

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ziane Achour – Djelfa

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie



Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Microbiologie appliquée

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master en microbiologie appliquée

Exploration des propriétés biologiques et pharmacologiques de l'huile essentielle de *Laurus nobilis*.

Exploration of the biological and pharmacological properties of *Laurus nobilis* essential Oil

Réalisé par :

- Brahimi Ranya Imane

Encadré par :

- Dr. SERSEG Talia

- Dr. HACHANI Soumia

Soutenu le : **30 Juin 2026**, Devant le jury composé de:

Président	Dr. BRIKI Khaled	MCA	ENS Laghouat
Examineur	Dr. ABBASSI Mouna Souad	MCA	ENS Laghouat
Examineur	Dr. SEDDIKI Said	MCA	ENS Laghouat
Promoteur	Dr. SERSEG Talia	MCA	ENS Laghouat
Co-promoteur	Dr. HACHANI Soumia	MR	URPM Laghouat

Année Universitaire : 2025 / 2026



DEDICACES

Je dédie le fruit de mon travail et de ma réussite aux personnes les plus chères à mon cœur, à celles qui, après Dieu, sont la raison de mon existence, à celles qui m'ont comblé d'amour, de tendresse et de dévouement : mes parents bien-aimés, que Dieu les protège et leur accorde une longue vie.

À ma chère famille, qui a été mon soutien et ma force tout au long de ma vie, toujours présente à mes côtés.

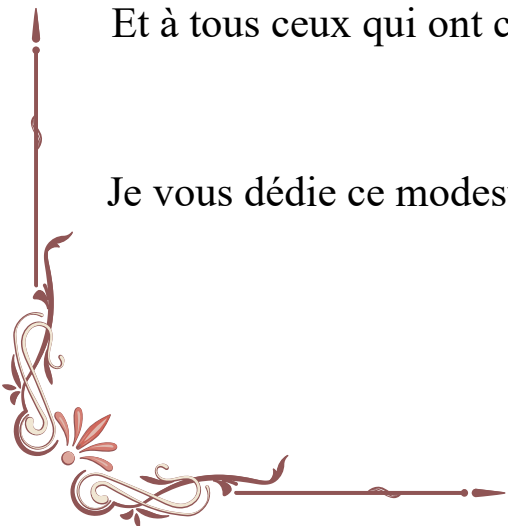
À mes frères et sœurs, qui ont été une source constante de force et d'encouragement.

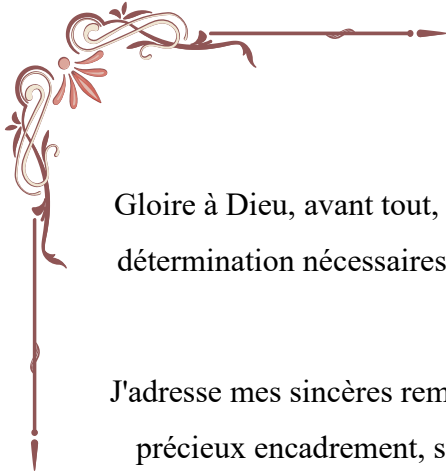
À mes chers amis, qui avez partagé mes plus beaux moments et m'avez soutenu dans les épreuves comme dans les réussites.

À tous mes professeurs estimés qui ont éclairé mon chemin vers le savoir et l'apprentissage.

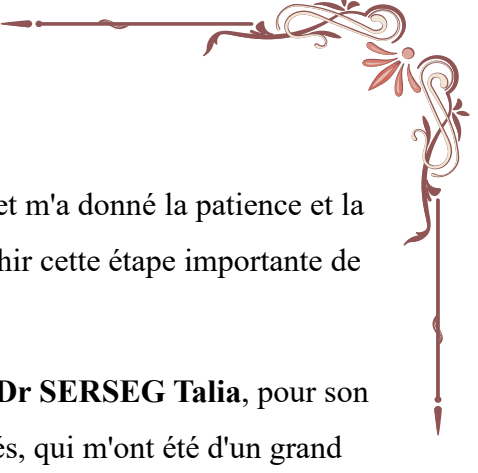
Et à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet.

Je vous dédie ce modeste travail en témoignage d'amour, de loyauté et de reconnaissance





REMERCIEMENTS



Gloire à Dieu, avant tout, qui m'a accordé la réussite, m'a aidé et m'a donné la patience et la détermination nécessaires pour mener à bien ce travail et franchir cette étape importante de mon parcours universitaire.

J'adresse mes sincères remerciements à ma directrice de thèse, **Dr SERSEG Talia**, pour son précieux encadrement, son suivi constant et ses conseils avisés, qui m'ont été d'un grand soutien tout au long de ce travail. Grâce à ses conseils et à ses commentaires constructifs, j'ai pu réaliser cette recherche avec le plus grand professionnalisme.

J'exprime également ma profonde gratitude aux membres du comité de discussion :

Le **Dr BRIKI Khaled**, président du comité, pour son soutien et sa collaboration, ainsi que pour ses précieux conseils et commentaires.

Le **Dr ABBASI Mona**, pour son soutien et sa collaboration, et pour ses commentaires qui ont enrichi ce travail.

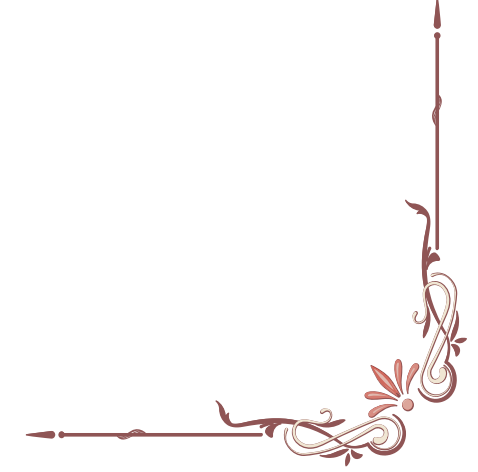
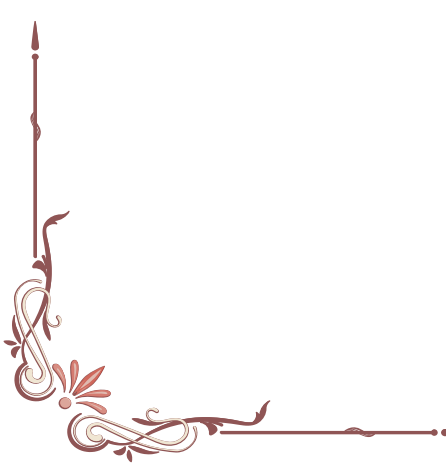
Le **Dr SEDDIKI Said**, pour avoir accepté de discuter et d'évaluer ce travail.

Je tiens également à remercier tout particulièrement mes estimés professeurs qui ont contribué à mon développement académique et intellectuel tout au long de mes études.

J'exprime aussi ma profonde gratitude à ma chère famille, qui a été mon soutien indéfectible et m'a accompagnée de ses prières et de ses encouragements à chaque étape.

Je remercie également tous mes amis qui m'ont soutenue et encouragée tout au long de ce parcours.

À tous ceux qui ont contribué, ne serait-ce que par une parole bienveillante, à ce que j'en arrive là, je dédie ce travail avec toute ma gratitude



المخلص

تعد النباتات الطبية والعطرية مصدرا مهما للمركبات النشطة بيولوجيا ذات الخصائص العلاجية المتنوعة. ومن بينها نبات الغار المنتشر على نطاق واسع في الجزائر، والذي يستخدم تقليديا في الطب الشعبي وفي المجال الغذائي. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الأنشطة المضادة للبكتيريا، والمضادة للأكسدة، والمثبطة لإنزيم ألفا-أميلاز للزيت العطري المستخلص من أوراق نبات الغار المقتطف من منطقة الجلفة. تم الحصول على الزيت العطري بواسطة التقطير المائي بنسبة مردود بلغت 0.49%، التي تعد أقل من مردود زيت عطري تجاري (0.6%). تم تقييم النشاط المضاد للبكتيريا باستخدام طريقة الانتشار بالأقراص ضد سبع سلالات بكتيرية موجبة الغرام وسالبة الغرام، ثم مقارنة النتائج بحساسية هذه السلالات للمضادات الحيوية التقليدية. كما تم تحديد النشاط المضاد للأكسدة، في حين تم تقييم النشاط المثبط لإنزيم ألفا-أميلاز باستعمال الطريقة اللونية المعتمدة على اليود/يوديد البوتاسيوم. أظهرت النتائج نشاطا مضادا للبكتيريا متغيرا ومتعلقا بالتركيز، حيث أبدت بعض السلالات المقاومة للمضادات الحيوية حساسية تجاه الزيت العطري. كما لوحظ نشاط مضاد للأكسدة ملحوظ، رغم أنه كان أقل قليلا من نشاط الزيت التجاري. في المقابل، ظل تثبيط إنزيم ألفا-أميلاز ضعيفا ($CI_{50} > 3200$ ميكروغرام/مل)، مما يشير إلى محدودية إمكاناته المضادة لداء السكري. تؤكد هذه النتائج أهمية الزيت العطري لنبات الغار كمصدر طبيعي واعد للمركبات ذات النشاط المضاد للبكتيريا والمضاد للأكسدة.

الكلمات المفتاحية: الغار؛ الزيت العطري؛ النشاط المضاد للبكتيريا؛ النشاط المضاد للأكسدة؛ تثبيط إنزيم ألفا-أميلاز؛ الإجهاد التأكسدي؛ التقطير المائي.

Résumé

Les plantes médicinales et aromatiques représentent une source importante de composés bioactifs aux propriétés thérapeutiques variées. Parmi elles, *Laurus nobilis* L. (laurier noble), largement répandu en Algérie, est traditionnellement utilisé en médecine populaire et en alimentation. Cette étude vise à évaluer les activités antibactérienne, antioxydante et anti- α -amylase de l'huile essentielle extraite des feuilles de *L. nobilis* récoltées dans la région de Djelfa. L'huile essentielle a été obtenue par hydrodistillation avec un rendement de 0,49 %, inférieur à celui d'une huile commerciale de référence (0,6 %). L'activité antibactérienne a été testée par la méthode de diffusion sur disque contre sept souches bactériennes Gram-positives et Gram-négatives, puis comparée à la sensibilité aux antibiotiques conventionnels. L'activité antioxydante a été déterminée par le test DPPH, tandis que l'activité anti- α -amylase a été évaluée par la méthode colorimétrique iode/iodure de potassium. Les résultats montrent une activité antibactérienne variable et dose-dépendante, certaines souches résistantes aux antibiotiques s'étant révélées sensibles à l'huile essentielle. Une activité antioxydante significative a également été observée, bien que légèrement inférieure à celle de l'huile commerciale. En revanche, l'inhibition de l' α -amylase est restée faible ($CI_{50} > 3200$ μ g/mL), indiquant un potentiel antidiabétique limité. Ces résultats soulignent l'intérêt de *L. nobilis* comme source naturelle de composés antibactériens et antioxydants.

Mots-clés : *Laurus nobilis* ; Huile Essentielle ; Activité Antibactérienne ; Activité Antioxydante ; DPPH ; Inhibition De L' α -Amylase ; Stress Oxydatif ; Hydrodistillation.

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Unité isoprénique et les classes des terpènes (Parekh et al., 2024).	7
Figure 2. Extraction hydrodistillation par vapeur d'eau (Clevenger) (López-Zambrano et al., 2021).	9
Figure 3. Impacts du déséquilibre entre les oxydants et les antioxydants sur les conséquences du stress oxydatif (Han et al., 2021; Wu et al., 2022).	18
Figure 4. Les sources des espèces réactifs oxydants (ROS).	19
Figure 5. Principaux sites cellulaires de productions des ERO (Traxer et al., 2003).	19
Figure 6. Principales circonstances pathologiques s'accompagnant d'un stress oxydant primitif ou secondaire (Favier, 1997).	21
Figure 7. L'antioxydant en tant que donneur d'électron.	22
Figure 8. Classification des antioxydants (Gómez et al., 2021).	23
Figure 9. Aspect morphologique de <i>Laurus nobilis</i> (Beloued, 2005).	26
Figure 10. Les différentes parties de la plante <i>Laurus nobilis</i> L (Teuscher et al, 2005)	27
Figure 11. Localisation naturelle de <i>Laurus nobilis</i> L. à travers le monde. (Beloued, 2005) ..	28
Figure 12. Le laurier noble utilisé dans l'étude.	34
Figure 13. Feuilles de <i>Laurus nobilis</i>	35
Figure 14. Méthode d'extraction de l'huile essentielle de <i>Laurus nobilis</i>	36
Figure 15. Huile essentielle commerciale de <i>Laurus nobilis</i> L	36
Figure 16. Préparation du milieu de culture	38
Figure 17. Préparation des suspensions bactériennes.	39
Figure 18. Ensemencement d'une souche bactérienne sur gélose à l'aide d'un écouvillon stérile.	39
Figure 19. Préparation des dilutions de l'huile essentielle de <i>Laurus nobilis</i>	40
Figure 20. La réduction du nitrobleu de tétrazolium (NBT) en formazan (Tvda, 2019 ; Krozowski, 1994).	42
Figure 21. Une série de dilutions en cascade (two-fold)	43
Figure 22. Schéma de distribution en microplaque à 96 puits.	44
Figure 23. Représentation schématique des étapes de la méthode de microdilution en milieu liquide pour la détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI)	45
Figure 24. Le mécanisme réactionnel entre le radical libre DPPH• et un antioxydant (AH) possédant un atome d'hydrogène labile est basé sur le Transfert d'un Atome d'Hydrogène (HAT) (Chaudhary et al., 2019).	46
Figure 25. Schéma de la plaque de l'activité inhibitrice de l'alpha-amylase	49
Figure 26. Caractéristiques organoleptiques de l'huile essentielle de <i>Laurus nobilis</i> L	51
Figure 27. Courbes de régression linéaire de l'activité anti-radicalaire (DPPH•) des huiles essentielles de <i>Laurus nobilis</i> et des antioxydants de référence en fonction de la concentration.	61

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Propriétés biologiques des familles chimiques des huiles essentielles (Nebie, 2023).....	12
Tableau 2. La classification botanique de <i>Laurus nobilis</i> L. d'après (Quezel et santa, 1962).....	28
Tableau 3. Liste des matériels de laboratoire, verrerie, milieux de culture et solvants utilisés au cours de l'étude.	33
Tableau 5. Antibiotiques utilisés pour l'antibiogramme	41
Tableau 6. Caractéristiques organoleptiques et rendement de l'huile essentielle de <i>Laurus nobilis</i> L.....	51
Tableau 7. Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des huiles essentielles extraite et commerciale par les méthodes de diffusion en milieu solide et de microdilution.....	53
Tableau 8. Synthèse comparative des profils de sensibilité (Antibiogramme, Aromatogramme et CMI).....	57
Tableau 9. Résultats de l'activité de neutralisation des radicaux libres des huiles essentielles testées	61
Tableau 10. : l'activité inhibitrice de l' α -amylase de l'huile essentielle et de l'acarbose comme un contrôle positif.	65

LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviation	Signification
ABTS	2,2'-azinobis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)
ADN	Acide Désoxyribonucléique
AFNOR	Association Française de Normalisation
ARN	Acide Ribonucléique
ATP	Adénosine Triphosphate
BHA	Butylated Hydroxyanisole
BHT	Butylated Hydroxytoluene
CI₅₀ / IC₅₀	Concentration Inhibitrice à 50 %
CMI	Concentration Minimale Inhibitrice
CO₂	Dioxyde de carbone
COX	Cyclooxygénase
DPPH	2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl
EC₅₀	Concentration Efficace à 50 %
ERO	Espèces Réactives de l'Oxygène
GC-MS	Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse
HE	Huiles Essentielles
ISO	International Organization for Standardization
MAE	Microwave Assisted Extraction
MEP	Méthylérythritol Phosphate
MRSA	Methicillin Resistant Staphylococcus aureus
NADPH	Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate
ROS	Reactive Oxygen Species

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	I
Listes des figures	II
Listes des tableaux	III
Listes des abréviations	IV
Introduction	2

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1. Les huiles essentielles	5
1.1. Définition	5
1.2. Nature des huiles essentielles	5
1.3. Les terpènes	7
1.4. Localisation	8
1.5. Extraction des huiles essentielles	8
1.6. Propriétés physiques des huiles essentielles	10
1.7. Analyse et identification des constituants chimiques des huiles essentielles	11
1.8. Activités biologiques des huiles essentielles	11
1.9. Usages traditionnels des huiles essentielles	16
1.10. Voies d'administration et biodisponibilité	16
1.11. Mode d'action des huiles essentielles	16
1.12. Toxicité des huiles essentielles	17
1.13. Conservation des huiles essentielles	17
2. Le stress oxydatif	18
2.1. Mécanismes physiopathologiques du stress oxydatif	18
2.2. Origines et facteurs inducteurs du stress oxydatif	18
2.3. Conséquences biologiques et implications pathologiques	20
2.4. Stratégies de défense antioxydante : rôle des antioxydants	22
3. Les agents pathogènes	24
3.1. Définition et types d'agents pathogènes	24
3.2. Pathologies associées aux agents pathogènes	24
3.3. Les antibiotiques et leur mode d'action	24
3.4. Activité antimicrobienne des composés d'origine naturelle	25
4. Étude ethnobotanique et phytochimique de <i>Laurus nobilis</i>	26
4.1. Présentation botanique de l'espèce	26
4.2. Classification taxonomique	28
4.3. Distribution géographique	28
4.4. Composition phytochimique	29

4.5. Usages traditionnels	30
4.6. Activités biologiques et propriétés pharmacologiques	31

Chapitre 2 : Matériels et méthodes

1. L'objectif de ce travail.....	33
2. Lieu de travail :	33
3. Réactifs et matériels:	33
4. Matériel végétal	33
4.1. Collecte de la plante	34
4.2. Préparation du matériel végétal	34
5. Extraction de l'huile essentielle:	35
6. Évaluation de l'activité antimicrobienne.....	37
6.1. Méthode de diffusion en milieu solide (antibiogramme standard)	37
6.2. Évaluation de l'activité antimicrobienne par micro-dilution.....	42
7. Évaluation de l'activité antioxydante des huiles essentielles	46
8. Évaluation de l'activité inhibitrice de l'α-amylase	47

Chapitre 3 : Résultats et discussions

1. Rendement d'extraction et caractéristiques organoleptiques de l'huile essentielle	51
2. Évaluation de l'activité antibactérienne.....	52
3. Évaluation de l'activité antioxydante de l'huile essentielle de <i>Laurus nobilis</i>	61
4. Évaluation de l'activité anti-α-amylase	65
Conclusion	68
Références	70
Annexes	80

Introduction

Introduction

Les plantes médicinales et aromatiques constituent une ressource naturelle précieuse grâce à leur richesse en composés bioactifs, qui leur confèrent une place de choix dans les domaines de la médecine, de la pharmacie, de l'alimentation et des cosmétiques. Ces plantes intéressent l'humanité depuis l'Antiquité ; elles ont été utilisées pour le traitement, la nutrition et la conservation des aliments, et diverses civilisations ont misé sur leurs propriétés thérapeutiques et aromatiques (**Boumediou et Addoun, 2017**).

Les huiles essentielles figurent parmi les substances naturelles les plus importantes extraites des plantes aromatiques. Elles constituent un mélange complexe de composés organiques volatils produits par les plantes au cours de leur métabolisme secondaire. Ces huiles se caractérisent par une composition chimique diversifiée, composée principalement de terpènes, notamment de monoterpènes et de sesquiterpènes et de leurs dérivés oxygénés, ainsi que d'autres composés aromatiques tels que des phénols, des alcools, des aldéhydes, des cétones et des esters. Ces constituants sont responsables des propriétés sensorielles et biologiques des huiles essentielles, notamment leur arôme distinctif et leurs diverses activités thérapeutiques (**Ferhat, Z et al., 2018**).

De nombreuses études scientifiques ont démontré que les huiles essentielles possèdent diverses propriétés biologiques, notamment des activités antibactériennes, antifongiques et antivirales, ainsi que des propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. Face à la prévalence croissante de la résistance aux antibiotiques chez les micro-organismes, la recherche d'alternatives naturelles plus sûres et plus efficaces s'est intensifiée, faisant des plantes aromatiques et de leurs principes actifs un axe majeur de recherche au cours des dernières années (**Dorman et al., 2000**).

L'Algérie possède une riche biodiversité végétale, comprenant de nombreuses espèces médicinales et aromatiques d'une grande valeur économique et thérapeutique. Parmi celles-ci figure le laurier noble (*Laurus nobilis* L.), appartenant à la famille des Lauracées, réputé pour ses multiples usages alimentaires et médicinaux. Ses feuilles servent d'arôme naturel en cuisine et, en médecine traditionnelle, cette plante est employée pour traiter divers troubles de santé, tels que les rhumatismes, la toux, les troubles digestifs, la diarrhée, certaines affections cardiaques et les infections virales. Elle est également utilisée comme stimulant gastrique et pour soulager les flatulences (**Alejo-Armijo et al. 2017**).

Problématique : Face à l'augmentation de la résistance bactérienne aux antibiotiques, aux effets néfastes du stress oxydatif et à la prévalence croissante du diabète, les traitements conventionnels présentent parfois des limites liées à leur efficacité, à leurs effets secondaires et

Introduction

au développement de résistances. Par ailleurs, la composition chimique des huiles essentielles varie selon l'origine géographique, les conditions climatiques et la méthode d'extraction, ce qui rend nécessaire l'évaluation des espèces locales. En Algérie, les études portant sur l'huile essentielle de **Laurus nobilis L.** restent encore limitées, malgré son utilisation traditionnelle et son intérêt thérapeutique potentiel.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'activité antibactérienne et antioxydante de l'huile essentielle extraite des feuilles du laurier noble (*Laurus nobilis L.*).

Le présent mémoire est structuré en trois chapitres :

Chapitre 1 : Revue bibliographique : Ce chapitre est consacré à l'étude bibliographique. Il présente un aperçu du laurier noble (*Laurus nobilis*), de ses propriétés botaniques et chimiques, ainsi que des principales caractéristiques de ses huiles essentielles. Il aborde également les concepts de stress oxydatif et d'agents pathogènes.

Chapitre 2 : Matériels et méthodes : Ce chapitre décrit les aspects expérimentaux de l'étude. Il détaille les matériaux utilisés et les différentes méthodes et techniques mises en œuvre pour extraire l'huile essentielle et évaluer son activité antibactérienne et antioxydante.

Chapitre 3 : Résultats et discussion : Ce chapitre présente les résultats obtenus au cours de l'étude expérimentale, ainsi que leur analyse et leur discussion à la lumière des données scientifiques disponibles dans la littérature.

Conclusion Générale: Cette dernière partie résume les principaux résultats et esquisse les perspectives de recherche futures.

Chapitre1

Synthèse Bibliographique

1. Les huiles essentielles

1.1. Définition

Les huiles essentielles sont des liquides volatils et parfumés dérivés du métabolisme secondaire des plantes, provenant de différentes parties de celles-ci (fleurs, feuilles, tiges, racines) (**Mounira, 2024**). Elles sont qualifiées d'« essentielles » en raison de leur caractère odorant caractéristique, représentant la fraction aromatique la plus spécifique de la plante et responsable de son parfum distinctif (**Tisserand & Young, 2013 ; Udourioh et al., 2025**).

D'après l'ISO, il s'agit de produits naturels parfumés extraits par distillation ou expression, composés d'un ensemble complexe de substances volatiles. Selon l'AFNOR, ils sont définis comme des extraits concentrés, élaborés selon des procédés spécifiques et soumis à des standards rigoureux qui assurent leur qualité. Selon la Pharmacopée européenne, il s'agit de substances odorantes issues de matières végétales spécifiques, obtenues par distillation, entraînement à la vapeur ou méthodes mécaniques, puis séparées de l'eau sans modification significative de leur composition (**Bouyahya et al., 2017**).

Le processus de synthèse des huiles essentielles se déroule au sein des cellules végétales à travers diverses voies métaboliques, y compris celles de l'acide mévalonique, de l'acide malonique et du MEP. Par la suite, elles sont entreposées dans des structures spécialisées (**Prakash et al., 2015 ; Sharifi-Rad et al., 2017**). La teinte et le parfum des huiles essentielles changent en fonction de l'espèce, de l'organe et de la provenance de la plante, la majorité étant incolores ou légèrement teintées de jaune (**Tisserand & Young, 2013**). Ces dernières ont une importance écologique en défendant les plantes contre les agents infectieux et en attirant les pollinisateurs (**Bakkali et al., 2008**). La composition chimique des huiles essentielles varie en fonction de facteurs comme l'habitat, la position géographique et le niveau de croissance de la plante (**Swamy et al., 2015 ; Arumugam et al., 2016**).

1.2. Nature des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont essentiellement composées de deux groupes chimiques majeurs : les terpènes et les phénylpropanoïdes, qui influencent leurs caractéristiques aromatiques et fonctionnelles (**Baser & Buchbauer, 2009 ; Tisserand & Young, 2013**). Généralement, la composition est dominée par les terpènes et leurs dérivés (terpénoïdes), bien que chez certaines espèces, les phénylpropanoïdes puissent prédominer et être à l'origine de l'arôme et du goût distinctifs (**Baser & Buchbauer, 2009 ; Tisserand & Young, 2013**).

Les composants des huiles essentielles proviennent de trois principales voies biosynthétiques : les monoterpènes et diterpènes sont produits par la voie du méthylérythritol (MEP), les sesquiterpènes par la voie du mévalonate, tandis que les phénylpropanoïdes sont issus de la voie de l'acide shikimique (**Baser & Buchbauer, 2009**). Selon l'espèce végétale, d'autres groupes de métabolites secondaires tels que les flavonoïdes, les tanins et les coumarines peuvent aussi être présents (**Valnet, 1984**).

Les terpènes se forment à partir de la combinaison d'unités isoprènes et sont classifiés en plusieurs catégories (mono-, di-, sesqui-, etc.), comprenant des exemples tels que le limonène ou le γ -terpinène (**Sharma et al., 2017**). Des modifications enzymatiques génèrent une diversité de terpénoïdes, comme le menthol, le thymol ou le géraniol, qui ont des structures et rôles distincts (**Gyawali & Ibrahim, 2014**). En général, les phénylpropanoïdes tels que la vanilline, le cinnamaldéhyde et l'eugénol sont moins présents, cependant ils ont une contribution significative aux caractéristiques biologiques et aromatiques des huiles essentielles (**Bakkali et al., 2008 ; Alioune, 2015**).

La composition chimique des huiles essentielles est déterminée par les métabolites secondaires présents dans la plante (**Tohidi et al., 2019**). Elle peut varier considérablement entre les différentes espèces végétales, ainsi qu'au sein d'une même espèce, selon divers facteurs tels que la partie de la plante utilisée, le moment de la récolte, les conditions de séchage et de stockage, les méthodes d'extraction employées et les conditions climatiques (**Megawati et al., 2019**). En général, elles se composent de mélanges complexes de 20 à 100 composés volatils. Cependant, seuls quelques composants majeurs (20 à 70 %), qui sont également influencés par leur nature, concentration et structure stéréochimique, déterminent leurs propriétés distinctives (**Chouhan et al., 2017**).

Cette variabilité est démontrée par plusieurs exemples : l'huile essentielle d'*Origanum* renferme une concentration élevée en carvacrol (30%) et en thymol (27%), alors que celle de *Coriandrum* est principalement composée de linalol (68%). L'huile de *Cinnamomum* est riche en 1,8-cinéole (50 %), tandis que l'huile d'*Artemisia* est majoritairement composée de thuyones (57 %) et de camphre (24 %) (**Bakkali et al., 2008**). L'huile de *Mentha* est principalement composée de menthol (59 %) et de menthone (19 %), tandis que les huiles d'*Anethum* affichent des profils distincts selon l'organe : les feuilles sont majoritairement constituées d' α -phellandrène et de limonène, alors que les graines sont abondantes en carvone et limonène (**Bakkali et al., 2008**).

. De plus, quelques espèces affichent des profils particuliers, à l'instar de *Lavandula pubescens* (abondante en carvacrol), *Pulicaria incisa* (dominé par le linalol) et *Juniperus procera* (riche en α -pinène et δ -3-carène) (El-Said et al., 2021).

1.3. Les terpènes

Les terpènes représentent une catégorie importante de composés volatils d'origine végétale, caractérisés par des unités isopréniques (C_5H_8) (Figure 1). Ils sont classés en fonction du nombre d'unités de monoterpènes ($C_{10}H_{16}$), de sesquiterpènes ($C_{15}H_{24}$), de diterpènes ($C_{20}H_{32}$) et de formes plus complexes telles que les triterpènes et tétraterpènes (Lamarti et al., 1994). Habituellement, les composés les plus présents dans les huiles essentielles sont les terpènes volatils de petite masse moléculaire, essentiellement les monoterpènes et les sesquiterpènes. En revanche, la présence des diterpènes est moins fréquente (Bakkali et al., 2008 ; Thormar, 2011).

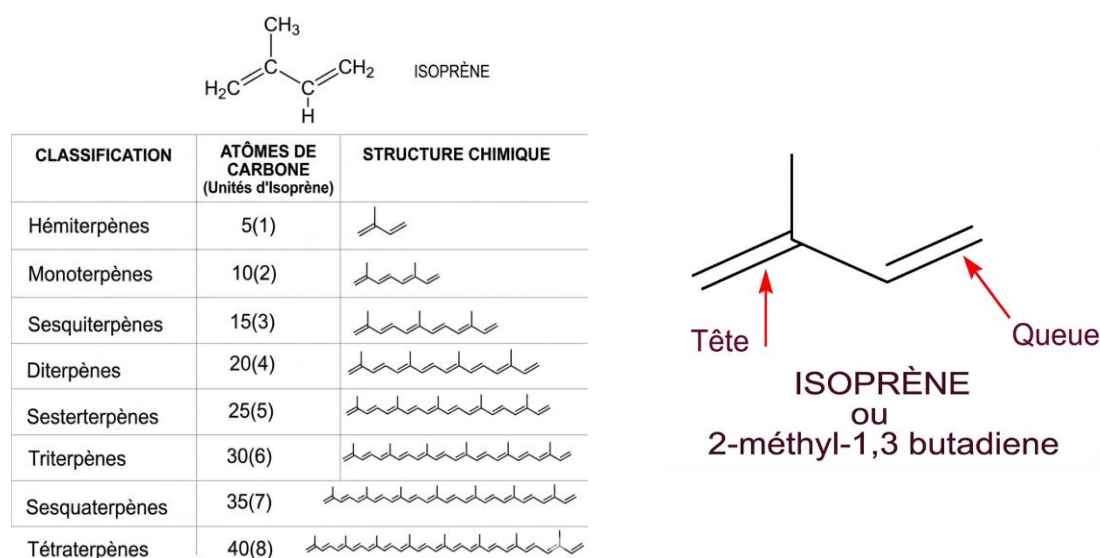


Figure 1. Unité isoprénique et les classes des terpènes (Parekh et al., 2024).

Les monoterpènes, la forme la plus élémentaire des terpènes, sont largement présents dans les huiles essentielles et peuvent constituer jusqu'à 90% de leur composition. Ils proviennent d'un processus de biosynthèse dit « tête-queue » et peuvent avoir des structures acycliques, monocycliques ou bicycliques, qui jouent un rôle majeur dans les caractéristiques aromatiques et biologiques des huiles essentielles (El Haib, 2011).

Les sesquiterpènes, qui se composent de trois unités d'isoprène ($C_{15}H_{24}$), sont aussi très répandus dans les huiles essentielles. Ils se caractérisent par un point d'ébullition élevé (250–

280 °C), une densité qui dépasse 0,9 et un indice de réfraction important, ce qui témoigne de leur complexité structurale (**Menaceur, 2015**).

1.4. Localisation

L'extraction des huiles essentielles se fait principalement à partir de plantes supérieures appartenant à diverses familles botaniques, réparties sur près de 60 familles différentes, notamment les Lamiacées (comme le thym et la menthe), les Myrtacées (exemple : myrte) et les Lauracées (par exemple : cannelle). Elles peuvent être présentes dans différents organes de la plante, notamment les feuilles, les fleurs, les racines, les graines, l'écorce et le bois. Selon **Bouyahya et al. (2017)**, la composition qualitative et quantitative de ces derniers fluctue en fonction de leur position dans la plante.

1.5. Extraction des huiles essentielles

1.5.1. Méthodes traditionnelles

- L'hydrodistillation est perçue comme l'une des techniques les plus traditionnelles et les plus faciles pour obtenir les huiles essentielles. Elle implique de porter à ébullition un mélange d'eau et de matériau végétal, habituellement séché, selon des proportions spécifiques. Sous l'influence de la chaleur, la vapeur d'eau extrait les composés volatils de la plante qui se transforment en gaz à des températures plutôt modestes. Ces vapeurs sont par la suite condensées grâce à un système de refroidissement, fréquemment un appareil de type Clevenger préconisé par la Pharmacopée européenne, ce qui permet de récupérer le distillat. Ce processus permet d'obtenir deux fractions distinctes : l'huile essentielle et l'hydrolat (**Figure 2**) (**Olascuaga et al., 2024 ; Zeraib, 2010**).

- L'enfleurage est une méthode conventionnelle principalement employée pour les fleurs délicates. Elle se base sur l'acquisition progressive de composés aromatiques par une couche de substance grasse, d'origine animale ou végétale, contenant des pétales fraîchement déposés. Cette substance lipidique absorbe les molécules aromatiques émises par les fleurs, facilitant ainsi la récupération des parfums (**Karnan et al., 2024**).

- L'extraction à froid est une méthode mécanique effectuée sans l'utilisation de solvant et à une température basse. L'élément végétal est inséré dans une presse, habituellement à vis, qui applique une pression pour extraire l'huile essentielle présente dans les tissus végétaux (**Rahim et al., 2023**).

- La distillation par vapeur d'eau implique la production de vapeur qui parcourt le matériau végétal. Cette vapeur transporte les composés volatils qui, par la suite, sont condensés pour créer un mélange huile-eau. Par décantation et séchage, l'huile essentielle est séparée de la phase aqueuse (**Raza et al., 2024**).

- L'extraction par solvants fait appel à un solvant organique qui peut s'infiltrer dans les tissus végétaux pour dissoudre et extraire certains composés volatils. Cette technique offre un bon rendement en composés aromatiques, toutefois, elle peut provoquer la co-extraction de substances non volatiles (**Park et al., 2022**).

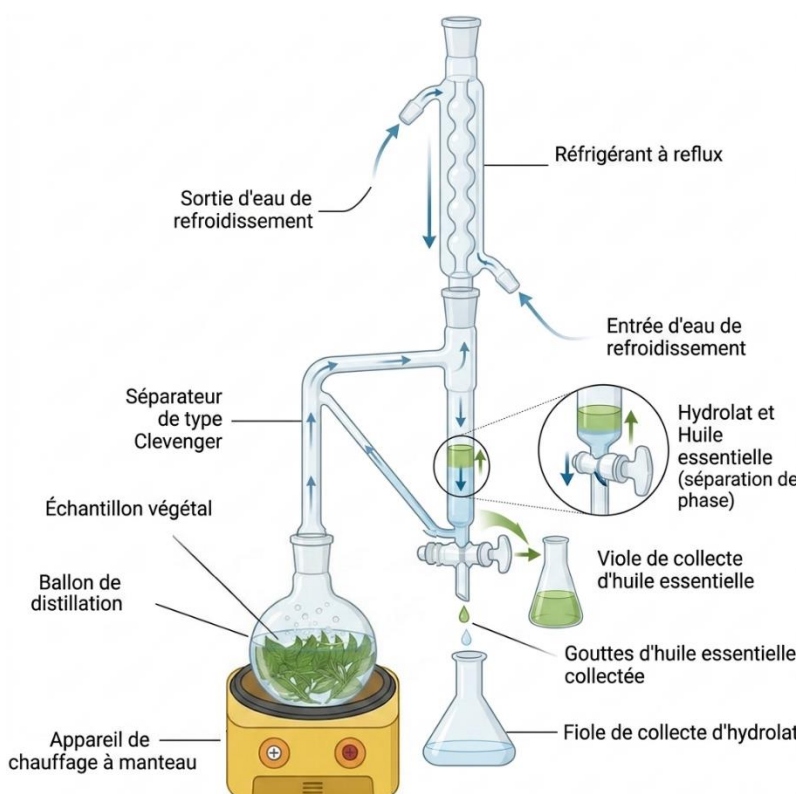


Figure 2. Extraction hydrodistillation par vapeur d'eau (Clevenger) (López-Zambrano et al., 2021)

1.5.2. Méthodes modernes

- L'extraction par fluide supercritique (surtout le CO₂) est une méthode innovante, rapide et respectueuse de l'environnement. Elle s'appuie sur l'emploi du dioxyde de carbone en état supercritique, qui possède des caractéristiques intermédiaires entre le gaz et le liquide, lui conférant ainsi la capacité d'extraire efficacement les composés aromatiques tout en conservant leur qualité (**Dashtian et al., 2024**).

- L'extraction par micro-ondes assistée (MAE) est une technique novatrice qui se sert de l'énergie électromagnétique pour réchauffer rapidement la matière végétale. L'interaction des micro-ondes avec l'eau à l'intérieur des cellules entraîne une destruction des structures cellulaires, ce qui facilite la diffusion des huiles essentielles transportées par la vapeur produite (Souiy, 2024).

- La méthode d'extraction assistée par ultrasons se base sur l'emploi d'ondes sonores de haute fréquence. Ces ondes provoquent des effets de cavitation qui favorisent la pénétration du solvant et la libération des substances actives, tout en diminuant le temps d'extraction et l'utilisation de solvants (Hao et al., 2025).

- L'extraction enzymatique fait appel à des enzymes particulières pour décomposer les parois cellulaires des plantes, facilitant ainsi la libération des composés bioactifs. Cette approche est considérée comme respectueuse de l'environnement, car elle préserve l'activité des molécules extraites (Tran Chi et al., 2024).

- La méthode d'extraction sous pression fait appel à une forte pression pour faciliter la dissolution et la diffusion des huiles essentielles dans le milieu d'extraction (eau ou solvant). Cela optimise le rendement et améliore la qualité des extraits, en particulier pour les matrices végétales tenaces (Pradhan et al., 2024).

- La technique d'extraction par micro-ondes sans solvant, qui ne nécessite pas l'emploi de solvants chimiques, est une méthode rapide et performante pour obtenir des huiles essentielles de grande pureté. Cette approche respecte particulièrement l'environnement (Susanti & A'yun, 2024).

1.6. Propriétés physiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des fluides volatils à température ordinaire, ce qui les différencie des huiles fixes. Elles sont habituellement transparentes ou légèrement teintées et ont une densité qui est moins grande que celle de l'eau. Elles affichent un indice de réfraction élevé et, majoritairement, une aptitude à dévier la lumière polarisée. Ces substances sont non solubles dans l'eau, mais elles le sont dans les solvants organiques, ce qui reflète leur caractère lipophile (Ngom et al., 2012).

1.7. Analyse et identification des constituants chimiques des huiles essentielles

La technique analytique la plus courante pour séparer et identifier les composants des huiles essentielles est la chromatographie en phase gazeuse associée à la spectrométrie de masse (GC–MS). La chromatographie a pour fonction de séparer les composés volatils, alors que la spectrométrie de masse garantit leur reconnaissance via des spectres de fragmentation distinctifs, caractéristiques à chaque molécule, ce qui facilite la détermination de leur structure chimique (Tisserand et Young, 2013).

1.8. Activités biologiques des huiles essentielles

Depuis l'époque antique, les plantes aromatiques ont servi de moyens de conservation, d'agents thérapeutiques et de principaux fournisseurs d'arômes et de goûts dans le domaine de la gastronomie. Les effets curatifs observés chez ces plantes sont généralement attribués aux huiles essentielles qu'elles contiennent. Les activités biologiques ne sont pas seulement imputables à leurs composés dominants, mais aussi à des synergies entre les divers composants actifs (Raut & Karuppayil, 2014).

Dans l'industrie pharmaceutique, les huiles essentielles sont couramment employées en aromathérapie et pour optimiser les caractéristiques sensorielles des médicaments. De nombreux systèmes traditionnels de médecine les utilisent pour soigner diverses affections. Par exemple, l'huile essentielle d'eucalyptus est utilisée dans le traitement des bronchites et la toux, celle de sauge et de clou de girofle pour leurs effets antibactériens, la menthe poivrée pour dégager les voies respiratoires, et les huiles d'anis et de menthe pour leurs propriétés carminatives (Swamy & Sinniah, 2015 ; Swamy et al., 2016).

Plusieurs recherches expérimentales ont démontré une vaste gamme d'effets biologiques des huiles essentielles et de leurs composés principaux (**Tableau 1**), y compris des actions antimicrobiennes, antioxydantes, antalgiques, anti-inflammatoires, anticancéreuses et neuropharmacologiques, sans oublier les effets insecticides et **biopesticides** (Bakkali et al., 2008). De plus, les huiles essentielles possèdent aussi des vertus antihypertensives, antivirales, antifongiques et antimicrobiennes, attestant de leur utilité thérapeutique et pharmacologique dans divers domaines (Silva et al., 2025).

Tableau 1. Propriétés biologiques des familles chimiques des huiles essentielles (Nebie, 2023).

Familles chimiques	Activités biologiques
Monoterpènes hydrocarbonés	Fongistatique, bactériostatique, nématicide, herbicide et stimulant insecticide
Sesquiterpènes hydrocarbonés	Calmante, anti-inflammatoire, antiallergique, antibactérien et antifongique
Phénols terpéniques	Antioxydant, stimulant, tonique, antiseptique, bactéricide, fongicide, antivirale et antiparasitaire
Alcools monoterpéniques	Anti-inflammatoire, antiseptique, bactéricide, fongicide, antivirale, antiallergique, immunostimulant et neurotoxique
Alcools sesquiterpéniques	Tonique et stimulant
Aldéhydes monoterpéniques	Antifongique, sporicide, antihypertensif et anti-inflammatoire insecticide
Cétones monoterpéniques	Calmante, antivirale, antifongique, neurotoxique et antiépileptique

1.8.1. Propriétés antioxydantes des huiles essentielles

L'excès de *radicaux libres* induit un stress oxydatif qui provoque des modifications des macromolécules au sein des cellules. Cela joue un rôle dans diverses maladies, notamment le vieillissement, le *cancer*, le diabète, l'athérosclérose et la maladie d'Alzheimer (Edris, 2007). Ainsi, les huiles essentielles, grâce à leurs composés antioxydants, aident à atténuer ces effets en minimisant la production excessive de *radicaux libres* (Miguel, 2010).

Les huiles essentielles, qui regorgent de composés bioactifs, sont particulièrement efficaces pour neutraliser les radicaux libres et minimiser le stress oxydatif. Ceci contribue à la protection des cellules contre les dommages et à la réduction du risque de diverses pathologies chroniques (Salim et al., 2025). Leur utilisation est de plus en plus encouragée en tant que substituts naturels aux antioxydants de synthèse, comme le BHA et le BHT, dont l'utilisation peut comporter des effets néfastes pour la santé (Miguel, 2010).

Plusieurs recherches ont attesté de l'activité antioxydante remarquable de plusieurs huiles essentielles, y compris celles d'*Origanum*, de *Tagetes* et de *Bacopa*, ainsi que celles de *Thymus* et de *Satureja*. Elles démontrent une capacité notable à neutraliser les radicaux DPPH et ABTS (Tripathi et al., 2007 ; Gulluce et al., 2007 ; Hussain et al., 2008). D'autres études ont aussi démontré une activité considérable pour les huiles essentielles de *Mentha*, *Salvia*, *Curcuma*, *Achillea*, *Melaleuca* et *Ocimum* (Hussain et al., 2008). Des huiles essentielles telles que celles de *Petroselinum*, *Coriandrum*, *Cuminum* et *Allium* montrent également une activité

antioxydante notable (**Romeilah et al., 2010**), alors que les huiles essentielles de Clou de girofle, Cannelle, Noix de muscade, Basilic, Origan et Thym sont considérées comme étant parmi les plus efficaces dans la capture des *radicaux libres* (Tomaino et al., 2005). Ces effets proviennent surtout de composés majeurs comme le thymol et le carvacrol, réputés pour leurs puissantes propriétés antioxydantes (**Miguel, 2010**).

1.8.2. Propriétés antibactériennes des huiles essentielles

L'accroissement de la résistance aux antibiotiques représente actuellement un enjeu crucial en matière de santé publique, principalement dû à l'utilisation abusive des antibiotiques et à la pression sélective qui s'ensuit. Dans ce cadre, les extraits naturels issus des plantes, en particulier les huiles essentielles, ont démontré une action antibactérienne notable contre un grand nombre de bactéries Gram positives et Gram négatives (**Edris, 2007 ; Lang & Buchbauer, 2012**).

Les huiles essentielles et leurs principaux composants, de par leurs caractéristiques antimicrobiennes, sont aussi employés dans le secteur alimentaire en tant qu'agents de conservation pour prolonger la durée de conservation et assurer la sécurité microbiologique des produits alimentaires (**Sánchez-González et al., 2011**). Leur performance est étroitement liée à leur composition chimique, en particulier la présence de phénylpropanoïdes, terpènes, alcools, aldéhydes, cétones et esters (**Tohidi et al., 2019 ; Raut & Karuppaiyil, 2014 ; Petretto et al., 2013**).

Les huiles essentielles agissent de plusieurs manières pour combattre les bactéries. Ceux-ci comprennent l'interaction des composés hydrophobes avec les lipides des membranes cellulaires bactériennes, conduisant à une modification de leur perméabilité et de leur intégrité structurelle. Cela interrompt les courants d'électrons, l'assimilation des nutriments et la production d'acides nucléiques et de protéines, entraînant la coagulation du contenu cellulaire et l'inhibition enzymatique, suivie de la mort de la bactérie (**Bhavaniramya et al., 2019 ; Ezzariga et al., 2025**). Suite à cette modification membranaire, divers éléments peuvent traverser la membrane cellulaire et entraver directement la production de macromolécules cruciales telles que les protéines, l'ARN, l'ADN et les polysaccharides (**Swamy et al., 2016**). Un grand nombre d'huiles essentielles, y compris celles provenant du thym, de la cannelle, de l'origan, du clou de girofle, de la citronnelle et du bois de rose, ont démontré une puissante action antibactérienne (**Swamy et al., 2016**).

La capacité antibactérienne dépend de la concentration et de la sorte d'huile essentielle. Par exemple, certaines huiles comme le clou de girofle, l'origan ou le thym ont montré une action élevée contre *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus* à de faibles concentrations, tandis que d'autres comme l'eucalyptus ou le basilic ont démontré une activité plus modérée (**Hammer et al., 1999**). Des activités significatives ont également été rapportées contre des souches résistantes telles que le *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline (MRSA) (**Hayes & Markovic, 2003**). De plus, diverses huiles essentielles comme celles de clou de girofle, de cannelle, d'ail, d'oignon ou de graines de grenade ont prouvé leur efficacité contre des agents pathogènes alimentaires tels que *Salmonella enteritidis* et *Listeria monocytogenes* (**Maurya et al., 2013**). Les huiles essentielles de fenouil ont aussi démontré une action variable contre divers microbes pathogènes (**Mota et al., 2015**).

Des recherches ont démontré que des substances pures comme l'eugénol et le carvacrol peuvent avoir une activité antimicrobienne supérieure comparativement aux huiles essentielles non raffinées, mettant en évidence le rôle crucial des molécules principales dans l'effet total (**Carson et al., 2006**). Ainsi, des phénylpropanoïdes comme l'eugénol, le cinnamaldéhyde et l'isoeugénol montrent une puissante action antibactérienne (**Hyldgaard et al., 2012**).

Les huiles essentielles peuvent opérer par divers mécanismes d'action complémentaires, y compris la modification de la membrane cytoplasmique, l'interférence avec le gradient protonique, la fuite des électrons et la dénaturation des protéines à l'intérieur de la cellule, ce qui confirme leur mode d'action multifactoriel (**Carson et al., 2002 ; Davidson, 1997**).

1.8.3. Propriétés antifongiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles démontrent une action antifongique multifactorielle, qui comprend la perturbation du métabolisme des champignons et l'inhibition de leur croissance et reproduction (**Ajmal et al., 2025**). Leur efficacité est conditionnée à la fois par le type de champignon visé et par la composition chimique de l'huile essentielle employée (**Korichi et Khimoud .,2024**).

Plusieurs recherches ont prouvé une action antifongique notable contre des levures et moisissures pathogènes, y compris *Candida albicans*, *Aspergillus flavus* et différentes variétés de *Penicillium*. Par exemple, les huiles essentielles comme le fenouil, la coriandre et l'anis démontrent une action significative contre *C. albicans* à diverses concentrations (**Hammer et al., 1999**), alors que celles du géranium, de la menthe japonaise, de la cannelle, du clou de

girofle, de la citronnelle et du gingembre révèlent une puissante performance antifongique même en petites quantités (**Hammer & Carson, 2011**).

L'huile essentielle extraite de *Lavandula multifida* a également montré une forte action antifongique contre le *C. albicans* (**Zuzarte & Salgueiro, 2015**), tandis que les espèces du genre *Cymbopogon* ont démontré une grande efficacité face à diverses levures pathogènes (**Irkin & Korukluoglu, 2009**). De la même manière, l'huile essentielle de citronnelle freine efficacement le développement d'*Aspergillus flavus* et la production d'aflatoxines même à des concentrations très faibles (**Lang & Buchbauer, 2012**).

Les huiles essentielles d'agrumes, comme le citron, la mandarine, le pamplemousse et l'orange, ont aussi démontré une action antifongique contre diverses espèces d'*Aspergillus* et de *Penicillium* à des concentrations basses (inférieures à 1 %) (**Boughendjioua, 2019**). Ces effets sont essentiellement dus à leurs composés principaux tels que les terpènes et les phénylpropanoïdes (**Léonor, 2019**).

D'un point de vue mécanistique, les huiles essentielles influent sur l'intégrité des membranes cellulaires des champignons, particulièrement en visant l'ergostérol. Cela engendre une modification de la perméabilité et du développement morphologique des hyphes. Elles empêchent aussi la création de biofilms et la transition morphologique cruciale pour la virulence de *Candida albicans* (**Raut et al., 2013**).

Des molécules actives comme le citral, le citronellol, le géraniol, l'eugénol, le thymol et le carvacrol ont un effet inhibiteur sur le cycle cellulaire des champignons ou perturbent l'équilibre ionique, notamment du calcium (Ca^{2+}) et des protons (H^+), ce qui conduit à une interruption de leur croissance (**Zore et al., 2011 ; Rao et al., 2010**).

Les huiles essentielles provenant de plantes de la famille des Lamiacées (comme le thym, la lavande, la menthe, le romarin et la sauge) sont parmi les plus analysées pour leurs vertus antifongiques et leur éventuelle utilisation en agriculture et dans l'industrie agroalimentaire en tant qu'agents biologiques de contrôle (**Lis-Balchin, 2002**).

1.8.4. Propriétés anti-inflammatoires des huiles essentielles

Les huiles essentielles possèdent des caractéristiques anti-inflammatoires significatives, principalement dues à leurs composants bioactifs qui ont la capacité de réguler les processus cellulaires liés à l'inflammation. L'un des principaux mécanismes d'action est la protection des protéines contre la dénaturation, un processus crucial pour initier et intensifier les réponses

inflammatoires, ce qui aide à diminuer les réactions inflammatoires (Naccari et al., 2025). Ces propriétés anti-inflammatoires sont généralement liées à l'action antioxydante des huiles essentielles, contribuant ainsi à réduire le stress oxydatif, un élément clé impliqué dans l'inflammation chronique. Par conséquent, les huiles essentielles peuvent contribuer à la réduction des médiateurs pro-inflammatoires et à la préservation de l'intégrité cellulaire (Aboughe et al., 2015).

1.9. Usages traditionnels des huiles essentielles

Depuis l'époque antique, l'usage des huiles essentielles s'est répandu dans divers aspects de la vie courante et de la thérapie (El-Shemy, 2020).

Dans le domaine de l'aromathérapie, elles sont utilisées pour rehausser l'humeur, diminuer le stress et favoriser les capacités cognitives. Dans la médecine conventionnelle, elles sont employées pour leurs vertus antiseptiques et antimicrobiennes, en particulier pour soigner les infections et désinfecter les blessures. Elles sont aussi incorporées dans les massages et les traitements corporels, souvent en version diluée, pour apaiser les tensions musculaires et les douleurs articulaires (Poirot, 2016).

1.10. Voies d'administration et biodisponibilité

Du fait de leur faible poids moléculaire et de leur caractère lipophile, les huiles essentielles agissent rapidement en étant absorbées rapidement par l'organisme. De ce fait, elles peuvent être efficacement absorbées par la peau, inhalées ou, dans certaines situations précises, administrées oralement. Toutefois, la sélection de la voie d'administration est basée sur les caractéristiques physico-chimiques spécifiques de chaque huile essentielle et l'effet thérapeutique désiré (Nouhila & Jichiche, 2022).

1.11. Mode d'action des huiles essentielles

1.11.1. Perturbation des membranes cellulaires

Les composés lipophiles présents dans les huiles essentielles, en particulier certains monoterpènes et composés phénoliques, déploient leur effet antimicrobien en interagissant directement avec la membrane cellulaire des micro-organismes. Ces molécules se glissent entre les lipides de la membrane, dérangeant leur structure et amplifiant la fluidité de la membrane. Cette modification met en péril l'intégrité de la barrière cellulaire protectrice, ce qui contribue à l'effet antimicrobien des huiles essentielles (Sennato et al., 2024).

1.11.2. Modulation des voies de signalisation et de l'activité enzymatique

Les huiles essentielles peuvent aussi intervenir en régulant diverses voies de signalisation cellulaire et en ayant un impact sur l'activité des enzymes. Elles déclenchent des processus intracellulaires engagés dans les mécanismes de défense, encourageant la génération d'enzymes de protection et consolidant les systèmes antioxydants. Ce processus aide à réduire le stress oxydatif et à diminuer les mécanismes inflammatoires (Ni et al., 2019).

1.11.3. Effets sur le système nerveux

Par inhalation, les huiles essentielles activent des zones du cerveau associées à la régulation des émotions et à l'équilibre nerveux. Elles contribuent à l'activation de mécanismes neurophysiologiques naturels favorisant la détente, ce qui entraîne une réduction du stress et un accroissement du bien-être, surtout dans des situations anxiogènes (Kherboubi & Hamel, 2022).

1.12. Toxicité des huiles essentielles

En dépit de leurs multiples usages en thérapie et cosmétique, l'utilisation des huiles essentielles doit être faite avec précaution du fait de leur toxicité potentielle. Certaines renferment des éléments irritants pour la peau, comme le thymol et le carvacrol, susceptibles d'entraîner des réactions cutanées si elles sont mal utilisées. Certains, riches en cinnamaldéhyde, peuvent provoquer des réactions allergiques chez les individus sensibles. Quant aux huiles essentielles d'agrumes qui contiennent des furocoumarines, elles peuvent présenter un danger de phototoxicité si exposées à la lumière du soleil. De plus, certaines huiles essentielles renferment des cétones, telles que l' α -thuyone, connues pour leur neurotoxicité et qui peuvent influencer le système nerveux en cas de consommation excessive ou d'utilisation incontrôlée (Guba, 2001).

1.13. Conservation des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des composés particulièrement délicats dont la qualité peut se dégrader sous l'effet de la lumière, de la chaleur et de l'oxygène. Pour maintenir leurs caractéristiques physico-chimiques et biologiques, il est conseillé de les stocker dans des conditions idéales, en particulier pour les protéger de ces éléments dégradants. Il est nécessaire de les conserver dans des contenants hermétiques en verre brun, en alu ou en inox, à une température n'excédant pas +6 °C (Alioune, 2015).

2. Le stress oxydatif

2.1. Mécanismes physiopathologiques du stress oxydatif

Le stress oxydatif est lié à un déséquilibre entre la production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et les systèmes de défense antioxydants de l'organisme (**Figure 3**). Toute molécule possédant un ou plusieurs électrons non appariés, ce qui la rend hautement réactive, est qualifiée de radical libre. L'oxygène moléculaire, bien qu'essentiel au métabolisme aérobie, présente une forte réactivité et constitue une source majeure d'ERO dans l'organisme (**Traxer et al., 2003, Migdal et Serres, 2011**).

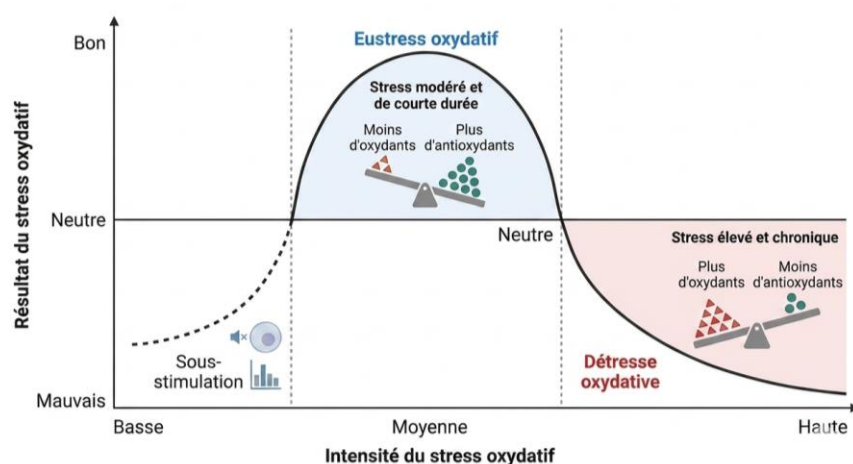


Figure 3. Impacts du déséquilibre entre les oxydants et les antioxydants sur les conséquences du stress oxydatif (*Han et al., 2021; Wu et al., 2022*).

2.2. Origines et facteurs inducteurs du stress oxydatif

L'usage du terme « radicaux libres », « stress oxydant » et « antioxydants » devient de plus en plus courant pour décrire diverses affections pathologiques et leurs stratégies de traitement. Toute molécule contenant un ou plusieurs électrons célibataires, la rendant extrêmement réactive, est qualifiée de radical libre. En l'état naturel, l'oxygène, possédant naturellement deux électrons non appariés sur la couche extérieure, est extrêmement instable et a une forte propension à oxyder tous les éléments qu'il rencontre en leur volant un électron pour le jumeler à l'un de ses propres électrons non appariés (**Traxer et al., 2003**). L'élément moléculaire d'oxygène, qui a fait son apparition dans l'atmosphère terrestre il y a environ 3 milliards d'années, est le deuxième plus présent dans la biosphère. Essentiellement produit lors de la photosynthèse, c'est une source d'énergie vitale pour les cellules aérobies. Dans l'organisme, l'oxygène, qui sert de dernier récepteur d'électrons, se convertit en molécule d'eau au niveau de la chaîne respiratoire mitochondriale. Cette réaction revêt une grande importance

car elle est liée à la génération de 38 molécules d'adénosine triphosphate (ATP) à fort potentiel énergétique à partir d'une molécule de glucose (comparativement à seulement deux dans un processus anaérobie). Toutefois, tous les organismes aérobies en subissent le coût métabolique (Traxer et al., 2003).

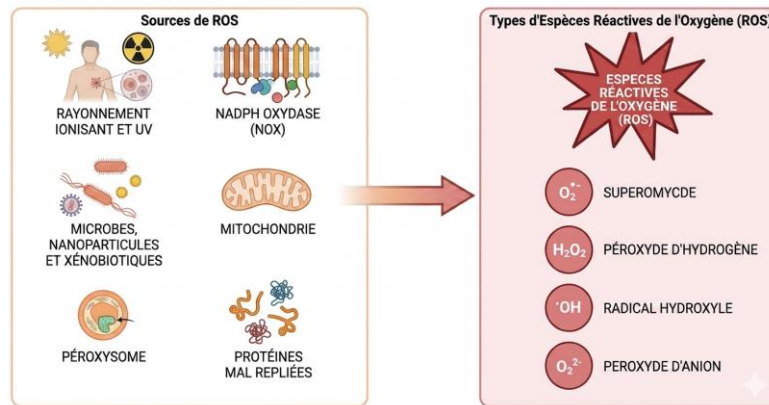


Figure 4. Les sources des espèces réactifs oxydants (ROS).

Effectivement, les cellules transforment 3% du total d'oxygène absorbé en espèces réactives de l'oxygène, communément appelées ERO. Bien que les ERO soient en majorité, des radicaux soufrés, nitrogènes, phosphorés ou carbonés sont aussi générés. Ces ERO, qu'elles soient radicalaires ou non, sont constamment générées par divers systèmes enzymatiques. Les plus significatifs parmi eux sont les NADPH oxydases et les synthèses de NO (**Figure 4**) (Traxer et al., 2003).

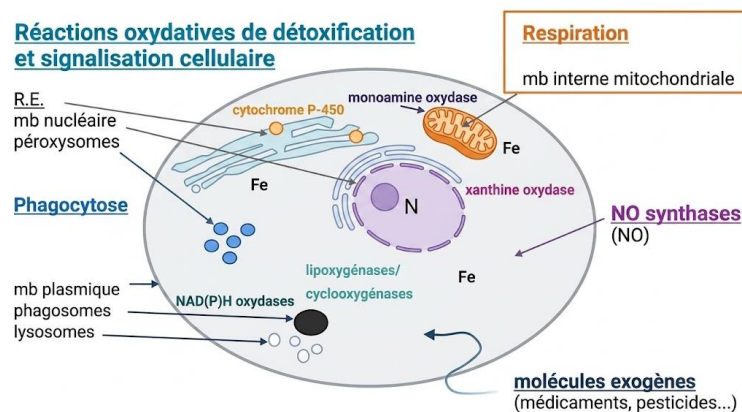
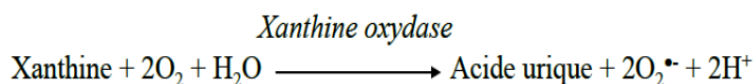


Figure 5. Principaux sites cellulaires de productions des ERO (Traxer et al., 2003).

Le corps humain contient plusieurs générateurs de ROS (**Figure 5**), tels que l'auto-oxydation des petites molécules, la xanthine oxydase et la NADPH oxydase, le réticulum endoplasmique ou encore les peroxyosomes. L'auto-oxydation de substances comme la dopamine, l'adrénaline, les flavines et les hydroquinones constitue une source significative de

ROS. Le résultat immédiat de ces auto-oxydations est généralement l'O₂^{•-}. De ce fait, l'auto-oxydation de la dopamine joue un rôle partiel dans le processus apoptotique associé à certaines pathologies neurodégénératives, en particulier la maladie de Parkinson (**Thannickal et Fanburg, 2000**).

L'oxydase de la xanthine facilite la transformation de l'hypoxanthine en acide urique, particulièrement dans des situations où il y a une forte sollicitation d'ATP et un manque d'oxygène. Elle peut aussi favoriser l'oxydation de la xanthine en acide urique, particulièrement pendant des épisodes d'ischémie-reperfusion ou d'hypoxie. Dans cette réaction, l'oxygène moléculaire sert d'accepteur d'électrons, produisant de ce fait l'O₂^{•-} (**Thannickal et Fanburg, 2000**).



2.3. Conséquences biologiques et implications pathologiques

Les répercussions du stress oxydatif sont étendues et peuvent affecter divers systèmes de l'organisme. **Kehili et ses collaborateurs (2018)** ont mis en évidence que ce stress joue un rôle dans l'apparition de pathologies chroniques telles que les affections cardiovasculaires, le diabète, les maladies neurodégénératives et le vieillissement prématuré (**Figure 6**).

Quand il y a un surplus de production d'ERO et que l'organisme ne peut plus le gérer, cela nuit aux macromolécules cruciales de nos cellules, entraînant une expression génétique anormale et des récepteurs membranaires, une prolifération ou une mort cellulaire, des troubles immunitaires et de la mutagénèse...etc (**Melghid et M'cili, 2020**). En outre, le stress oxydatif peut favoriser l'inflammation persistante, diminuer la résistance immunitaire et perturber les capacités cognitives (**Luchsinger et Mayeux, 2007**).

Il est crucial de prévenir et de minimiser le stress oxydatif pour préserver une santé optimale. Une diète équilibrée, riche en antioxydants issus des fruits, légumes et d'autres plantes, peut contribuer à contrer les *radicaux libres*. Simultanément, certaines plantes employées en médecine traditionnelle possèdent d'impressionnantes capacités antioxydantes. Elles renferment une multitude d'antioxydants tels que la vitamine C et E, les caroténoïdes, les oligoéléments et principalement les polyphénols (**Migdal et Serres., 2011**). Ainsi, plusieurs recherches ont démontré une association entre la consommation de compléments alimentaires tels que la spiruline et une diminution du risque d'apparition de diverses maladies.

Le stress oxydatif est impliqué dans de nombreuses pathologies, où il peut intervenir soit comme facteur déclencheur, soit comme élément aggravant au cours de leur progression. Ces affections peuvent résulter de diverses situations physiopathologiques, notamment les intoxications chimiques et médicamenteuses, l'exposition aux radiations, l'hyperoxygénation, les processus inflammatoires, l'ischémie-reperfusion ainsi que les troubles dégénératifs. La diversité de ses effets s'explique par le fait que le stress oxydatif peut affecter de multiples organes et tissus (**Favier, 1997**). Il a été décrit que le stress oxydatif est impliqué dans la survenue de diverses pathologies, notamment le cancer, les maladies neurodégénératives telles que la sclérose latérale amyotrophique, ainsi que le vieillissement prématuré. Il contribue également au développement de maladies multifactorielle, telles que les maladies cardiovasculaires, le diabète et la maladie d'Alzheimer (Delattre et al., 2005). Dans ce contexte, il est suggéré que l'apport en antioxydants pourrait en retarder, voire en prévenir l'apparition. Par ailleurs, le vieillissement s'accompagne d'une diminution des défenses antioxydantes, d'une augmentation de la production mitochondriale d'espèces réactives de l'oxygène (ERO), ainsi que d'une altération des systèmes de réparation et de dégradation des molécules oxydées. Ainsi, l'organisme vieillissant est davantage exposé au stress oxydatif, lequel peut favoriser le développement de nombreuses pathologies (**Delattre et al., 2005**).

Au cours des dernières années, de nombreuses recherches épidémiologiques ont clairement prouvé que l'ingestion régulière de fruits et légumes riches en antioxydants aide à diminuer la fréquence des maladies cardiovasculaires et du *cancer* (**Favier, 1997**).

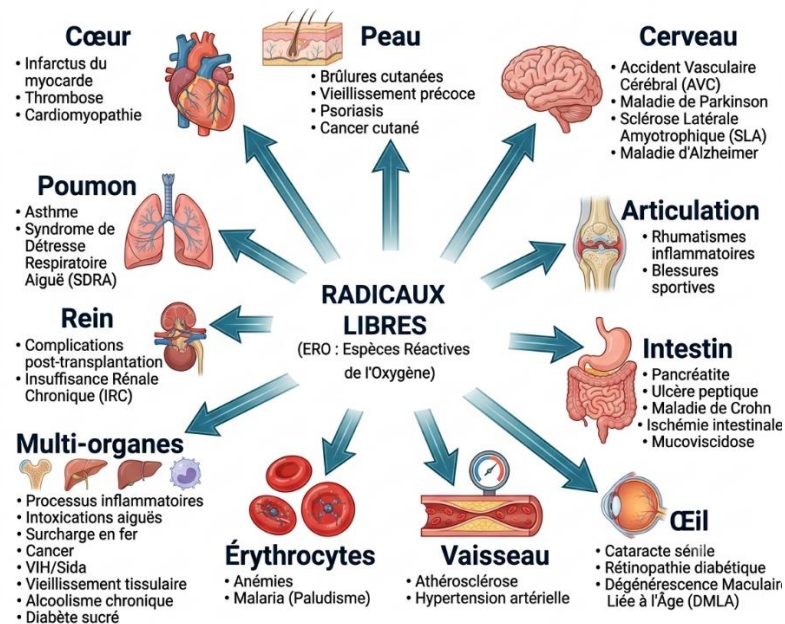


Figure 6. Principales circonstances pathologiques s'accompagnant d'un stress oxydant primitif ou secondaire (Favier, 1997).

Le stress oxydatif est défini comme résultant d'un déséquilibre entre la production de ROS et la capacité antioxydante de l'organisme. Plusieurs recherches ont démontré que le diabète sucré est lié à une hausse de la production de *radicaux libres* d'un côté, et à une réduction du potentiel antioxydant de l'autre, menant à des lésions touchant les éléments cellulaires tels que les protéines, les lipides, les acides nucléiques, entre autres (Werstuck, 2006).

2.4. Stratégies de défense antioxydante : rôle des antioxydants

Les antioxydants opèrent principalement en cédant des électrons ou des atomes d'hydrogène aux radicaux libres, ce qui a pour effet de les stabiliser et d'entraver les réactions en chaîne à l'origine des dommages oxydatifs (Figure 7). Ce processus offre une protection aux structures cellulaires contre la décomposition provoquée par les espèces réactives de l'oxygène (Firuzi et al., 2011).

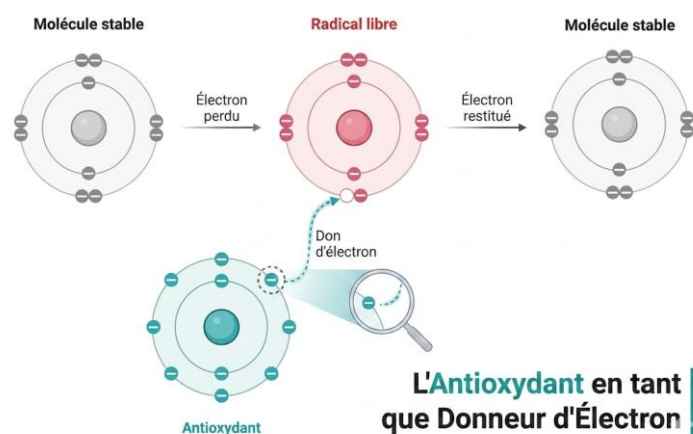


Figure 7. L'antioxydant en tant que donneur d'électron.

Les antioxydants peuvent agir de diverses manières : en neutralisant directement les radicaux libres, en chélatant les métaux pro-oxydants ou encore en inhibant les réactions d'oxydation en chaîne. Ils sont classés en antioxydants primaires, qui stoppent les réactions de radicaux libres, et secondaires, qui en retardent le début. Des composés tels que l'acide ascorbique et les flavonoïdes pourraient réaliser plusieurs de ces actions en même temps (Figure 8) (Antolovich et al., 2002).

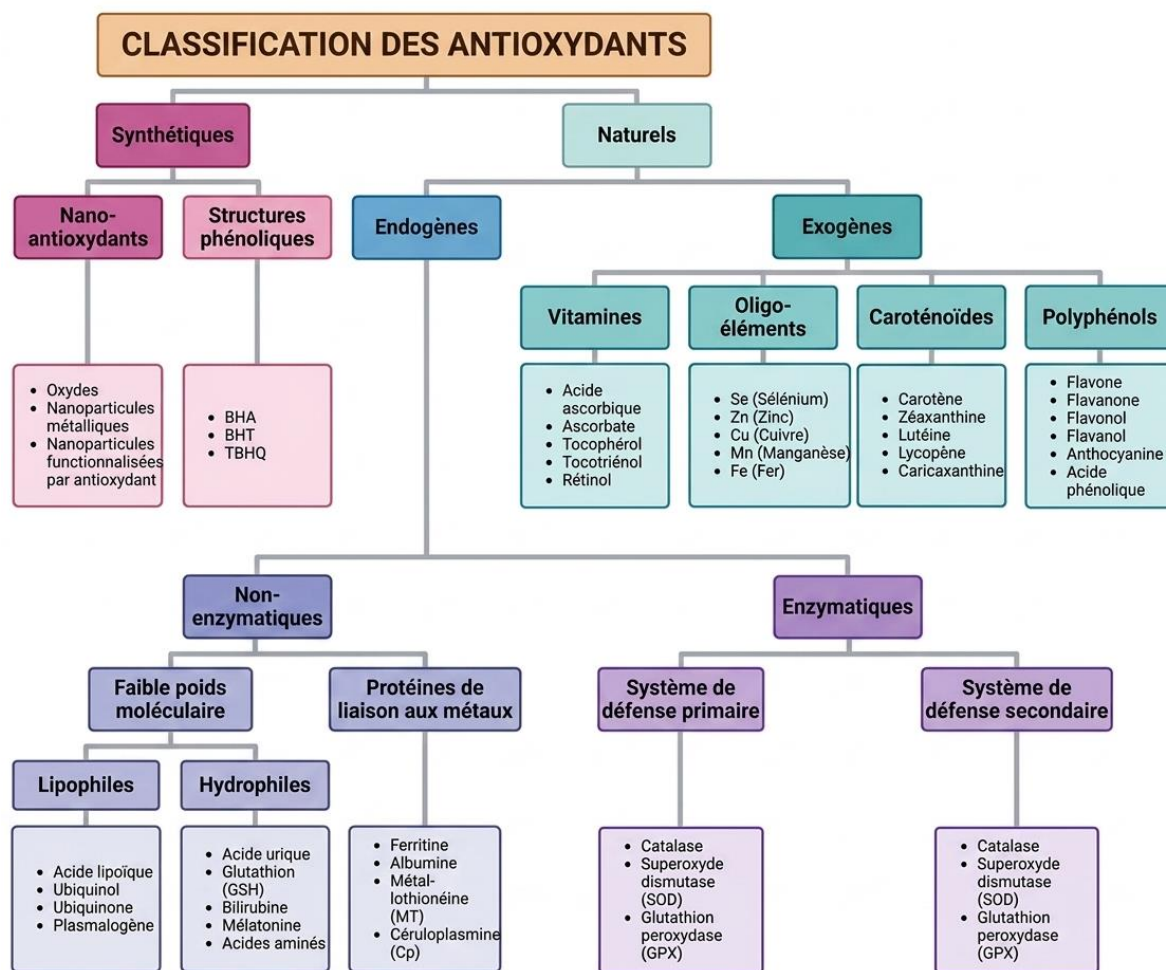


Figure 8. Classification des antioxydants (Gómez et al., 2021).

L'activité antioxydante est généralement évaluée par des tests *in vitro* tels que le DPPH, l'ABTS et le FRAP, basés sur la capacité des composés à neutraliser des radicaux stables. Dans ces essais, la diminution de l'intensité colorée des solutions radicalaires traduit directement l'activité antioxydante des extraits étudiés (Liang & Kitts, 2014).

3. Les agents pathogènes

Les agents pathogènes sont des organismes ou entités biologiques capables de provoquer des maladies chez l'hôte. Ils représentent une préoccupation majeure en santé publique en raison de leur diversité et de leur capacité à s'adapter aux différents environnements. Les infections causées par ces agents peuvent être bénignes ou graves, selon la virulence de l'agent et la réponse immunitaire de l'hôte (**Madigan et al., 2018**).

3.1. Définition et types d'agents pathogènes

Un agent pathogène est défini comme tout micro-organisme ou agent infectieux capable d'induire une maladie. Plusieurs types d'agents pathogènes sont distingués, notamment:

- Les bactéries (ex. *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*)
- Les virus (ex. virus de la grippe, VIH)
- Les champignons (ex. *Candida albicans*)
- Les parasites (ex. *Plasmodium*)

Chaque type possède des mécanismes spécifiques d'infection et de multiplication, ce qui rend leur contrôle complexe (**Tortora et al., 2020**).

3.2. Pathologies associées aux agents pathogènes

Les agents pathogènes sont responsables d'un large éventail de maladies humaines, allant des infections respiratoires aux maladies systémiques graves. Par exemple, les bactéries peuvent provoquer des infections urinaires ou pulmonaires, tandis que les virus sont souvent associés à des maladies épidémiques. Les champignons et parasites causent également des pathologies, notamment chez les individus immunodéprimés. L'impact de ces maladies dépend de facteurs tels que la virulence de l'agent et les conditions de l'hôte (**WHO, 2020**).

3.3. Les antibiotiques et leur mode d'action

Les antibiotiques sont des substances naturelles ou synthétiques utilisées pour inhiber la croissance des bactéries ou les détruire. Leur mode d'action varie selon la classe : certains perturbent la synthèse de la paroi cellulaire (comme les bêta-lactamines), d'autres inhibent la synthèse des protéines ou de l'ADN bactérien. Cependant, l'utilisation excessive des antibiotiques a conduit à l'émergence de résistances bactériennes, constituant un défi majeur pour la médecine moderne (**Katzung, 2018**).

3.4. Activité antimicrobienne des composés d'origine naturelle

Les composés d'origine naturelle, notamment les huiles essentielles comme celle de *Laurus nobilis*, présentent une activité antimicrobienne significative. Ces substances agissent en perturbant la membrane cellulaire des micro-organismes, en inhibant leurs enzymes ou en altérant leur métabolisme. Elles sont considérées comme des alternatives prometteuses aux antibiotiques classiques, notamment face au problème croissant de la résistance bactérienne **(Bakkali et al., 2008)**.

4. Étude ethnobotanique et phytochimique de *Laurus nobilis*

Le laurier noble, dédié à Apollon et Esculape « dieux de la santé et de la médecine » selon la mythologie grecque, et utilisé pour couronner les empereurs et les héros dans la tradition romaine, occupe une position significative dans les sphères mythologiques, culinaires et médicinales depuis l'Antiquité (Vetvicka et Matousova, 1991). L'arbuste ou l'arbre à feuilles coriaces et persistantes connu sous le nom de laurier ou laurier-sauce (*laurus nobilis* L.) appartient à la famille des Lauraceae (Vetvicka et Matousova, 1991).

Le terme latin *laurus*, signifiant « toujours vert », fait référence à la végétation persistante de la plante. *Nobilis*, quant à lui, veut dire « célèbre » (Pariente, 2001). Il est également le symbole de la réussite de nos jours, dérivant du latin « *Bacca Lauri* », signifiant baies de laurier (Zhiri et al., 2005).

4.1. Présentation botanique de l'espèce

Forme et hauteur : Le laurier est un arbuste ou arbrisseau à couronne, large et compacte ; atteint 15 m de haut (Geerts et al., 2002).

La plante est constituée des principaux organes suivants (Figures 9 et 10) :



Figure 9. Aspect morphologique de *Laurus nobilis* (Beloued, 2005).

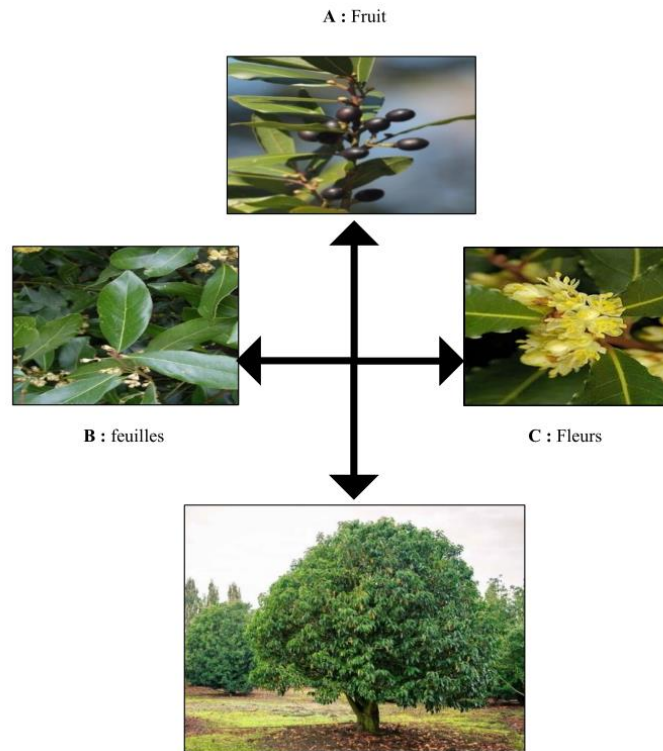


Figure 10. Les différentes parties de la plante *Laurus nobilis* L (Tuscher et al, 2005)

Écorce et tiges : Les tiges des rameaux sont de couleur verte et orientées vers le haut. À ses débuts, le tronc a une écorce de couleur vert olive à noire, qui finira par devenir grise avec le temps. La formation d'une véritable écorce prend plusieurs années (Geerts et al., 2002; Botineau et Pelt, 2015).

Pousses et rameaux : Des bourgeons coniques et étroits, de 2 à 4 mm de long, qui sont verts avec une touche de rouge. Branches montantes, fortement feuillues ; jeunes pousses frêles, dépourvues de poils, vertes teintées de rouge (Stursa, 2001).

Feuilles : Le feuillage demeure constant, composé de feuilles aromatiques, simples, disposées en alternance et coriaces. Chaque pétiole mesure entre 2 et 5 cm, tandis que les feuilles elles-mêmes varient de 5 à 12 cm de longueur et de 2 à 6 cm de largeur. Elles sont lancées, légèrement ondulées et festonnées sur les bords ; de teinte sombre, brillantes sur le dessus et vert pâle en dessous, avec des veines latérales en forme de plume et teintées de rouge (Quezel et Santa, 1963).

Fleurs et fruits : Les fleurs possèdent un caractère dioïque et mesurent entre 0,4 et 0,8 cm de manière unisexe, arborant une teinte jaune verdâtre avec un périanthe simple fusionné à la base. Rassemblé en 4 à 6 ombelles. Les fleurs mâles contiennent de 8 à 12 étamines

rudimentaires, tandis que les fleurs femelles disposent d'un ovaire hypogyne à un seul compartiment et d'un stigmate divisé en trois parties. Le fruit prend la forme d'une baie ovoïde, portée par le tube périthaïre légèrement dilaté. Selon **Beloued (2005)**, le fruit, qui mesure 2 cm de longueur et 1 cm de largeur, est noir brillant et contient une seule graine libre. Le mésocarpe charnu contient de l'huile ainsi que des cellules productrices d'huile essentielle. Selon **Myose et Paris (1976)**, les cotylédons épais sont également riches en lipides.

4.2. Classification taxonomique

Tableau 2. La classification botanique de *Laurus nobilis* L. d'après (Quezel et santa, 1962)

Règne	Plantes.
Sous règne	Plantes vasculaires.
Embranchement	Spermaphytes.
S/Emb	Angiospermes
Classe	Dicotylédones.
S /classe	Dialypétales.
Ordre	Laurales.
Famille	Lauracées.
Genre	<i>Laurus</i> .
Espèce	<i>Laurus nobilis</i> L.

4.3. Distribution géographique

Le laurier, qui a été importé par les Grecs et les Romains d'Asie Mineure, s'est par la suite dispersé dans tout le bassin méditerranéen et en Inde. En France, il croît à l'état sauvage le long du littoral provençal et du Sud-Ouest, ainsi qu'en Corse. En Europe centrale, il est cultivé dans des conteneurs étant donné qu'il résiste mal aux hivers rigoureux. La Turquie, l'Albanie, le Maroc, la Grèce et l'Italie sont les principaux pays producteurs, avec la Turquie représentant deux tiers du commerce mondial (**Figure 11**) (**Geerts et al., 2002**).



Figure 11. Localisation naturelle de *Laurus nobilis* L. à travers le monde. (Beloued, 2005)

4.4. Composition phytochimique

Les feuilles du *Laurus nobilis* contiennent diverses substances actives, y compris des huiles essentielles. Elle constitue de 1 à 3% de la masse sèche et renferme entre 30 et 70% de 1-8 cinéole (eucalyptol). et aussi divers composés terpéniques : le linalol (8 à 16%), le sabinène, le géraniol, l'eugénol (3%), ainsi que le pinène et le terpinène (**Bruneton 1993**).

Les feuilles renferment également des alcaloïdes aporphiniques tels que la cryptodrine et l'actinodaphnine (**Kivçak et Mert, 2002**), des flavonoïdes polaires (quercétine, kaempferol et catéchine glycosylés) et apolaires (quatre dérivés acylés de kaempferol), ainsi que des lactones sesquiterpènes. La présence de tanins dans les feuilles est également rapportée dans la littérature (**Fiorini et al., 1998 ; Kivçak et Mert, 2002**).

4.4.1. Composés phénoliques et dérivés

Les composés phénoliques, molécules bioactives caractérisées par un ou plusieurs noyaux aromatiques porteurs de groupements hydroxyles, constituent une vaste classe de substances largement présentes dans le règne végétal. Ils comprennent essentiellement les flavonoïdes, les acides phénoliques, les tanins et les lignanes. Ces substances sont cruciales pour la protection de la plante face aux attaques externes et participent également à ses vertus curatives (**Balasundram et al., 2006**).

Par exemple, les flavonoïdes sont réputés pour leur forte activité antioxydante due à leur aptitude à capturer les *radicaux libres* et à chélater les ions métalliques. Les acides phénoliques, comme l'acide caféique et l'acide férulique, contribuent aussi à la diminution du stress oxydatif. En ce qui concerne les tanins, ils possèdent des caractéristiques antimicrobiennes et astringentes significatives. Ces composés confèrent aux extraits de plantes une activité biologique importante, ce qui justifie leur application dans la médecine traditionnelle et l'industrie pharmaceutique (**Shahidi & Yeo, 2018**).

Globalement, les composés phénoliques et leurs dérivés constituent une source importante de substances bioactives, à l'origine de plusieurs activités pharmacologiques observées dans les plantes médicinales. Cela justifie l'engouement grandissant pour leur recherche et leur valorisation scientifique.

4.4.2. Huile essentielle et constituants volatils

Les plantes aromatiques secrètent des huiles essentielles, qui sont des substances odorantes, huileuses et volatiles. (El Kalamouni et al., 2010) L'huile essentielle dérivée des feuilles de laurier offre une multitude de propriétés et d'avantages pour le corps, et est conçue pour diverses applications. L'1,8-Cinéole, un éther de monoterpènes cycliques, constitue l'élément majeur de l'huile de laurier. Elle est employée en application externe par friction comme stimulant local, pour les entorses et les douleurs rhumatismales, mais également comme cicatrisant contre les inflammations de la peau. Elle est employée en interne comme un tonique pour stimuler la fonction digestive de l'estomac, ainsi que pour combattre la grippe et d'autres symptômes respiratoires (Barla et al, 2007)

De plus, l'industrie cosmétique se sert de l'huile essentielle pour la création de parfums et la production de savons. Elle détient aussi d'importantes activités biologiques (Demir et al., 2004).

4.5. Usages traditionnels

Le laurier noble est principalement utilisé pour traiter les problèmes de l'appareil digestif supérieur et les douleurs liées à l'arthrite. Il favorise l'appétit et la production de sucs gastriques. Employées en tant qu'épice, les feuilles aident à la digestion et à l'absorption des aliments. Elles possèdent des effets bénéfiques similaires à ceux de la menthe (*Mentha spicata*) et du romarin (*Rosmarinus officinalis*). Le laurier stimule l'arrivée des menstruations. L'huile essentielle, généralement utilisée sous forme de pommade pour masser les muscles et les articulations endolories, est diluée dans une huile neutre. Selon Iserin (2001), l'ajout de décoction de feuilles à l'eau du bain permet de soulager les douleurs des membres.

Le laurier noble figure parmi les plantes aromatiques fréquemment employées comme épice et arôme naturel à l'échelle mondiale. Outre ses qualités en cuisine, elle détient des vertus thérapeutiques qui expliquent son emploi dans les remèdes traditionnels. Traditionnellement, les feuilles sont employées en infusion pour traiter de manière symptomatique les troubles digestifs (comme les ballonnements), les infections virales (telles que la toux et la diarrhée), et servent également d'apaisant pour les douleurs liées aux hémorroïdes. (Barla et al., 2007)

Les feuilles de laurier sont également utilisées en décoction pour traiter les bronchites sévères, les insomnies ainsi que les dysménorrhées. En usage externe, elles sont employées sous forme de bains aromatiques aux propriétés antirhumatismales, ainsi qu'en gargarismes et bains

de bouche pour le traitement de l'angine et des infections bucco-pharyngées (Vasey, 2013). Par ailleurs, pour soulager les douleurs associées à la sinusite, application de compresses sur le front est recommandée (Beloued, 2003).

Dans de nombreux pays, les feuilles de cette plante sont largement utilisées en médecine traditionnelle, selon différentes méthodes de préparation et d'administration. En Espagne, elles sont employées en décoction pour leurs propriétés antirhumatismales, digestives et hypoglycémiantes (Barla et al., 2007). Dans le contexte palestinien, les feuilles sont réputées pour leurs propriétés anticancéreuses et antispasmodiques (Ballabio et Goetz, 2010). En Serbie, l'infusion de feuilles sert d'anticonvulsivant, d'antiépileptique, d'antirhumatismal et d'expectorant (Vasey, 2013). Enfin, en Turquie, les feuilles infusées sont employées pour leurs propriétés antirhumatismales, anti-hémorroïdaires, diurétiques, ainsi que pour le soulagement des troubles épigastriques (Barla et al., 2007).

4.6. Activités biologiques et propriétés pharmacologiques

L'interaction entre les activités biologiques des plantes médicinales et leur abondance en métabolites secondaires, comme les composés phénoliques, les flavonoïdes et les tanins, est très étroite. Ces composés dotent la plante de diverses propriétés pharmacologiques, y compris l'activité antioxydante, anti-inflammatoire, antimicrobienne et anticancéreuse. L'activité antioxydante a une grande importance puisqu'elle contribue à neutraliser les **radicaux libres** qui sont à l'origine du stress oxydatif, lié à diverses pathologies chroniques telles que les maladies cardiovasculaires et le **cancer**. En outre, plusieurs recherches ont démontré que ces extraits de plantes ont des propriétés hypoglycémiantes, antiulcéreuses et neuroprotectrices, augmentant par conséquent leur pertinence dans le domaine de la pharmacologie contemporaine (Dai & Mumper, 2010 ; Pandey & Rizvi, 2009).

De plus, l'efficacité antimicrobienne de ces plantes a fait l'objet de nombreuses études, prouvant leur capacité à lutter contre différentes souches de bactéries et de champignons. Cette activité est généralement attribuée à la présence de flavonoïdes et d'acides phénoliques qui ont la capacité de modifier la membrane cellulaire des micro-organismes. De plus, les effets anti-inflammatoires observés sont associés à l'inhibition de certaines enzymes participant au processus inflammatoire, comme les cyclooxygénases (COX) (Cushnie & Lamb, 2011).

CHAPITRE 2

MATERIEL ET METHODES

1. L'objectif de ce travail

Cette étude a pour objectif d'extraire l'huile essentielle des feuilles de *Laurus nobilis* L. et d'évaluer ses activités biologiques, notamment ses effets antimicrobiens et antioxydants vis-à-vis de différentes souches bactériennes.

2. Lieu de travail :

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire de recherche en chimie organique et substances naturelles de l'Université de Djelfa, ainsi qu'au laboratoire de fin d'études de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Ziane Achour de Djelfa, et au niveau de l'unité de recherche en plantes médicinales de Laghouat.

3. Réactifs et matériels:

Les verreries et appareillages de laboratoire, les milieux de culture ainsi que les solvants utilisés au cours de ce travail sont regroupés dans le tableau 3 :

Tableau 3. Liste des matériels de laboratoire, verrerie, milieux de culture et solvants utilisés au cours de l'étude.

Appareillage	Verreries et autres	Produits
Clevenger	Ballons	Eau distillée
Chauffe-ballon	Béchers	Sulfate de magnésium anhydre (Mg_2SO_4)
Spectrophotomètre	Tubes à essais	Ethanol
Plaque chauffante	Boîtes de Pétri stériles	Acide ascorbique (Vitamine C)
Autoclave	Éprouvettes graduées	BHT (Butylhydroxytoluène)
Bain-marie	Embouts	DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)
Balance de précision	Papier filtre	Souches bactériennes
Étuve	Pipettes et micropipette.	Milieux de culture
microbiologique	Écouillons stériles	Solution physiologique stérile (NaCl 0,9 %)
Réfrigérateur	Flacon à bouchon	Standard McFarland
Bec Bunsen	Pipette Pasteur	Antibiotiques de référence
Vortex	Disques stériles en papier (disques antibiogramme)	

4. Matériel végétal

Les feuilles de *L. nobilis* sont traditionnellement utilisées pour aromatiser et améliorer le goût des aliments, ainsi que pour leurs propriétés thérapeutiques dans le traitement de diverses affections, notamment les névralgies et les troubles digestifs. Elles sont reconnues pour soulager

certaines symptômes gastro-intestinaux tels que les ballonnements épigastriques et les flatulences. Cette huile est largement utilisée dans les industries du parfum et du savon. Elle possède également plusieurs activités biologiques, notamment des effets analgésiques (douleurs hémorroïdaires et rhumatismales), diurétiques, antifongiques et antioxydants (**Lucia, et al. 2017**).

4.1. Collecte de la plante

Laurus nobilis a été récolté le 2 mai 2026 dans la région de Messaad, en Algérie. Les feuilles utilisées dans cette étude proviennent d'un arbre cultivé dans un jardin privé de la même région (**Figure 12**). Les coordonnées géographiques : (34°09'25.5"N 3°30'09.3"E : <https://goo.gl/maps/BXEaJpL6AFK7y1VU6>).

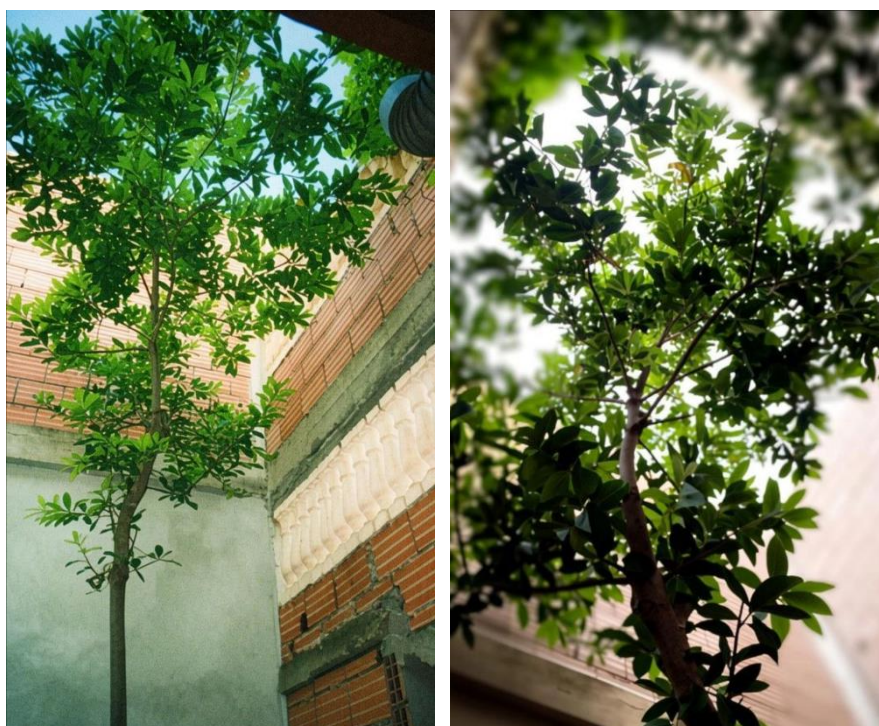


Figure 12. Le laurier noble utilisé dans l'étude.

4.2. Préparation du matériel végétal

Le matériel végétal, à l'état semi-sec, a été conservé à température ambiante, à l'abri de la lumière et de l'humidité jusqu'à son utilisation, afin de préserver au maximum l'intégrité de ses composés bioactifs et de ses constituants chimiques. Le 07 mai 2026, les feuilles ont été préparées par découpage manuel à l'aide de ciseaux en fragments homogènes, en vue des opérations d'extraction et d'analyse (**Figure 13**).



Figure 13. Feuilles de *Laurus nobilis*

5. Extraction de l'huile essentielle:

L'extraction de l'huile essentielle des feuilles de *Laurus nobilis* L. a été réalisée par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger. Un total de 424 g de matière végétale a été utilisé, réparti en quatre essais successifs. Pour chaque extraction, 100 à 110 g de feuilles séchées et découpées en petits fragments ont été introduits dans un ballon à fond rond. Un volume d'eau distillée correspondant à un rapport matière végétale/eau de 1:3 a été ajouté (soit environ 300 mL d'eau pour 100 g de feuilles), de manière à assurer une immersion complète du matériel végétal. Le ballon a ensuite été monté sur l'appareil de Clevenger et chauffé à l'aide d'un chauffe-ballon électrique. Après mise en marche, le mélange a été porté progressivement à ébullition. La vapeur d'eau entraînant les composés volatils des feuilles a été dirigée vers le condenseur, où elle a été refroidie puis condensée sous forme d'un mélange eau-huile essentielle. Le distillat s'est accumulé dans le dispositif de Clevenger, permettant la séparation de l'huile essentielle de la phase aqueuse en raison de la différence de densité. Chaque cycle d'hydrodistillation a duré environ 3 h 30 min à 4 h, et les feuilles ont été renouvelées toutes les 4 heures (**Figure 14**).

L'huile essentielle obtenue a été récupérée puis séchée à l'aide de sulfate de magnésium anhydre afin d'éliminer toute trace d'eau résiduelle. Elle a ensuite été conservée dans des flacons en verre hermétiquement fermés, enveloppés de papier aluminium et stockés au congélateur à basse température, à l'abri de la lumière, afin de préserver ses composés bioactifs jusqu'aux analyses ultérieures.

Le rendement en H.E. est le rapport entre le poids de l'huile extraite et le poids du matériel végétal utilisé. (**Merabet (2018)**), Le rendement est exprimé en pourcentage (%) est calculé par la formule suivante:

$$R_{HE} = \frac{M_{HE}}{M_{MS}} \times 100$$

R_{HE} : Rendement de l'huile essentielle (%).

M_{HE} : Poids d'extrait récupéré (masse d'huile essentielle récupérée) en (g).

M_{MS} : Poids de la matière végétale sèche utilisée pour l'extraction exprimée en (g).



Figure 14. Méthode d'extraction de l'huile essentielle de Laurus nobilis

Une huile essentielle commerciale de *Laurus nobilis* L. (laurier noble) a été utilisée dans cette étude comme échantillon de comparaison avec l'huile essentielle extraite au laboratoire. Cette huile a été achetée auprès de la société Green Spirit (**Figure 15**).

Selon les informations fournies par le fabricant, les feuilles de laurier ont été récoltées dans la région d'El Milia (Jijel, Algérie) et distillées en mai 2025. L'extraction de l'huile essentielle a été réalisée par entraînement à la vapeur d'eau pendant une durée de 2 h 30 min. L'huile essentielle a été conservée dans un flacon en verre ambré, à l'abri de la lumière et de la chaleur, jusqu'à son utilisation dans les différents essais réalisés.



Figure 15. Huile essentielle commerciale de Laurus nobilis L

6. Évaluation de l'activité antimicrobienne

6.1. Méthode de diffusion en milieu solide (antibiogramme standard)

La méthode de diffusion en milieu solide, également appelée antibiogramme standard ou méthode des disques, a été utilisée pour évaluer l'activité antibactérienne de l'huile essentielle et déterminer la sensibilité des souches testées (**Balouiri et al., 2016**).

6.1.1. Principe

Cette méthode repose sur la diffusion du composé testé à travers un milieu gélosé. La surface de la gélose Mueller-Hinton est préalablementensemencée à l'aide d'un écouvillon stérile imbibé de la suspension bactérienne, en réalisant des stries serrées et homogènes afin d'assurer une distribution uniforme de l'inoculum (**Bendjelali et al., 1986**).

Des disques de papier filtre stériles imprégnés d'huile essentielle de *Laurus nobilis* sont ensuite déposés à la surface de la gélose inoculée (**Bendjelali et al., 1986**). Après incubation à 37 °C pendant 24 heures, l'activité antibactérienne est déterminée par la mesure des diamètres des zones d'inhibition autour des disques.

L'huile essentielle est considérée comme inactive lorsque le diamètre de la zone d'inhibition est inférieur à 8 mm, tandis qu'une activité élevée est observée pour des diamètres supérieurs à 9 mm.

6.1.2. Souches bactériennes utilisées

L'activité antimicrobienne de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* a été évaluée sur sept souches bactériennes maintenues par repiquage sur gélose nutritive (GN). Les souches ont été incubées pendant 24 h à 37 °C, puis conservées à 5 °C sur gélose nutritive inclinée.

A. Bactéries Gram négatif

- *Escherichia coli*
- *Pseudomonas aeruginosa*
- *Proteus mirabilis*
- *klebsiella oxytoca*
- *klebsiella pneumonie*
- *Acinetobacter baumannii*

B. Bactéries Gram positif

- *Staphylococcus aureus*

6.1.3. Milieux de culture

- Gélose Mueller Hinton MH : utilisée pour les tests de sensibilité aux antibiotiques.
- Gélose nutritive : utilisée pour le maintien et la vérification de la pureté des cultures.
- Solution agar-agar : utilisée pour certaines manipulations de dilution des huiles essentielles.

6.1.4. Mode opératoire

• Préparation des disques

Des disques de papier filtre stériles, de 6 mm de diamètre, ont été préparés puis stérilisés par autoclavage. Après stérilisation, ils ont été conservés à température ambiante dans des conditions aseptiques jusqu'à leur utilisation.

• Préparation du milieu de culture (Mueller-Hinton)

La gélose Mueller-Hinton stérile prête à l'emploi a été coulée dans des boîtes de Pétri stériles, puis laissée à solidifier et à sécher à température ambiante dans une zone stérile du laboratoire (**Figure 16**).



Figure 16. Préparation du milieu de culture

• Préparation des suspensions bactériennes

La préparation de l'inoculum bactérien a été réalisée selon les recommandations du CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute). À partir d'une culture bactérienne âgée de 18 à 24 heures sur milieu gélosé, une suspension bactérienne a été préparée dans une solution saline stérile de NaCl à 0,9 % (**Figure 17**).

La densité de la suspension a été ajustée au standard McFarland 0,5, correspondant à environ 10^6 UFC/mL. Cette standardisation a été vérifiée par mesure de la densité optique (DO), comprise entre 0,08 et 0,1 à une longueur d'onde de 625 nm (**Bendahou et al ., 2007**).



Figure 17. Préparation des suspensions bactériennes.

- **Ensemencement**

L'ensemencement a été réalisé par stries serrées de haut en bas sur toute la surface de la gélose. L'opération a été répétée deux à trois fois en tournant la boîte de 60° à chaque passage afin d'obtenir un tapis bactérien homogène. Enfin, l'écouvillon a été passé sur la périphérie de la gélose pour assurer une répartition uniforme de l'inoculum bactérien (**Figure 18**).



Figure 18. Ensemencement d'une souche bactérienne sur gélose à l'aide d'un écouvillon stérile.

- **Préparation des dilutions de l'huile essentielle du Laurier**

En raison de l'insolubilité et de la volatilité des huiles essentielles, ainsi que de la nécessité de les tester à faibles concentrations, des dilutions ont été réalisées avant l'essai antimicrobien.

- **Choix du solvant de dilution :** Le diméthylsulfoxyde (DMSO) a été utilisé comme solvant de dilution. Il s'agit d'un solvant organique aprotique présentant un fort pouvoir solubilisant et dépourvu d'activité antibactérienne, ce qui permet de ne pas interférer avec l'activité de l'huile essentielle.

- **Préparation des dilutions** : Afin d'évaluer l'activité biologique de cette huile, une gamme de dilutions successives a été préparée à partir de la solution mère (**Figure 19**) :

- Une solution mère (**S1**) a été préparée à une concentration de 0,5 (1/2) en mélangeant 100 μ L d'huile essentielle avec 100 μ L de DMSO.

À partir de cette solution, des dilutions successives ont été réalisées en maintenant un volume final de 200 μ L :

- **S2** : 80 μ L de S1 + 120 μ L de DMSO : concentration 0,2 (1/5)
- **S3** : 50 μ L de S2 + 150 μ L de DMSO : concentration 0,05 (1/20).

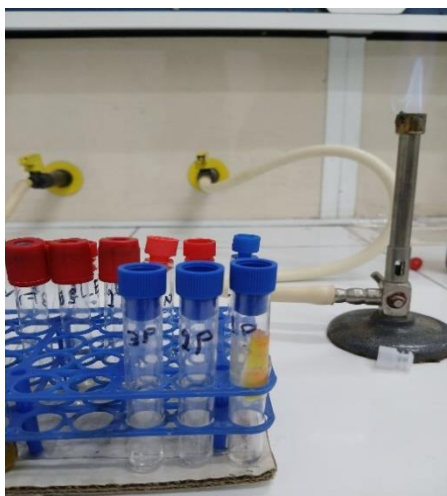


Figure 19. Préparation des dilutions de l'huile essentielle de *Laurus nobilis*.

- **Distribution des disques**

Des disques stériles de 6 mm ont été imprégnés des différentes concentrations d'huile essentielle (HE extraite et HE de grade industriel) à l'aide d'une pince stérile, puis déposés à la surface des boîtes de gélose Mueller-Hinton préalablementensemencées.

Trois disques ont été placés par boîte de 6 cm de diamètre, en respectant une distance d'environ 24 mm afin d'éviter toute interférence entre les zones d'inhibition. Les boîtes ont ensuite été incubées à l'étuve à 37 °C pendant 24 heures

- **Lecture des résultats**

Après 24 heures d'incubation, l'activité antibactérienne a été évaluée par la mesure des diamètres (en millimètres) des zones d'inhibition autour des disques à l'aide d'un pied à coulisse directement à l'extérieur des boîtes fermées afin de préserver les conditions d'asepsie (**Bolou et al., 2011**). Ce diamètre reflète le degré de sensibilité de la souche testée à l'huile essentielle étudié.

Selon **Poncea et al. (2003)**, la sensibilité des différentes souches vis-à-vis des huiles essentielles étudiées est classée selon le diamètre d'inhibition.

- Non sensible ou résistante, si : $\varnothing < 8$ mm
- Sensible si : $9\text{mm} < \varnothing < 14$ mm
- Très sensible : $15\text{ mm} < \varnothing < 19$ mm
- Extrêmement sensible si : $\varnothing \geq 20$ mm

• Antibiotogramme

L'antibiogramme a été réalisé selon la méthode de diffusion sur gélose recommandée par le CLSI (**CLSI, 2020**), à l'aide de disques antibiotiques commerciaux déposés à la surface d'une gélose Mueller-Hinton préalablement ensemencée avec les souches bactériennes étudiées.

Une suspension bactérienne standardisée à 0,5 McFarland a été préparée puis ensemencée sur des boîtes de gélose Mueller-Hinton. Des disques imprégnés d'antibiotiques ont ensuite été déposés à la surface du milieu. Après incubation à 37 °C pendant 24 heures, les diamètres des zones d'inhibition ont été mesurés en millimètres.

L'interprétation des résultats a été réalisée conformément aux recommandations du CLSI/EUCAST, permettant de classer les souches bactériennes en trois catégories : sensible (S), intermédiaire (I) ou résistante (R).

Les antibiotiques utilisés au cours de cette étude sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4. Antibiotiques utilisés pour l'antibiogramme

Code	Antibiotique
CZ	Céfazoline
IPM	Imipenem
FF	Fosfomycin
SXT	Trimethoprim + Sulfamethoxazole (Cotrimoxazole)
CN	Gentamicin
CIP	Ciprofloxacine
CTX	Cefotaxime
AMC	Amoxicilline + Clavulanate Acid (Augmentin)

6.2. Évaluation de l'activité antimicrobienne par micro-dilution

L'activité antimicrobienne ainsi que la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) des huiles essentielles (HE) a été évaluée par la méthode de microdilution en milieu liquide (Muller Hinton) sur des plaques de microtitration à 96 puits, couplée à une révélation colorimétrique au Nitro Blue Tetrazolium (NBT).

• Principe de révélation colorimétrique au Nitro Blue Tetrazolium (NBT)

La détection de la viabilité bactérienne est réalisée par une méthode colorimétrique basée sur l'utilisation du Nitro Blue Tetrazolium (NBT).

Le NBT est un sel de tétrazolum hydrosoluble, de couleur jaune et dépourvu d'activité colorée initiale. Il agit comme indicateur redox et est réduit par les cellules bactériennes métaboliquement actives ou par certaines enzymes respiratoires, conduisant à la formation d'un précipité insoluble de formazan bleu-violet (**Figure 20**). L'intensité de cette coloration reflète directement le niveau d'activité métabolique et, par conséquent, la viabilité bactérienne. Ainsi, l'apparition d'une coloration bleu-violette traduit la réduction du NBT en formazan et indique la présence de bactéries viables et actives métaboliquement. À l'inverse, l'absence de coloration (maintien d'une teinte jaune) correspond à une absence d'activité métabolique, suggérant une inhibition de la croissance bactérienne (Becerra and Albesa, 2002 ; Zhang et al., 2023).

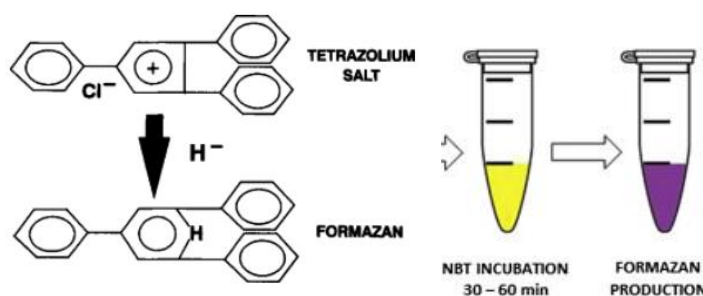


Figure 20. La réduction du nitrobleu de tétrazolum (NBT) en formazan (Tvda, 2019 ; Krozowski, 1994).

La lecture peut être réalisée visuellement, selon une approche qualitative, basée sur l'observation directe de l'apparition ou non d'une coloration.

La Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) est définie comme la plus faible concentration de l'agent antimicrobien testée pour laquelle aucune coloration bleu-violette n'est observée, ce qui correspond à une inhibition complète de l'activité métabolique bactérienne (Becerra and Albesa, 2002 ; Zhang et al., 2023).

- **Souches microbiennes et préparation de l'inoculum**

L'étude a été réalisée sur quatre souches bactériennes de référence, comprenant :

Bactéries Gram négatif : - *Escherichia coli*

- *Pseudomonas aeruginosa*

Bactéries Gram positif : - *Bacillus subtilis*

- *Staphylococcus aureus*

Les souches ont été repiquées sur un milieu de culture solide (Gélose Mueller-Hinton). Une suspension bactérienne (inoculum) a été préparée pour chaque souche dans du bouillon nutritif et ajustée à une densité optique comprise entre 0,08 et 0,1 à 600 nm, correspondant au standard 0,5 MacFarland.

- **Préparation de la solution mère d'huile essentielle**

La solution mère de l'huile essentielle a été préparée à une concentration de 5% (v/v) en mélangeant initialement un volume égal d'huile essentielle et de DMSO (100 μ L / 100 μ L) (Ratio 1:1). Après homogénéisation complète, le mélange a été complété par 1,8 ml de milieu Mueller-Hinton. Afin d'assurer la solubilisation des composés hydrophobes, le DMSO étant utilisé comme solvant).

- **Distribution et dilutions en microplaque**

Pour chaque souche bactérienne, une microplaque dédiée a été utilisée. Le volume final par puits a été fixé à 75 μ L après réalisation des dilutions successives. Toutes les conditions ont été testées en triplicat. Le premier puits (P1) contenait 150 μ L d'huile essentielle à une concentration initiale de **2,5%**, obtenue par dilution de la solution mère (5%) dans le milieu inoculé. Une série de dilutions géométriques au demi (1/2) a ensuite été réalisée afin d'obtenir une gamme décroissante de concentrations (**Figure 21**) (Mann et al., 1998; Burt, 2004).

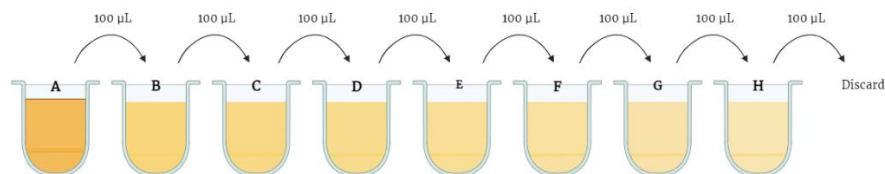


Figure 21. Une série de dilutions en cascade (two-fold)

- **Contrôles expérimentaux**

Afin de valider les résultats, plusieurs témoins ont été inclus :

- Témoin de croissance (T1) : inoculum + milieu Mueller-Hinton (viabilité bactérienne).
- Témoin solvant (T2) : inoculum + DMSO (contrôle de toxicité du solvant).
- Témoin antibiotique (T3) : inoculum + chloramphénicol (contrôle d'inhibition positive).
- Témoin de stérilité (T4/T5) : huile essentielle + milieu Mueller-Hinton sans inoculum (contrôle de contamination et d'interférence).

• Plan de microplaque

Le dispositif expérimental a été organisé selon un schéma de distribution en microplaque à 96 puits (**Figure 22**), incluant les témoins, les contrôles et les séries de dilutions des huiles essentielles en triplicat. Un puits vide a été utilisé comme séparateur entre les zones expérimentales.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	T1	T2	T3	∅	T4	H1	H1	H1	T5	H2	H2	H2
B	T1	T2	T3	∅	T4	H1	H1	H1	T5	H2	H2	H2
C	T1	T2	T3	∅	T4	H1	H1	H1	T5	H2	H2	H2
D	T1	T2	T3	∅	T4	H1	H1	H1	T5	H2	H2	H2
E	T1	T2	T3	∅	T4	H1	H1	H1	T5	H2	H2	H2
F	T1	T2	T3	∅	T4	H1	H1	H1	T5	H2	H2	H2
G	T1	T2	T3	∅	T4	H1	H1	H1	T5	H2	H2	H2
H	T1	T2	T3	∅	T4	H1	H1	H1	T5	H2	H2	H2

Figure 22. Schéma de distribution en microplaque à 96 puits.

• Incubation

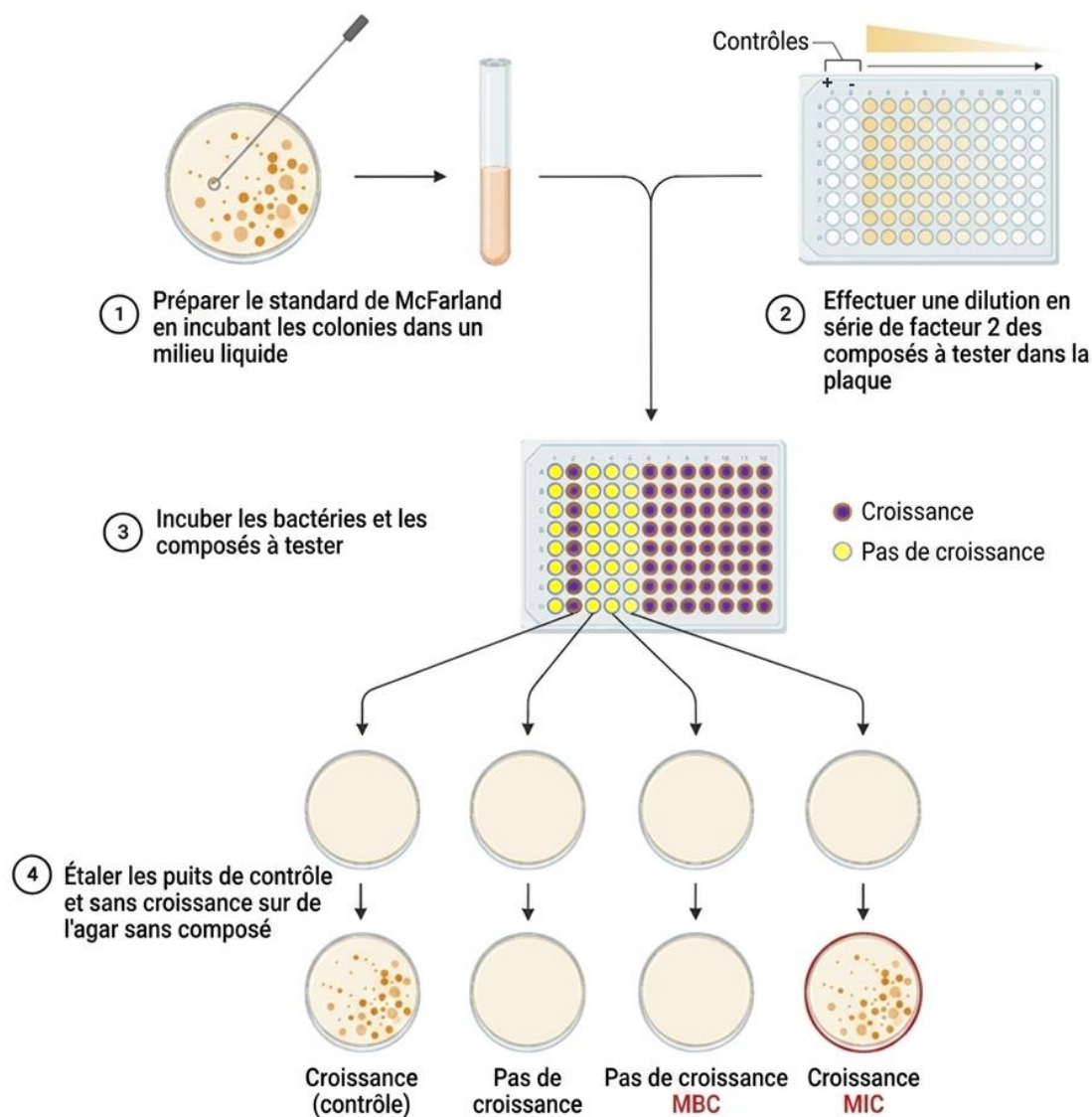
Les microplaques ont été incubées à 37 °C pendant 24 heures dans des conditions contrôlées.

• Révélation et lecture de la CMI

Après incubation, 15 µL de solution de Nitro Blue Tetrazolium (NBT) ont été ajoutés dans chaque puits. Les plaques ont ensuite été incubées à l'obscurité pendant 30 minutes à 2

heures. La présence de bactéries viables entraîne la réduction du NBT en formazan, caractérisé par une coloration bleu-violet. L'absence de coloration indique une inhibition de la croissance bactérienne (Eloff, 1998; Sarker et al., 2007).

La concentration minimale inhibitrice (CMI) est définie comme la plus faible concentration d'huile essentielle empêchant toute coloration, correspondant à l'absence de croissance visible (puits restant jaune) (Figure 23) (Wang et al., 2017).



Résultats

MIC : Concentration minimale inhibitrice. Les bactéries ne peuvent pas croître lorsqu'elles sont incubées avec le composé à tester, mais peuvent être récupérées lors de l'étalement sur de l'agar sans composé.

MBC : Concentration minimale bactéricide. Les bactéries ne peuvent pas croître lorsqu'elles sont incubées avec le composé à tester, et ne peuvent pas être récupérées lors de l'étalement sur de l'agar sans composé.

Figure 23. Représentation schématique des étapes de la méthode de microdilution en milieu liquide pour la détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI)

7. Évaluation de l'activité antioxydante des huiles essentielles

L'activité antioxydante des huiles essentielles est principalement attribuée à leurs composés volatils, capables de neutraliser les radicaux libres impliqués dans de nombreux processus pathologique. Dans ce travail, l'évaluation de l'activité antioxydante de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* L. a été réalisée in vitro par la méthode du piégeage du radical libre DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle).

• Principe du test DPPH

Cette méthode repose sur la capacité des composés antioxydants à réduire le radical libre stable DPPH•, de couleur violette, en une forme non radicalaire de couleur jaune pâle (**Figure 24**). Cette réduction entraîne une diminution de l'absorbance mesurée à 517 nm, laquelle est proportionnelle à l'activité antioxydante de l'échantillon analysé (**Mighri et al., 2010 ; Chaudhary et al., 2019**).

Plus le pouvoir de réduction de l'huile essentielle est élevé, plus son activité antioxydante est importante.

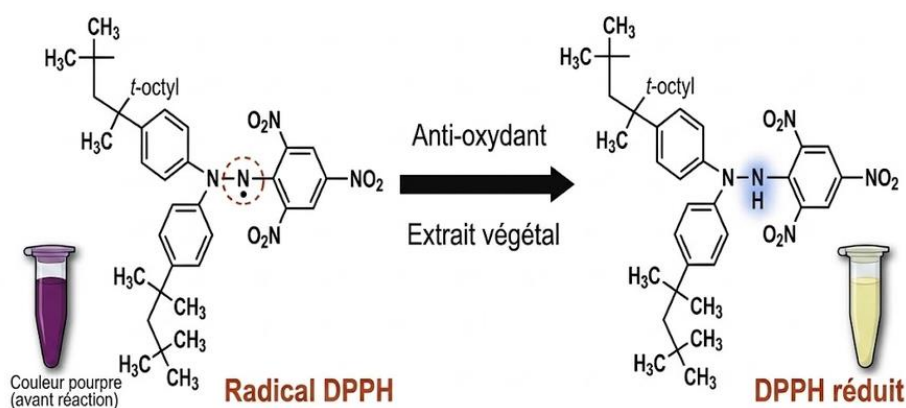


Figure 24. Le mécanisme réactionnel entre le radical libre DPPH• et un antioxydant (AH) possédant un atome d'hydrogène labile est basé sur le Transfert d'un Atome d'Hydrogène (HAT) (**Chaudhary et al., 2019**).

• Protocole expérimental

Une série de concentrations de l'huile essentielle a été préparée dans l'éthanol. Pour chaque essai, 500 µL de solution de DPPH ont été mélangés à 500 µL de la solution de l'échantillon dans un tube à essai. Un témoin a été préparé en remplaçant l'échantillon par de l'éthanol. Les mélanges ont été homogénéisés puis incubés à l'obscurité pendant 30 min à température ambiante. Après incubation, l'absorbance a été mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. L'acide ascorbique (vitamine C) et le butylhydroxytoluène (BHT) ont été utilisés comme témoins positifs de référence (**Braca et al., 2002 ; Chang, and Jang 2026**).

- **Calcul du pourcentage d'inhibition**

L'activité antioxydante a été exprimée en pourcentage d'inhibition du radical DPPH selon l'équation suivante :

$$I\% = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100$$

Où : A_0 : représente l'absorbance du témoin et A_1 : représente l'absorbance de l'échantillon.

- **Détermination de l'IC₅₀**

Les pourcentages d'inhibition obtenus ont été tracés en fonction des concentrations testées afin d'établir une courbe dose-réponse. La valeur de l'IC₅₀, correspondant à la concentration nécessaire pour inhiber 50 % du radical DPPH, a été déterminée à partir de l'équation de la droite de régression.

Une faible valeur d'IC₅₀ traduit une activité antioxydante élevée de l'échantillon étudié.

8. Évaluation de l'activité inhibitrice de l'α-amylase

- **Principe de la méthode**

L'activité inhibitrice de l'α-amylase a été déterminée selon la méthode colorimétrique à l'iode/iodure de potassium (IKI) décrite par **Zengin et al. (2014)**, avec quelques modifications. Cette méthode repose sur la capacité des extraits à inhiber l'hydrolyse de l'amidon par l'enzyme α-amylase.

L'α-amylase catalyse l'hydrolyse de l'amidon en sucres plus simples. En présence d'un inhibiteur, la dégradation de l'amidon est réduite, ce qui entraîne la persistance d'une plus grande quantité d'amidon résiduel (**Wang, et al., 2025**). Après addition de la solution d'iode/iodure de potassium (IKI), l'amidon non hydrolysé forme un complexe bleu foncé dont l'intensité est proportionnelle au pouvoir inhibiteur de l'échantillon. L'absorbance est mesurée à 630 nm.

- **Réactifs utilisés**

Les réactifs suivants ont été utilisés :

- Enzyme α-amylase (1 U) ;
- Solution d'amidon à 0,1 % ;
- Acide chlorhydrique (HCl, 1 M) ;
- Solution d'iode/iodure de potassium (IKI) ;

- Tampon phosphate salin (PBS, pH 6,9) contenant 6 mM de NaCl ;
- Méthanol (MeOH) utilisé comme solvant des extraits ;
- Acarbose utilisée comme contrôle positif.
- **Préparation des solutions**
 - Solution d'amidon (0,1 %) : La solution d'amidon a été préparée dans de l'eau distillée puis chauffée jusqu'à dissolution complète.
 - Solution de HCl (1 M) : La solution d'acide chlorhydrique 1 M a été préparée en ajoutant progressivement 4,17 mL d'HCl concentré à 45,83 mL d'eau distillée.
 - Solution IKI : La solution IKI a été préparée en dissolvant 3 g d'iodure de potassium (KI) dans 100 mL d'eau distillée, suivie de l'ajout de 127 mg d'iode moléculaire (I₂). Le mélange a été agité jusqu'à dissolution complète.
 - Tampon phosphate : Le tampon phosphate (pH 6,9) a été supplémenté avec 6 mM de NaCl, correspondant à 35,1 mg de NaCl pour 100 mL de tampon.
- **Procédure expérimentale**

L'essai a été réalisé dans des microplaques de 96 puits. Une gamme de concentrations d'huile essentielle a été obtenue par dilutions successives au facteur deux à partir d'une solution mère de 4 mg/mL. Dans chaque puits, 25 µL de l'extrait ont été mélangés à 50 µL de solution d'α-amylase (1U). Après une première incubation à 37 °C pendant 10 minutes, 50 µL de solution d'amidon à 0,1 % ont été ajoutés afin d'initier la réaction enzymatique. Le mélange réactionnel a ensuite été incubé à nouveau à 37 °C pendant 10 minutes. La réaction enzymatique a été arrêtée par addition de 25 µL d'HCl (1M), suivie de l'ajout de 100 µL de solution IKI (Zengin et al, 2014).

L'absorbance a été mesurée à 630 nm à l'aide d'un lecteur de microplaques. Toutes les analyses ont été réalisées en triplicat.

- **Contrôles expérimentaux**

Afin d'assurer la validité des résultats, plusieurs témoins ont été inclus (**Figure 25**):

- Ac (contrôle négatif) : amidon + IKI + HCl + méthanol + tampon phosphate ;
- Ae (contrôle enzymatique) : enzyme + amidon + IKI + HCl + méthanol ;
- As (échantillon testé) : enzyme + extrait + amidon + IKI + HCl ;
- Ab (blanc de l'échantillon) : extrait + IKI + tampon phosphate (sans enzyme).

L'acarbose a été utilisée comme contrôle positif de l'inhibition enzymatique.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	As ₁	As ₁	As ₁	Ab ₁	As ₂	As ₂	As ₂	Ab ₂	As ₃	As ₃	As ₃	Ab ₃
B	As ₁	As ₁	As ₁	Ab ₁	As ₂	As ₂	As ₂	Ab ₂	As ₃	As ₃	As ₃	Ab ₃
C	As ₁	As ₁	As ₁	Ab ₁	As ₂	As ₂	As ₂	Ab ₂	As ₃	As ₃	As ₃	Ab ₃
D	As ₁	As ₁	As ₁	Ab ₁	As ₂	As ₂	As ₂	Ab ₂	As ₃	As ₃	As ₃	Ab ₃
E	As ₁	As ₁	As ₁	Ab ₁	As ₂	As ₂	As ₂	Ab ₂	As ₃	As ₃	As ₃	Ab ₃
F	As ₁	As ₁	As ₁	Ab ₁	As ₂	As ₂	As ₂	Ab ₂	As ₃	As ₃	As ₃	Ab ₃
G	As ₁	As ₁	As ₁	Ab ₁	As ₂	As ₂	As ₂	Ab ₂	As ₃	As ₃	As ₃	Ab ₃
H	Ae	Ae	Ae	Ae	Ae	Ae	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac

Figure 25. Schéma de la plaque de l'activité inhibitrice de l'alpha-amylase

- **Calcul du pourcentage d'inhibition**

L'activité inhibitrice de l'α-amylase a été exprimée en pourcentage d'inhibition selon l'équation suivante :

$$I\% = \frac{(A_c - A_e) - (A_s - A_b)}{(A_c - A_e)} \times 100$$

Les valeurs d'IC₅₀, correspondant à la concentration nécessaire pour inhiber 50 % de l'activité enzymatique, ont été déterminées à partir des courbes dose-réponse obtenues (Yıldırım et al., 2025).

Chapitre 3

Résultats et discussion

1. Rendement d'extraction et caractéristiques organoleptiques de l'huile essentielle

L'hydrodistillation des feuilles de *Laurus nobilis* L. a permis d'obtenir une huile essentielle de couleur jaune claire, présentant un aspect liquide et une odeur fortement épicée caractéristique de l'espèce (**Figure 26 et Tableau 5**). La masse d'huile essentielle obtenue était de 2,079 g, correspondant à un rendement d'extraction de 0,49 %.



Figure 26. Caractéristiques organoleptiques de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* L

Tableau 5. Caractéristiques organoleptiques et rendement de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* L.

Le caractère	HE de <i>Laurus nobilis</i> L.
Odeur	Forte épicée
Couleur	Jaune claire
Aspect	Liquide
La densité	0,91
Quantité d'HE (g)	2,079
Rendement (%)	0,49

Les propriétés organoleptiques observées pour l'huile essentielle extraite étaient similaires à celles de l'huile essentielle commerciale, qui présentait également une odeur fortement épicée, une couleur jaune claire et un aspect liquide. Cette similitude suggère une bonne qualité de l'huile obtenue et confirme la présence des composés volatils caractéristiques du laurier noble.

Cependant, le rendement obtenu (**0,49 %**) s'est révélé légèrement inférieur à celui de l'huile essentielle commerciale (**0,60 %**). Cette valeur demeure néanmoins conforme aux rendements généralement rapportés dans la littérature pour cette espèce. En effet, **Bougandoura et Bendimerad (2013)** ont obtenu un rendement de **0,68 %** à partir de feuilles séchées récoltées dans la région de Tlemcen. De même, **Sahli et al. (2020)** ont enregistré un rendement plus élevé de **1,15 %** pour des feuilles provenant de la région de Béjaïa. Par ailleurs, **Flamini et al. (2007)** ont rapporté une teneur en huile essentielle de **1,13 %** en utilisant une technique d'hydrodistillation assistée par micro-ondes.

Les variations observées entre les différents rendements peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, notamment l'origine géographique du matériel végétal, les conditions édapho-climatiques, le stade physiologique des feuilles, la période de récolte, les conditions de séchage ainsi que la méthode d'extraction utilisée. En particulier, les techniques assistées par micro-ondes favorisent généralement une meilleure rupture des structures sécrétrices, conduisant ainsi à des rendements plus élevés que l'hydrodistillation conventionnelle.

Ainsi, bien que le rendement obtenu soit légèrement inférieur à celui de l'huile commerciale et à certaines valeurs rapportées dans la littérature, les caractéristiques organoleptiques similaires entre les deux huiles témoignent de la bonne qualité de l'huile essentielle extraite et de l'efficacité de la méthode employée pour l'extraction des composés aromatiques de *Laurus nobilis* L.

2. Évaluation de l'activité antibactérienne

L'activité antibactérienne de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* L. a été évaluée par la méthode de diffusion sur disque en milieu gélose et la méthode de microdilution.

La méthode de diffusion sur disque a été réalisée contre plusieurs souches bactériennes : *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *proteus mirabilis*, *klebsiella oxytoca*, *klebsiella pneumoniae*, *pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*. Deux huiles essentielles ont été étudiées : une huile essentielle extraite au laboratoire et une huile essentielle commerciale. L'activité antibactérienne a été déterminée par la mesure des diamètres des zones d'inhibition formées autour des disques imprégnés d'huile essentielle.

Par ailleurs, la méthode de microdilution a été utilisée afin de déterminer la concentration minimale inhibitrice (CMI) des huiles essentielles contre *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* et *Bacillus subtilis*.

Des antibiotiques standards ont été utilisés comme témoins de comparaison afin d'évaluer l'activité antibactérienne des huiles essentielles. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 6.

Les résultats obtenus montrent que l'activité antibactérienne varie en fonction de la souche bactérienne testée, de la méthode utilisée ainsi que de la concentration des huiles essentielles.

Tableau 6. Résultats de l'évaluation de l'activité antibactérienne des huiles essentielles extraite et commerciale par les méthodes de diffusion en milieu solide et de microdilution.

Concentration	Diamètre de zone d'inhibition														CMI		
	HE <i>L. nobilis</i> (Ext)			HE <i>L. nobilis</i> (Com)			Antibiotique								HE <i>L. nobilis</i> (Ext)	ATB	
	50%	20%	5%	50%	20%	5%	SXT	CTX	IMP	FF	CZ	AMC	CN	CIP	2,5%	Q	CH
<i>Staphylococcus aureus</i> ^{G+}	12 (S)	10 (S)	9 (S)	12 (S)	9 (S)	8 (R)	15 (I)	-	-	-	-	-	30 (S)	12 (R)	22,75 mg/ml	S	0,312%
<i>Escherichia coli</i> ^{G-}	7 (R)	<6 (R)	<6 (R)	10 (S)	9 (S)	<6 (R)	25 (S)	27 (S)	30 (S)	12 (R)	10 (R)		20 (S)	32 (S)	Pas d'inhibition	R	-
<i>proteus mirabilis</i> ^{G-}	<6 (R)	<6 (R)	<6 (R)	11 (S)	9 (S)	<6 (R)	26 (S)	32 (S)		22 (S)	10 (R)	17 (I)	18 (S)	30 (S)	-	-	-
<i>klebsiella oxytoca</i> ^{G-}	8 (R)	7 (R)	<6 (R)	10 (S)	9 (S)	7 (R)	12 (I)	30 (S)	34 (S)	14 (I)	12 (R)	<6 (R)	18 (S)	35 (S)	-	-	-
<i>klebsiella pneumonie</i> ^{G-}	9 (S)	8 (R)	7 (R)	8 (R)	7 (R)	<6 (R)	<6 (R)	25 (I)	25 (S)	11 (R)	10 (R)	<6 (R)	20 (S)	22 (S)	-	-	-
<i>pseudomonas auriginosa</i> ^{G-}	<6 (R)	<6 (R)	<6 (R)	<6 (R)	<6 (R)	<6 (R)	<6 (R)	-	24 (S)	-	-	-	<6 (R)	<6 (R)	Pas d'inhibition	R	0,625%
<i>Acinetobacter baumannii</i> ^{G-}	12 (S)	10 (S)	9 (S)	9 (S)	8 (R)	7 (R)	<6 (R)	-	14 (R)	-	-	-	<6 (R)	<6 (R)	-	-	-
<i>Bacillus Subtilis</i> ^{G+}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,75 mg/ml	S	0,156%

HE : huile essentielle ; Ext. : huile essentielle extraite ; Com. : huile essentielle commerciale ; ATB : antibiotique ; CMI : concentration minimale inhibitrice ; S : sensible ; I : intermédiaire ; R : résistante ; CZ : céfazoline ; IPM : imipénème ; FF : fosfomycine ; SXT : triméthoprim/sulfaméthoxazole (cotrimoxazole) ; CN : gentamicine ; CIP : ciprofloxacine ; CTX : céfotaxime ; AMC : amoxicilline/acide clavulanique (Augmentin®) ; CH : chloramphénicol. L'activité antibactérienne des huiles essentielles a été interprétée comme suit : résistante ($\emptyset < 8$ mm), sensible ($9 \text{ mm} \leq \emptyset \leq 14$ mm), très sensible ($15 \text{ mm} \leq \emptyset \leq 19$ mm) et extrêmement sensible ($\emptyset \geq 20$ mm). L'interprétation des diamètres d'inhibition des antibiotiques a été réalisée selon les recommandations du CA-SFM/EUCAST.

Activité antibactérienne évaluée par diffusion en milieu solide

Les résultats obtenus par la méthode de diffusion en gélose révèlent une activité antibactérienne variable de l'huile essentielle (HE) de *Laurus nobilis* extraite (Ext) et commerciale (Com) selon la souche bactérienne testée et la concentration utilisée.

• Concernant l'huile essentielle extraite (HE Ext)

À la concentration de 50%, l'HE extraite a exercé une activité inhibitrice sur la majorité des souches testées, notamment *Staphylococcus aureus* (12 mm, S), *Acinetobacter baumannii* (12 mm, S) et *Klebsiella pneumoniae* (9 mm, S). En revanche, les souches à Gram négatif telles que *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Klebsiella oxytoca* et *Pseudomonas aeruginosa* ont présenté des diamètres d'inhibition inférieurs à 6 mm, traduisant une résistance à cette concentration. La diminution de la concentration (20% et 5%) s'est accompagnée d'une réduction progressive des diamètres d'inhibition, voire d'une disparition totale de l'effet inhibiteur pour certaines souches, ce qui témoigne d'une relation dose-dépendante de l'activité antibactérienne.

• Concernant l'huile essentielle commerciale (HE Com)

L'HE commerciale s'est montrée globalement plus efficace que l'HE extraite, particulièrement à 50%, où elle a inhibé *Escherichia coli* (10 mm, S), *Proteus mirabilis* (11 mm, S), *Klebsiella oxytoca* (10 mm, S) et *Acinetobacter baumannii* (9 mm, S), des souches qui étaient résistantes à l'HE extraite à la même concentration. Cette différence d'efficacité pourrait être liée à des variations dans la composition chimique et la teneur en composés bioactifs entre les deux types d'huiles essentielles.

L'analyse comparative de l'activité antibactérienne des deux huiles essentielles de *Laurus nobilis* L. met en évidence des profils d'efficacité dépendant à la fois de la concentration et du type de bactérie. À 50% et 20%, l'huile essentielle commerciale (HE Com) présente globalement une activité plus marquée, notamment contre les bactéries à Gram négatif telles que *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis* et *Klebsiella oxytoca*, avec une conversion de certains profils résistants en sensibles, traduisant un spectre d'action plus large à ces concentrations. L'huile essentielle extraite (HE Ext), bien que légèrement moins performante sur ces souches, conserve toutefois une activité notable sur *Acinetobacter baumannii* et *Klebsiella pneumoniae*. À 5 %, la tendance s'inverse, l'HE Ext maintenant une activité antibactérienne plus stable, en particulier contre *Staphylococcus aureus* et *Acinetobacter baumannii*, alors que l'HE Com perd globalement en efficacité. Concernant les bactéries à Gram positif, notamment *Staphylococcus aureus*, les deux huiles montrent une activité comparable à 50%, tandis qu'à

faible concentration, l'HE Ext conserve un profil sensible alors que l'HE Com devient inefficace. Par ailleurs, les résultats de microdilution confirment la sensibilité de *Staphylococcus aureus* et *Bacillus subtilis* à l'HE Ext. Pour les bactéries à Gram négatif, *Pseudomonas aeruginosa* reste résistante à toutes les concentrations testées, confirmant sa résistance intrinsèque. Enfin, les données de CMI disponibles pour l'HE Ext montrent une activité inhibitrice mesurable, soulignant son efficacité à faibles doses.

Globalement, ces résultats indiquent que l'HE commerciale possède un spectre plus large à fortes concentrations, tandis que l'HE extraite présente une meilleure persistance d'activité à faible concentration, suggérant des profils complémentaires. Ces différences pourraient être liées à des variations de composition chimique, justifiant une analyse approfondie par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG-SM) afin d'identifier les composés responsables.

• Concernant les antibiotiques de référence

L'analyse comparative avec les antibiotiques montre que la ciprofloxacine (CIP) et le céfotaxime (CTX) ont présenté les diamètres d'inhibition les plus élevés pour plusieurs souches (*E. coli* : 32 mm et 27 mm respectivement ; *Proteus mirabilis* : 30 mm et 32 mm ; *Klebsiella oxytoca* : 35 mm et 30 mm). Toutefois, *Pseudomonas aeruginosa* n'a été inhibé que par l'imipénème (IMP : 24 mm, S), confirmant le profil de résistance naturelle élargie de cette espèce aux antibiotiques usuels. Les HE testées n'ont exercé aucune activité notable sur *Pseudomonas aeruginosa*, ce qui confirme la résistance intrinsèque de cette bactérie.

La comparaison des résultats obtenus avec les antibiotiques conventionnels et les huiles essentielles de *Laurus nobilis* révèle des profils d'activité complémentaires. Si les antibiotiques demeurent globalement plus puissants et plus constants dans leur action, les huiles essentielles présentent néanmoins un intérêt notable, en particulier face à certaines souches bactériennes résistantes aux traitements conventionnels.

Le cas d'*Acinetobacter baumannii* illustre particulièrement bien cette complémentarité. Cette souche, totalement résistante à l'ensemble des antibiotiques testés, s'est avérée sensible à l'huile essentielle extraite à toutes les concentrations évaluées. Cette observation suggère que les composés phytochimiques de l'huile essentielle agissent selon des mécanismes différents de ceux des antibiotiques classiques, tels que la perturbation de la membrane bactérienne ou l'inhibition de cibles enzymatiques non concernées par les β -lactamines et les fluoroquinolones,

ce qui est cohérent avec les données rapportées dans la littérature scientifique (**Bakkali et al., 2008**).

Par ailleurs, l'activité des huiles essentielles s'est révélée fortement dépendante de la concentration utilisée, notamment pour l'huile commerciale dont l'efficacité diminue sensiblement aux dilutions les plus élevées. Ce constat souligne la nécessité de déterminer avec précision les concentrations minimales inhibitrices avant d'envisager toute application thérapeutique ou prophylactique.

En définitive, bien que les huiles essentielles de *Laurus nobilis* ne puissent se substituer aux antibiotiques conventionnels, leur efficacité sur des souches multirésistantes comme *Acinetobacter baumannii* ouvre des perspectives intéressantes pour leur utilisation en tant qu'agents antimicrobiens complémentaires.

Activité antibactérienne évaluée par microdilution (CMI)

La détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI) par la méthode de microdilution a permis de quantifier avec plus de précision l'activité antibactérienne de l'HE extraite à 2,5%.

• **Pour *Staphylococcus aureus* et *Bacillus subtilis*,** une concentration minimale inhibitrice (CMI) de 22,75 mg/mL a été déterminée pour les deux souches vis-à-vis de l'huile essentielle extraite, les classant comme sensibles (S). Pour *Staphylococcus aureus*, le chloramphénicol (CH) à 0,312 % a également montré une activité inhibitrice, tandis que pour *Bacillus subtilis*, une activité a été observée avec le chloramphénicol à 0,156 %. Ces résultats confirment la sensibilité des bactéries à Gram positif aux huiles essentielles, probablement en raison de la structure de leur paroi cellulaire, plus perméable que celle des bactéries à Gram négatif. La sensibilité observée chez *Bacillus subtilis*, bactérie Gram positive sporulée, confirme les résultats obtenus chez *Staphylococcus aureus*.

• **Pour *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*,** aucune inhibition n'a été observée à la concentration testée, les deux souches étant classées résistantes (R). Pour *Pseudomonas aeruginosa*, le chloramphénicol à 0,625% a montré une activité inhibitrice. L'absence d'activité de l'HE sur ces deux souches à Gram négatif peut s'expliquer par la présence d'une membrane externe supplémentaire constituant une barrière physique efficace contre les composés hydrophobes des huiles essentielles.

Tableau 7. Synthèse comparative des profils de sensibilité (Antibiogramme, Aromatogramme et CMI)

Souche	Antibiogramme	HE Ext (Aromatogramme)	HE Com (Aromatogramme)	CMI HE Ext
<i>Staphylococcus aureus</i> ^{G+}	S (CN) / R (CIP)	S aux 3 concentrations	S à 50% et 20% R à 5%	2,5%
<i>Escherichia coli</i> ^{G-}	S majorité ATB	R toutes concentrations	S à 50% et 20%	R
<i>Proteus mirabilis</i> ^{G-}	S majorité ATB	R toutes concentrations	R à 5%	-
<i>Klebsiella oxytoca</i> ^{G-}	S plusieurs ATB	R toutes concentrations	S à 50% et 20%	-
<i>Klebsiella pneumoniae</i> ^{G-}	S (IPM, CN, CIP)	S uniquement à 50%	R toutes concentrations	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ^{G-}	S uniquement IPM	R toutes concentrations	R toutes concentrations	R
<i>Acinetobacter baumannii</i> ^{G-}	R tous ATB	S aux 3 concentrations	S uniquement à 50%	-
<i>Bacillus Subtilis</i> ^{G+}	-	-	-	2,5%

Comparaison des résultats obtenus avec les données de la littérature

Les activités antimicrobiennes de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* vis-à-vis des souches bactériennes testées ont été largement rapportées dans la littérature. **Boukhatem et al., (2017)** ont évalué l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* contre plusieurs souches bactériennes et ont mis en évidence une activité inhibitrice variable selon les microorganismes étudiés. Ils ont rapporté que l'huile essentielle de *Laurus nobilis* possède une activité antimicrobienne significative contre plusieurs souches bactériennes et fongiques. Les auteurs ont observé une action bactéricide vis-à-vis des bactéries étudiées ainsi qu'une activité fongicide contre *Candida albicans* et fongistatique contre *Saccharomyces cerevisiae*. En revanche, les souches de *Pseudomonas aeruginosa* se sont révélées résistantes à l'huile essentielle. Cette activité a été attribuée principalement à la présence de composés terpéniques, notamment le 1,8-cinéole, identifié comme constituant majoritaire de l'huile essentielle.

D'autre part, **Lucia et al. (2017)** ont montré que l'huile essentielle de *Laurus nobilis* possède une activité antimicrobienne significative contre l'ensemble des souches bactériennes testées. À une concentration de **2 µL/mL**, les diamètres d'inhibition observés étaient de 18 mm

pour *Bacillus cereus* 4313, 15,66 mm pour *Bacillus cereus* 4384, 13,33 mm pour *Staphylococcus aureus*, 16 mm pour *Escherichia coli* et 15,33 mm pour *Pseudomonas aeruginosa*, des valeurs globalement supérieures à celles obtenues avec la tétracycline à la même concentration. Les auteurs ont également rapporté des zones d'inhibition plus faibles (6,33 à 8,66 mm) à 0,4 µL, tandis que l'augmentation de la dose à 1 et 2 µL a conduit à des diamètres compris entre 13,33 et 18 mm, confirmant ainsi un effet dose-dépendant. Par ailleurs, les valeurs de CIM variaient de 0,2 à 0,8 µL/mL selon les souches, avec une plus forte sensibilité observée chez *Bacillus cereus* et une moindre sensibilité chez *Escherichia coli*.

Par ailleurs, **Ouled Taarabt et al., (2017)** ont rapporté une activité antibactérienne significative de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* contre *Staphylococcus aureus*, confirmant ainsi sa sensibilité élevée aux composés bioactifs de cette plante. Ces auteurs ont montré que cette efficacité peut varier selon les souches bactériennes testées ainsi que selon les conditions expérimentales adoptées

Taroq (2020) a montré que l'huile essentielle de *Laurus nobilis* a une activité antibactérienne variable selon les souches testées. Une forte sensibilité a été observée chez *Staphylococcus aureus*, tandis que *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* et *Proteus mirabilis* ont présenté une sensibilité modérée. En revanche, *Pseudomonas aeruginosa* s'est révélée la souche la plus résistante avec une faible inhibition. Ces résultats confirment que l'activité antibactérienne de l'huile essentielle dépend fortement de la nature de la bactérie et de sa structure cellulaire. Par ailleurs, les résultats de l'antibiogramme rapportés par **Taroq (2020)** ont mis en évidence une sensibilité variable des souches aux antibiotiques testés. *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus* ont présenté une forte sensibilité à l'imipénème, avec des diamètres d'inhibition de 37 mm et 39 mm respectivement, tandis que *Staphylococcus aureus* a également montré une bonne sensibilité à la céfotaxime (24 mm). *Klebsiella pneumoniae* et *Proteus mirabilis* ont présenté une sensibilité modérée à l'imipénème (24 mm et 22 mm). En revanche, *Pseudomonas aeruginosa* s'est révélée la souche la plus résistante, avec de faibles zones d'inhibition pour l'imipénème (12 mm) et la céfotaxime (4 mm). Globalement, l'imipénème s'est avéré l'antibiotique le plus efficace contre la majorité des souches étudiées

De même, **Goudjil (2016)** a mis en évidence une activité antibactérienne variable de l'huile essentielle de *Laurus nobilis*, avec une efficacité plus importante contre certaines bactéries telles que *Klebsiella pneumoniae*, et plus faible contre *Pseudomonas aeruginosa*.

Une sensibilité intermédiaire a également été observée chez *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*, confirmant ainsi la variabilité de l'action antibactérienne en fonction des souches bactériennes testées.

Par ailleurs l'huile essentielle du laurier de l'Argentine est très active sur des souches bactériennes de *Paenibacillus larvae* isolées à partir des rayons des ruches (Fernández, 2018). Une étude faite par Snuossi et al. (2016) a montré la capacité de l'HE du laurier Tunisien à inhiber des bactéries du genre *Staphylococcus* isolées de poissons et crustacés fréquemment consommés par les Tunisiens. En effet, l'activité antibactérienne de l'huile essentielle du laurier est peut-être attribuée aux composants majoritaires 1,8-cinéole, α -pinène et linalol ou plutôt à un effet synergique avec les composants mineurs.

De même, Guedouari et Mohamed (2016) ont identifié une CMI comprise entre 0,06 et 0,25% contre *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*, confirmant ainsi la bonne efficacité de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* L. vis-à-vis des bactéries à Gram positif et de certaines bactéries à Gram négatif. En revanche, nos résultats concordent avec ceux rapportés par Goudjil (2016), qui a montré que les souches de *Pseudomonas aeruginosa* présentent une forte résistance à cette huile essentielle. Cette faible sensibilité peut être expliquée par la structure particulière de l'enveloppe externe de cette bactérie à Gram négatif, qui constitue une barrière limitant la pénétration des composés actifs. De plus, *P. aeruginosa* est reconnue pour sa grande capacité à développer des mécanismes de résistance à de nombreux agents antimicrobiens, ce qui explique sa fréquente implication dans les infections nosocomiales.

Globalement, les résultats obtenus dans la présente étude s'inscrivent globalement en cohérence avec les données rapportées dans la littérature scientifique, tout en présentant certaines nuances liées aux conditions expérimentales et aux souches bactériennes utilisées. Ainsi, la sensibilité de *Staphylococcus aureus* à l'huile essentielle de *Laurus nobilis*, observée à toutes les concentrations testées, confirme les travaux de Boukhatem et al. (2017), Ouled Taarabt et al. (2017) et Taroq (2020), qui ont tous rapporté une activité inhibitrice significative de cette huile sur cette espèce. De même, la résistance de *Pseudomonas aeruginosa* à l'ensemble des concentrations évaluées dans notre étude est en accord avec les observations de Boukhatem et al. (2017) et Taroq (2020), qui ont identifié cette souche comme la plus réfractaire à l'action des composés phytochimiques du laurier noble, en raison notamment de la complexité de sa membrane externe. En revanche, nos résultats diffèrent de ceux de Lucia et al. (2017), qui ont rapporté des zones d'inhibition mesurables pour *Pseudomonas aeruginosa*

(15,33 mm) et *Escherichia coli* (16 mm) à une concentration de 2 µL/mL, tandis que ces deux souches se sont montrées résistantes à l'huile essentielle extraite dans notre étude. Ces divergences pourraient s'expliquer par des différences dans la composition chimique des huiles essentielles utilisées, notamment la teneur en 1,8-cinéole, en α -pinène et en linalol, identifiés comme principaux composés bioactifs responsables de l'activité antimicrobienne du laurier (Boukhatem et al., 2017 ; Snuossi et al., 2016). Par ailleurs, la sensibilité modérée de *Klebsiella pneumoniae* et de *Proteus mirabilis* rapportée par Taroq (2020) contraste avec la résistance observée pour ces souches dans notre étude, ce qui confirme que l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Laurus nobilis* est fortement influencée par la nature de la souche bactérienne, les conditions expérimentales et la variabilité intrinsèque de la composition chimique des huiles selon leur origine géographique et leur mode d'extraction.

3. Évaluation de l'activité antioxydante de l'huile essentielle de *Laurus nobilis*

Activité anti-radicalaire par la méthode DPPH

L'évaluation du pouvoir antioxydant des huiles essentielles de *Laurus nobilis* par la méthode de neutralisation du radical libre DPPH• a mis en évidence une activité inhibitrice significative et dose-dépendante pour l'ensemble des échantillons testés (**Figure 27**). En effet, une corrélation positive et progressive a été observée entre la concentration des huiles essentielles et leur taux d'inhibition du radical DPPH•, traduisant un comportement antioxydant concentration-dépendant caractéristique des extraits végétaux riches en composés terpéniques et phénoliques.

Les résultats de l'activité de neutralisation des radicaux libres DPPH•, exprimés en concentrations inhibitrices à 50% (CI₅₀), sont présentés dans le **Tableau 8**. Rappelons que la CI₅₀ représente la concentration nécessaire pour inhiber 50% des radicaux libres présents : plus cette valeur est faible, plus le pouvoir antioxydant est élevé.

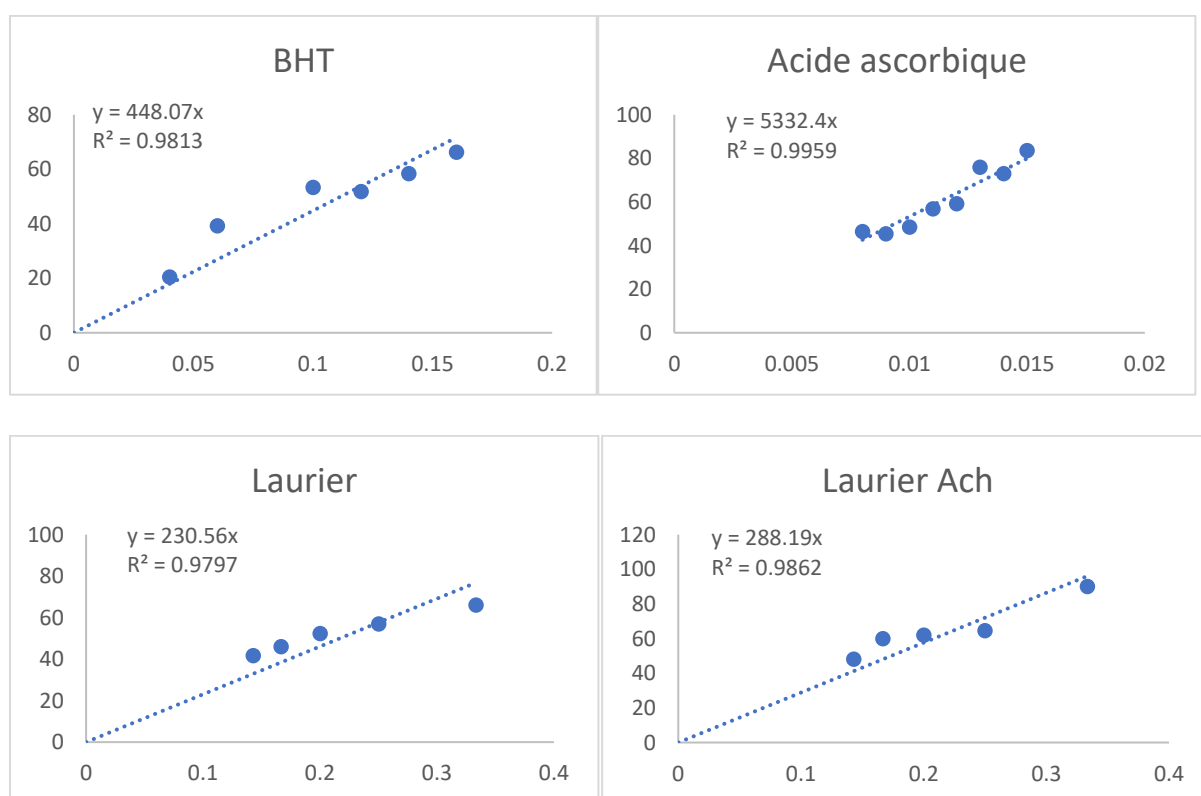


Figure 27. Courbes de régression linéaire de l'activité anti-radicalaire (DPPH•) des huiles essentielles de *Laurus nobilis* et des antioxydants de référence en fonction de la concentration.

Tableau 8. Résultats de l'activité de neutralisation des radicaux libres des huiles essentielles

testées

Substance testée	CI ₅₀ (%)	CI ₅₀ (mg/mL)
HE Laurus nobilis (Extraite)	0,217	1,975 mg/mL (1975 µg/mL)
HE Laurus nobilis (Commerciale)	0,173	1,57 mg/mL (1570 µg/mL)
Acide Ascorbique (Vitamine C)	0,00094	0,0094 mg/mL (9,4 µg/mL)
BHT (Standard synthétique)	0,0112	0,112 mg/mL (112 µg/mL)

Selon la Figure 27, Les graphiques de régression linéaire confirment et renforcent ces observations. L'ensemble des quatre substances testées présente des coefficients de détermination (R^2) élevés, compris entre **0,9797** et **0,9959**, attestant d'une excellente corrélation linéaire entre la concentration et l'activité inhibitrice du radical DPPH•, et validant ainsi la fiabilité du modèle **dose-réponse** adopté.

Selon le Tableau 8 :

L'acide ascorbique (Vitamine C) s'est révélé de loin l'antioxydant le plus puissant de l'ensemble des substances testées, avec une CI₅₀ de **9,4 µg/mL**, valeur environ **12** fois inférieure à celle du BHT et plus de **200** fois inférieure à celle des huiles essentielles. Ce résultat est attendu et cohérent avec la littérature, l'acide ascorbique étant un antioxydant naturel de référence reconnu pour son exceptionnelle capacité à céder des électrons aux radicaux libres.

Le BHT, antioxydant synthétique couramment utilisé comme standard de comparaison dans les études antioxydantes, présente une CI₅₀ de **112 µg/mL**, témoignant d'une efficacité notable mais nettement inférieure à celle de la vitamine C.

L'huile essentielle commerciale (Laurier Ach) affiche une CI₅₀ de **1570 µg/mL** (1,57 mg/mL), ce qui la positionne comme la plus active des deux huiles essentielles testées. Bien que sa CI₅₀ reste supérieure à celle du BHT et de l'acide ascorbique, son activité antioxydante demeure significative compte tenu de la complexité de sa composition chimique.

L'huile essentielle extraite (Laurier Labo) présente la CI₅₀ la plus élevée de l'ensemble des substances testées, soit **1975 µg/mL** (1,975 mg/mL), indiquant une activité antioxydante légèrement inférieure à celle de l'HE commerciale. Cette différence pourrait être attribuée à des variations dans la teneur en composés bioactifs antioxydants selon le procédé d'extraction et l'origine de la matière première.

Ces résultats démontrent que les huiles essentielles de *Laurus nobilis*, bien qu'elles n'atteignent pas l'efficacité de l'acide ascorbique ou du BHT en termes de CI_{50} , possèdent un pouvoir antioxydant réel et mesurable. La supériorité de l'HE commerciale sur l'HE extraite, aussi bien en termes de CI_{50} (1570 vs 1975 $\mu\text{g/mL}$) suggère une teneur plus élevée en composés bioactifs antioxydants dans l'huile commerciale, vraisemblablement des monoterpènes oxygénés tels que le **1,8-cinéole**, le **linalol** et l' **α -terpinéol**, dont les propriétés anti-radicalaires sont bien documentées dans la littérature.

Il convient de souligner que cette étude a évalué uniquement un mécanisme d'activité antioxydante, à savoir le transfert d'atome d'hydrogène (HAT), mesuré par le test DPPH•. Cependant, les composés phytochimiques de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* peuvent agir par plusieurs mécanismes complémentaires, ce qui peut conduire à une sous-estimation de leur potentiel antioxydant réel. En effet, ses principaux constituants, notamment les terpènes oxygénés tels que le 1,8-cinéole, le linalol, l' α -terpinéol et le terpinène-4-ol (**Caputo et al., 2017**), peuvent neutraliser les radicaux libres par transfert d'hydrogène (HAT), par transfert d'électron (SET) et par chélation des ions métalliques impliqués dans la formation de radicaux. Par ailleurs, les terpènes hydrocarbonés comme le sabinène, l' α -pinène et le β -pinène (**Caputo et al., 2017**) agissent surtout par addition radicalaire, interrompant les réactions en chaîne de peroxydation lipidique. Au-delà de ces effets directs, ces composés peuvent aussi exercer une action indirecte en modulant certaines enzymes pro-oxydantes et des voies de signalisation cellulaire comme Nrf2/Keap1, contribuant ainsi à renforcer les défenses antioxydantes endogènes et à réduire l'inflammation. Ainsi, le test DPPH• ne reflète qu'une partie de cette activité globale, et une évaluation plus complète nécessiterait l'utilisation de méthodes complémentaires telles que ABTS, FRAP et ORAC, ainsi que des approches cellulaires (**Huang et al., 2025**).

Belasli et al. (2020) ont montré que l'huile essentielle de *Laurus nobilis* possède une activité antioxydante intéressante évaluée par le test DPPH. Les auteurs ont observé une activité de piégeage des radicaux libres dépendante de la concentration, indiquant que l'augmentation de la concentration de l'huile essentielle entraîne une amélioration progressive de son pouvoir antioxydant. La valeur de CI_{50} obtenue était de **$602 \pm 5,8 \mu\text{g/mL}$** , témoignant de la capacité de l'huile essentielle à neutraliser les radicaux libres. Les auteurs ont attribué cette activité à la présence de composés bioactifs, notamment les monoterpènes oxygénés et les composés phénoliques présents dans l'huile essentielle. Ces résultats confirment le potentiel antioxydant de *Laurus nobilis* et soutiennent son utilisation comme source naturelle d'antioxydants.

Taroq (2020), dans ce contexte, les plantes étudiées (*Artemisia herba alba* Asso, *Laurus nobilis* et *Mentha piperita* L.) ont présenté une activité antioxydante variable. L'huile de laurier a enregistré une valeur EC_{50} de **14,66 $\mu\text{g/mL}$** , reflétant un pouvoir réducteur considérable par rapport aux autres échantillons. Cette activité est attribuée à sa riche composition en composés bioactifs, notamment les terpènes et les composés phénoliques, qui jouent un rôle important dans l'inhibition des réactions d'oxydation. En revanche, l'acide ascorbique demeure la référence la plus efficace en raison de sa très faible valeur IC_{50} .

Plusieurs études ont confirmé le potentiel antioxydant de l'huile essentielle de *Laurus nobilis*. Ainsi, **Snuossi et al. (2016)** ont rapporté qu'une huile essentielle de laurier originaire de Tunisie présentait une activité antioxydante efficace avec une CI_{50} de **135 $\mu\text{g/mL}$** . De même, **Boughendjioua (2017)** a montré que l'huile essentielle de *Laurus nobilis* algérienne possédait une forte activité de piégeage du radical DPPH avec une CI_{50} de **94,93 $\mu\text{g/mL}$** . Par ailleurs, **Cherrat et al. (2014)** ont observé qu'une huile essentielle marocaine de *Laurus nobilis* exerçait une activité antioxydante notable même à de faibles concentrations comprises entre **1,25 et 10 $\mu\text{g/mL}$** . En outre, **Yilmaz et al. (2013)** ont rapporté une valeur de CI_{50} de **59,2 $\mu\text{g/mL}$** pour une huile essentielle de laurier d'origine turque, traduisant une activité antioxydante élevée.

Malgré ces différences quantitatives, l'ensemble des études, y compris la nôtre, met en évidence une activité de piégeage des radicaux libres dépendante de la concentration, confirmant ainsi la capacité de l'huile essentielle de *L. nobilis* à neutraliser les espèces radicalaires. Les variations observées entre les études peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, notamment l'origine géographique du matériel végétal, les conditions pédoclimatiques, le stade phénologique de la plante, la méthode d'extraction, les conditions de conservation de l'huile essentielle ainsi que les différences de composition chimique, en particulier la teneur en monoterpènes oxygénés et en composés phénoliques, reconnus comme les principaux responsables de l'activité antioxydante.

4. Évaluation de l'activité anti- α -amylase

L'activité inhibitrice de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* vis-à-vis de l' α -amylase a été évaluée à différentes concentrations afin d'explorer son potentiel antidiabétique. L'acarbose, un inhibiteur de référence de l' α -amylase, a été utilisée comme contrôle positif. Les résultats obtenus sont présentés dans le **Tableau 9**.

Tableau 9. : l'activité inhibitrice de l' α -amylase de l'huile essentielle et de l'acarbose comme un contrôle positif.

	Concentration ($\mu\text{g/ml}$)	Huile essentielle	Acarbose
Pourcentage d'inhibition (%)	3200	$18,69 \pm 0,91$	/
	1600	$18,31 \pm 1,25$	/
	800	$14,25 \pm 0,61$	$91,61 \pm 4,27$
	400	$8,57 \pm 0,35$	$84,52 \pm 3,47$
	200	$6,13 \pm 0,37$	$73,24 \pm 1,89$
	100	$5,94 \pm 0,04$	$57,74 \pm 2,77$
	50	$5,92 \pm 0,15$	$40,61 \pm 2,83$
	25	/	$25,44 \pm 3,47$
	12,5	/	$14,59 \pm 1,05$
	CI ₁₀	$493,11 \pm 21,42$	/
	CI ₅₀	>3200	$73,18 \pm 2,15$

Les résultats présentés dans le **Tableau 9** montrent que l'huile essentielle étudiée possède une activité inhibitrice vis-à-vis de l' α -amylase, bien que cette activité demeure relativement faible. En effet, le pourcentage d'inhibition augmente globalement avec l'augmentation de la concentration de l'huile essentielle, passant de $5,92 \pm 0,15 \%$ à $50 \mu\text{g/ml}$ à $18,69 \pm 0,91 \%$ à $3200 \mu\text{g/ml}$. Cette évolution suggère une relation dose-dépendante, indiquant que l'effet inhibiteur de l'huile essentielle est influencé par sa concentration.

Toutefois, malgré cette augmentation progressive, les pourcentages d'inhibition enregistrés restent modestes, puisque même à la concentration la plus élevée testée ($3200 \mu\text{g/ml}$), l'inhibition ne dépasse pas **20 %**. Cette faible activité est également confirmée par la valeur de la CI₅₀ ($> 3200 \mu\text{g/ml}$), ce qui signifie qu'une concentration supérieure à $3200 \mu\text{g/ml}$ serait nécessaire pour inhiber **50%** de l'activité enzymatique. Selon la classification généralement admise, les extraits ou huiles essentielles présentant une CI₅₀ élevée sont considérés comme de faibles inhibiteurs de l' α -amylase.

En comparaison avec l'**acarbose**, utilisée comme contrôle positif et reconnue comme un puissant inhibiteur de l' α -amylase, l'huile essentielle étudiée présente une efficacité nettement inférieure. Cette différence peut être attribuée à la nature complexe des huiles essentielles, constituées d'un mélange de composés volatils dont tous ne possèdent pas une activité inhibitrice sur l'enzyme. À l'inverse, l'**acarbose** est une molécule spécifiquement conçue pour inhiber l' α -amylase et retarder l'hydrolyse des glucides, ce qui explique son activité inhibitrice beaucoup plus importante.

Les résultats obtenus dans la présente étude sont moins importants que ceux rapportés par **Jaradat et al. (2023)**, qui ont montré que l'huile aromatique de *Laurus nobilis* possède une activité inhibitrice marquée contre l' α -amylase avec une CI_{50} de $60,25 \pm 1,25 \mu\text{g/ml}$, tandis que l'**acarbose** a présenté une CI_{50} de $28,18 \pm 1,22 \mu\text{g/ml}$. De même, **Trifan et al. (2021)** ont rapporté une activité inhibitrice de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* équivalente à $1,29 \pm 0,13 \text{ mmol équivalents acarbose/g}$ d'huile essentielle. Par ailleurs, **Murshed et al. (2025)** ont observé une activité inhibitrice encore plus importante pour les extraits méthanoliques de *Laurus nobilis*, exprimée par une valeur de $0,586 \pm 0,015 \text{ mmol équivalents acarbose/g}$ d'extract.

Les différences observées entre notre étude et celles rapportées dans la littérature peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, notamment les variations de la composition chimique de l'huile essentielle liées à l'origine géographique de la plante, aux conditions climatiques, au stade phénologique, à la période de récolte ainsi qu'aux méthodes d'extraction utilisées. En outre, les différences dans les protocoles expérimentaux, les concentrations testées et les modes d'expression des résultats peuvent également influencer l'activité inhibitrice observée. Enfin, la richesse en certains composés bioactifs, notamment les monoterpènes oxygénés et les composés phénoliques, pourrait jouer un rôle déterminant dans l'inhibition de l' α -amylase.

Ainsi, bien que l'huile essentielle étudiée présente une certaine capacité à inhiber l' α -amylase, son effet reste limité comparativement au médicament de référence. Ces résultats suggèrent que cette huile essentielle ne constitue pas un inhibiteur puissant de l' α -amylase, mais elle pourrait néanmoins contribuer, en association avec d'autres mécanismes biologiques.

Conclusion

Conclusion

Les résultats de cette étude confirment que l'huile essentielle extraite des feuilles du laurier noble (*Laurus nobilis*) possède une activité antibactérienne et antioxydante, soulignant l'importance biologique de ses composés actifs. Les souches bactériennes testées ont présenté différents degrés de sensibilité à l'huile essentielle, et le test DPPH a démontré sa capacité considérable à neutraliser les radicaux libres.

L'étude a débuté par l'extraction d'huile essentielle des feuilles de laurier noble (*Laurus nobilis*) par hydrodistillation, avec un rendement de 0,49 %. Cette valeur diffère de celles obtenues dans certaines études antérieures, ce qui peut s'expliquer par l'influence de plusieurs facteurs, notamment les conditions climatiques, le type de sol, la région géographique, le stade phénologique de la plante et les méthodes de séchage et d'extraction utilisées. L'huile extraite a également été comparée à une huile essentielle commerciale présentant un rendement de 0,6 %. Les résultats ont révélé des différences d'activité biologique attribuables à des variations de composition chimique et à la proportion de composés actifs. Les tests réalisés ont démontré que l'huile de laurier noble possède des propriétés antibactériennes et antioxydantes, confirmant ainsi son potentiel en tant que source naturelle de composés bioactifs importants pour les industries pharmaceutique et agroalimentaire.

L'activité antibactérienne de l'huile essentielle a été étudiée par la méthode de diffusion sur disque, permettant d'évaluer son effet sur sept souches bactériennes Gram-positives et Gram-négatives. Les résultats ont montré une sensibilité variable à l'huile essentielle. L'étude a également indiqué que l'efficacité de l'huile était concentration-dépendante : les diamètres des zones d'inhibition les plus importants ont été observés à la dilution la plus faible, et diminuaient progressivement avec l'augmentation de la dilution. Ces résultats suggèrent que l'activité antibactérienne de l'huile essentielle augmente avec sa concentration, confirmant ainsi son efficacité à inhiber la croissance des souches bactériennes testées.

La comparaison des résultats de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle avec les tests de sensibilité aux antibiotiques a révélé une différence de réponse des souches bactériennes étudiées. Certaines souches ont présenté une résistance à certains antibiotiques testés, tandis que d'autres ont montré des degrés variables de sensibilité à l'huile essentielle. Ces résultats suggèrent que l'huile essentielle de laurier noble possède une activité antibactérienne qui pourrait en faire une source naturelle prometteuse de composés bioactifs, notamment contre les souches présentant une sensibilité réduite à certains antibiotiques conventionnels.

Conclusion

L'activité antioxydante de l'huile essentielle extraite des feuilles de laurier noble a été évaluée par le test DPPH afin de mesurer sa capacité à piéger les radicaux libres. Les résultats ont montré que l'huile essentielle possède une activité antioxydante qui augmente avec la concentration, les taux d'inhibition atteignant progressivement des valeurs élevées aux concentrations testées les plus importantes. L'huile disponible dans le commerce a également démontré une activité antioxydante légèrement supérieure à celle de l'huile extraite en laboratoire, tandis que l'activité de la vitamine C et du BHT est restée celle des témoins. Ces résultats confirment que l'huile essentielle de laurier noble est une source prometteuse de composés naturels capables de neutraliser les radicaux libres et de réduire le stress oxydatif.

Références bibliographiques

Références

1. Aboughe Angone, S., Aworet Samseny, R. R. R., & Eyele Mve Mba, C. (2015). Quelques propriétés des huiles essentielles des plantes médicinales du Gabon. *Phytothérapie*, 13(5), 283-287.
2. Ajmal, M., Nijabat, A., Sajjad, I., et al. (2025). Evaluation of basil essential oils for antifungal and anti-aflatoxigenic activity against *Aspergillus flavus*. *Scientific Reports*, 15(1), 6168.
3. Alejo-Armijo, A., Altarejos, J., & Salido, S. (2017). Phytochemicals and biological activities of laurel tree (*Laurus nobilis*). *Natural product communications*, 12(5), 1934578X1701200519.
4. Alioune. (2015). Etude De L'extraction Du Limonène À Partir Des Écorces D'orange THESE Doctora, université mouloud mammeri tizi ouzou, 167 p.
5. Antolovich, M., Prenzler, P. D., Patsalides, E., McDonald, S., & Robards, K. (2002). Methods for testing antioxidant activity. *Analyst*, 127(1), 183–198.
6. Arbustes ou arbrisseau à couronne, large et compacte ; atteint 15 m de haut (Geerts et al., 2002).
7. Arumugam, G., Swamy, M. K., & Sinniah, U. R. (2016). *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng: Botanical, phytochemical, pharmacological and nutritional significance. *Molecules*, 21(3), 369. <https://doi.org/10.3390/molecules21040369>
8. Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils: A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475.
9. Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products. *Food Chemistry*, 99(1), 191–203.
10. Ballabio, R., & Goetz, P. (2010). Huile de graine/fruit de laurier *Laurus nobilis* L., *Laurus azorica* (Seub.) Franco, *Laurus novocanariensis* Rivas Mart., Lousã, Fern. Prieto, E. Dias, JC Costa et C. Aguiar. *Phytothérapie*, 8(2), 141-144.
11. Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibensouda, S. K. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(2), 71–79.
12. Barla, A. ; Topçu, G. ; Oksuz, S. ; Tumen, G. ; Kingston D.G.I. (2007). Identification of cytotoxic sesquiterpenes from *Laurus nobilis* L. *Food Chemistry*.
13. Baser, K. H. C., & Buchbauer, G. (2009). *Handbook of essential oils: Science, technology, and applications*. CRC Press.
14. Becerra, M. C., & Albasa, I. (2002). Oxidative stress induced by ciprofloxacin in *Staphylococcus aureus*. *Biochemical and biophysical research communications*, 297(4), 1003-1007.
15. Belasli, A., Ben Miri, Y., Aboudaou, M., Aït Ouahioune, L., Montañes, L., Ariño, A., & Djenane, D. (2020). Antifungal, antitoxigenic and antioxidant activities of the essential oil from laurel (*Laurus nobilis* L.): Potential use as wheat preservative. *Food Science & Nutrition*, 8(9), 4717–4729.
16. Beloued A., 2005. *Plantes médicinales d'Algérie*, 5ème édition. Office des publications universitaires. Alger. 124p.
17. Beloued, A. (2003). *Plantes médicinales d'Algérie*. Alger: Office des publications universitaires.
18. Bendahou M., Benyoucef M., Benkada D., Soussa Elisa M.B.D., Galvao E.L., Marque M.M.O., Muselli A., Desjobert J.M., Bernardini A.F., Costa J. (2007). Influence of the processus extraction on essential oil of *Origanum glandulosum*. *Journal of applied sciences* 7(8): 1152-1157
19. Bendjelali B., Tantaoui E.A., EsmailiAlaoui M. (1986). Méthodes d'études des propriétés antiseptiques des huiles essentielles par contact direct en milieu gélosé. *Plantes Médicinales et Phytothérapie* 20: 155-167.
20. Bhavaniramy, S., Vishnupriya, S., Al-Aboody, M. S., et al. (2019). Role of essential oils in food safety: Antimicrobial and antioxidant applications. *Grain & Oil Science and Technology*, 2, 49–55.
21. Botineau M, Pelt J., 2015. *Guide des plantes à fruits charnus comestibles et toxiques*. Paris: Ed. Tec&Doc; 320 p.
22. Bougandoura, N., & Bendimerad, N. (2013). Evaluation de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* L. et *Laurus nobilis* L. *African Journal of Food Science*, 7(6), 101–107.

Références bibliographiques

23. Boughendjioua Hicham (<https://asjp.cerist.dz/en/article/82296>), (2019). Activité Antifongique De L'huile Essentielle Extraite à Partir Des Feuilles De Citrus Reticulata, Revue Nature et Technologie (<https://asjp.cerist.dz/en/PresentationRevue/47>) Volume 11, Numéro 1, Pages 54-57.
24. Boughendjioua, H. (2017). Propriétés antifongiques et antioxydantes efficaces de l'huile essentielle extraite des feuilles de *Laurus nobilis* L. sauvage d'Algérie. *International Journal of Biosciences*, 11(4), 164–172.
25. Boukhatem, M. N., Miliani, A., & Saidi, F. (2017). Chemical composition and antimicrobial activity of the Algerian *Laurus nobilis* essential oil. *Algerian Journal of Natural Products*, 5(2), 507–514.
26. Boumediou, A. S. M. A., & Addoun, S. (2017). Étude ethnobotanique sur l'usage des plantes toxiques, en médecine traditionnelle, dans la ville de Tlemcen (Algérie). Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de docteur en pharmacie, Département de Pharmacie, University of Tlemcen Chetouane, Algeria, 119
27. Bouyahya, A., Bakri, Y., Et-Touys, A., Talbaoui, A., Khouchlaa, A., Charfi, S., ... & Dakka, N. (2017). Résistance aux antibiotiques et mécanismes d'action des huiles essentielles contre les bactéries. *Phytothérapie*, 1-11.
28. Braca, A., C. Sortino, M. Politi, I. Morelli, and J. Mendez, Antioxidant activity of flavonoids from *Licania licaniaeflora*. *Journal of Ethnopharmacology*, 2002. 79(3): p. 379-381.
29. Bruneton J., 1993. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales . 2Edition, Université de paris sud, France, pp .389-617.
30. Burt, S. (2004). "Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review." *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223-253.
31. CA-SFM/EUCAST Recommandations 2024 Comité de l'Antibiogramme de la Société Française de Microbiologie. Recommandations CA-SFM/EUCAST pour l'interprétation des antibiogrammes.
32. Caputo, L., Nazzaro, F., Souza, L. F., Aliberti, L., De Martino, L., Fratianni, F., ... & De Feo, V. (2017). *Laurus nobilis*: Composition of essential oil and its biological activities. *Molecules*, 22(6), 930.
33. Carson, C. F., Hammer, K. A., & Riley, T. V. (2006). *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil: A review of antimicrobial and other medicinal properties. *Clinical Microbiology Reviews*, 19(1), 50–62.
34. Chang, T. C., & Jang, H. D. (2026). Association of Bioactive Compounds With Antioxidant and Antimicrobial Activities of Allium Extracts Prepared With Commercial Rice Wines and Kaoliang Liquors. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2026(1), 2450595.
35. Chaudhary, P., Ahmad, S., & Khan, N. A. (2019). Isolation and characterization of volatile oil by GC-MS analysis and screening of in vitro antioxidant potential of hydroalcoholic extracts of some indigenous plants of northern India in rodents. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 12(4), 1867-1880.
36. Cherrat, L., Espina, L., Bakkali, M., García-Gonzalo, D., Pagán, R. et Laglaoui, A. (2014). Composition chimique et propriétés antioxydantes des huiles essentielles de *Laurus nobilis* L. et de *Myrtus communis* L. du Maroc et évaluation de leur activité antimicrobienne, utilisées seules ou en association pour la conservation des aliments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6), 1197-1204.
37. Chouhan, S., Sharma, K., & Guleria, S. (2017). Antimicrobial activity of some essential oils—Present status and future perspectives. *Medicines*, 4(3), 58.
38. Clinical and Laboratory Standards Institute. (2020). Performance standards for antimicrobial susceptibility testing (30th ed.). CLSI supplement M100
39. CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute) – Norme M07 (11ème/12ème édition) : "Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Grow Aerobically".
40. CLSI, Normes de performance pour les tests de sensibilité aux antimicrobiens sur disque, Norme approuvée, 7e éd., document CLSI M02-A11. Clinical and Laboratory Standards Institute, 950 West Valley Road, Suite 2500, Wayne, Pennsylvanie 19087, États-Unis, 2012.
41. Cushnie, T. P. T., & Lamb, A. J. (2011). Recent advances in understanding the antibacterial properties of flavonoids. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 38(2), 99–107.
42. Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313–7352.
43. Dashtian, K., Kamalabadi, M., Ghoorchian, A., Ganjali, M. R., & Rahimi-Nasrabadi, M. (2024). Integrated supercritical fluid extraction of essential oils. *Journal of Chromatography A*, 1733, 465240.

Références bibliographiques

44. Davidson, P. M. (1997). Chemical preservatives and natural antimicrobial compounds. In *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers*.
45. Delattre J., Therond P. & Bonnefont-Rousselot D. (2005). Espèces réactives l'oxygène, antioxydants et vieillissement. In : *Radicaux libres et stress oxydants. Aspects biologiques et pathologiques*. chap, 10 : 281-309.
46. Demir, V. ; Gunhan, T.; Yagcioglu, A.K; Degirmencioglu, A. (2004). Mathematical Modelling and the Determination of Some Quality Parameters of Airdried Bay Leaves.
47. Dorman, H.J.D. et Deans, S.G. 2000. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of applied microbiology*, 88(2) : 308-316
48. Edris, A. E. (2007). Pharmaceutical and therapeutic potentials of essential oils and their individual volatile constituents: A review. *Phytotherapy Research*, 21(4), 308–323.
49. El Haib. (2011). Abderrahim. Valorisation de terpènes naturels issus de plantes marocaines par transformations catalytiques. Diss. Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier, 243 P.
50. El kalamouni, C. ; Raynaud, C. ; Talou, T. (2010). Design of an Artificial Crushing Finger Device for Rapid Evaluation of Essential Oils from Aromatic plants.
51. El-Said, H., Ashgar, S. S., Bader, A., et al. (2021). Essential oil analysis and antimicrobial evaluation of three aromatic plant species growing in Saudi Arabia. *Molecules*, 26, 959.
52. El-Shemy, H. (Ed.). (2020). *Essential Oils: Oils of Nature*. IntechOpen.
53. Eloff, J. N. (1998). "A sensitive and quick microplate method to determine the minimal inhibitory concentration of plant extracts." *Planta Medica*, 64(08), 711-713.
54. EUCAST (European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing)
55. Ezzariga, N., Moukal, A., Asdadi, A., et al. (2025). Evaluation of the antimicrobial activity of 20 essential oils and their combinations on bacterial and fungal strains. *Cureus*, 17(2), e79499.
56. Favier A. (1997). Le stress oxydant: intérêt de sa mise en évidence en biologie médicale et problèmes posés par le choix d'un marqueur. *Ann Biol Clin*, 55(1): 9-16.
57. Ferhat, Z. Houacine, S. et Yessad, M. (2018). Huiles essentielles de *Laurus nobilis* L. et de *Foeniculum vulgare* Mill : Composition chimique et activités antimicrobienne et antioxydante, 19-30.
58. Fernández, N.J.; Damiani, N.; Podaza, E.A.; Martucci, J.F.; Fasce, D.; Quiroz, F.; Meretta, P.E.; Quintana, S.; Eguaras, M.J.; Gende, L.B. *Laurus nobilis* L. Extracts against *Paenibacillus* larvae : Antimicrobial activity, antioxidant capacity, hygienic behavior and colony strength. *Saudi J. Biol. Sci.* 2018.
59. Fiorini C., David B., Fouraste I., Vercauteren J., 1998. Acylated kaempferol glycosides from *Laurus nobilis* leaves. *Phytochemistry*. 47: 821–824.
60. Firuzi, O., Miri, R., Tavakkoli, M., & Saso, L. (2011). Antioxidant therapy: Current status and future prospects. *Current Medicinal Chemistry*, 18(25), 3871–3888.
61. Flamini, G., M. Tebano, P.L. Cioni, L. Ceccarini, A.S. Ricci, and I. Longo, Comparison between the conventional method of extraction of essential oil of *Laurus nobilis* L. and a novel method which uses microwaves applied in situ, without resorting to an oven. *J Chromatogr A*, 2007. 1143(1-2): p. 36-40.
62. Geerts P., Rammeloo J., Van Cauteren G., 2002. *Laurus nobilis* : le livre du laurier. Gand: Ed. Ludion; 131 p.
63. Goudjil, M. B. (2016). Thèse de doctorat : Composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydante de trois plantes aromatiques. UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA .
64. Guba, R. (2001). Toxicity myths essential oils and their carcinogenic potential. *International Journal Of Aromatherapy*, 11(2), 76-83. [https://doi.org/10.1016/s0962-4562\(01\)80021-7](https://doi.org/10.1016/s0962-4562(01)80021-7)
65. Guedouari, R., & Mohamed, N. (2016). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of *Laurus nobilis* leaves from Algeria. *Asian Journal of Chemistry*, 28(9), 2069–2072.
66. Gulluce, M., Sahin, F., Sokmen, M., et al. (2007). Antimicrobial and antioxidant properties of the essential oils and methanol extract from *Mentha longifolia* L. ssp. *longifolia*. *Food Chemistry*, 103(4), 1449–1456.
67. Gyawali, R., & Ibrahim, S. A. (2014). Natural products as antimicrobial agents. *Food Control*, 46, 412–429.
68. Gómez, X., Sanon, S., Zambrano, K., Asquel, S., Bassantes, M., Morales, J. E., ... & Caicedo, A. (2021). Key points for the development of antioxidant cocktails to prevent cellular stress and damage caused by reactive oxygen species (ROS) during manned space missions. *npj Microgravity*, 7(1), 35.

Références bibliographiques

69. Hammer, K. A., & Carson, C. F. (2011). Antibacterial and antifungal activities of essential oils. In *Lipids and Essential Oils as Antimicrobial Agents*.
70. Hammer, K. A., Carson, C. F., & Riley, T. V. (1999). Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*, 86, 985–990.
71. Han, M., Lee, D., Lee, S. H., & Kim, T. H. (2021). Oxidative stress and antioxidant pathway in allergic rhinitis. *Antioxidants*, 10(8), 1266.
72. Hao, J., Pei, Y., Dong, N., Sun, Y., Zhou, Y., Li, Q., Zhou, X., & Liu, H. (2025). Separation of the active components from the residue of *Schisandra chinensis* via an ultrasound-assisted method. *Ultrasonics Sonochemistry*, 114, 107241.
73. Hayes, A. J., & Markovic, B. (2003). Toxicity of Australian essential oil *Backhousia citriodora*. *Food and Chemical Toxicology*, 41, 1409–1416.
74. Huang, Y., Ebrahimi, H., Berselli, E., Foti, M. C., & Amorati, R. (2025). Essential Oils as Antioxidants: Mechanistic Insights from Radical Scavenging to Redox Signaling. *Antioxidants*, 15(1), 37.
75. Hussain, A. I., Anwar, F., Sherazi, S. T. H., & Przybylski, R. (2008). Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of basil (*Ocimum basilicum*) essential oils depends on seasonal variations. *Food Chemistry*, 108(3), 986–995.
76. Hyldgaard, M., Mygind, T., & Meyer, R. L. (2012). Essential oils in food preservation: Mode of action, synergies, and interactions. *Frontiers in Microbiology*, 3, 12.
77. Irkin, R., & Korukluoglu, M. (2009). Effectiveness of *Cymbopogon citratus* essential oil to inhibit growth of fungi and yeasts. *Journal of Medicinal Food*, 12, 193–197.
78. Iserin P., 2001. *Larousse des plantes medicinales: Identification, préparation, soins*. Ed. Larousse: 10p.225-226.
79. Jaradat, N., Abualhasan, M., Hawash, M., Qadi, M., Al-Maharik, N., Abdallah, S., ... & Alshahatit, S. (2023). Chromatography analysis, in light of vitro antioxidant, antidiabetic, antiobesity, anti-inflammatory, antimicrobial, anticancer, and three-dimensional cancer spheroids' formation blocking activities of *Laurus nobilis* aromatic oil from Palestine. *Chemical and biological technologies in agriculture*, 10(1), 25.
80. Karnan, S., Ajaydesouza, V., Gunasekar, G., Kathiravan, P., & Shankar, G. S. (2024). Enfleurage: A traditional method for extraction of aroma and other essential oils from flowers. In *Proceedings of the 3rd International Uludag Scientific Research Congress* (p. 1053). International Science and Art Research Center.
81. Katzung, B. G. (2018). *Basic and Clinical Pharmacology* (14th ed.). McGraw-Hill.
82. Kehili, M., Choura, S., Zammel, A., Allouche, N., & Sayadi, S. (2018). Oxidative stability of refined olive and sunflower oils supplemented with lycopene-rich oleoresin from tomato peels industrial by-product, during accelerated shelf-life storage. *Food Chemistry*, 246, 295-304.
83. Kherboubi, H., & Hamel, F. Z. (2022). L'intérêt de l'aromathérapie dans le traitement de l'anxiété préopératoire (Mémoire de fin d'étude de docteur en pharmacie). Université de Blida 1.
84. Kivçak B., Mert T., 2002. Preliminary evaluation of cytotoxic properties of *Laurus nobilis* L. leaf extracts. *Fitoterapia*. 73: 242-243.
85. Korichi, N., & Khimoud, F. (2024). Effet de l'huile essentielle de thym (*Thymus vulgaris*) sur le développement du *Verticillium dahliae* (agent pathogène de la verticilliose) (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
86. Krozowski, Z. (1994). Methods for Estimating 11 β -Hydroxysteroid Dehydrogenase Activity. In *Methods in Neurosciences* (Vol. 22, pp. 67-76). Academic Press.
87. Lamarti, A , BADO, A., DEFFIEUX, G et CARDE, J.-P. (1994). BIOGÉNÈSE DES MONOTERPÈNES () II - La chaîne isoprénique, *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 1994, 133, 79 – 99.
88. Lang, G., & Buchbauer, G. (2012). A review on recent research results on essential oils as antimicrobials and antifungals. *Flavour and Fragrance Journal*, 27, 13–39.
89. Liang, N., & Kitts, D. D. (2014). Antioxidant property of coffee components: Assessment of methods that define mechanisms of action. *Molecules*, 19, 19180–19208.
90. Lis-Balchin, M. (2002). *Aromatherapy Science: A Guide for Healthcare Professionals*.

Références bibliographiques

91. Luchsinger, J. A., & Mayeux, R. (2007). Adiposity and Alzheimer's disease. *Current Alzheimer Research*, 4(2), 127-134.
92. Léonor Duriot, (2016). Caractérisation moléculaire et enzymatique d'une HCT impliquée dans la biosynthèse de dérivés d'acide caféoyl-quinine chez *Ipomoea batatas*. Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, Université de Lorraine, INRA.
93. López-Zambrano, V. M., Dueñas-Rivadeneira, A. A., Zambrano-Veliz, J. D., Cedeño-Palacios, C. A., & Delgado-Demera, M. H. (2021). Biotechnological Applications of Essential Oils: Post-harvest and Food Preservation. In *Innovations in Biotechnology for a Sustainable Future* (pp. 59-82). Cham: Springer International Publishing.
94. Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., & Stahl, D. A. (2018). *Brock Biology of Microorganisms* (15th ed.). Pearson.
95. Mann, C. M., & Markham, J. L. (1998). "A new method for determining the minimum inhibitory concentration of essential oils." *Journal of Applied Microbiology*, 84(4), 538-544.
96. Maurya, S., Kushwaha, A. K., & Singh, G. (2013). Biological significance of spicy essential oils. *Advances in Natural Science*, 6, 84-95.
97. Megawati, F. D., Sediawan, W. B., & Hisyam, A. (2019). Kinetics of mace (*Myristica arillata*) essential oil extraction using microwave assisted hydrodistillation: Effect of microwave power. *Industrial Crops and Products*, 131, 315-322.
98. Melghid Imène et M'cili Marwa. Le rôle des plantes médicinales dans la prévention contre les dommages oxydatifs. Mémoire de Master en Biochimie de la Nutrition, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université des Frères Mentouri Constantine, 2019/2020. 111 p.
99. Menaceur, F. (2015). Contribution à l'étude phytochimique et biologique de l'erigeron, du fenouil commun, de la lavande et du genévrier. Thèse de doctorat, école nationale supérieure agronomique El-Harrach –Alger : 189 p.
100. Merabet G. (2018). Thèse de doctorat : Huiles essentielles de trois espèces d'Eucalyptus d'Algérie composition et activité acaricide (*Varroa destructor*). Université des frères Mentouri constantine.
101. Migdal, C., & Serres, M. (2011). Espèces réactives de l'oxygène et stress oxydant. *médecine/sciences*, 27(4), 405-412.
102. Mighri, H., Hajlaoui, A., Akrou, H., Najja, and M. Neffati, Antimicrobial and antioxidant activities of *Artemisia herba-alba* essential oil cultivated in Tunisian arid zone. *Comptes Rendus Chimie*, 2010. 13(3): p. 380-386
103. Miguel, M. G. (2010). Antioxidant and anti-inflammatory activities of essential oils: A short review. *Molecules*, 15(12), 9252-9287.
104. Mota, A. S., Martins, M. R., Arantes, S., et al. (2015). Antimicrobial activity and chemical composition of the essential oils of Portuguese *Foeniculum vulgare*. *Natural Product Communications*.
105. Mounira, G. M. (2024). Essential oils and their bioactive molecules: recent advances and new applications. *Essential Oils-Recent Advances, New Perspectives and Applications*.
106. Murshed, M., Al-Tamimi, J., & Al Quraishy, S. (2025). In vitro comparative study of enzyme inhibitory properties of herbal plants and their phenolic, tannin, and flavonoid content as natural inhibitors in public health. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 17(4), 77-87.
107. Myose M., Paris R., 1976. Précis des matières médicales. Ed Masson. 161-162p.
108. Naccari, C., Ginestra, G., Micale, N., Palma, E., Galletta, B., Costa, R., Vadalà, R., Nostro, A., & Cristani, M. (2025). Binary combinations of essential oils: Antibacterial activity against *Staphylococcus aureus*, and antioxidant and anti-inflammatory properties. *Molecules*, 30(3), 438.
109. Nebie, B. (2023). Composition chimique et activités biologiques d'huiles essentielles obtenues par co-distillation de quelques plantes aromatiques du Burkina Faso (Doctoral dissertation, Université Nazi Boni).
110. Ngom, S., Faye, F. D., Diop, M., Kornprobst, J. M., & Samb, A. (2012). Composition chimique et propriétés physico-chimiques des huiles essentielles d'*Ocimum basilicum* et d'*Hyptis suaveolens* (L.) Poit. récoltés dans la région de Dakar au Sénégal. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*.
111. Ni, Y. L., Shen, H. T., Su, C. H., Chen, W. Y., Huang-Liu, R., Chen, C. J., Chen, S. P., & Kuan, Y. H. (2019). Nerolidol suppresses the inflammatory response during lipopolysaccharide-induced acute lung

Références bibliographiques

- injury via the modulation of antioxidant enzymes and the AMPK/Nrf-2/HO-1 pathway. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019, 9605980.
112. Nouhila, N., & Jichiche, S. (2022). Effets thérapeutiques des huiles essentielles des plantes médicinales (Mémoire de Master). Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf - Mila.
113. Olascuaga, K., Castillo-Medina, O., Villacorta Zavaleta, M., Díaz Ortega, J., Blanco-Olano, C., Altamirano Sarmiento, D., & Valdiviezo-Campos, J. (2024). Extraction of essential oils by hydrodistillation of four aromatic species: Conditioning, extraction conditions, yield and chemical composition. *Scientia Agropecuaria*, 15, 385–408.
114. Ouled Taarabt, K., Koussa, T., & Alfeddy, M. N. Caractéristiques physicochimiques et activité antimicrobienne de l'huile essentielle du *Laurus nobilis* L. au Maroc. *Afrique SCIENCE* 13(1) (2017) 349 - 359
115. Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2(5), 270–278.
116. Parekh, P., Kanojiya, B., & Trivedi, B. (2024). Unlocking the therapeutic potential of terpenoids: a roadmap for future medicine. *Pharmacognosy Research*, 16(4), 698-705.
117. Pariente L., 2001. Dictionnaire des sciences pharmaceutiques et biologiques. 2ème Ed Académie nationale de pharmacie. Paris. 1643p.
118. Park, C., Garland, S. M., & Close, D. C. (2022). Yield and profile of essential oil of *Kunzea ambigua*: Prediction using solvent extraction and effects of distillation time. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 25(2), 262–272.
119. Petretto, G. L., Chessa, M., Piana, A., et al. (2013). Chemical and biological study on essential oil of *Artemisia caerulescens*. *Natural Product Research*, 27, 1709–1715.
120. Poirot, T. (2016). Bon usage des huiles essentielles, effets indésirables et toxicologie. Mémoire de thèse, UNIVERSITE DE LORRAINE, Faculté de pharmacie, 97.
121. Poncea A G., Fritz R., Del Valle C., Roura S I. (2003). Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol*, 36, 679–684 .
122. Pradhan, R., Parab, S. P., Mishra, M., Bijewar, A. L., & Mahesh, P. (2024). Modern and traditional methods for essential oil extraction. *Agriculture & Food: E-Newsletter*, 6(12), 540–543.
123. Prakash, B., Kedia, A., Mishra, P. K., & Dubey, N. K. (2015). Plant essential oils as food preservatives to control moulds, mycotoxin contamination and oxidative deterioration of agri-food commodities: Potentials and challenges. *Food Control*, 47, 381–391.
124. Quezel P. et Santa S., 1962. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales, Tome I. Ed CNRS. Paris. 565p.
125. Rahim, M. A., Ayub, H., Schrish, A., et al. (2023). Essential components from plant source oils: A review on extraction, detection, identification, and quantification. *Molecules*, 28(19), 6881.
126. Rao, A., Zhang, Y., Muend, S., & Rao, R. (2010). Mechanism of antifungal activity of terpenoid phenols. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 54, 5062–5069.
127. Raut, J. S., & Karuppayil, S. M. (2014). A status review on medicinal properties of essential oils. *Industrial Crops and Products*, 62, 250–264.
128. Raut, J. S., Shinde, R. B., Chauhan, N. M., & Karuppayil, S. M. (2013). Terpenoids inhibit *Candida albicans* morphogenesis and biofilm formation. *Biofouling*, 29, 87–96.
129. Raza, M., Ayub, M., Zubair, M., et al. (2024). Comparative study of essential oils extracted from *Foeniculum vulgare* Miller seeds using hydrodistillation, steam distillation, and superheated steam distillation. *Food Science & Nutrition*, 12, 10535–10549.
130. Romeilah, R. M., Fayed, S. A., & Mahmoud, G. I. (2010). Chemical compositions, antiviral and antioxidant activities of seven essential oils. *Journal of Applied Sciences Research*, 6, 50–62.
131. Sahli, F., Menacer, N., & Djaziri, R. (2020). Composition chimique et activité biologique de l'huile essentielle des feuilles de *Laurus nobilis* L. de la région de Bejaïa (Algérie). *Phytothérapie*, 18(3), 189–196.
132. Salim, A., Arasteh, A. A., Sahrish, R., et al. (2025). Comparative metabolic profiling and biological evaluation of essential oils from *Conocarpus* species: Antidiabetic, antioxidant, and antimicrobial potential. *Plants*, 14(1), 464.

Références bibliographiques

133. Sarker, S. D., Nahar, L., & Jaspars, M. (2007). "Microtitre plate-based antibacterial assay incorporating resazurin as an indicator of cell viability: a versatile and sensitive factor-free assay for natural products." *Methods*, 42(4), 321-324.
134. Sennato, S., Trabalzini, S., Fabiano, M. G., Truzzolillo, D., Chauveau, E., Bombelli, C., Rinaldi, F., & Carafa, M. (2024). Effect of *Satureja montana* essential oil on model lipid membranes. *Biomolecules*, 15(1), 5.
135. Shahidi, F., & Yeo, J. D. (2018). Bioactivities of phenolics by focusing on suppression of chronic diseases. *Journal of Food Bioactives*, 1, 2–15.
136. Sharifi-Rad, J., Sureda, A., Tenore, G. C., et al. (2017). Biological activities of essential oils: From plant chemoeology to traditional healing systems. *Molecules*, 22(1), 70.
137. Sharma, S. H., Thulasigam, S., & Nagarajan, S. (2017). Terpenoids as anti-colon cancer agents: A comprehensive review on its mechanistic perspectives. *European Journal of Pharmacology*, 795, 169–178.
138. Silva, E. F. D., Santos, F. A. L. D., Pires, H. M., Bastos, L. M., & Ribeiro, L. N. M. (2025). Lipid nanoparticles carrying essential oils for multiple applications as antimicrobials. *Pharmaceutics*, 17(2), 178.
139. Snuossi, M.; Trabelsi, N.; Ben Taleb, S.; Dehmeni, A.; Flamini, G.; De Feo, V. *Laurus nobilis*, *Zingiber officinale* and *Anethum graveolens* Essential Oils: Composition, Antioxidant and Antibacterial Activities against Bacteria Isolated from Fish and Shellfish. *Molecules* 2016, 21, 1414.
140. Souiy, Z. (2024). Essential oil extraction process. In IntechOpen.
141. Stursa J., 2001. Arbres et Arbustes à feuilles persistantes .Grand.Paris. P118-203.
142. Susanti, Y., & A'yun, A. Q. (2024). Phytochemical, antioxidant, and antibacterial activity of essential oil *Hyptis capitata* using solvent-free microwave extraction. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, 8(4), 450–460.
143. Swamy, M. K., Akhtar, M. S., & Sinniah, U. R. (2016). Antimicrobial properties of plant essential oils against human pathogens and their mode of action: An updated review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2016, 3012462.
144. Swamy, M. K., Akhtar, M. S., & Sinniah, U. R. (2016). Antimicrobial properties of plant essential oils. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2016, 3012462.
145. Swamy, M. K., Sinniah, U. R. (2015). A comprehensive review on the phytochemical constituents and pharmacological activities of *Pogostemon cablin* Benth. *Molecules*, 20, 8521–8547.
146. Swamy, M. K., Sinniah, U. R., & Akhtar, M. (2015). In vitro pharmacological activities and GC-MS analysis of different solvent extracts of *Lantana camara* leaves collected from tropical region of Malaysia. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. <https://doi.org/10.1155/2015/506413> (<https://doi.org/10.1155/2015/506413>).
147. Sánchez-González, L., Vargas, M., González-Martínez, C., et al. (2011). Use of essential oils in bioactive edible coatings. *Food Engineering Reviews*, 3, 1–16.
148. Taroq, A. (2020). Thèse de doctorat: Étude du potentiel antibactérien et antioxydant in vitro et exploration des effets pharmacologiques in vivo du *Laurus nobilis* L. et *Syzygium aromaticum* L. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sciences - Dhar El Mahraz -, Fès.
149. Thannickal VJ . & Fanburg BL. (2000). Reactive oxygen species in cell signaling. *Am J. Physiol Lung Cell Mol Physiol*, 279: L1005-1028.
150. Thormar, H. (2011). Lipid and essential oil-based antimicrobial agents, Ed WILEY , Barcelona, 338 P.
151. Tisserand, R., & Young, R. (2013). Essential oil safety: A guide for health care professionals. Elsevier Health Sciences.
152. Tohidi, B., Rahimmalek, M., & Trindade, H. (2019). Review on essential oil, extracts composition, molecular and phytochemical properties of *Thymus* species in Iran. *Industrial Crops and Products*, 134, 89–99.
153. Tomaino, A., Cimino, F., Zimbalatti, V., et al. (2005). Influence of heating on antioxidant activity and the chemical composition of some spice essential oils. *Food Chemistry*, 89(4), 549–554.
154. Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2020). Microbiology: An Introduction (13th ed.). Pearson.

Références bibliographiques

155. Tran Chi, H., Hung, M., Nga, C., Nga, D., Tri, N., Minh, T., Van, D., Phan, M., & Hanh, P. (2024). Enzyme-assisted extraction of triterpenoid and phenolic compounds from *Rubus alceaefolius* Poir leaves. *Tap chí Khoa học Đại học Công Thương*, 24, 3–13
156. Traxer B., Huet., J. Poindexter, C. Pak, M. Pearle. (2003). Effect of ascorbic acid consumption on urinary stones risk factors. *J. Urol*, 17: 397-401.
157. Trifan, A., Zengin, G., Brebu, M., Skalicka-Woźniak, K., & Luca, S. V. (2021). Phytochemical characterization and evaluation of the antioxidant and anti-enzymatic activity of five common spices: Focus on their essential oils and spent material extractives. *Plants*, 10(12), 2692.
158. Tripathi, R., Mohan, H., & Kamat, J. P. (2007). Modulation of oxidative damage by natural products. *Food Chemistry*, 100(1), 81–90.
159. Tuscher, E. ; Anton, R. ; Lobstein, A. (2005). *Plantes aromatiques: épices, aromates, condiments et leurs huiles essentielles*. Paris: Tec & Doc.
160. Tvrdá, E. (2019). NBT test. In *Oxidants, antioxidants and impact of the oxidative status in male reproduction* (pp. 195-205). Academic Press.
161. Udourioh, G. A., Bazza, B. M., Pilani, M. P., & Solomon, M. M. (2025). Therapeutic Characteristics of Essential Oils: Historical and Scientific Considerations. *Journal of Applied Sciences & Environmental Management*, 29(2).
162. Valnet, J. (1984). *Aromathérapie*
163. Vasey, C. (2013). *Les anti-inflammatoires naturels*. France: Jouvence.
164. Vetrivka V., Matousova V., 1991. *Arbres et Arbustes: 256 illustrations en couleurs*. Ed GRÜND. 112p.
165. Wang, S., Wang, H., Ren, B., Li, H., Weir, M. D., Zhou, X., ... & Xu, H. H. (2017). Do quaternary ammonium monomers induce drug resistance in cariogenic, endodontic and periodontal bacterial species?. *Dental Materials*, 33(10), 1127-1138.
166. Wang, Y., Wang, D., Xing, M., Ji, M., Jiang, X., Jia, L., ... & Gong, J. (2025). Effect and mechanism of chlorogenic acid inhibition of starch enzymatic hydrolysis: Comparison of different processing methods. *Food Chemistry*: X, 102796.
167. Werstuck GH. (2006). Molecular and cellular mechanisms by which diabetes Mellitus promotes the development of atherosclerosis. *Biochemistry of atherosclerosis* ed: S.K Choma. Springer. Newyork, 284-297.
168. World Health Organization (WHO). (2020). Infectious diseases. <https://www.who.int> (<https://www.who.int>)
169. Wu, Y., Zhou, L., Zhang, X., Yang, X., Niedermann, G., & Xue, J. (2022). Psychological distress and eustress in cancer and cancer treatment: Advances and perspectives. *Science advances*, 8(47), eabq7982.
170. Yilmaz, E. S., Timur, M. et Aslim, B. (2013). Activité antimicrobienne et antioxydante de l'huile essentielle de laurier de Hatay, en Turquie. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 16(1), 108-116.
171. Yıldırım, A., Celep, İ. K., & Gül, A. (2025). Cosmetological potential of the essential oil from the aerial parts of *Rubus sanctus* Schreb.: Enzymatic inhibition, antibacterial properties, and chemical composition. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 28(3), 471-486.
172. Zengin, G., Sarikurkcu, C., Aktumsek, A., Ceylan, R., & Ceylan, O. (2014). A comprehensive study on phytochemical characterization of *Haplophyllum myrtifolium* Boiss. endemic to Turkey and its inhibitory potential against key enzymes involved in Alzheimer, skin diseases and type II diabetes. *Industrial Crops and Products*, 53, 244-251.
173. Zeraïb, A. (2010). *Monographie du genre Moricandia DC., de l'Est algérien (Mémoire de magistère)*. Université Ferhat Abbas Sétif.
174. Zhang, A., Wang, T., Liu, J., Liu, J., Chen, G., Yang, H., ... & Jin, L. (2023). Significant improvement in energy storage for BT ceramics via NBT composition regulation. *Journal of Alloys and Compounds*, 968, 172255.
175. Zhiri A., Baudoux D., Breda ML., 2005. *Huile essentielles chémotypées et leurs synergies*. Ed. Inspir développement. 46p.
176. Zore, G. B., Thakre, A. D., Jadhav, S., & Karuppayil, S. M. (2011). Terpenoids inhibit *Candida albicans* growth. *Phytomedicine*, 18, 1181–1190.

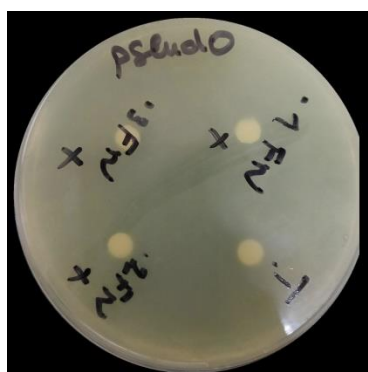
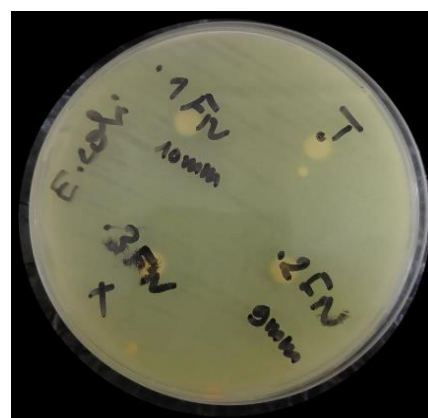
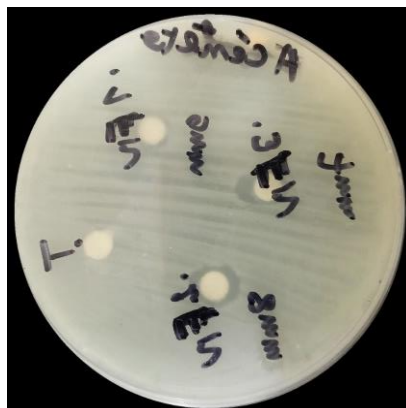
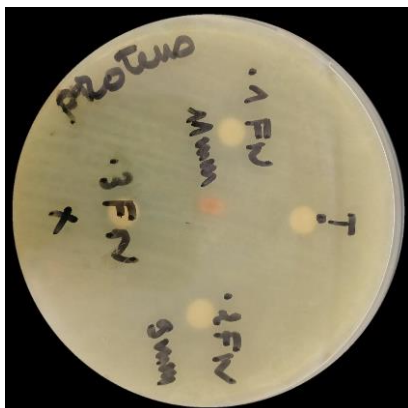
Références bibliographiques

177. Zuzarte, M., & Salgueiro, L. (2015). Essential oils chemistry. In *Bioactive Essential Oils and Cancer* (pp. 19–61). Springer.

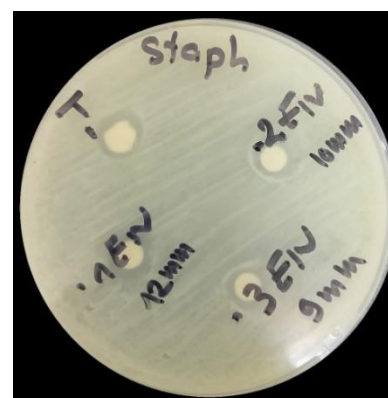
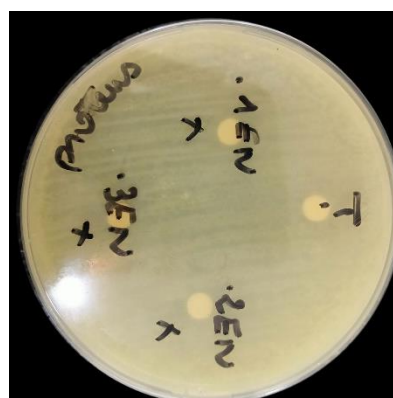
Annexes

Annexes

Annexe I : Antibiotogramme de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* extraite sur sept souches bactériennes

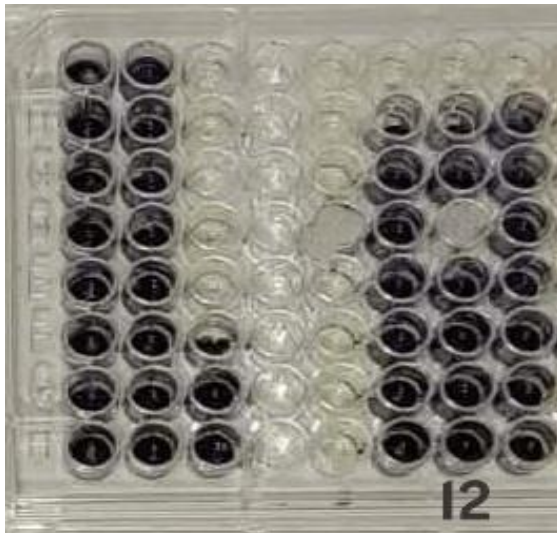


**Annexe II : AntibioGramme de l'huile essentielle de *Laurus nobilis*
commerciale sur sept souches bactériennes**



Annexe III : Résultat de l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de *Laurus nobilis* par la méthode de microdilution

1. *Bacillus subtilis*



2. *Pseudomonas aeruginosa*



3. *Staphylococcus aureus*



4. *E. coli*



Un schéma explicatif

