stérile, sur la surface des milieux de culture Mueller-Hinton solidifiés.

Les deux disques ayant reçu HE_L ont été placés chacun sur une boîte distincte, ensemencée respectivement avec *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*.

La même procédure a été suivie pour les deux disques traités avec HE_M, appliqués également sur des milieux contenant les deux souches bactériennes. Enfin, la gentamicine a été utilisée comme antibiotique de référence afin de comparer les résultats d'activité antibactérienne obtenus pour les deux extraits testés.

L'activité antibactérienne des huiles essentielles a été déterminée par la mesure du diamètre des zones d'inhibition autour des disques, à l'aide d'une règle millimétrée.(183)

5.2.6 Activité antifongique

➤ Principe

Le principe de l'activité antifongique repose sur la capacité d'une substance (naturelle ou de synthèse) à inhiber la croissance ou à détruire les champignons pathogènes. Les antifongiques agissent principalement en ciblant des structures ou fonctions essentielles de la cellule fongique :

- Inhibition de la synthèse de l'ergostérol (composant majeur de la membrane plasmique) par les azolés.
- Formation de pores dans la membrane via liaison à l'ergostérol (polyènes).
- Inhibition de la synthèse des glucanes de la paroi cellulaire (échinocandines).
- ou inhibition de la synthèse des acides nucléiques (flucytosine).

La conséquence est une altération de la membrane ou de la paroi, entraînant la mort ou l'arrêt de la croissance du champignon.(184)

➤ Protocole

✚ Préparation de gélose PDA (Potato Dextrose Agar)

La gélose PDA est un milieu de culture couramment utilisé pour l'isolement et la numération des levures et des moisissures, notamment dans les échantillons alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques. Sa préparation repose sur l'enrichissement d'un extrait de pomme de terre avec du glucose et de l'agar.

Pour un litre d'eau distillée, les proportions utilisées sont les suivantes : 200 g de pommes de terre, 20 g de glucose, et 20 g d'agar.

La préparation débute par la mise en suspension de 200 g de pommes de terre épluchées et coupées dans 700 ml d'eau distillée, puis chauffées jusqu'à ébullition à une température de 300°C. L'extrait obtenu est ensuite filtré afin d'éliminer les résidus solides, et le filtrat est complété avec de l'eau distillée pour atteindre un volume total d'un litre. Le glucose et l'agar sont ensuite ajoutés au mélange, lequel est porté de nouveau à ébullition sous agitation constante pendant au moins une minute afin d'assurer une dissolution homogène des composants.

Le milieu ainsi obtenu est réparti dans des tubes ou des flacons, puis stérilisé à l'autoclave à 121 °C pendant 20 minutes. Après stérilisation, la gélose est maintenue dans un bain-marie pendant environ une heure pour la rendre à nouveau liquide, puis

elle est versée dans des boîtes de Pétri dans une zone stérile, à proximité d'un bec benzène, afin de prévenir toute contamination microbienne de l'air ambiant. Une fois les boîtes remplies à une épaisseur de 4 à 5 mm, elles sont laissées à température ambiante jusqu'à solidification complète.

⊕ **Application des échantillons.**

La méthode de contact direct a été mise en œuvre afin d'évaluer la sensibilité du champignon *Fusarium oxysporum* vis-à-vis des huiles essentielles HE_L et HE_M. Après solidification du milieu de culture (PDA), un disque mycélien de 6 mm de diamètre est prélevé et placé de manière aseptique au centre d'une boîte de Pétri de 8 cm de diamètre contenant 20 ml de gélose. Par la suite, un volume de 25 µl d'huile essentielle pure, non diluée et à concentration fixe, est appliqué directement sur le disque fongique.

Parallèlement, des témoins ont été préparés : des témoins négatifs constitués uniquement de gélose PDA avec le mycélium, sans ajout d'huile essentielle. Chaque huile essentielle a été testée sur trois boîtes de Pétri (répétées trois fois), de même que chaque condition témoin a été répétée trois fois, dans le but de garantir la reproductibilité et la fiabilité des résultats obtenus.

Les résultats de l'activité antifongique contre *Fusarium oxysporum* peuvent être observés généralement après une période d'incubation de 5 à 7 jours à 25 ± 2 °C.

5.3 Fabrication d'une crème de jour apaisante, antibactérienne et protectrice

➤ **Composition de la crème**

- **Phase aqueuse** : Eau distillée, Hydrolat de menthe verte, Glycérine végétale.
- **Phase huileuse** : Huile de sésame, Beurre de karité, Émulsifiant Cutina GMS Ajouts à froid HE de lavande vraie, HE de menthe verte, Conservateur Cosgard.

➤ **Procédé de préparation :**

- Chauffer séparément la phase aqueuse et la phase huileuse à environ 70 °C.
- Ajouter lentement la phase aqueuse à la phase huileuse sous agitation constante pour former une émulsion.
- Laisser refroidir jusqu'à 40 °C. 4. Ajouter les huiles essentielles et le conservateur.
- Homogénéiser jusqu'à obtention d'une texture lisse.

Chapitre III :

Résultats et Discussion

Chapitre III : Résultats et Discussion

Introduction

Ce chapitre présente et analyse l'ensemble des résultats obtenus concernant les activités biologiques des huiles essentielles de lavande vraie (*Lavandula angustifolia*, HE_L) et de menthe verte (*Mentha spicata L*, HE_M). L'objectif était d'évaluer leur potentiel antioxydant, antimicrobien (antibactérien et antifongique) et anti-enzymatique (inhibition de l'α-amylase) afin d'explorer leur potentielle valorisation, notamment dans le domaine dermo-cosmétique. Chaque activité a été évaluée en comparaison avec des molécules de référence (standards) afin de positionner l'efficacité de nos extraits.

6 Résultats d'évaluation des activités biologiques

6.1 Activité antioxydante

Le stress oxydatif est impliqué dans de nombreux processus délétères, dont le vieillissement cutané. La capacité des extraits à neutraliser les radicaux libres est donc une propriété recherchée. Pour obtenir une vision complète du potentiel antioxydant, trois méthodes complémentaires basées sur des mécanismes différents ont été utilisées : le piégeage du radical DPPH[•], le piégeage du radical cation ABTS^{•+} et le pouvoir réducteur du fer (FRAP).

6.1.1 L'activité de piégeage de radical libre DPPH

L'activité anti-radicalaire des huiles essentielles a d'abord été évaluée par le test DPPH. Cette méthode mesure la capacité des extraits à céder un atome d'hydrogène pour neutraliser le radical stable DPPH, ce qui se traduit par une décoloration de la solution de violet au jaune. Les résultats, exprimés en Concentration Inhibitrice 50% (IC50), sont présentés dans le Tableau 6 et illustrés par la Figure 31.

Les deux huiles essentielles ont montré une activité anti-radicalaire très faible, avec des valeurs de IC50 quasiment identiques et très élevées : $244,25 \pm 2,37 \mu\text{g/mL}$ pour l'huile de lavande (HE_L) et $244,29 \pm 2,06 \mu\text{g/mL}$ pour l'huile de menthe (HE_M). En comparaison, les témoins positifs ont montré une efficacité bien supérieure, avec des IC50 de $6,14 \pm 0,41 \mu\text{g/mL}$ pour le BHA, $12,99 \pm 0,41 \mu\text{g/mL}$ pour le BHT et $13,02 \pm 5,17 \mu\text{g/mL}$ pour l'α-Tocophérol. L'IC50 de nos extraits est environ 20 à 40 fois plus élevée que celle des standards.

Tableau 6 : Inhibition de DPPH par les Huile Essentielles HE_M et HE_L.

Huile Essentielle	Pourcentage Inhibition (%) de DPPH							
	6,25 µg	12,5 µg	25 µg	50 µg	100 µg	200 µg	400 µg	IC ₅₀ µg/ml
HE_L	-5,46 ± 0,72	-6,48 ± 0,95	-4,05 ± 0,72	-4,99 ± 1,99	-6,13 ± 1,00	-5,66 ± 1,12	4,64 ± 4,43	244,25 ± 2,37
HE_M	-3,50 ± 3,94	3,62 ± 6,18	0,41 ± 5,88	3,07 ± 11,50	-1,04 ± 2,66	3,66 ± 6,11	8,20 ± 1,01	244,29 ± 2,06
BHA	76,55 ± 0,48	79,89 ± 0,26	81,73 ± 0,10	84,18 ± 0,1	87,13 ± 0,17	89,36 ± 0,19	90,14 ± 0,00	6,14 ± 0,41
BHT	49,09 ± 0,76	72,63 ± 2,06	88,73 ± 0,89	94,00 ± 0,31	94,97 ± 0,08	95,38 ± 0,41	95,02 ± 0,23	12,99 ± 0,41
α-Tocophérol	37,21 ± 1,82	81,53 ± 1,51	89,23 ± 0,12	89,38 ± 0,19	89,45 ± 0,22	89,99 ± 0,23	89,52 ± 0,33	13,02 ± 5,17

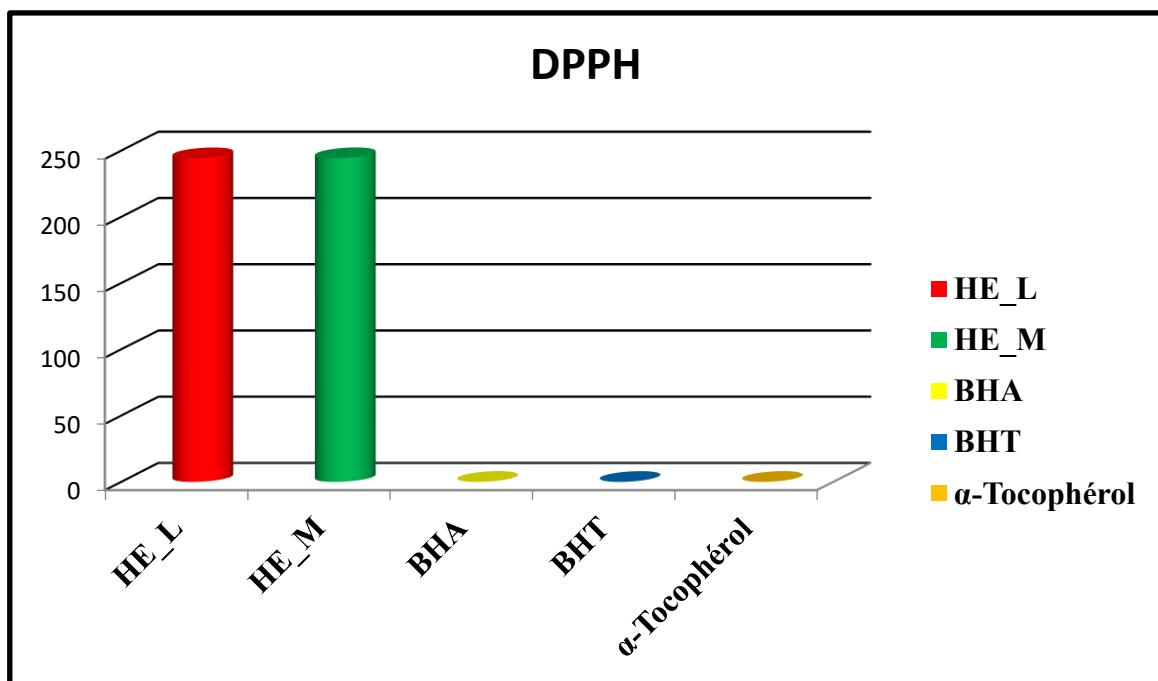


Figure 24 Histogramme montre les valeurs de l'IC₅₀ du test DPPH.

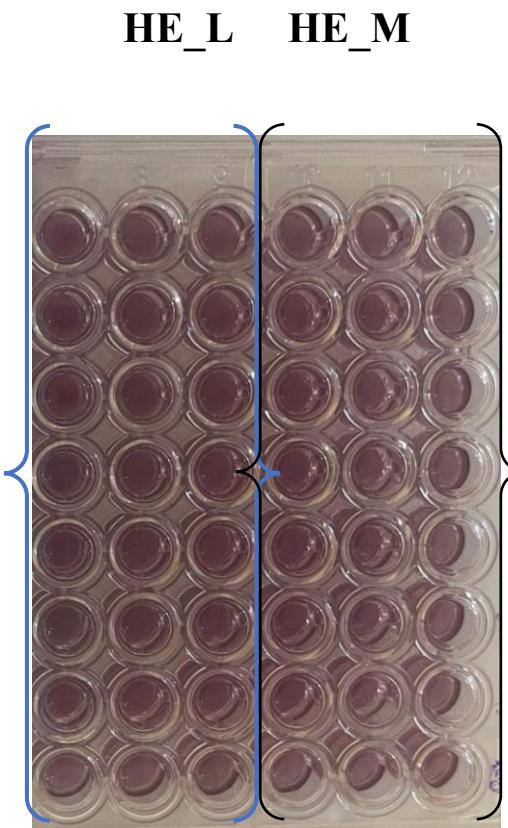


Figure 25 Résultats du test DPPH sur microplaques.

6.1.2 Activité du piégeage du cation radical ABTS^{•+}

En présence d'un antioxydant, le radical cation ABTS^{•+} subit une réduction par capture d'un atome d'hydrogène (H⁺), ce qui entraîne la formation du composé ABTS⁺. Ce processus de réduction se manifeste par un changement progressif de couleur de la solution, passant d'un bleu turquoise initial. On mesure l'absorbance à une longueur d'onde précise de 734 nm. Les résultats obtenus, sous forme du tableau 7 et de figures 33 et 34, ont été soumis à une analyse comparative avec les antioxydants standards BHA et BHT, qui ont été utilisés comme témoins positifs.

Tableau 7 : Huile Essentielle Pourcentage Inhibition % de l'ABTS^{•+}

Huile Essentielle	Pourcentage d'inhibition % de l' ABTS ^{•+}							
	6,25 µg	12,5 µg	25 µg	50 µg	100 µg	200 µg	400 µg	IC50 µg/ml
HE_L	-4,50 ± 2,63	9,16 ± 5,37	24,56 ± 7,45	17,04 ± 9,67	36,18 ± 9,71	38,95 ± 3,77	69,09 ± 7,92	157,27 ± 6,18
HE_M	6,65 ± 3,73	13,51 ± 5,45	3,68 ± 8,64	14,23 ± 9,17	32,65 ± 4,48	52,97 ± 12,37	66,27 ± 8,16	145,46 ± 18,23
BHT	49,22 ± 0,75	59,22 ± 0,59	78,55 ± 3,43	90,36 ± 0,00	92,18 ± 1,27	93,37 ± 0,86	94,87 ± 0,87	1,59 ± 0,03
BHA	83,42 ± 4,09	93,52 ± 0,09	93,58 ± 0,09	93,63 ± 0,16	93,63 ± 0,95	94,20 ± 0,90	95,39 ± 2,62	1,03 ± 0,00

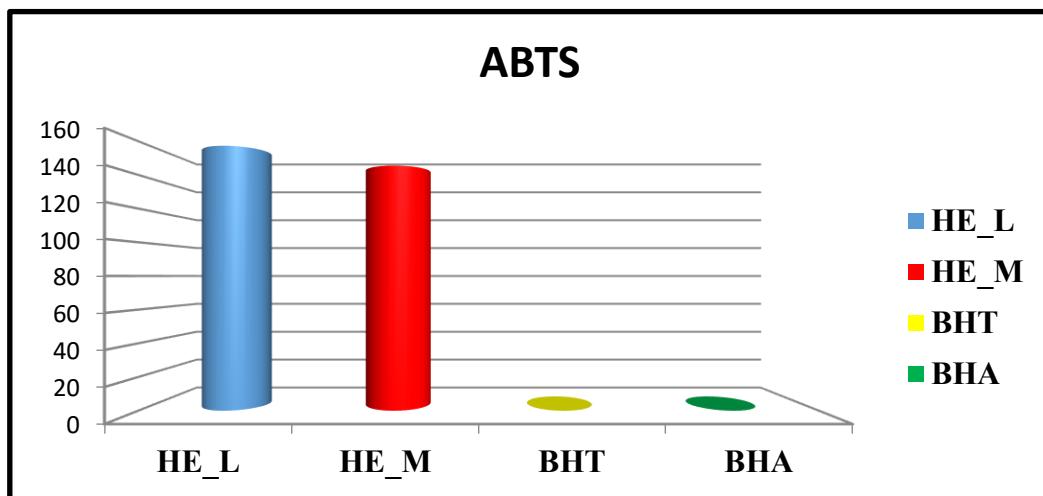


Figure 26 histogramme montre les valeurs de l'IC50 du test ABTS^{•+}.

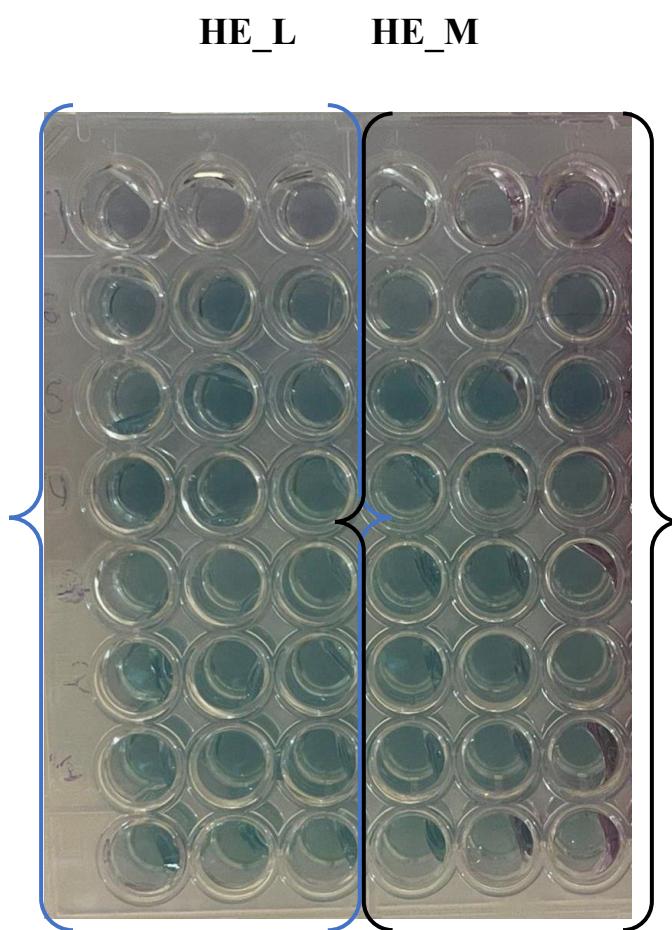


Figure 27 Résultats du test ABTS sur microplaques,

Afin d'enrichir l'analyse, la capture du radical cation ABTS^{•+} a été évaluée. Ce test, qui interagit avec des composés hydrophiles et lipophiles, permet d'obtenir une perspective plus globale de l'activité. Les résultats sont exposés dans le Tableau ABTS et la Figure correspondante.

Tout comme lors du test DPPH, les huiles essentielles ont démontré une activité modérée. La concentration inhibitrice médiane (IC₅₀) de l'Huile essentielle de menthe (HE_M) s'élevait à $145,46 \pm 18,23 \mu\text{g/mL}$, ce qui était légèrement inférieure à celle de l'huile essentielle de lavande (HE_L) mesurée à $157,27 \pm 6,18 \mu\text{g/mL}$. Ces deux valeurs demeurent très élevées en comparaison des valeurs de référence pour le BHA ($1,03 \pm 0,00 \mu\text{g/mL}$) et le BHT ($1,59 \pm 0,03 \mu\text{g/mL}$), qui ont démontré une activité plus de 100 fois supérieure.

6.1.3 Activité du pouvoir antioxydant réducteur ferrique (FRAP)

Le test FRAP est une méthode analytique permettant d'évaluer la capacité réductrice des composés antioxydants. Ce test repose sur la transformation du fer ferrique (Fe³⁺), initialement de teinte jaune, en fer ferreux (Fe²⁺), caractérisé par une coloration bleu-vert. Cette réaction d'oxydoréduction est quantifiée par mesure de l'absorbance à une longueur d'onde de 700 nm.

Les résultats (tableau 8, figure 35, figure 34) ont été comparés avec les standards α -Tocopherol et l'acide ascorbique.

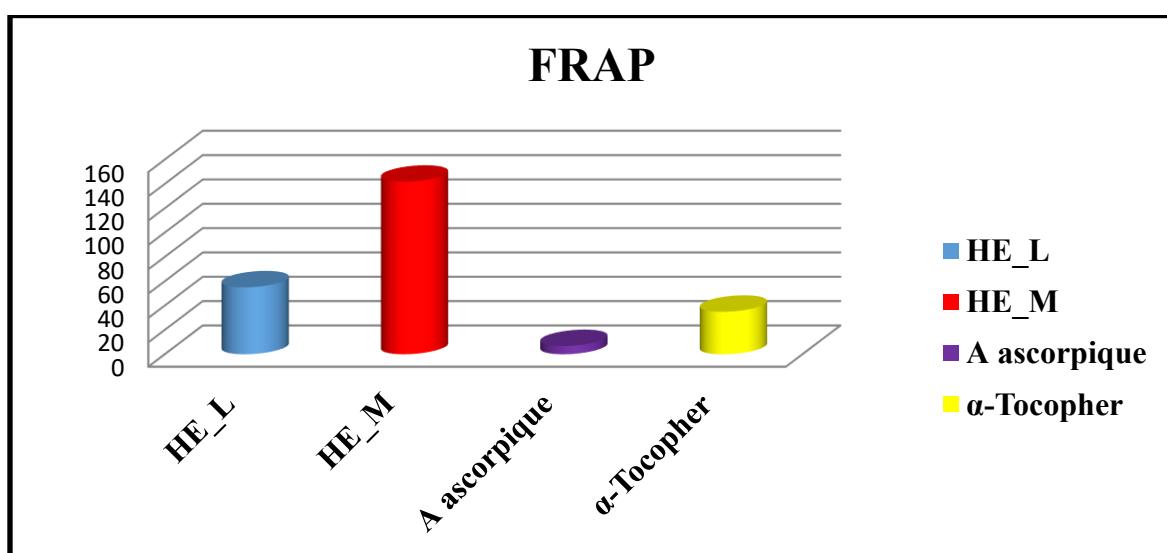


Figure 28 Histogramme montre les valeurs de l'A_{0.5} de test FRAP.

Tableau 8 : Les absorbances du pouvoir réducteur par les extraits HE_L, HE_M.

Huile essentielle	Absorbances de FRAP							
	6,25 µg	12,5 µg	25 µg	50 µg	100 µg	200 µg	400 µg	A _{0,5} µg/ml
HE_L	0,10± 0,01	0,11± 0,05	0,14± 0,03	0,14± 0,01	0,14± 0,04	0,14± 0,06	0,18± 0,02	55,03± 4,14
HE_M	0,11± 0,01	0,13± 0,05	0,14± 0,04	0,10± 0,02	0,10± 0,02	0,15± 0,03	0,16± 0,02	141,87± 6,4
Acide ascorbique	0,35± 0,05	0,46± 0,03	0,84± 0,12	0,93± 0,30	1,18± 0,34	1,37± 0,20	1,44± 0,21	6,77± 1,15
α-Tocopherol	0,11± 0,00	0,16± 0,00	0,21± 0,03	0,35± 0,03	0,73± 0,03	1,37± 0,08	1,81± 0,09	34,93± 2,38

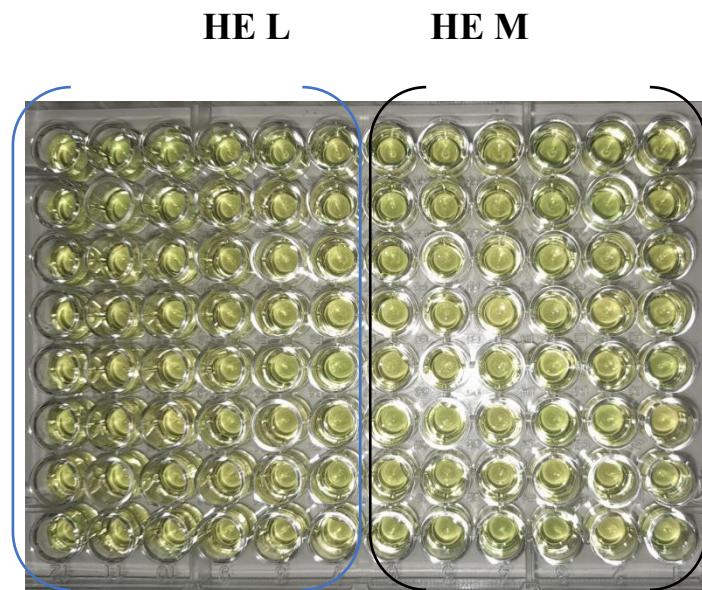


Figure 29 Résultats du test FRAP sur microplaques.

Le test FRAP mesure la capacité d'un antioxydant à réduire l'ion ferrique (Fe^{3+}) en ion ferreux (Fe^{2+}), un mécanisme basé sur le transfert d'un seul électron (SET). Les résultats, présentés dans le **Tableau 8** et la **Figure 35**, sont exprimés en $A_{0.5}$ (concentration nécessaire pour atteindre une absorbance équivalente à 50% de l'activité du meilleur standard, ou une valeur seuil).

Ici, les résultats sont différents. L'huile essentielle de lavande (HE_L) a montré un pouvoir réducteur notable avec une $A_{0.5}$ de **55,03 ± 4,14 µg/mL**. L'huile de menthe (HE_M) était bien moins efficace, avec une $A_{0.5}$ de **141,87 ± 6,4 µg/mL**. Fait intéressant, l'extrait de lavande s'est montré plus réducteur que l' α -Tocophérol ($A_{0.5} = 34,93 \pm 2,38 \mu g/mL$, . L'acide ascorbique ($A_{0.5} = 6,77 \pm 1,15 \mu g/mL$) reste le composé le plus puissant. L'ordre d'efficacité est donc : **Acide ascorbique > α -Tocophérol > Lavande (HE_L) > Menthe (HE_M)**.

6.2 Résultats de l'activité antibactérienne

Afin d'évaluer le potentiel antimicrobien des extraits essentiels provenant des plantes médicinales sélectionnées, nous avons réalisé des tests d'activité antibactérienne *in vitro* contre des souches bactériennes pathogènes, à savoir *Escherichia coli* (*E. coli*) et *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*). Ces tests ont permis de déterminer l'efficacité des deux extraits, l'huile essentielle HE_L, correspondant à l'huile essentielle de *Lavandula angustifolia* Mill (lavande vraie), et l'huile essentielle HE_M, correspondant à l'huile essentielle de *Mentha spicata* L. (menthe verte), à inhiber la croissance microbienne. Cette évaluation est une étape fondamentale dans la valorisation de ces huiles essentielles pour des applications dermiques.

Les résultats obtenus sont présentés ci-dessous et analysés en fonction du diamètre des zones d'inhibition mesurées autour des disques imprégnés des extraits. Une comparaison a également été effectuée avec un antibiotique de référence, permettant ainsi d'apprécier la puissance relative des extraits.

Tableau 9 : Diamètres des zones d'inhibition (en mm) des huiles essentielles (HE_L et HE_M) et de la gentamicine contre différentes souches bactériennes.

Souche bactérienne	HE_L (mm)	HE_M (mm)	la gentamicine	Type de bactérie
<i>Escherichia coli</i>	10 mm	10 mm	19 mm	Gram -
<i>Staphylococcus aureus</i>	14 mm	16 mm	19 mm	Gram +

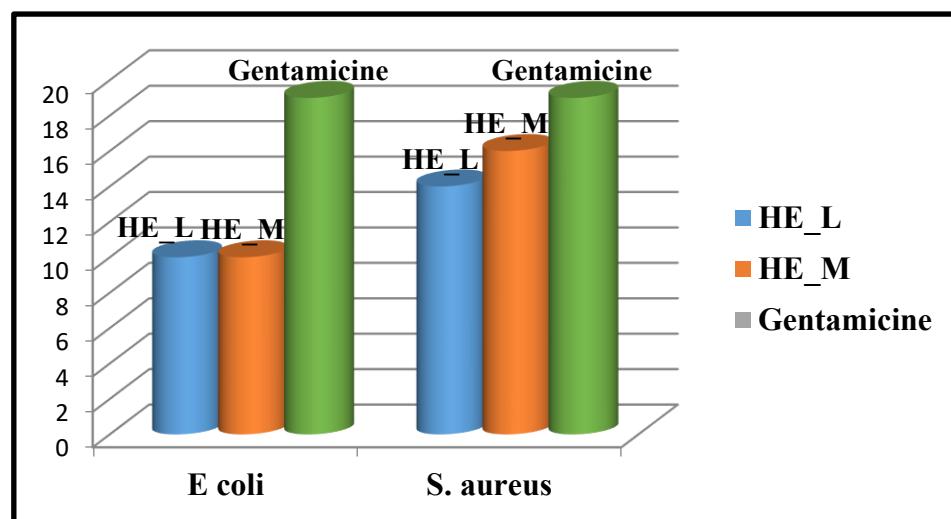


Figure 30 Histogramme montre les diamètres des zones d'inhibition des HE_L, HE_M et de la gentamicine.

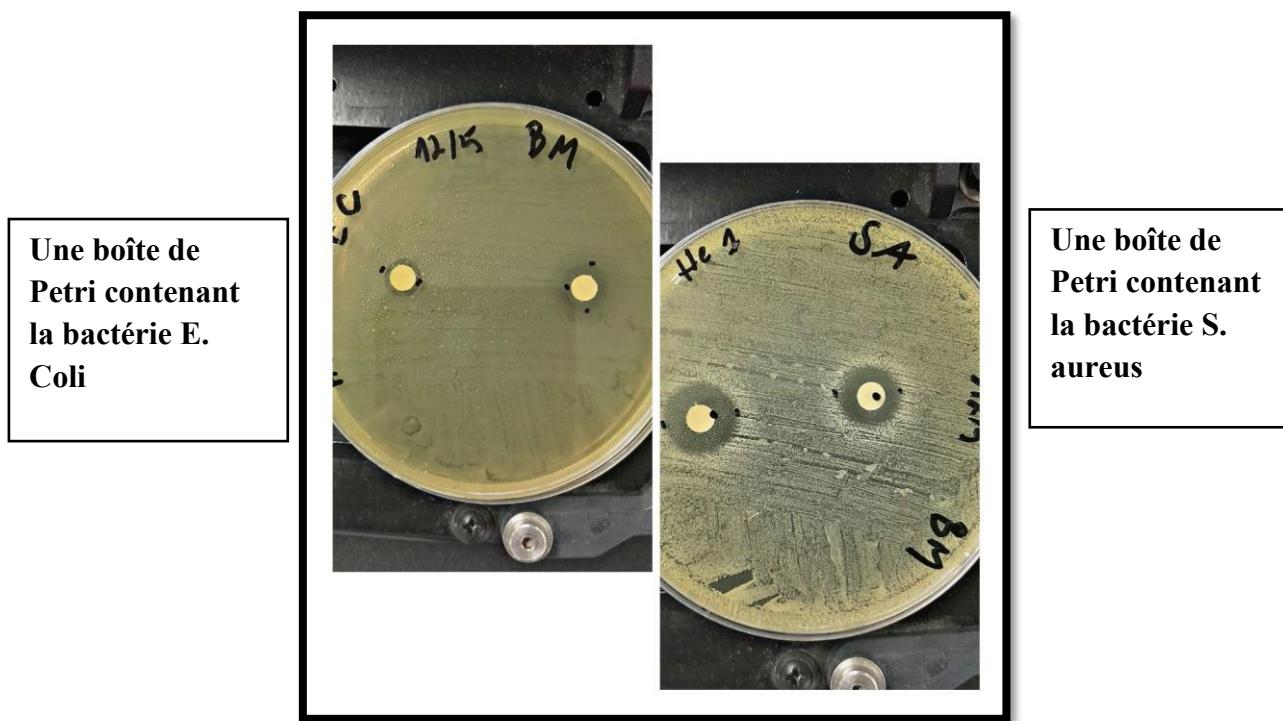


Figure 31 Image représente les résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des huiles L et M.

L'activité antibactérienne a été évaluée par la méthode de diffusion sur disque contre une souche à Gram-négatif (*Escherichia coli*) et une souche à Gram-positif (*Staphylococcus aureus*). Les diamètres des zones d'inhibition sont rapportés dans le **Tableau 9** et la **Figure [37]**.

Les deux huiles ont montré une activité identique contre *E. coli*, avec une zone d'inhibition de **10 mm**. Contre *S. aureus*, l'activité était plus prononcée : **14 mm** pour la lavande (HE_L) et **16 mm** pour la menthe (HE_M). L'antibiotique de référence, la gentamicine, a produit une zone d'inhibition de **19 mm** pour les deux souches.

6.3 Résultats de l'activité antifongique

Dans le cadre de la recherche de nouvelles alternatives naturelles aux antifongiques de synthèse, l'évaluation de l'activité antifongique des extraits végétaux constitue une approche prometteuse. Cette étude vise à tester le potentiel antifongique de deux extraits d'origine végétale, l'huile essentielle **HE_L**, correspondant à l'huile essentielle de *Lavandula angustifolia* Mill. (**lavande vraie**), et l'huile essentielle **HE_M**, correspondant à l'huile essentielle de *Mentha spicata* L (**menthe verte**). Contre une souche fongique pathogène

sélectionnée. L'analyse repose sur la méthode de diffusion en milieu solide, permettant de quantifier l'effet inhibiteur des extraits à travers la mesure du diamètre des zones d'inhibition.

Les résultats obtenus permettent de comparer l'efficacité relative des deux extraits étudiés (HE_L et HE_M) et de mettre en évidence leur capacité à limiter la croissance du champignon ciblé. Cette étape expérimentale s'inscrit dans une logique de valorisation des ressources phytothérapeutiques locales et de développement de produits antifongiques naturels, susceptibles de présenter moins d'effets secondaires et de réduire le phénomène de résistance.

- Nom du champignon étudié : ***Fusarium oxysporum***
- C : Diamètre de croissance du champignon dans le témoin (mm)
- T : Diamètre de croissance du champignon dans l'échantillon traité (mm)

Pourcentage d'inhibition de la croissance fongique (%) calculé selon la formule suivante :

$$\text{Inhibition \%} = \frac{(C - T)}{C} \times 100$$

Tableau 10 : Résultats de l'activité antifongique des extraits végétaux.

Souche fongique	Huile essentielle	Diamètre témoin (mm) <i>C</i>	Diamètre traité (mm) <i>T</i>	Inhibition (%)
<i>Fusarium oxysporum</i>	HE_L	16	00	100
<i>Fusarium oxysporum</i>	HE_M	16	00	100

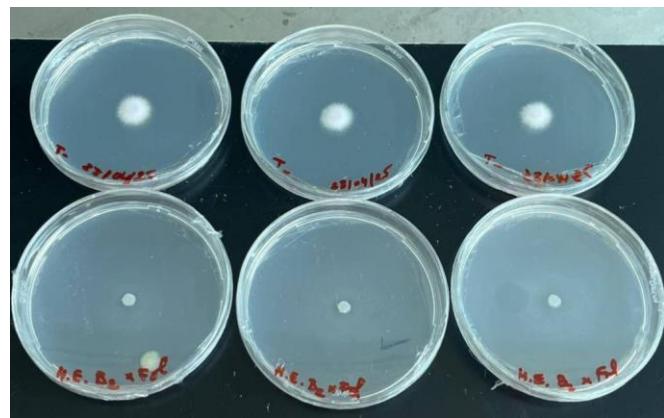


Figure 32 Image illustrant le résultat de l'activité antifongique de HE_M (huile essentielle de Menthe verte)

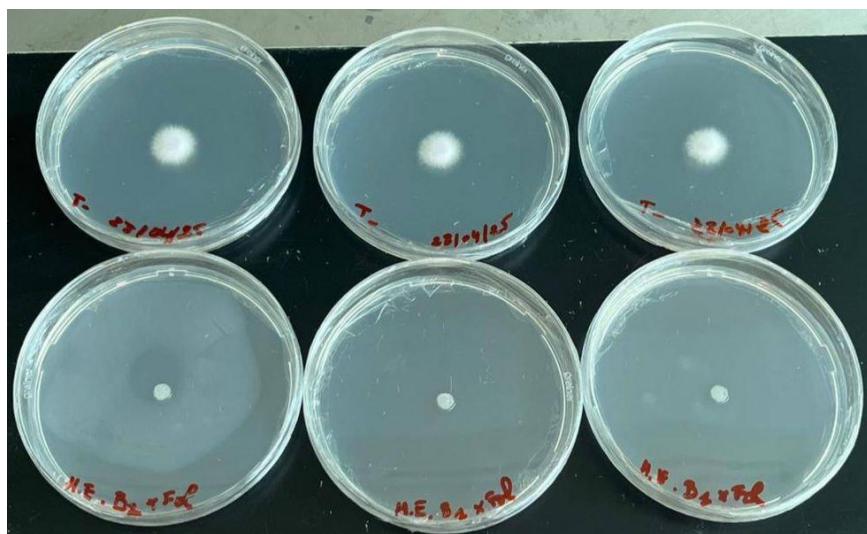


Figure 33 Image illustrant le résultat de l'activité antifongique de HE_L (huile essentielle de lavande vraie).

L'activité contre le champignon phytopathogène *Fusarium oxysporum* a été testée par la méthode de diffusion en milieu solide. Comme le montrent le **Tableau 10** et les images des boîtes de Petri (**Figure 39 et 41**), les résultats sont particulièrement nets.

Les deux huiles essentielles, de lavande (HE_L) et de menthe (HE_M), ont provoqué une **inhibition totale** de la croissance mycélienne, soit un pourcentage d'inhibition de **100%**. Le diamètre de croissance dans les boîtes traitées (T) était de 0 mm, contre 16 mm pour le témoin (C).

6.4 Résultats de l'activité enzymatique

Dans le cadre de notre étude visant à explorer le potentiel de valorisation des huiles essentielles naturelles à des fins dermo-cosmétiques, une attention particulière a été portée à l'évaluation de l'activité enzymatique des Huiles essentielles HE_L et HE_M, à travers leur capacité à inhiber l'enzyme α -amylase.

Ce dernier constitue une enzyme clé intervenant dans le métabolisme des glucides. Son inhibition est considérée comme un indicateur pertinent de propriétés biologiques bénéfiques, notamment dans les domaines de la santé et de la cosmétologie.

Par conséquent, un test *in vitro* a été réalisé afin d'évaluer l'efficacité de chaque extrait à inhiber l'activité de l' α -amylase, en se basant sur la comparaison des valeurs d' IC_{50} obtenues. Les résultats présentés ci-après permettent d'estimer l'efficacité relative de chaque extrait, et ont été comparés à celle d'une substance de référence bien connue, l'Acarbose, utilisée comme standard positif en raison de son action inhibitrice reconnue sur cette enzyme.

Les résultats (**tableau 11, figure 42, figure 41**) ont été comparés aux standards Acarbose.

Tableau 11: Résultats de l'activité enzymatique (α -amylase).

Pourcentage d'inhibition % des deux huiles essentielles	
Huile essentielle	IC_{50} $\mu\text{g/ml}$
HE_L	813,88
HE_M	20494,22
Acarbose	16810

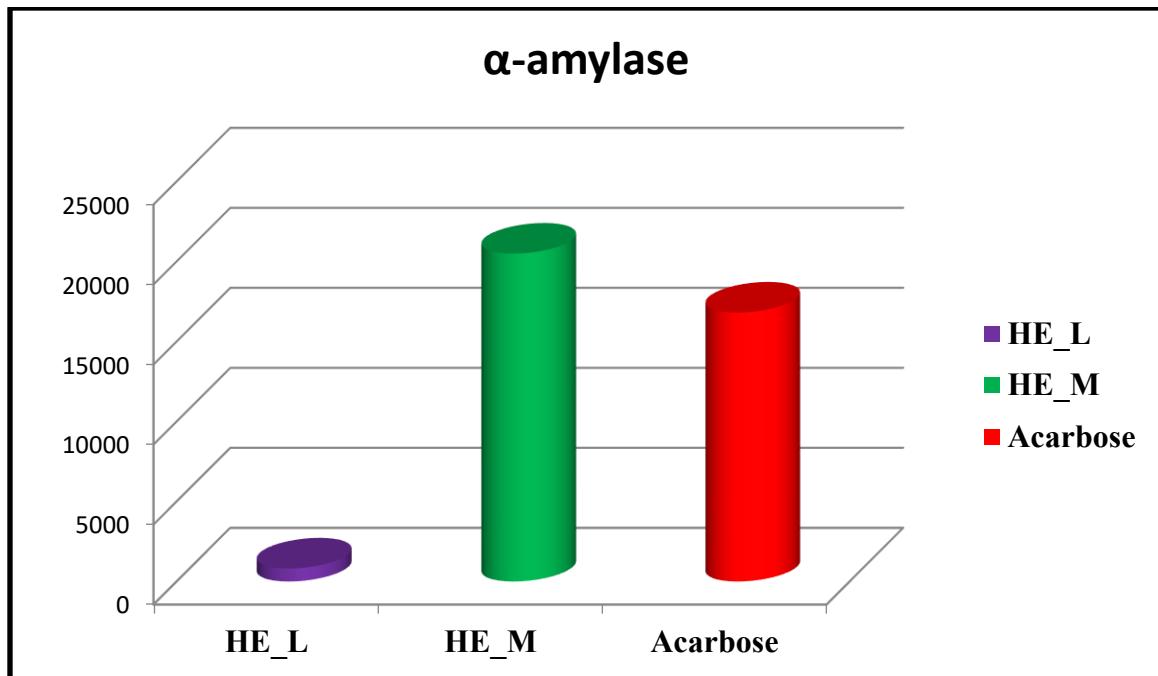


Figure 34 Histogramme montre les valeurs de l'IC₅₀ de test enzymatique (α -amylase)

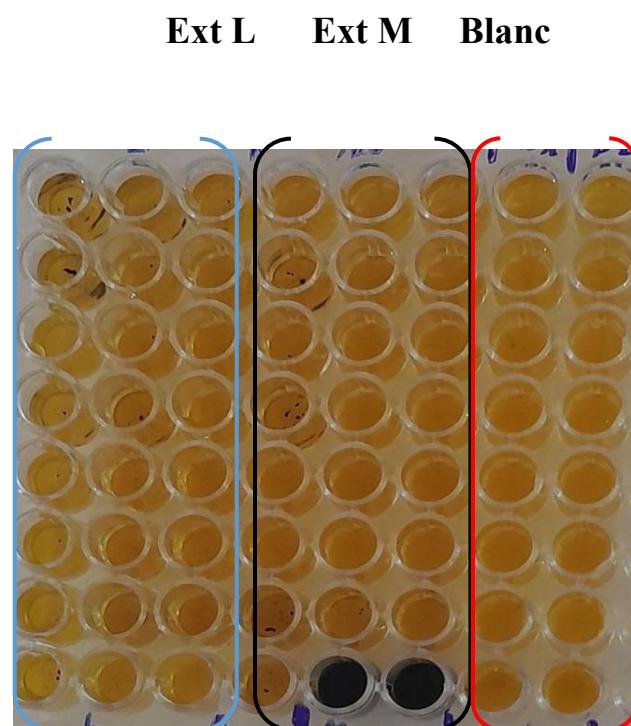


Figure 35 Résultats du test enzymatique (α -amylase) sur microplaques

L'inhibition de l' α -amylase, une enzyme clé de la digestion des glucides, a été évaluée. Les résultats, exprimés en IC₅₀, sont présentés dans le Tableau 10 et la Figure 42.

Les résultats sont remarquables et inattendus. L'huile essentielle de lavande (HE_L) a montré

une puissante activité inhibitrice avec une IC₅₀ de 813,88 µg/mL. De manière surprenante, cette activité est environ 20 fois supérieure à celle de l'Acarbose (IC₅₀ = 16 810 µg/mL), un médicament de référence utilisé comme inhibiteur de l'α-amylase. En revanche, l'huile essentielle de menthe (HE_M) a montré une activité très faible (IC₅₀ = 20 494,22 µg/mL), comparable à celle de l'Acarbose.

7 Discussion des résultats d'évaluation des activités biologiques

7.1 Activité antioxydante

7.1.1 L'activité de piégeage de radical libre DPPH

Une IC₅₀ élevée indique qu'une forte concentration d'extrait est nécessaire pour neutraliser 50% des radicaux DPPH[•], ce qui confirme une **faible activité de piégeage par don d'hydrogène**. Cette faible performance des huiles essentielles dans le test DPPH est un résultat fréquemment rapporté dans la littérature. Les principaux constituants des huiles essentielles de lavande (ex: linalol, acétate de linalyle) et de menthe (ex: carvone, limonène) sont des monoterpènes qui, bien que possédant certaines propriétés antioxydantes, sont des donneurs d'atomes d'hydrogène beaucoup moins efficaces que les composés phénoliques (comme le BHA et le BHT) dont la structure est optimisée pour la stabilisation de radicaux. L'encombrement stérique du radical DPPH[•] peut également limiter son accès aux sites actifs des molécules de nos extraits. Ces résultats suggèrent que le mécanisme principal d'action antioxydante de ces huiles n'est probablement pas le don d'hydrogène.

7.1.2 Activité du piégeage du cation radical ABTS^{•+}

Les résultats du test ABTS confirment ceux du DPPH : les huiles essentielles de lavande et de menthe sont de faibles piégeurs de radicaux *in vitro* comparées aux antioxydants phénoliques de synthèse. La légère supériorité de la menthe sur la lavande dans ce test, bien que faible, pourrait être attribuée à des différences de composition chimique mineures. Le radical ABTS^{•+} étant moins soumis à l'encombrement stérique que le DPPH[•], les IC₅₀ sont globalement plus basses, mais l'ordre de grandeur reste le même. Ces deux premiers tests suggèrent que si ces huiles possèdent une activité antioxydante, celle-ci pourrait s'exprimer via un autre mécanisme que le piégeage direct de radicaux, ou être plus pertinente dans un système biologique complexe que dans ces tests chimiques simples.

7.1.3 Activité du pouvoir antioxydant réducteur ferrique (FRAP)

Contrairement aux tests de piégeage de radicaux, le test FRAP révèle une **activité réductrice significative pour l'huile de lavande**. Cela suggère que les composés de l'HE_L agissent plus efficacement via un **mécanisme de transfert d'électron (SET)** qu'un mécanisme de don d'hydrogène (HAT). La nette différence entre la lavande et la menthe dans ce test est un résultat clé, indiquant que leurs compositions chimiques les prédisposent à des mécanismes d'action antioxydante différents. La capacité de l'huile de lavande à réduire les ions métalliques comme le Fe^{3+} est une propriété très intéressante, car ces ions peuvent catalyser des réactions produisant des radicaux libres (réaction de Fenton). Cette activité pourrait donc contribuer à une protection antioxydante *indirecte* dans un contexte biologique.

7.2 Discussion des résultats de l'activité antimicrobienne

Les résultats démontrent une **activité antibactérienne modérée** pour les deux huiles, avec une **sélectivité marquée contre la bactérie à Gram-positif** (*S. aureus*). Cette différence de sensibilité est classique et s'explique par la structure de la paroi bactérienne. La membrane externe des bactéries à Gram-négatif, riche en lipopolysaccharides, forme une barrière hydrophile qui limite la pénétration des composés lipophiles des huiles essentielles. La paroi des Gram-positifs, plus simple, est plus perméable. L'huile de menthe s'est révélée légèrement plus efficace contre *S. aureus*, ce qui est en accord avec plusieurs études attribuant une forte activité antibactérienne à la carvone, son composant majoritaire.

Ces activités, bien qu'inférieures à celles de la gentamicine, sont significatives et confirment le potentiel de ces huiles comme agents antimicrobiens d'appoint, notamment dans des formulations topiques pour lutter contre des bactéries impliquées dans des affections cutanées comme *S. aureus*.

7.3 Discussion des résultats de l'activité antifongique

Ce résultat est le plus spectaculaire de l'étude antimicrobienne. Les deux huiles essentielles possèdent une très puissante activité antifongique contre *Fusarium oxysporum*. Cette forte efficacité est probablement due à la capacité des composés terpéniques à perturber l'intégrité de la membrane cellulaire fongique, à inhiber la synthèse de la paroi et à interférer avec les processus métaboliques vitaux du champignon.

Cette activité fongicide totale positionne les huiles de lavande et de menthe comme d'excellents candidats pour des applications où un contrôle fongique est nécessaire, que ce soit en agriculture (alternative aux fongicides de synthèse) ou en cosmétique (conservateurs naturels, traitement d'affections fongiques cutanées).

7.4 Discussion des résultats de l'activité enzymatique

C'est sans doute le résultat le plus significatif de cette étude. L'huile essentielle de lavande est un inhibiteur de l' α -amylase bien plus puissant que l'Acarbose *in vitro*. Cette découverte est majeure. L'inhibition de cette enzyme ralentit la dégradation de l'amidon en sucres simples, ce qui peut aider à réguler la glycémie post-prandiale. Bien que cette application soit surtout explorée dans le contexte du diabète, elle a aussi un intérêt en dermo-cosmétique. En effet, des niveaux élevés de glucose peuvent entraîner la glycation des protéines de la peau (collagène, élastine), un processus qui accélère le vieillissement cutané en provoquant rigidité et perte d'élasticité.

La capacité de l'huile de lavande à inhiber fortement l' α -amylase ouvre des perspectives très prometteuses pour son utilisation dans des produits "anti-âge" ou "anti-glycation". La très faible activité de l'huile de menthe, malgré sa proximité botanique, souligne une fois de plus la spécificité d'action liée à la composition chimique fine de chaque huile. Des études plus poussées seraient nécessaires pour identifier le ou les composés de la lavande responsables de cette inhibition exceptionnelle.

7.5 Résultats d'une crème dermo- cosmétique

À la lumière des résultats prometteurs révélés par les huiles essentielles de la menthe verte (*Mentha spicata L*) et de la lavande vraie (*Lavandula angustifolia Mill*), notamment en ce qui concerne leurs activités biologiques évaluées — en particulier l'activité antioxydante (test FRAP) ainsi que les propriétés antibactériennes et antifongiques —, il a été envisagé d'exploiter ces potentialités dans le développement d'un produit cosmétique thérapeutique naturel figure 43. Ainsi, une crème de jour à effet apaisant, antibactérien et protecteur contre les rayons solaires a été formulée. Cette préparation repose essentiellement sur les huiles essentielles extraites par hydrodistillation à l'aide de l'appareil de Clevenger, qui en constituent les principaux agents actifs.

Conclusion

Ce travail a permis de caractériser et de comparer le profil d'activités biologiques des huiles essentielles de *Lavandula angustifolia Mill* (HE_L) et *Mentha spicata L* (HE_M). Les résultats mettent en lumière des profils très distincts et complémentaires :

1. **Activité anti-oxydante** : Les deux huiles sont de faibles piégeurs de radicaux (DPPH, ABTS), mais l'huile de lavande se distingue par un pouvoir réducteur (FRAP) significatif, suggérant un mécanisme d'action par transfert d'électron.
2. **Activité antimicrobienne** : Les deux huiles sont modérément actives contre les bactéries (avec une meilleure efficacité contre *S. aureus*) et **extrêmement efficaces contre le champignon** *Fusarium oxysporum*, montrant une inhibition totale.
3. **Activité anti-enzymatique** : C'est le résultat le plus saillant. **L'huile de lavande est un inhibiteur de l' α -amylase exceptionnellement puissant**, dépassant de loin l'efficacité du médicament de référence, l'Acarbose.

En conclusion, si les deux huiles sont d'excellents antifongiques, l'huile de lavande se démarque par son potentiel multifonctionnel unique, combinant une activité antioxydant réductrice et une puissante inhibition enzymatique. Ces propriétés la positionnent comme un ingrédient de très grand intérêt pour des applications cosmétiques et potentiellement thérapeutiques, justifiant pleinement la poursuite des recherches pour isoler ses composés actifs et valider ces effets dans des modèles plus complexes.

Conclusion

Générale

Au terme de ce travail, qui s'est articulé autour de l'extraction des huiles essentielles de deux espèces végétales reconnues pour leurs propriétés thérapeutiques et aromatiques — à savoir la menthe verte (*Mentha spicata L*) et la lavande vraie (*Lavandula angustifolia Mill*) — nous avons cherché à explorer leur potentiel en biotechnologie, notamment dans les applications cosmétiques à visée thérapeutique.

Le premier chapitre a permis de poser le cadre théorique, englobant les notions générales sur les plantes médicinales et aromatiques, les propriétés des métabolites secondaires, en particulier les huiles essentielles, ainsi qu'une revue détaillée des différentes activités biologiques (antioxydante, antibactérienne, antifongique et enzymatique). Une attention particulière a été accordée aux espèces étudiées, en termes de classification botanique, composition chimique, et usages traditionnels et modernes.

Le deuxième chapitre a porté sur la partie expérimentale, avec l'extraction des huiles essentielles par hydrodistillation à l'aide de l'appareil de Clevenger. Une série de tests biologiques ont été réalisés pour évaluer leur efficacité, notamment :

- Les tests antioxydants (DPPH, FRAP, ABTS),
- Les tests antimicrobiens (bactéries et champignons),
- L'évaluation de l'activité enzymatique.

Les résultats ont révélé une efficacité remarquable des huiles essentielles extraites, en particulier celles de la lavande et de la menthe, dans la lutte contre le stress oxydatif et les agents pathogènes microbiens, ce qui a motivé leur incorporation dans la formulation d'un soin cosmétique à visée thérapeutique.

Le troisième chapitre a présenté les résultats des analyses biologiques, confirmant l'activité notable des huiles, surtout dans le test FRAP (activité antioxydante) ainsi que leur pouvoir antimicrobien. À partir de ces données, une crème de jour apaisante, protectrice et antimicrobienne a été développée, à base d'ingrédients 100 % naturels, sans aucun additif synthétique nocif, ce qui la rend idéale pour les peaux sensibles ou irritées.

Conclusion Générale

Cette crème a été testée sur deux groupes d'utilisateurs :

- **Premier groupe** : individus souffrant d'acné ou d'irritations cutanées légères – une amélioration visible a été observée (appuyée par des images documentées).

Deuxième groupe : personnes présentant des rougeurs ou irritations dues à une exposition solaire – un effet apaisant et régénérant a été constaté après application régulière.

La crème présente plusieurs qualités prometteuses :

- Effet apaisant et hydratant dû à l'eau distillée de menthe et de lavande,
- Pouvoir antibactérien et antifongique des huiles essentielles,
- Formulation propre, naturelle et exempte de substances chimiques agressives,
- Valorisation des ressources végétales locales (plantes aromatiques d'Algérie).

Malgré les résultats encourageants, certaines limitations liées au temps n'ont pas permis de mener à bien des essais complémentaires, tels que :

- L'évaluation de la stabilité physico-chimique de la crème à long terme,
- Des tests approfondis sur son efficacité en tant que crème protectrice solaire (UV protecteur),
- Des études cliniques à plus grande échelle sur un nombre plus important de participants.

En conclusion, ce travail représente une contribution préliminaire prometteuse dans le domaine de la biotechnologie cosmétique. Il constitue un modèle susceptible d'être optimisé et élargi à des traitements dermatologiques variés, voire à une production à visée commerciale selon les normes actuelles.

Références bibliographiques

1. Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, Idaomar M. Biological effects of essential oils – A review. *Food Chem Toxicol*. 1 févr 2008;46(2):446-75.
2. Plantes_aromatiques | Thesaurus French Crop Usage [Internet]. [cité 27 mai 2025]. Disponible sur: https://rdf.codex.cati.inrae.fr/fcu-res/html/Plantes_aromatiques
3. Les 10 meilleures plantes aromatiques et leurs bienfaits sur la santé [Internet]. [cité 19 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.supersmart.com/fr/blog/renforcer-organisme/les-10-meilleures-plantes-aromatiques-leurs-bienfaits-sur-sante-s337>
4. Bio-diversity and conservation of medicinal and aromatic plants. *Adv Plants Agric Res* [Internet]. 9 déc 2016 [cité 27 mai 2025];Volume 5(Issue 4). Disponible sur: <https://medcraveonline.com/APAR/APAR-05-00186.pdf>
5. 20211212_MARCHE_PPAM_2020.pdf [Internet]. [cité 27 mai 2025]. Disponible sur: https://www.franceagrimer.fr/content/download/67749/document/20211212_MARCHE_PPA_M_2020.pdf
6. Times E. Les plantes aromatiques et médicinales: Une filière à renforcer ? [Internet]. ECOTIMES. 2023 [cité 19 juin 2025]. Disponible sur: <https://ecotimesdz.com/les-plantes-aromatiques-et-medicinales-une-filiere-a-renforcer/>
7. BOUKHEROUBA_IBRAHIM_F4.pdf [Internet]. [cité 27 mai 2025]. Disponible sur: https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/13568/1/BOUKHEROUBA_IBRAHIM_F4.pdf
8. Les plantes endémiques médicinales en Algérie.pdf [Internet]. [cité 27 mai 2025]. Disponible sur: <https://fac.umc.edu.dz/snv/bibliotheque/biblio/mmf/2022/Les%20plantes%20end%C3%A9miques%20m%C3%A9dicinales%20en%20Alg%C3%A9rie.pdf>
9. Ethnopharmacologia. 2018;
10. Taiz L, Zeiger E, Moller IM, Murphy A. *Plant Physiology and Development*, Sixth Edition.

RESUME

11. Métabolites secondaires-21.pdf [Internet]. [cité 19 juin 2025]. Disponible sur: https://elearning-facscm.univ-annaba.dz/pluginfile.php/16064/mod_resource/content/1/M%C3%A9tabolites%20secondaires-21.pdf
12. Macheix JJ, Fleuriet A, Jay-Allemand C. Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. EPFL Press; 2005. 212 p.
13. Métabolites secondaires (M2) | LAE [Internet]. [cité 19 juin 2025]. Disponible sur: <https://lae.univ-lorraine.fr/fr/lunité/metabolites-secondaires-m2>
14. Les huiles essentielles [Internet]. [cité 28 mai 2025]. Disponible sur: <https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/les-fiches-pratiques/les-huiles-essentielles-0>
15. Utilisations des Huiles Essentielles - Aromathérapie [Internet]. France Minéraux. [cité 19 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.france-mineraux.fr/aromatherapie/utilisations-huiles-essentielles/>
16. Vranová E, Coman D, Gruissem W. Network analysis of the MVA and MEP pathways for isoprenoid synthesis. *Annu Rev Plant Biol.* 2013;64:665-700.
17. Hsieh MH, Chang CY, Hsu SJ, Chen JJ. Chloroplast localization of methylerythritol 4-phosphate pathway enzymes and regulation of mitochondrial genes in *ispD* and *ispE* albino mutants in *Arabidopsis*. *Plant Mol Biol.* avr 2008;66(6):663-73.
18. ResearchGate [Internet]. [cité 19 juin 2025]. Figure 13 : Voie de biosynthèse des principaux diterpénoïdes composant... Disponible sur: https://www.researchgate.net/figure/Voie-de-biosynthese-des-principaux-diterpenoides-composant-lexsudat-des-TGS-du-tabac_fig9_281533558
19. Yadav SK, Oliveira MS de, Andrade EH de A. Physiochemical Properties of Essential Oils and Applications. In: Essential Oils - Advances in Extractions and Biological Applications [Internet]. IntechOpen; 2022 [cité 28 mai 2025]. Disponible sur: <https://www.intechopen.com/chapters/81545>
20. Kessler A. Introduction to a Virtual Special Issue on plant volatiles. *New Phytol.* 2016;209(4):1333-7.

RESUME

21. Dudareva N, Klempien A, Muhlemann JK, Kaplan I. Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds. *New Phytol.* 2013;198(1):16-32.
22. Full Text [Internet]. [cité 29 mai 2025]. Disponible sur: <https://www.mdpi.com/2304-8158/5/4/70/pdf?version=1477563727>
23. Paolini J. COMPOSITION CHIMIQUE DES HUILES ESSENTIELLES DE LA SCIURE DE BOIS ET DE FEUILLES DE TETRACLINIS ARTICULATA (VAHL) MASTERS DU MAROC. *Bull Société R Sci Liège.* 2001;78.
24. Boaro CSF, Vieira MAR, Campos FG, Ferreira G, De-la-Cruz-Chacón I, Marques MOM. Factors Influencing the Production and Chemical Composition of Essential Oils in Aromatic Plants from Brazil. In: Malik S, éditeur. *Essential Oil Research: Trends in Biosynthesis, Analytics, Industrial Applications and Biotechnological Production* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2019 [cité 29 mai 2025]. p. 19-47. Disponible sur: https://doi.org/10.1007/978-3-030-16546-8_2
25. Hanif MA, Nisar S, Khan GS, Mushtaq Z, Zubair M. Essential Oils. In: Malik S, éditeur. *Essential Oil Research: Trends in Biosynthesis, Analytics, Industrial Applications and Biotechnological Production* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2019 [cité 29 mai 2025]. p. 3-17. Disponible sur: https://doi.org/10.1007/978-3-030-16546-8_1
26. *Lavandula angustifolia* « Munstead » - Plant Finder [Internet]. [cité 29 mai 2025]. Disponible sur: https://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/PlantFinderDetails.aspx?basic=munstead&isprofile=0&taxonid=249422&utm_source=chatgpt.com
27. (PDF) Composition, biological properties and therapeutic effects of lavender (*Lavandula angustifolia* L). A review. ResearchGate [Internet]. [cité 29 mai 2025]; Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/276768698_Composition_biological_properties_and_therapeutic_effects_of_lavender_Lavandula_angustifolia_L_A_review
28. content.pdf [Internet]. [cité 29 mai 2025]. Disponible sur: <https://dspace.univ-eloued.dz/server/api/core/bitstreams/50f5ea63-43d3-42f8-b97b-9d3ce7d47735/content>
29. Manel L, Amina B. Etude comparative des paramètres biologiques de deux espèces de la lavande : *Lavandula angustifolia* et *Lavandula stoechas*.

RESUME

30. (PDF) Composition, biological properties and therapeutic effects of lavender (*Lavandula angustifolia* L). A review. ResearchGate [Internet]. [cité 29 mai 2025]; Disponible sur:
https://www.researchgate.net/publication/276768698_Composition_biological_properties_and_therapeutic_effects_of_lavender_Lavandula_angustifolia_L_A_review
31. Crișan I, Ona A, Vârban D, Muntean L, Vârban R, Stoie A, et al. Current Trends for Lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) Crops and Products with Emphasis on Essential Oil Quality. *Plants*. 12 janv 2023;12(2):357.
32. Full Text PDF [Internet]. [cité 29 mai 2025]. Disponible sur:
<https://bibliotekanauki.pl/articles/950560.pdf>
33. Full Text PDF [Internet]. [cité 29 mai 2025]. Disponible sur:
<https://www.mdpi.com/2223-7747/12/7/1571/pdf?version=1680768064>
34. Özdemir O, Yılmaz N, Gok M, Kaya MO. Determination of Antimicrobial and Antioxidant Activities of *Lavandula angustifolia* Volatile Oil. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Derg*. 31 oct 2022;9(3):265-73.
35. Hajhashemi V, Ghannadi A, Sharif B. Anti-inflammatory and analgesic properties of the leaf extracts and essential oil of *Lavandula angustifolia* Mill. *J Ethnopharmacol*. nov 2003;89(1):67-71.
36. Tundis R, Grande F, Occhiuzzi MA, Sicari V, Loizzo MR, Cappello AR. *Lavandula angustifolia* mill. (Lamiaceae) ethanol extract and its main constituents as promising agents for the treatment of metabolic disorders: chemical profile, in vitro biological studies, and molecular docking. *J Enzyme Inhib Med Chem*. 38(1):2269481.
37. D'Auria FD, Tecca M, Strippoli V, Salvatore G, Battinelli L, Mazzanti G. Antifungal activity of *Lavandula angustifolia* essential oil against *Candida albicans* yeast and mycelial form. *Med Mycol*. août 2005;43(5):391-6.
38. Tundis R, Grande F, Occhiuzzi MA, Sicari V, Loizzo MR, Cappello AR. *Lavandula angustifolia* mill. (Lamiaceae) ethanol extract and its main constituents as promising agents for the treatment of metabolic disorders: chemical profile, in vitro biological studies, and molecular docking. *J Enzyme Inhib Med Chem*. 38(1):2269481.

RESUME

39. *Mentha spicata* (Garden Mint, Lamb Mint, Mint, Spearmint) | North Carolina Extension Gardener Plant Toolbox [Internet]. [cité 30 mai 2025]. Disponible sur: https://plants.ces.ncsu.edu/plants/mentha-spicata/?utm_source=chatgpt.com
40. Plant Details – Tennessee Invasive Plant Council [Internet]. [cité 30 mai 2025]. Disponible sur: https://www.tnipc.org/invasive-plants/plant-details/?id=112&utm_source=chatgpt.com
41. Mahendran G, Verma SK, Rahman LU. The traditional uses, phytochemistry and pharmacology of spearmint (*Mentha spicata* L.): A review. *J Ethnopharmacol*. 5 oct 2021;278:114266.
42. Menthe | alimentarium [Internet]. [cité 30 mai 2025]. Disponible sur: <https://www.alimentarium.org/fr/savoir/menthe>
43. ResearchGate [Internet]. 2025 [cité 30 mai 2025]. (PDF) Essential Oil of *Mentha spicata* L. from Algeria. Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/259679035_Essential_Oil_of_Mentha_spicata_L_from_Algeria
44. (PDF) Physicochemical characteristics and thin layer chromatography of the essential oil of spearmint: *Mentha spicata* L, from western Algeria. ResearchGate [Internet]. [cité 30 mai 2025]; Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/376378017_Physicochemical_characteristics_and_t hin_layer_chromatography_of_the_essential_oil_of_spearmint_Mentha_spicata_L_from_wes tern_Algeria
45. Chemical and biological profiles of essential oils from *Mentha spicata* L. leaf from Bejaia in Algeria | Request PDF. ResearchGate [Internet]. 10 déc 2024 [cité 30 mai 2025]; Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/289558173_Chemical_and_biological_profiles_of_essential_oils_from_Mentha_spicata_L_leaf_from_Bejaia_in_Algeria
46. Bendifallah L, Tabli R, Khelladi H, Hamoudi-Belarbi L, Hamoudi S. Biological Activity of the *Mentha spicata* L. and *Salvia officinalis* L. (Lamiaceae) Essential Oils on *Sytophilusgranarius* L. and *Triboliumconfusum* Jac. Du Val. Infested Stored Wheat. *Biol Life Sci Forum*. 2020;4(1):108.

RESUME

47. (PDF) Biological activities of *Mentha spicata* L. extracts growing in different geographical regions of Algeria. ResearchGate [Internet]. [cité 30 mai 2025]; Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/374771076_Biological_activities_of_Mentha_spicata_L_extracts_growing_in_different_geographical_regions_of_Algeria
48. ResearchGate [Internet]. [cité 30 mai 2025]. (PDF) A Review on Effectiveness and Biological Activities of Different *Mentha* Species. Disponible sur: https://www.researchgate.net/publication/360786644_A_Review_on_Effectiveness_and_Biological_Activities_of_Different_Mentha_Species
49. Full Text [Internet]. [cité 30 mai 2025]. Disponible sur: <https://bmccomplementmedtherapies.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s12906-018-2274-x>
50. Shahbazi Y. Chemical Composition and In Vitro Antibacterial Activity of *Mentha spicata* Essential Oil against Common Food-Borne Pathogenic Bacteria. *J Pathog*. 2015;2015:916305.
51. Meloni DA, Lescano JA, Arraiza MP, Beltrán RE. Yield, chemical composition and functional properties of essential oils from *Mentha spicata* (Lamiaceae) in Santiago del Estero, Argentina. *UNED Res J*. 1 déc 2019;11(3):327-33.
52. Nutri&Co [Internet]. [cité 30 mai 2025]. Menthe Verte : Bienfaits et Conseils d'Utilisation. Disponible sur: https://nutriandco.com/fr/pages/menthe-verte-bienfaits?utm_source=perplexity
53. Essenciagua [Internet]. [cité 30 mai 2025]. Plante Menthe verte ses propriétés et indications aromathérapiques. Disponible sur: https://www.essenciagua.fr/fr/content/68-menthe-verte?utm_source=perplexity
54. Ben Youcef H, Djediat M. Etude biologique des huiles essentielles du *mentha spicata* et formulation d'un lave-mains [Internet] [Thesis]. Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira; 2019 [cité 30 mai 2025]. Disponible sur: <http://dspace.univ-bouira.dz:8080/jspui/handle/123456789/11157>
55. content.pdf [Internet]. [cité 30 mai 2025]. Disponible sur: <https://dspace.ummto.dz/server/api/core/bitstreams/e5d9e6d0-a53b-491e-82b6-a344b803e7de/content>

RESUME

56. Nutri&Co [Internet]. [cité 30 mai 2025]. Menthe Verte: Bienfaits et Conseils d'Utilisation. Disponible sur: https://nutriandco.com/fr/pages/menthe-verte-bienfaits?utm_source=perplexity
57. Menthe (Mentha spp.): définition, propriétés et bienfaits [Internet]. [cité 30 mai 2025]. Disponible sur: <https://www.aroma-zone.com/page/menthe-mentha-spp-definition-proprietes-et-bienfaits>
58. Ali-Shtayeh MS, Jamous RM, Abu-Zaitoun SY, Khasati AI, Kalbouneh SR. Biological Properties and Bioactive Components of *Mentha spicata* L. Essential Oil: Focus on Potential Benefits in the Treatment of Obesity, Alzheimer's Disease, Dermatophytosis, and Drug-Resistant Infections. Evid-Based Complement Altern Med ECAM. 20 oct 2019;2019:3834265.
59. 72 M.BVP.pdf [Internet]. [cité 30 mai 2025]. Disponible sur: https://di.univ-blida.dz/jspui/bitstream/123456789/8013/1/72%20M.BVP.pdf?utm_source=perplexity
60. Procédés d'extraction d'une Huile Essentielle [Internet]. Puressence Aroma. [cité 30 mai 2025]. Disponible sur: <https://www.puressence-aroma.fr/aromatherapie/procedes-extraction-huile-essentielle/>
61. Iberian Coppers Lda [Internet]. [cité 30 mai 2025]. Distillation à la Vapeur. Disponible sur: https://www.copper-alembic.com/fr/page/distillation-a-la-vapeur?utm_source=perplexity
62. DOSSIER : Les huiles essentielles – Processus d'extraction des huiles essentielles des plantes – Bio Linéaires | le magazine professionnel des points de ventes bio, biodynamiques et diététiques [Internet]. [cité 30 mai 2025]. Disponible sur: https://www.biolineaires.com/dossier_les_huiles_essentielles_processus_d_extraction_des_huiles_essentielles_des_plantes/?utm_source=perplexity
63. Hydrodistillation ultrasonique des huiles essentielles [Internet]. Hielscher Ultrasonics. [cité 30 mai 2025]. Disponible sur: <https://www.hielscher.com/fr/ultrasonic-hydrodistillation-of-essential-oils.htm>
64. La fabrication des huiles essentielles [Internet]. [cité 19 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.compagnie-des-sens.fr/fabrication-huiles-essentielles/>

RESUME

65. Hydrodistillation ultrasonique des huiles essentielles [Internet]. Hielscher Ultrasonics. [cité 31 mai 2025]. Disponible sur: <https://www.hielscher.com/fr/ultrasonic-hydrodistillation-of-essential-oils.htm>
66. Extraits CO₂ : des huiles essentielles plus riches [Internet]. 2024 [cité 19 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.pierrefranchomelab.com/blog/p-extraits-co2-des-huiles-essentielles-plus-riches>
67. L'enfleurage - Faire un parfum [Internet]. [cité 31 mai 2025]. Disponible sur: https://www.sylvaine-delacourte.com/fr/guide/l-enfleurage?utm_source=perplexity
68. ResearchGate [Internet]. [cité 19 juin 2025]. Figure 3: Schéma d'extraction par solvant assistée par micro-ondes. MAE... Disponible sur: https://www.researchgate.net/figure/Schema-dextraction-par-solvant-assistee-par-micro-ondes-MAE-Microwave-Assisted_fig2_281914219
69. Hydrodistillation - an overview | ScienceDirect Topics [Internet]. [cité 31 mai 2025]. Disponible sur: https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/hydrodistillation?utm_source=chatgpt.com
70. ResearchGate [Internet]. [cité 19 juin 2025]. Fig. 1. Hydro-distillation Clevenger apparatus system. Disponible sur: https://www.researchgate.net/figure/Hydro-distillation-Clevenger-apparatus-system_fig1_308574938
71. Fadil M, Farah A, Ihssane B, Haloui T, Rachiq S. Optimisation des paramètres influençant l'hydrodistillation de Rosmarinus officinalis L. par la méthodologie de surface de réponse Optimization of parameters influencing the hydrodistillation of Rosmarinus officinalis L. by response surface methodology. 2015;
72. www.google.com [Internet]. [cité 19 juin 2025]. chromatographie en phase gazeuse. Disponible sur: <https://www.google.com/imgres?imgurl=https://www.masterchimie1.universite-paris-saclay.fr/Chromatoweb/Images%2520chromato/fig1-11.JPG&tbnid=M1Dysj7xHCziPM&vet=1&imgrefurl=https://www.masterchimie1.universite-paris-saclay.fr/Chromatoweb/CPG.html&docid=25rrhpU8-VNdcM&w=401&h=226&source=sh/x/im/can/1&kgs=f5e3b47be20e9349&sfr=vfe>

RESUME

73. Analyser une huile essentielle à l'aide de la chromatographie [Internet]. [cité 31 mai 2025]. Disponible sur: https://www.bio-enligne.com/aromatherapie-huile-essentielle/446-analyse.html?utm_source=perplexity
74. La chromatographie pour vérifier la qualité des huiles essentielles [Internet]. [cité 31 mai 2025]. Disponible sur: https://www.compagnie-des-sens.fr/chromatographie-huiles-essentielles/?utm_source=perplexity
75. La Chromatographie Pour Vérifier La Qualité Des Huiles Essentielles | PDF | Chromatographie | Chromatographie en phase gazeuse [Internet]. [cité 31 mai 2025]. Disponible sur: https://fr.scribd.com/document/600053876/La-chromatographie-pour-verifier-la-qualite-des-huiles-essentielles?utm_source=perplexity
76. Extraction des huiles essentielles et hydrolats.pdf [Internet]. [cité 31 mai 2025]. Disponible sur: https://fac.umc.edu.dz/snv/bibliotheque/biblio/mmf/2023/Extraction%20des%20huiles%20essentielles%20et%20hydrolats.pdf?utm_source=perplexity
77. Koba K, Sanda K, Raynaud C, Millet J, Chaumont JP. Composition chimique des huiles essentielles d'*Aeollanthus pubescens* Benth. acclimatée au Togo. Comptes Rendus Chim. 1 oct 2004;7(10):1107-11.
78. M'barek B, Mohamed H, Julien P, Jean C, Abdelaziz C. COMPOSITION CHIMIQUE DES HUILES ESSENTIELLES DE LA SCIURE DE BOIS ET DE FEUILLES DE TETRACLINIS ARTICULATA (VAHL) MASTERS DU MAROC. Bull Société R Sci Liège [Internet]. 1 janv 2009 [cité 31 mai 2025]; Disponible sur: https://popups.uliege.be/0037-9565/index.php?id=1465&lang=es&utm_source=perplexity
79. Indices de Kovats | PDF [Internet]. [cité 31 mai 2025]. Disponible sur: <https://fr.scribd.com/document/789945259/INDICES-DE-KOVATS>
80. Les analyses par GC – Partie IV. Les indices de rétention | Phytochemia [Internet]. [cité 31 mai 2025]. Disponible sur: https://phytochemia.com/fr/2014/08/25/les-analyses-par-gc-partie-iv-les-indices-de-retention/?utm_source=perplexity
81. Les analyses par GC – Partie VI. Exemple appliqué d'analyse avec les indices de rétention | Phytochemia [Internet]. [cité 31 mai 2025]. Disponible sur: https://phytochemia.com/fr/2014/08/25/les-analyses-par-gc-partie-vi-exemple-applique-danalyse-avec-les-indices-de-retention/?utm_source=perplexity

RESUME

<https://phytochemia.com/fr/2014/09/08/les-analyses-par-gc-partie-vi-exemple-applique-danalyse-avec-les-indices-de-retention/>

82. Likibi BN, Tsiba G, Madiele Mabika AB, Etou Ossibi AW, Nsikabaka S, Ouamba JM. Composes carbonyles majeurs et indices physico-chimiques des huiles essentielles de deux espèces du genre *Cymbopogon* (Poaceae) du Congo-Brazzaville. *Int J Eng Appl Sci IJEAS* [Internet]. 31 oct 2019 [cité 31 mai 2025];6(10). Disponible sur: https://www.ijeas.org/download_data/IJEAS0610001.pdf
83. Migdal C, Serres M. Espèces réactives de l'oxygène et stress oxydant. médecine/sciences. 1 avr 2011;27(4):405-12.
84. Le stress oxydatif [Internet]. Eurofins Biomnis. [cité 1 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.eurofins-biomnis.com/blog/stress-oxydatif-2/>
85. Barouki R, Morel Y. Stress oxydant et expression des gènes. *J Société Biol.* 2001;195(4):377-82.
86. AMBILLE C. Stress oxydatif: causes, symptômes et traitements [Internet]. Granions. 2023 [cité 1 juin 2025]. Disponible sur: <https://blog.granions.fr/stress-oxydatif-causes-symptomes-traitements/>
87. Pierre D. Contraintes environnementales et stress oxydant chez les plantes [Internet]. Encyclopédie de l'environnement. 2022 [cité 19 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/contraintes-environnementales-stress-oxydant-plantes/>
88. Santin Y. Rôles du stress oxydant et de ses dérivés dans les mécanismes physiopathologiques de l'insuffisance cardiaque. In 2019 [cité 1 juin 2025]. Disponible sur: https://www.semanticscholar.org/paper/R%C3%B4les-du-stress-oxydant-et-de-ses-d%C3%A9riv%C3%A9s-dans-les-Santin/e0fcf5c151c8111f3482aa262f250f892cda2e37?utm_source=perplexity
89. Tolmacheva AS, Nevinsky GA. Essential Protective Role of Catalytically Active Antibodies (Abzymes) with Redox Antioxidant Functions in Animals and Humans. *Int J Mol Sci.* 31 mars 2022;23(7):3898.

RESUME

90. Jomova K, Alomar SY, Alwasel SH, Nepovimova E, Kuca K, Valko M. Several lines of antioxidant defense against oxidative stress: antioxidant enzymes, nanomaterials with multiple enzyme-mimicking activities, and low-molecular-weight antioxidants. *Arch Toxicol.* 2024;98(5):1323-67.
91. Stress oxydant et antioxydants : comprendre pour mieux vieillir ! [Internet]. [cité 2 juin 2025]. Disponible sur: https://www.laboratoire-lescuyer.com/blog/stress-oxydant-et-antioxydants-comprendre-pour-mieux-vieillir?utm_source=perplexity
92. Pincemail J, Bonjean K, Cayeux K, Defraigne JO. Mécanismes physiologiques de la défense antioxydante. *Nutr Clin Métabolisme.* 1 déc 2002;16(4):233-9.
93. Thao NTM, Do HDK, Nam NN, Tran NKS, Dan TT, Trinh KTL. Antioxidant Nanozymes: Mechanisms, Activity Manipulation, and Applications. *Micromachines.* 9 mai 2023;14(5):1017.
94. Rajput VD, Harish, Singh RK, Verma KK, Sharma L, Quiroz-Figueroa FR, et al. Recent Developments in Enzymatic Antioxidant Defence Mechanism in Plants with Special Reference to Abiotic Stress. *Biology.* 26 mars 2021;10(4):267.
95. Quels sont les antioxydants naturels ? [Internet]. [cité 2 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.aroma-zone.com/page/quels-sont-les-antioxydants-naturels>
96. Bienfaits des antioxydants : que font-ils, où les trouver ? [Internet]. [cité 2 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.nutergia.com/fr/fr/comprendre-la-micronutrition/quel-est-le-role-des-antioxydants>
97. Antioxydants : quels aliments sont à privilégier ? [Internet]. [cité 2 juin 2025]. Disponible sur: https://www.laboratoire-lescuyer.com/blog/quels-sont-les-aliments-les-plus-riches-en-antioxydants?utm_source=perplexity
98. Antioxydants : Quels rôles et quels bienfaits ? | Polaar [Internet]. [cité 2 juin 2025]. Disponible sur: <https://polarar.com/blogs/blog/antioxydants-roles-bienfaits>
99. ISN [Internet]. [cité 2 juin 2025]. ISN. Disponible sur: https://www.isn-sante.com/fr/dossiers/micronutrition/vertus-antioxydants-sante?utm_source=perplexity
100. Antioxydants : Quels rôles et quels bienfaits ? | Polaar [Internet]. [cité 5 juin 2025]. Disponible sur: <https://polarar.com/blogs/blog/antioxydants-roles-bienfaits>

RESUME

101. Chimactiv - Ressources pédagogiques numériques interactives dans l'analyse chimique de milieux complexes [Internet]. [cité 5 juin 2025]. Disponible sur: https://chimactiv.agroparistech.fr/fr/aliments/antioxydant-dpph/principe?utm_source=perplexity
102. tice.ac-montpellier.fr/ABCDORG A/Famille15/EVALANTIOX.htm?utm_source=perplexity [Internet]. [cité 5 juin 2025]. Disponible sur: https://tice.ac-montpellier.fr/ABCDORG A/Famille15/EVALANTIOX.htm?utm_source=perplexity
103. البيلجيit قا. كلية علوم الطبيعت والحياة وعلم الارض والكى.
104. Chimactiv - Ressources pédagogiques numériques interactives dans l'analyse chimique de milieux complexes [Internet]. [cité 19 juin 2025]. Disponible sur: <https://chimactiv.agroparistech.fr/fr/aliments/antioxydant-dpph/principe>
105. Ilyasov IR, Beloborodov VL, Selivanova IA, Terekhov RP. ABTS/PP Decolorization Assay of Antioxidant Capacity Reaction Pathways. *Int J Mol Sci.* 8 févr 2020;21(3):1131.
106. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med.* mai 1999;26(9-10):1231-7.
107. ABTS, antioxydant capacity | LIBIOS [Internet]. [cité 19 juin 2025]. Disponible sur: <https://libios.fr/en/analytical-solutions/oxydative-stress-antioxidant-capacity/oxydative-stress-antioxidant-capacity-assay-kits/abts-antioxydant-capacity>
108. Disponible sur: https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=4df2d272f366ab783e7f26e7f8d6de222e306030&utm_source=perplexity
109. Ouerfelli M, Almajano MP, Kaâb LBB. Composés phénoliques et capacité antioxydante des extraits méthanoliques du Tripodion (*Anthyllis tetraphylla* L.). 2016;
110. Benzie IF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of « antioxidant power »: the FRAP assay. *Anal Biochem.* 15 juill 1996;239(1):70-6.
111. Benzie IFF, Strain JJ. [2] Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous

RESUME

measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. In: Methods in Enzymology [Internet]. Academic Press; 1999 [cité 5 juin 2025]. p. 15-27. (Oxidants and Antioxidants Part A; vol. 299). Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0076687999990055>

112. Munteanu IG, Apetrei C. Analytical Methods Used in Determining Antioxidant Activity: A Review. *Int J Mol Sci.* 25 mars 2021;22(7):3380.

113. Saidi C, Sadoudi M. EPIDEMIOLOGIE DES INFECTIONS FONGIQUES INVASIVES AU CHU DE TIZI-OUZOU. 26 juin 2018 [cité 16 juin 2025]; Disponible sur: <https://dspace.ummto.dz/handle/ummto/7886>

114. Joshi P, Navale A, Shelke A, Patel M. Exploring the Arsenal of Novel Antifungal Drug Targets for Combating Fungal Infections. <http://www.eurekaselect.com> [Internet]. [cité 16 juin 2025]; Disponible sur: <https://www.eurekaselect.com/article/143024>

115. Manuels MSD pour le grand public [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Présentation des infections fongiques - Infections. Disponible sur: <https://www.msdmanuals.com/fr/accueil/infections/infections-fongiques/présentation-des-infections-fongiques>

116. Combattre la candidose orale résistante aux antifongiques chez les patients VIH : enjeux actuels et solutions innovantes [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: https://www.medflixs.com/fr/revue/combattre-la-candidose-orale-resistante-aux-antifongiques-chez-les-patients-vih-enjeux-actuels-et-solutions-innovantes?utm_source=perplexity

117. LAHOUEL.pdf [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/17003/1/LAHOUEL.pdf?utm_source=perplexity

118. 1653131230168.pdf [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: https://www.infectiologie.org.tn/pdf_ppt_docs/congres/1653131230168.pdf?utm_source=perplexity

119. Losilla B. Etude systématique de bactéries isolées à partir de sols d'origines diverses en vue de l'obtention et de l'identification de nouveaux antifongiques produits par les actinomycétales. In 1988 [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.semanticscholar.org/paper/Etude-syst%C3%A9matique-de-bact%C3%A9ries->

RESUME

isol%C3%A9es-%C3%A0-partir-de-

Losilla/d38392cb8a91c7a939e0f37669afb4c9e473a092?utm_source=perplexity

120. Des antifongiques naturels pour l'agroalimentaire : l'éco-extraction du bois de vigne au service de la préservation des aliments - Carnot Inside [Internet]. 2025 [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: <https://carnot-inside.lepodcast.fr/des-antifongiques-naturels-pour-lagroalimentaire-leco-extraction-du-bois-de-vigne-au-service-de-la-preservation-des-aliments>

121. Toussirot M. ETUDES PHYTOCHIMIQUE ET PHARMACOLOGIQUE DES COLORANTS NATURELS ISSUS DE LA BIODIVERSITE VEGETALE DE LA NOUVELLE- CALEDONIE ET PERSPECTIVES DE VALORISATIONalédonie; Colorants des plantes de la Nouvelle-Calédonie : perspectives de valorisation. In 2014 [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: https://www.semanticscholar.org/paper/ETUDES-PHYTOCHIMIQUE-ET-PHARMACOLOGIQUE-DES-ISSUS-%3A-Toussirot/199176d78e5a1e3ebe2d09fdca7facbd3705e179?utm_source=perplexity

122. Découvrez les pouvoirs des antifongiques naturels! [Internet]. [cité 19 juin 2025]. Disponible sur: <https://melusinecosmetics.com/blogs/nous-decouvrir/antifongique-naturel>

123. Abderrahim Zouaoui S, Megherbi-Benali A, Fawzia Toumi B, Ouaar D. Contribution à l'étude du pouvoir antifongique des graines du Chénopodium quinoa Wild vis-à-vis de deux champignons phytopathogène de l'orge : Pyrenophora tritici-repentis et Rhynchosporium secalis Contribution to the study of the antifungal potency of the seeds of Chenopodium quinoa wild against two phytopathogenic fungi of the barley: Pyrenophora tritici-repentis and Rhynchosporium secalis. Bull Société R Sci Liège [Internet]. 1 janv 2018 [cité 16 juin 2025]; Disponible sur: https://popups.uliege.be/0037-9565/index.php?id=8127&utm_source=perplexity

124. Abdallah RB, Frikha D, Maalej S, Sassi ES. EVALUATION IN VITRO DE L'ACTIVITE ANTIBACTERIENNE ET ANTIFONGIQUE DE QUATRE ESPECES ALGALES MARINES IN VITRO EVALUATION OF THE ANTIBACTERIAL AND ANTIFUNGAL ACTIVITIES OF MARINE ALGAE.

125. Makambi WK, Ikonomova SP, Karlsson AJ. Quantifying the Antifungal Activity of Peptides Against *Candida albicans*. JoVE J Vis Exp. 13 janv 2023;(191):e64416.

RESUME

126. Nirma C. Les mutualismes insectes sociaux / micro-organismes : une source d'inspiration pour la recherche de nouveaux composés bioactifs. In 2014 [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: https://www.semanticscholar.org/paper/Les-mutualismes-insectes-sociaux-micro-organismes-%3A-Nirma/9acbb9535b67d5584e86845c8cd8a61c83e215f0?utm_source=perplexity
127. Cours microbiologie clinique chapitre 1 l'antibiogramme.pdf [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: https://fac.umc.edu.dz/snv/faculte/microbio/2017/Cours%20microbiologie%20clinique%20chapitre%20l'antibiogramme.pdf?utm_source=perplexity
128. Effets des biocides sur la résistance aux antibiotiques [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/fr/biocides-resistance-antibiotiques/index.htm?utm_source=perplexity
129. Institut Pasteur [Internet]. 2017 [cité 16 juin 2025]. Résistance aux antibiotiques. Disponible sur: <https://www.pasteur.fr/fr/centre-medical/fiches-maladies/resistance-aux-antibiotiques>
130. Lecomte V. L'utilisation de désinfectants favorise l'émergence de bactéries résistantes aux antibiotiques [Internet]. Ecotoxicologie.fr. 2020 [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: <https://ecotoxicologie.fr/desinfectants-bacteries-resistantes>
131. DGS_Céline.M, DGS_Céline.M. Ministère du Travail, de la Santé, des Solidarités et des Familles. [cité 16 juin 2025]. L'antibiorésistance : pourquoi est-ce si grave ? Disponible sur: <https://sante.gouv.fr/prevention-en-sante/les-antibiotiques-des-medicaments-essentiels-a-preserver/des-antibiotiques-a-la-antibioresistance/article/la-antibioresistance-pourquoi-est-ce-si-grave>
132. 2025-05-05 De nouveaux antibiotiques contre les bactéries résistantes.
133. La recherche française s'organise face aux bactéries résistantes aux antibiotiques. 20 janv 2025 [cité 16 juin 2025]; Disponible sur: https://www.lemonde.fr/sciences/article/2025/01/20/la-recherche-francaise-s-organise-face-aux-bacteries-resistantes-aux-antibiotiques_6507372_1650684.html

RESUME

134. Boucher M. Caractérisation chimique et évaluation du potentiel antibactérien des huiles essentielles de *Tussilago farfara* (L.) et de *Tanacetum vulgare* (L.). In 2015 [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: https://www.semanticscholar.org/paper/Caract%C3%A9risation-chimique-et-%C3%A9valuation-du-potentiel-Boucher/aa3be4e322f5e2ea2f6fa7d800efb31d3a939a63?utm_source=perplexity
135. De nouveaux antibiotiques découverts grâce à l'IA pour faire face à l'antibiorésistance [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: https://rmc.bfmtv.com/actualites/societe/sante/de-nouveaux-antibiotiques-decouverts-grace-a-l-ia-pour-faire-face-a-l-antibioresistance_AV-202410210608.html?utm_source=perplexity
136. Antibiorésistance : vers des médicaments pour désarmer les bactéries | INRAE [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.inrae.fr/actualites/antibioresistance-medicaments-desarmer-bacteries>
137. Cours microbiologie clinique chapitre 1 l'antibiogramme.pdf [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: https://fac.umc.edu.dz/snv/faculte/microbio/2017/Cours%20microbiologie%20clinique%20chapitre%20l'antibiogramme.pdf?utm_source=perplexity
138. conf-1-aide-du-labo-pour-choix-antibiotiques-f-jaureguy.pdf [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: https://www.infectiologie.com/UserFiles/File/formation/desc/2025/seminaire-mars-2025/mardi-2503-t.2/conf-1-aide-du-labo-pour-choix-antibiotiques-f-jaureguy.pdf?utm_source=perplexity
139. L'antibiogramme : objectifs, méthodes et interprétation | HYGIENES [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.hygienes.net/publication-scientifique/lantibiogramme-objectifs-methodes-et-interpretation>
140. Amara M, Aubin G, Caron F, Cattoir V, Dortet L, Goutelle S, et al. Recommandations 2024 V.1.0 Juin. 2024;
141. L'antibiogramme : interprétation, pièges et nouveautés | SRLF [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.srlf.org/article-revue/lantibiogramme-interpretation-pieges-nouveautés>

RESUME

142. Quentin-Noury C. Automatisation de l'antibiogramme au laboratoire de bactériologie. Rev Francoph Lab. 1 mai 2016;2016(482):49-59.
143. scientifique C. Amylase : bienfaits, posologie, contre-indications [Internet]. Darwin Nutrition. 2024 [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.darwin-nutrition.fr/actifs/amylase/>
144. Poovitha S, Parani M. In vitro and in vivo α -amylase and α -glucosidase inhibiting activities of the protein extracts from two varieties of bitter gourd (*Momordica charantia* L.). BMC Complement Altern Med. 18 juill 2016;16(Suppl 1):185.
145. Benmessaoud_A.pdf [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/17336/1/Benmessaoud_A.pdf?utm_source=perplexity
146. ResearchGate [Internet]. [cité 19 juin 2025]. Role of α -amylase, α -glucosidase in starch digestion and metabolism. Disponible sur: https://www.researchgate.net/figure/Role-of-alpha-amylase-alpha-glucosidase-in-starch-digestion-and-metabolism_fig3_320337784
147. Taux d'amylase et régulation de la glycémie | Fédération Française des Diabétiques [Internet]. 2012 [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: https://www.federationdesdiabetiques.org/federation/actualites/taux-damylase-et-regulation-de-la-glycemie?utm_source=perplexity
148. Koch ER, Deo P. Nutritional supplements modulate fluorescent protein-bound advanced glycation endproducts and digestive enzymes related to type 2 diabetes mellitus. BMC Complement Altern Med. 1 sept 2016;16(1):338.
149. Takács K, Nagy A, Jánosi A, Dalmadi I, Maczó A. In Vitro and In Vivo Digestibility of Putative Nutraceutical Common-Bean-Derived Alpha-Amylase Inhibitors. Appl Sci. janv 2024;14(23):10935.
150. Evaluation in silico de l'effet inhibiteur de l'alpha amylase sur les biomolécules du sain d'Algérie potentiel traitement pour le diabète.pdf [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: https://fac.umc.edu.dz/snv/bibliotheque/biblio/mmf/2022/Evaluation%20in%20silico%20de%20l%20effet%20inhibiteur%20de%20l%20alpha%20amylase%20sur%20les%20biomol%C3%A9cules%20du%20sain%20d%20Alg%C3%A9rie%20potentiel%20traitement%20pour%20le%20diab%C3%A8te.pdf?utm_source=perplexity

RESUME

151. Toumi MN, Bouzidi MA, Benyamina A, Tilmantine A, Megharbi A, Toumi F. Plantes agissant sur l'alpha-amylase: *Trigonella foenum-graecum* et *Tetraclinis articulata*. Phytothérapie. 1 juin 2022;20(3):143-9.
152. 1706544688533893.pdf [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: https://bucket.theses-algerie.com/files/repositories-dz/1706544688533893.pdf?utm_source=perplexity
153. Kashtoh H, Baek KH. New Insights into the Latest Advancement in α -Amylase Inhibitors of Plant Origin with Anti-Diabetic Effects. Plants. 14 août 2023;12(16):2944.
154. Rajan SS, Sampath GK. Evaluation of antidiabetic activity of *Ocimum sanctum* (Tulsi) through inhibition of alpha-amylase and alpha-glucosidase: an in vitro study. Int J Basic Clin Pharmacol. 28 août 2024;13(5):702-5.
155. Bati K, Baeti PB, Gaobotse G, Kwape TE. Evaluation of the alpha-amylase inhibitory activity of *Euclea natalensis* extracts used in the treatment of diabetes mellitus: An experimental and in silico approach. Plant Sci Today [Internet]. 25 mai 2024 [cité 16 juin 2025];11(2). Disponible sur: <https://horizonepublishing.com/journals/index.php/PST/article/view/2845>
156. SciELO Brazil - ASSESSMENT OF α -AMYLASE INHIBITION ACTIVITY BY AN OPTIMIZED AND VALIDATED *IN VITRO* MICROSCALE METHOD ASSESSMENT OF α -AMYLASE INHIBITION ACTIVITY BY AN OPTIMIZED AND VALIDATED *IN VITRO* MICROSCALE METHOD [Internet]. [cité 19 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.scielo.br/j/qn/a/RzccJqtk3FkKvZ35Cb7C8sy/>
157. Dharani A, Muthupandian M, Menaka R. In-vitro Anti-diabetic Evaluation of Sambirani Poo Kuligai by Alpha Amylase Enzyme Inhibition Assay. J Adv Med Pharm Sci. 29 juill 2024;26(7):49-56.
158. Gunny AAN, Subramanian ,Poovanisvarry, Mahmod ,Safa Senan, AL-Rajabi ,Maha Mohammad, Ahmad ,Abdul Aziz, and Abu Bakar AR. Mechanism of inhibition of alpha-amylase by caffeic acid using in-vitro and in-silico techniques. Nat Prod Res. 0(0):1-5.
159. LA DERMO-COSMÉTIQUE NATURELLE | marie-laure viguier cosmétiques bios [Internet]. 2019 [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.marielaureviguier.com/la-dermo-cosmetique-naturelle/>

RESUME

160. Comprendre la Dermocosmétique : Guide Complet & Conseils d'Experts [Internet]. Alpol le Mag'. [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: <https://blog.alpol-cosmetique.com/dermocosmetique-guide-complet-astuces-experts/>
161. GAMY SKINCARE [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Les bienfaits des ingrédients naturels dans les soins dermo-cosmétiques. Disponible sur: <https://gamyskincare.com/blogs/news/les-bienfaits-des-ingredients-naturels-dans-les-soins-dermo-cosmetiques>
162. Les ingrédients actifs dans l'industrie cosmétique [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.phytodia.com/fr/blog/actifs-dans-industrie-cosmetique-n219>
163. LA DERMO-COSMÉTIQUE NATURELLE | marie-laure viguier cosmétiques bios [Internet]. 2019 [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.marielaureviguier.com/la-dermo-cosmetique-naturelle/>
164. Fabrication de produits cosmétiques naturels.pdf [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: https://fac.umc.edu.dz/snv/bibliotheque/biblio/mmf/2023/Fabrication%20de%20produits%20cosm%C3%A9tiques%20naturels.pdf?utm_source=perplexity
165. Nidéco [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Les huiles essentielles : pourquoi les choisir en cosmétique ? Disponible sur: <https://nideco.fr/blogs/tips-astuces/les-huiles-essentielles-pourquoi-les-choisir-en-cosmetique>
166. Sykz [Internet]. 2023 [cité 16 juin 2025]. Les bienfaits cachés des huiles essentielles en cosmétique. Disponible sur: <https://sykz.fr/blogs/infos/les-bienfaits-caches-des-huiles-essentielles-en-cosmetique>
167. Panier des Sens [Internet]. 2022 [cité 16 juin 2025]. Cosmétique naturelle : le rôle des huiles essentielles ! Disponible sur: <https://panierdessens.com/blogs/journal/cosmetique-naturelle-le-role-des-huiles-essentielles>
168. Huiles essentielles - Aroma-Zone [Internet]. [cité 16 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.aroma-zone.com/info/guide-des-huiles-essentielles/tous>
169. Hoffmann J, Gendrisch F, Schempp CM, Wölflé U. New Herbal Biomedicines for the Topical Treatment of Dermatological Disorders. *Biomedicines*. 8 févr 2020;8(2):27.

RESUME

170. Antal DS, Avram Ștefana, Heinrich M. Editorial: Skin: benefits of natural products in topical applications. *Front Pharmacol.* 10 nov 2023;14:1305705.
171. Dinu M, Tatu AL, Cocoș DI, Nwabudike LC, Chirilov AM, Stefan CS, et al. Natural Sources of Therapeutic Agents Used in Skin Conditions. *Life.* 10 avr 2024;14(4):492.
172. Olivero-Verbel J, Quintero-Rincón P, Caballero-Gallardo K. Aromatic plants as cosmeceuticals: benefits and applications for skin health. *Planta.* 2024;260(6):132.
173. Youan BBC. Conf 2 Systèmes nanoparticulaires : Applications phytopharmaceutiques et cosmétiques. *J Afr Technol Pharm Biopharmacie JATPB* [Internet]. 20 déc 2023 [cité 16 juin 2025];2(3). Disponible sur: <https://soapgi-jatpb.org/index.php/jatpb/article/view/116>
174. DPPH [Internet]. [cité 18 juin 2025]. Disponible sur: <https://www.glpbio.com/fr/dpph.html>
175. Blois MS. Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. *Nature.* avr 1958;181(4617):1199-200.
176. Maguirgue K, Wangso H, Oksom JBS, Bakaranga-Via I, Nadjioroum NA, Otchom BB. Evaluation phytochimique, potentiels antioxydants et anti-inflammatoires in vitro des extraits des feuilles de *Commelina benghalensis* Linn. (Commelinaceae): Phytochemical evaluation, antioxidant and anti-inflammatory potentials in vitro of *Commelina benghalensis* Linn. (Commelinaceae). *Int J Biol Chem Sci.* 2022;16(6):2673-84.
177. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med.* 1 mai 1999;26(9-10):1231-7.
178. Malino AP, Kepel BJ, Budiarto FDH, Fatimawali F, Manampiring AE, Bodhi W. In Vitro Test of Antioxidant Activity of Leilem Leaf Ethanol Extract (*Clerodendrum minahassae*) Using DPPH and FRAP Methods | *Heca Journal of Applied Sciences.* [cité 18 juin 2025]; Disponible sur: https://heca-analitika.com/hjas/article/view/135?utm_source=perplexity
179. Oyaizu M. Studies on Products of Browning Reaction. *Jpn J Nutr Diet.* 1986;44(6):307-15.

RESUME

180. Visvanathan R, Qader M, Jayathilake C, Jayawardana BC, Liyanage R, Sivakanesan R. Critical review on conventional spectroscopic α -amylase activity detection methods: merits, demerits, and future prospects. *J Sci Food Agric.* mai 2020;100(7):2836-47.
181. Zengin G, Guler GO, Aktumsek A, Ceylan R, Picot CMN, Mahomoodally MF. Enzyme Inhibitory Properties, Antioxidant Activities, and Phytochemical Profile of Three Medicinal Plants from Turkey. *Adv Pharmacol Pharm Sci.* 2015;2015(1):410675.
182. Édition professionnelle du Manuel MSD [Internet]. [cité 19 juin 2025]. Revue générale des médicaments antibactériens - Maladies infectieuses. Disponible sur: <https://www.msdmanuals.com/fr/professional/maladies-infectieuses/bacteries-et-medicaments-antibacteriens/revue-generale-des-medicaments-antibacteriens>
183. 2.01.01_ANTIMICROBIAL_F.pdf [Internet]. [cité 19 juin 2025]. Disponible sur: https://www.woah.org/fileadmin/Home/fr/Health_standards/tahm/2.01.01_ANTIMICROBIAL_F.pdf?utm_source=perplexity
184. Accoceberry I, Noël T. Antifongiques : cibles cellulaires et mécanismes de résistance. *Thérapie.* 1 mai 2006;61(3):195-9.

Étude du potentiel biologique d'une crème dermique formulée à base d'un extrait de *Lavandula angustifolia* et *Mentha spicata L.*

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Biotechnologie génomique végétale.

RESUME

Ce mémoire présente une étude approfondie sur deux huiles essentielles extraites de plantes médicinales courantes : *Lavandula angustifolia* Mill (lavande vraie) et *Mentha spicata* L (menthe verte). L'étude se structure autour de trois axes principaux.

Le premier axe est consacré à l'aspect théorique de l'étude. Il définit les huiles essentielles et décrit les méthodes d'extraction, avec un accent particulier sur la distillation à la vapeur d'eau, la technique la plus couramment utilisée pour préserver les composés volatils. Cette section aborde également la composition chimique de chaque huile essentielle et explore leurs propriétés biologiques bien établies, telles que leurs effets antioxydants, antibactériens et antifongiques, en plus d'autres caractéristiques pertinentes.

Le deuxième axe se concentre sur l'aspect expérimental mené au **Centre de Recherche en Biotechnologie de Constantine (CRBT)**. L'objectif de cette phase était d'évaluer l'activité biologique des huiles essentielles extraites, en particulier leur capacité à inhiber la croissance bactérienne, leur activité antioxydante et leurs effets antifongiques. Ces tests ont permis d'obtenir des données précieuses sur l'efficacité de ces huiles dans des applications thérapeutiques potentielles.

Le troisième axe de cette étude a consisté en la formulation d'une crème cosmétique naturelle, intégrant les huiles essentielles de lavande vraie et de menthe verte, sur la base des résultats des tests biologiques. Il s'agit d'une **crème de jour** conçue pour traiter diverses problématiques cutanées, en exploitant les propriétés apaisantes, antibactériennes et protectrices des huiles essentielles. Cette formulation vise à offrir une alternative naturelle et efficace aux produits cosmétiques traditionnels.

Ainsi, ce mémoire s'inscrit dans une démarche pluridisciplinaire, associant la chimie analytique, la microbiologie, la pharmacologie et la biotechnologie végétale. Il met en lumière l'importance de l'utilisation des plantes médicinales dans le développement de solutions cosmétiques et thérapeutiques durables, tout en contribuant à la valorisation des ressources végétales locales.

Mots-clefs : huiles essentielles, *Lavandula angustifolia* Mill, *Mentha spicata* L, activité antibactérienne, activité antioxydante, activité antifongique.

Laboratoires de recherche :

Laboratoire (05) de Centre de Recherche en Biotechnologie de Constantine. (CRBT)

Présidente : BOUSBAA. Ratiba (Professeure - Université Frères Mentouri, Constantine 1).
Encadrant 1 : KITOUNI. Rachid (MCA- Université Frères Mentouri, Constantine 1).
Encadrant 2 : BOUTITI. Ameur (MCA - Université Salah Boubnider, Constantine 3).
Examinateuse : LOUALI. Yamouna (MCB - Université Frères Mentouri, Constantine 1).