الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

N°Ref :……

Université El Mudjahid Abdelhafid Boussouf- Mila

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Biologiques et Agricoles

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie Appliquée

Thème :

Screening phytochimique et activités biologiques d'une espèce de la famille des Lamiacées

Présenté par :

- **BOUDJEGHIM Nada.**
- **FLIFLA Assala.**

Devant le jury :

KADJOUDJ Nadia	**MCB**	**Présidente**
MEDJANI Soumia	**MCB**	**Examinatrice**
AMIRA Aicha	**MCB**	**Promotrice**

Année Universitaire : 2025/2026

Remerciements

Nous remercions ***Dieu****, le Tout-Puissant, de nous avoir donné la force, le courage et la patience pour mener à bien ce travail.*

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadrante, ***Melle AMIRA Aicha,*** *pour son accompagnement constant, ses précieux conseils et sa disponibilité tout au long de l'élaboration de ce travail.*

Nous adressons nos sincères remerciements aux membres du jury qui ont bien voulu accepter d'évaluer ce travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à ***Melle KADJOUDJ Nadia*** *pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant de présider ce jury.*

Nos sincères remerciements s'adressent également à ***Mme MEDJANI Soumia*** *pour avoir accepté d'examiner ce travail et de faire partie de ce jury.*

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à l'ensemble de nos enseignants qui ont contribué à notre formation et à l'acquisition de nos connaissances tout au long de notre parcours universitaire.

Nous souhaitons remercier ***l'équipe du laboratoire pédagogique de l'Université El Mudjahid Abdelhafid BOUSSOUF – Mila*** *pour son accompagnement constant, sa disponibilité et son soutien indéfectible tout au long de l'élaboration de ce travail.*

Nous adressons également nos sincères remerciements à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de cette étude.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices, leurs encouragements et leurs prières qui m'ont accompagnée tout au long de mon parcours. Aucun mot ne saurait exprimer ma profonde reconnaissance et mon immense gratitude envers eux.

Mon frère Aissam et à mes sœurs Kenza, Besma et Warda, pour leur soutien constant, leur affection et leur présence précieuse dans les moments les plus importants de ma vie.

Mes chers neveux et nièces, Dina, Assil, Djoud, Amir, Islam, Taim et Racim, dont la joie, l'affection et les sourires ont illuminé mon quotidien.

Mon binôme Nada, pour son sérieux, sa patience, son engagement et tous les efforts partagés tout au long de cette expérience.

Mes amies Bouchra, Inas, Wiam, pour leur amitié sincère et leur présence constante, ainsi que Hiba, Insaf, Khouloud et Zeyneb, qui ont partagé avec moi les joies, les défis, les nuit blanches durant ces années universitaires.

Enfin, à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'accomplissement de ce travail, j'adresse ma profonde gratitude.

Assala

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mon très cher père Abdelmalek,
En témoignage de mon profond respect, de mon immense gratitude et de mon affection sincère. Merci pour tous les sacrifices consentis, pour votre soutien constant, vos encouragements et votre confiance qui m'ont permis d'atteindre cet objectif. Que Dieu vous accorde santé, bonheur et longue vie.
Ma très chère mère Nadjette,
Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, le respect et la reconnaissance que je vous porte. Merci pour votre tendresse, votre patience, vos sacrifices et vos prières qui ont toujours éclairé mon chemin. Que Dieu, le Tout-Puissant, vous préserve et vous accorde santé, bonheur et prospérité.
Mes chers frères Oussama et Wassim,
En témoignage de mon affection et de ma reconnaissance pour votre soutien, vos encouragements et votre présence à mes côtés tout au long de mon parcours.
Ma chère sœur Yara,
Je suis tellement reconnaissante de t'avoir à mes côtés. Que Dieu te protège et te comble de bonheur.
Mon binôme Assala,
En souvenir des efforts partagés, de notre collaboration et des moments vécus ensemble durant la réalisation de ce travail. Je te souhaite beaucoup de réussite et d'épanouissement dans ton parcours futur.
Mes chers amis,
Pour leur amitié sincère, leur soutien et tous les agréables moments partagés tout au long de ces années universitaires.

Nada

Résumé

Ce travail a pour objectif d'explorer les propriétés biologiques de *Lavandula angustifolia* à travers une approche intégrée comprenant le criblage phytochimique, l'évaluation de l'activité antioxydante et l'analyse de l'activité antibactérienne de ses extraits aqueux et éthanolique.

Les résultats de l'étude phytochimique ont révélé la présence de plusieurs groupes chimiques majeurs : phénols, flavonoïdes, tanins, terpénoïdes, glucides, quinones, stéroïdes et protéines. L'analyse quantitative a montré une richesse notable en polyphénols, avec une teneur plus élevée dans l'extrait aqueux (135,53 ± 0,64 µg EAG/mg d'extrait) comparativement à l'extrait éthanolique (119,47± 0,91 µg EAG/mg d'extrait)**.**

Le pouvoir antioxydant a révélé que les deux extraits ont présenté une faible capacité de piégeage les radicaux libres, confirmant une efficacité limitée. Concernant l'activité antibactérienne, les résultats obtenus ont révélé une absence totale d'effet inhibiteur des extraits testés sur l'ensemble des souches bactériennes étudiées. En effet, aucune zone d'inhibition n'a été observée vis-à-vis *Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa* et *Bacillus subtilis*.

Mots clés : *Lavandula angustifolia*, étude phytochimique, polyphénols, activité antioxydante, activité antibactérienne.

Abstract

This study aims to explore the biological properties of *Lavandula angustifolia* through an integrated approach involving phytochemical screening, antioxidant activity evaluation, and antibacterial analysis of its aqueous and ethanolic extracts.

Phytochemical results revealed the presence of several major chemical groups: phenols, flavonoids, tannins, terpenoids, carbohydrates, quinones, steroids, and proteins. Quantitative analysis showed a notable richness in polyphenols, with higher content in the aqueous extract (135.53 ± 0.64 µg GAE/mg) compared to the ethanolic extract (119.47 ± 0.91 µg GAE/mg).

The antioxidant activity demonstrated a weak radical scavenging capacity, confirming limited effectiveness .Regarding the antibacterial activity, the tested extracts exhibited no inhibitory effect against any of the bacterial strains evaluated. Indeed, no inhibition zone was observed against *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Bacillus subtilis*.

Keywords: *Lavandula angustifolia*, phytochemical study, polyphenols, antioxidant activity, antibacterial activity.

يهدف هذا العمل إلى استكشاف الخصائص البيولوجية لنبات *Lavandula angustifolia* من خلال مقاربة متكاملة تشمل الفحص الكيميائي النباتي، تقييم النشاط المضاد للأكسدة، وتحليل النشاط المضاد للبكتيريا لمستخلصاته المائية والإيثانولية.

أظهرت نتائج الفحص الكيميائي النباتي وجود عدة مجموعات كيميائية رئيسية: الفينولات، الفلافونويدات، التانينات، التربينويدات، الكربوهيدرات، الكينونات، الستيرويدات والبروتينات. وقد بين التحليل الكمي ثراءً ملحوظًا بالبوليفينولات، حيث كان تركيزها أعلى في المستخلص المائي (135.53 ± 0.64 ميكروغرام مكافئ حمض الغاليك/ملغ) مقارنة بالمستخلص الإيثانولي (119.47 ± 0.91).

أما النشاط المضاد للأكسدة فقد أظهر قدرة ضعيفة على تحييد الجذور الحرة، مما يؤكد فعالية محدودة. فيما يتعلق بالنشاط المضاد للبكتيريا، أظهرت النتائج المتحصل عليها غيابًا تامًا لأي تأثير تثبيطي للمستخلصات المختبرة على جميع السلالات البكتيرية المدروسة. إذ لم تُسجَّل أي منطقة تثبيط تجاه بكتيريا *Escherichia coli*، *Pseudomonas aeruginosa* و*Bacillus subtilis*.

الكلمات المفتاحية: *Lavandula angustifolia* ، دراسة فيتوكيميائية، بوليفينولات، نشاط مضاد للأكسدة، نشاط مضاد للبكتيريا.

µL : Microlitre.

***B. subtilis* :** *Bacillus subtilis*.

BN : Bouillon nutritif.

DMSO : Diméthylsulfoxyde.

DPPH : 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl.

***E. coli* :** *Escherichia coli*.

ERO : Les espèces réactives de l'oxygène.

$FeCl_3$: Chlorure ferrique.

H_2SO_4 : Acide sulfurique.

H3PMo12O40 : Acide phosphomolybdique.

H3PW12O40 : Acide phosphotungstique.

HCL : Chlorure d'hydrogène.

IC50 : Concentration inhibitrice 50% des radicaux libres du DPPH.

***L. angustifolia* :** *Lavandula angustifolia*.

MH : Milieu Muller Hinton.

Na_2CO_3 : Carbonate de Sodium.

***P. aeruginosa* :** *Pseudomonas aeruginosa*.

µg : Microgrammes.

µg EAG/mg : Microgrammes d'équivalent acide gallique par milligramme d'extrait.

Liste des figures

Figure 1 : Genres appartenant à la famille des Lamiacées 4
Figure 2 : Vue générale de la plante *Lavandula angustifolia* 6
Figure 3 : Feuilles de la plante *Lavandula angustifolia* 7
Figure 4 : Fleurs de la plante *Lavandula angustifolia* 8
Figure 5 : Calice de la plante *Lavandula angustifolia* 9
Figure 6 : Corolle de la plante *Lavandula angustifolia* 9
Figure 7 : Répartition géographique de la plante *Lavandula angustifolia* 11
Figure 8 : Activités biologiques de la plante *Lavandula angustifolia* 16
Figure 9 : Les trois principaux types de métabolites secondaires 18
Figure 10 : Structure chimique du phénol 19
Figure 11 : Structure et classification des flavonoïdes 19
Figure 12 : Les sous-classes des acides phénoliques : l'acide hydroxycinnamique et l'acide hydroxybenzoïque 21
Figure 13 : Structure de base des stilbènes et du resvératrol cis et trans 22
Figure 14 : Structures chimiques des tannins 23
Figure 15 : Structure chimique des lignanes 25
Figure 16 : Structure chimique des coumarines et leurs différentes classes 26
Figure 17 : Structure chimique de l'isoprène et classification des terpènes en fonction du nombre d'unités d'isoprène 29
Figure 18 : Classification des alcaloïdes en fonction de leur structure chimique 30
Figure 19 : Etapes de préparation de la poudre des feuilles de *Lavandula angustifolia...* 33
Figure 20 : Localisation géographique de la wilaya de Mila 34
Figure 21 : Protocole de préparation des extraits bruts (éthanoliques et aqueux) des feuilles de la plante *Lavandula angustifolia* 35
Figure 22 : Mécanismes de piégeage du DPPH par neutralisation des radicaux à l'aide d'un électron et d'un proton.....38
Figure 23 : Protocole de l'activité antibactérienne des feuilles de la plante *Lavandula angustifolia* 42
Figure 24 : Rendement en extraits sec. 44
Figure 25 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols. 50
Figure 26 : Teneur des polyphénols de l'extrait aqueux des feuilles de la plante de *Lavandula angustifolia.* 50
Figure 27 : Teneur des polyphénols de l'extrait éthanolique des feuilles de la plante de *Lavandula angustifolia.* 51

Figure 28 : Test de DPPH de l'acide ascorbique. 52
Figure 29 : Test de DPPH de l'extrait éthanolique. 53
Figure 30 : Test de DPPH de l'extrait aqueux. 53
Figure 31 : Résultats de l'activité antibactérienne. 55

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification de la plante *Lavandula angustifolia* 6
Tableau 2 : Souches bactériennes testées. 40
Tableau 3 : Niveaux de sensibilité des souches en fonction des diamètres des zones d'inhibition 43
Tableau 4 : Résultats du screening phytochimique des feuilles de la plante *Lavandula angustifolia.* 46
Tableau 5 : IC50 de l'extrait éthanolique, aqueux et de l'acide ascorbique. 52

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction....1

Chapitre I: Synthèse bibliographique

I.1. Généralités sur les Lamiaceae 3

I.1.1. Présentation du genre *Lavandula* 4

I.1.2. Espèces principales de *Lavandula* 4

I.1.3. Présentation de la plante étudiée 5

I.1.4. Nomenclature 6

I.1.5. Taxonomie 6

I.1.6. Description botanique 7

I.1.7. Composition chimique de *Lavandula angustifolia* 10

I.1.8. Distribution biogéographique 10

I.1.8.1. Représentation mondiale 10

I.1.8.2. Répartition en Algérie 11

I.1.9. Aspects agronomiques et pratiques culturales de *Lavandula angustifolia Mill* 12

I.1.9.1. Adaptation climatique 12

I.1.9.2. Culture 12

I.1.9.3. Multiplication 12

I.1.9.4. Récolte 12

I.1.10. Activités biologiques de la plante *Lavandula angustifolia* 13

I.1.10.1. Activité antioxydante 13

I.1.10.2. Activité antibactérienne 13

I.1.10.3. Activité anticancéreuse 13

I.1.10.4. Activité antiulcéreuse 14

I.1.10.5. Activité antivirale 14

I.1.10.6. Activité antifongique 14

I.1.10.7. Activité antidiabétique 15

I.1.10.8. Activité antiallergique 15

I.1.10.9. Anti inflammatoire 16

I.1.11. Toxicité de *Lavandula angustifolia* 16

I.2. Métabolites secondaires 17

I.2.1. Définition 17
I.2.2. Classification 17
I.2.2.1. Composés phénoliques 18
I.2.2.1.1. Flavonoïdes 19
I.2.2.1.2. Non-flavonoïdes 20
I.2.2.2. Terpénoides 27
I.2.2.3. Composés azotés et autre métabolites 30

Chapitre II: Matériel et méthodes

II.1. Matériel 33
II.1.1. Présentation de la zone d'étude 33
II.2. Méthodes 34
II.2.1. Extraction 34
II.2.2. Calcul du rendement 35
II.2.3. Analyse qualitative (screening phytochimique) 36
II.2.4. Analyse quantitative (dosage des polyphénols) 37
II.2.5. Activité antioxydante 38
II.2.6. Activité antibactérienne 40

Chapitre III: Résultats et discussion

III.1. Rendement de l'extraction 44
III.2. Analyse qualitative (screening phytochimique) 45
III.3. Analyse quantitative (dosage des polyphénols) 49
III.4. Activité antioxydante 52
III.5. Activité antibactérienne 54
Conclusion 57
Références bibliographiques 58

Introduction

Les plantes médicinales occupent une place centrale dans les systèmes de médecine traditionnelle, où elles sont utilisées depuis des siècles comme sources de remèdes thérapeutiques. Elles constituent des ressources essentielles pour l'identification et le développement de composés bioactifs à multiples activités pharmacologiques. La diversité remarquable de la flore médicinale représente ainsi un réservoir important de molécules chimiques susceptibles d'exercer des effets bénéfiques sur la santé humaine **(Dar et *al*., 2023).**

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), plus de 80 % de la population mondiale recourt à la médecine traditionnelle pour répondre à ses besoins en matière de soins de santé primaires. L'usage des plantes médicinales à des fins thérapeutiques remonte à plus de cinq millénaires **(Cedillo-Cortezano et *al*., 2024).** Les plantes médicinales sont riches en composés antimicrobiens et antioxydants, ce qui leur confère une valeur thérapeutique considérable dans le traitement de diverses affections **(Peiris et *al*., 2023).**

Les antioxydants neutralisent les radicaux libres et limitent les dommages oxydatifs. Parmi ces molécules, les polyphénols, notamment les flavonoïdes et les acides phénoliques, sont largement reconnus pour leurs propriétés antioxydantes. Ils exercent des effets protecteurs en piégeant les espèces réactives de l'oxygène (ERO) et en inhibant les processus de peroxydation lipidique, contribuant ainsi au maintien de l'intégrité cellulaire **(Nwozo et *al*., 2023).**

La capacité des extraits végétaux à inhiber la croissance des bactéries pathogènes s'est imposée, au cours des dernières années, comme un axe de recherche prioritaire. Cet intérêt croissant s'explique notamment par leur potentiel à moduler les mécanismes de résistance bactérienne aux agents thérapeutiques **(Zouine et *al*., 2024).**

Lavandula angustifolia est une plante médicinale à fort potentiel pharmacologique et industriel. Ses feuilles, riches en terpènes et en polyphénols, présentent de puissants effets antioxydants, associés à des propriétés anti-inflammatoires et antimicrobiennes confirmées par des tests in vitro **(Prosche et Stappen, 2024).**

Dans ce contexte, cette étude vise à explorer le potentiel de *Lavandula angustifolia* à travers une approche multidimensionnelle. Celle-ci repose sur la réalisation d'un criblage phytochimique, l'évaluation du pouvoir antioxydant ainsi que l'analyse de l'activité antibactérienne des extraits éthanolique et aqueux de la plante. Cette démarche intégrée a pour objectif de mettre en évidence les propriétés biologiques de cette espèce et de contribuer à la valorisation de ses applications pharmacologiques potentielles.

Ce travail s'organise en trois sections principales. La première partie est consacrée à une revue bibliographique. La deuxième partie présente le matériel utilisé ainsi que les méthodes expérimentales mises en œuvre. Enfin, la troisième partie expose les résultats obtenus, suivis de leur analyse et discussion.

Chapitre I:

Synthèse bibliographique

I.1. Généralités sur les *Lamiaceae*

La famille *Lamiaceae* (également appelée Labiatae) regroupe un grand nombre de plantes reconnues pour leurs propriétés médicinales et aromatiques. Cette famille comprend environ 236 genres et entre 6900 et 7200 espèces. Parmi les genres les plus diversifiés figurent *Salvia* (environ 900 espèces), *Scutellaria* (360), *Stachys* (300), *Plectranthus* (300), *Hyptis* (280), *Teucrium* (250), *Vitex* (250), *Thymus* (220) et *Nepeta* (200) **(Karpiński, 2020).**

Les espèces de la famille *Lamiaceae* se caractérisent par des tiges généralement quadrangulaires, des feuilles opposées et des fleurs zygomorphes avec cinq pétales et cinq sépales soudés en tube ou en calice bilabié. Elles sont souvent multipliées par bouturage, ce qui facilite leur propagation **(Ebadollahi et *al*., 2020).**

La distribution des *Lamiaceae* est cosmopolite, mais leur diversité est particulièrement élevée dans la région méditerranéenne. Elles occupent des habitats très variés, depuis les zones chaudes jusqu'aux régions plus froides. Au Brésil, par exemple, elles se rencontrent sur l'ensemble du territoire, avec une concentration plus forte dans le sud, le nord et le nord-est, notamment dans la forêt atlantique, l'Amazonie et le Cerrado **(Ramos Da Silva et *al*., 2021).**

Les plantes de cette famille sont riches en huiles essentielles, composés volatils qui jouent un rôle important en médecine traditionnelle, en pharmacologie, en cosmétologie et en aromathérapie. Ces huiles se trouvent principalement dans les feuilles, mais aussi dans les fleurs, les bourgeons, les fruits, les graines, l'écorce, le bois ou les racines. Leur composition chimique peut inclure plus de 300 constituants, dont des alcools, éthers, aldéhydes, cétones, esters, phénols, terpènes et coumarines. Certaines espèces, comme *Lavandula*, *Pelargonium* ou *Rosmarinus*, peuvent contenir entre 450 et 500 composés distincts **(Karpiński, 2020).**

En plus des huiles essentielles, les *Lamiaceae* contiennent des flavonoïdes, des terpènes et des diterpénoïdes. Ces composés confèrent à ces plantes des propriétés biologiques variées, notamment antioxydants, insecticides, fongicides et bactéricides. Parmi les plantes les plus connues de cette famille figurent le thym, le basilic, l'origan, le romarin, la sauge et la mélisse, utilisées comme épices, herbes médicinales ou aromatiques **(Ramos Da Silva et *al*., 2021).**

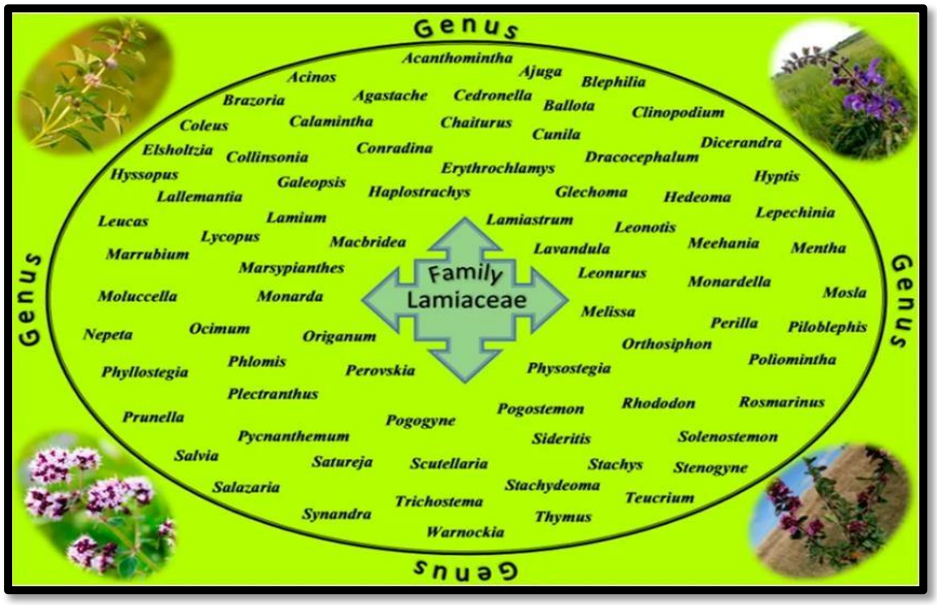


Figure 1 : Genres appartenant à la famille des Lamiacées **(Sitarek et *al*., 2020).**

I.1.1. Présentation du genre *Lavandula*

Le genre *Lavandula* L. appartient à la famille des *Lamiaceae* et constitue l'un des taxons les plus importants de cette famille. Selon les classifications taxonomiques, il regroupe entre 25 et 39 espèces. En incluant les sous-espèces et les hybrides, le nombre total de taxons peut atteindre environ 90 **(Pokajewicz et *al*., 2023).**

Les espèces du genre *Lavandula* présentent une grande diversité morphologique et écologique, ce qui a conduit à leur organisation en plusieurs sections distinctes. La lavande est utilisée depuis l'Antiquité pour ses propriétés médicinales, notamment dans la médecine traditionnelle, en particulier dans la médecine persane **(Hedayati et *al*., 2025).**

I.1.2. Espèces principales de *Lavandula*

- ***Lavandula angustifolia* Mill**

Désignée sous le nom de lavande anglaise (ou lavande vraie), constitue l'une des quatre principales espèces du genre *Lavandula*. Cette espèce se caractérise par une bonne résistance au gel. Elle se décline en de nombreux cultivars appréciés pour leur aspect ornemental et présent une coloration florale particulièrement attrayante **(Batiha et *al*., 2023).**

- ***Lavandula latifolia***

Appelée lavande aspic ou lavande à larges feuilles, est une espèce typiquement méditerranéenne présentant un port herbacé et un feuillage relativement large **(Marchidan et *al*., 2023).**

- ***Lavandula stoechas***

Lavande des îles ou lavande française, est un arbuste aromatique à feuillage persistant. Cette espèce est traditionnellement utilisée dans le traitement de diverses affections, notamment les troubles neurologiques et psychologiques, telles que l'insomnie **(Shaikh et *al*., 2025).**

- ***Lavandula intermedia***

Communément appelé lavandin, constitue un hybride stérile résultant du croisement entre *Lavandula angustifolia* Miller et *Lavandula latifolia*, également connue sous le nom de lavande à épis **(Mac Sweeney et *al*., 2025).**

I.1.3. Présentation de la plante étudiée

Lavandula angustifolia occupe une place très importante en pharmacie, en phytothérapie et en aromathérapie en raison de ses nombreuses propriétés thérapeutiques. Elle est largement utilisée sous différentes formes (infusions, huiles essentielles, extraits) pour soulager plusieurs troubles du système nerveux central. Parmi les indications les plus fréquentes figurent l'anxiété, le stress, les états de dépression légère à modérée ainsi que les troubles du sommeil, notamment les difficultés d'endormissement ou les réveils nocturnes **(Nedeltcheva-Antonova et *al*., 2022).**

Par ailleurs, il convient de noter que la sécurité d'utilisation de *Lavandula angustifolia* a été évaluée par la Food and Drug Administration (FDA) aux États-Unis. Cette institution l'a classée parmi les substances reconnues comme sûres, en l'inscrivant sur la liste officielle dite « Generally Recognized as Safe » (GRAS). Cette classification indique que, dans des conditions normales d'utilisation, cette plante ne présente pas de risque significatif pour la santé **(Nedeltcheva-Antonova et *al*., 2022).**



Figure 2 : Vue générale de la plante *Lavandula angustifolia* **(Shevchenko et Mitrofanova, 2021).**

I.1.4. Nomenclature

Lavandula angustifolia également dénommée lavande vraie, est une plante caractérisée par des feuilles étroites. Son nom latin est *Lavandula angustifolia Mill*. (Synonymes : *L. officinalis Chaix, L. vera DC*). Elle est connue en arabe sous le nom de « *khuzâma* » **(Elharas et *al*., 2013).**

I.1.5. Taxonomie

Tableau 1 : Classification de la plante *Lavandula angustifolia* **(Karakaş, 2025).**

Rang taxonomique	**Classification**
Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta (Angiospermes)
Classe	Magnoliopsida (Dicotylédones)
Ordre	Lamiales
Famille	*Lamiaceae*
Genre	*Lavandula*
Espèce	*Lavandula angustifolia* Mill

I.1.6. Description botanique

- **Caractéristiques morphologiques**

Lavandula angustifolia est une plante herbacée vivace, appartenant au type des sous-arbrisseaux, avec un feuillage persistant. Elle se distingue par son aspect grisâtre, lié à ses feuilles retombantes et arbustives. Sa hauteur varie généralement entre 30 et 60 cm, mais elle peut exceptionnellement atteindre 100 cm. La plante dégage également une forte odeur aromatique, caractéristique de son identité botanique **(Giuliani et *al*., 2023).**

- **Système racinaire et organisation des tiges**

Lavandula angustifolia possède un système racinaire bien développé, constitué d'une souche ligneuse principale, fortement ramifiée dans sa partie supérieure. Les branches inférieures, également lignifiées, montrent une ramification dense et adoptent un port ascendant. Elles portent de nombreuses jeunes pousses végétatives. Quant aux tiges florifères, elles présentent une section tétraédrique et se distinguent par un entre-nœud supérieur particulièrement allongé **(Fakhriddinova et *al*., 2020).**

- **Feuilles**

Lavandula angustifolia présente un feuillage disposé de manière opposée, constitué de feuilles sessiles. Ces feuilles sont étroites, de forme linéaire à oblongue, et mesurent environ 2 à 6 cm de longueur, avec une largeur allant jusqu'à 6 mm. Le limbe, de couleur gris-vert, se distingue par ses bords entiers, légèrement enroulés (révolutés), ce qui contribue à l'aspect caractéristique de la plante **(Khalmuratov et Artykova, 2022).**



Figure 3 : Feuilles de la plante *Lavandula angustifolia* **(Istrate et *al*., 2020).**

- **Fleurs**

Les fleurs de *Lavandula angustifolia* sont disposées en verticilles et se développent à l'aisselle de bractées de forme rhomboïdale. La longueur maximale de chaque fleur est de 5 mm, tandis que sa largeur se situe entre 1 et 2 mm. La coloration des fleurs varie du bleu-violet au brun clair **(Kalam et *al*., 2024).** Ces fleurs, de type hermaphrodite, possèdent une morphologie bilabiée caractéristique et sont dotées de nectaires, qui jouent un rôle essentiel dans l'attraction des abeilles **(Crișan et *al*., 2023).**



Figure 4 : Fleurs de la plante *Lavandula angustifolia* **(Zigene et *al*., 2018).**

- **Calice**

Le calice de *Lavandula angustifolia* a une forme tubulaire et est recouvert de poils fins (pubescence). Il présente entre 13 et 15 nervures longitudinales bien marquées, et se termine par cinq dents disposées à son extrémité **(Giuliani et *al*., 2023).**



Figure 5 : Calice de la plante *Lavandula angustifolia* **(Wilson et *al*., 2021).**

- **Corolle**

La corolle de *Lavandula angustifolia* possède une symétrie bilatérale bien marquée, appelée zygomorphe. Elle est nettement plus longue que le calice, atteignant environ deux fois sa longueur. Les lobes de la corolle sont bien développés et saillants. La couleur des fleurs varie généralement du bleu au mauve, mais elle peut parfois être blanche ou, plus rarement, rose violacé **(Lis-Balchin, 2002).**



Figure 6 : Corolle de la plante *Lavandula angustifolia* **(Wilson et *al*., 2021).**

- **Fruits et graines**

Les fruits de *Lavandula angustifolia* sont des nucules de forme ovoïde, c'est-à-dire légèrement allongés et arrondis, rappelant la forme d'un petit œuf. Les graines, contenues dans ces fruits, présentent une morphologie ovale et mesurent entre 1 et 2 mm de longueur. Leur coloration est variable elle peut aller du noir ou du gris au blanc, et certaines graines présentent des taches noires **(Gadibadi et *al*., 2025).**

- **Phénologie et période de floraison**

La floraison de *Lavandula angustifolia* se déroule principalement de la mi-juin à juillet. Cette période correspond au moment où les fleurs sont pleinement développées, permettant ainsi une production optimale de nectar pour attirer les pollinisateurs comme les abeilles et une récolte efficace pour la production d'huile essentielle **(Dobros et *al*., 2023).**

I.1.7. Composition chimique de *Lavandula angustifolia*

Lavandula angustifolia contient une variété de composés chimiques, dont plusieurs ont des effets biologiques intéressants. Parmi les principaux constituants, on trouve des acides phénoliques, des flavonoïdes, des glycosides et des huiles essentielles.

- **Les acides phénoliques :** acide caféique, acide férulique, acide rosmarinique, acide gallique, acide p-coumarique **(Diass et *al*., 2023).**
- **Flavonoïdes :** Quercétine, apigénine, lutéoline, kaempférol **(Boughendjioua 2017).**
- **Glycosides :** Quercétine-3-O-glucoside, kaempférol-3-O-rutinoside, apigénine-7-O-glucoside **(Sevindik et *al.*, 2025).**
- **Huiles essentielles (fraction volatile) :** Linalool, linalyl acetate, 1,8-cinéole, camphre, borneol, terpinen-4-ol, β-caryophyllène (**Diass *al*., 2023).**
- **Autres métabolites secondaires :** Coumarines, tanins, triterpènes, stérols végétaux (**Sevindik et *al*., 2025).**

I.1.8. Distribution biogéographique

I.1.8.1. Représentation mondiale

Le genre *Lavandula* possède une répartition géographique très large, allant de la région méditerranéenne jusqu'à l'Inde, et comprend au total 51 espèces et hybrides. Dans le bassin méditerranéen, qui constitue la zone principale de distribution, 30 espèces et hybrides poussent à l'état sauvage. Parmi eux, 22 espèces sont endémiques de la Méditerranée occidentale, ce qui en fait un centre majeur de diversité pour ce genre **(Habán et *al.*, 2023).**

Lavandula angustifolia Mill, appelée communément lavande vraie, est un arbuste vivace ligneux originaire du bassin méditerranéen et du sud-ouest et sud de l'Europe (Espagne, France, Andorre, Italie, Croatie). Cette espèce se développe surtout en milieu montagnard, mais elle s'est aussi naturalisée dans d'autres régions d'Europe (Bulgarie, Grèce, Russie) et en Afrique du Nord **(Kozuharova et *al*., 2024).**

La lavande est cultivée pour des usages ornementaux, médicinaux et industriels, et fait l'objet d'une production commerciale dans plusieurs pays : France, Espagne, Portugal, Hongrie, Royaume-Uni, Croatie, Macédoine, Bulgarie, Australie, Inde, Chine et États-Unis **(Lakušić et *al*., 2014).**



Figure 7 : Répartition géographique de la plante *Lavandula angustifolia* **(Hoff et *al*., 2016).**

I.1.8.2. Répartition en Algérie

En Algérie, *Lavandula angustifolia* est une espèce introduite, qui ne pousse pas à l'état spontané. Elle est cultivée principalement à petite échelle ou dans le cadre de projets expérimentaux.

Les principales zones de culture de cette espèce se situent à Tlemcen, dans le nord-ouest de l'Algérie, notamment dans le Parc national de Tlemcen et ses alentours. Dans le nord-est, elle est également présente à Seraïdi, dans la wilaya d'Annaba. Dans le sud-est, la région d'Oued Souf, dans la wilaya d'El Oued, constitue une autre zone d'implantation importante.

Outre ces régions principales, des initiatives expérimentales ont été signalées dans d'autres parties du pays, comme à Batna dans le centre-est, à Oran dans l'ouest et à El Tarf dans le nord-est **(Hadj Moussa et *al*., 2023 ; Saifi et *al*., 2026).**

I.1.9. Aspects agronomiques et pratiques culturales de *Lavandula angustifolia* Mill

I.1.9.1. Adaptation climatique

Lavandula angustifolia Mill, est une espèce naturellement adaptée au climat méditerranéen qui est essentiel pour répondre aux besoins biologiques et écologiques de la lavande. En effet, les étés longs et secs, associés à des hivers doux et humides, permettent un développement optimal de la plante et favorisent une qualité élevée de son huile essentielle **(Selim et *al*., 2026).**

I.1.9.2. Culture

La lavande (*Lavandula angustifolia*) se développe de préférence sur des sols bien drainés, fertiles et calcaires. Elle nécessite une exposition en plein soleil et une protection contre les vents forts pour bien croître. Après la plantation, une fertilisation peut être pratiquée, soit avec du fumier, soit avec des engrais minéraux. Il est important d'éviter que le sol devienne trop acide ou qu'il reçoive trop d'azote, car cela favorise une croissance excessive des tiges au détriment de la formation des fleurs **(Prusinowska et Śmigielski, 2014).**

I.1.9.3. Multiplication

La lavande peut se multiplier de deux façons. La multiplication sexuée se fait par semis de graines, tandis que la multiplication asexuée peut se réaliser par bouturage de tiges semi-ligneuses ou ligneuses, ou encore par micro propagation in vitro (culture de tissus). Un entretien régulier par taille est essentiel : il stimule la vigueur des arbustes et favorise une floraison abondante **(Gubišová et Čičová, 2023).**

I.1.9.4. Récolte

La récolte doit se faire par temps sec et ensoleillé, lorsque les fleurs sont justes avant leur ouverture complète. Les fleurs sont ensuite mises à sécher en bottes, dans des locaux ombragés, secs et bien aérés **(Caser et *al*., 2023).**

I.1.10. Activités biologiques de la plante *Lavandula angustifolia*

I.1.10.1. Activité antioxydante

Les extraits éthanoliques, aqueux et à l'acétate d'éthyle de *Lavandula angustifolia* présentent une activité antioxydant notable. Cette activité a été évaluée grâce à plusieurs méthodes complémentaires, telles que le test de piégeage du radical DPPH, le pouvoir antioxydant réducteur ferrique (FRAP), le test ABTS, le piégeage du peroxyde d'hydrogène et le test au phosphomolybdène **(Habán et *al*., 2023).**

Cette efficacité antioxydant est principalement liée à la forte concentration en composés phénoliques, notamment l'acide rosmarinique, l'acide caféique et l'acide férulique **(Aprotosoaie et *al*., 2017).** ainsi qu'en flavonoïdes comme la lutéoline, la quercétine et l'apigénine. Ces composés agissent comme piégeurs de radicaux libres et agents réducteurs, protégeant ainsi les cellules contre le stress oxydatif **(Sevindik et *al*., 2025).**

Les huiles essentielles de *Lavandula angustifolia*, dominées par le linalool et l'acétate de linalyle, participent également à cette activité antioxydant, bien que leur contribution soit moins importante que celle des fractions non volatiles riches en polyphénols **(Dobros et *al*., 2022).**

I.1.10.2. Activité antibactérienne

Parmi les constituants des huiles essentielles, le linalol montre une activité inhibitrice notable contre plusieurs bactéries pathogènes des cavités orales, de la peau et du tractus respiratoire, telles que *Haemophilus influenzae*, *Streptococcus pyogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* et *Escherichia coli* **(Boughendjioua et *al*., 2021).**

De plus, les huiles essentielles de lavande fine (*Lavandula officinalis* ou *Lavandula angustifolia*) ont, dans certaines études, montré une activité antibactérienne supérieure à celle de certains antibiotiques conventionnels contre *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*. Des effets bactériostatiques et bactéricides ont été observés in vitro sur des souches sensibles et résistantes à la méthicilline (*SARM*), ainsi que sur des entérocoques résistants à la vancomycine (*VRE*) **(Diass et *al*., 2023).**

I.1.10.3. Activité anticancéreuse

Les extraits et huiles essentielles de *Lavandula angustifolia* ont montré un effet anticancéreux important. Ils agissent principalement en induisant l'apoptose (la mort programmée des cellules cancéreuses) et en inhibant la prolifération cellulaire dans plusieurs types de lignées tumorales **(Fahmy et *al*., 2022).**

Des études comparatives ont montré que les huiles essentielles de lavande sont toxiques pour les cellules cancéreuses du foie (HepG2), du poumon (A549), du côlon (HCT116), de la peau (A431), de la prostate (PC3) et du sein (MCF7) **(Aprotosoaie et *al*., 2017).**

De plus, des expériences réalisées sur des modèles animaux ont confirmé que l'administration d'extraits de lavande pouvait réduire la croissance des tumeurs et améliorer la survie, ce qui renforce l'intérêt de la lavande comme potentiel traitement anticancéreux **(Batiha et *al*., 2023).**

I.1.10.4. Activité antiulcéreuse

Lavandula angustifolia présente une activité antiulcéreuse significative, attribuée principalement à ses composés phénoliques et terpéniques qui protègent la muqueuse gastrique contre les lésions oxydatives et réduisent la sécrétion acide. Les flavonoïdes et polyphénols de la lavande exercent une action antioxydant et anti-inflammatoire, contribuant à limiter le stress oxydatif et à favoriser la cicatrisation des tissus gastriques **(Tăbărașu et *al*., 2023).**

I.1.10.5. Activité antivirale

Lavandula angustifolia possède une activité antivirale importante, principalement liée à son huile essentielle riche en linalool et acétate de linalyle, qui agit en perturbant l'enveloppe lipidique des virus et en inhibant leur réplication. Des études in vitro ont montré que les extraits de lavande réduisent la propagation de certains virus enveloppés, en particulier grâce à leurs propriétés antimicrobiennes et immunomodulatrices **(Koulivand et *al*., 2013).**

Une étude récente a confirmé que les espèces de *Lavandula* constituent une source prometteuse de molécules antivirales naturelles, capables de moduler la réponse immunitaire et de limiter l'infection virale **(Abou Baker et *al*., 2021).**

I.1.10.6. Activité antifongique

Lavandula angustifolia possède une activité antifongique notable contre plusieurs champignons pathogènes, notamment *Candida albicans*, *Aspergillus niger* et *Trichophyton rubrum*. L'huile essentielle, riche en linalool et acétate de linalyle, agit en perturbant la perméabilité membranaire des cellules fongiques, en inhibant leur croissance et en altérant des processus métaboliques essentiels **(Adaszyńska-Skwirzyńska et *al*., 2023).**

I.1.10.7. Activité antidiabétique

Selon des études in vitro et in silico, l'huile essentielle de lavande exerce une inhibition significative sur les enzymes digestives α-amylase et α-glucosidase, contribuant à ralentir l'absorption du glucose et à optimiser la régulation glycémique **(Assaggaf et *al*., 2024).**

L'extrait méthanolique de *Lavandula angustifolia* a révélé une forte capacité inhibitrice vis-à-vis des enzymes digestives α-amylase et α-glucosidase, ce qui pourrait contribuer à ralentir l'hydrolyse des glucides et à limiter l'absorption intestinale du glucose, offrant ainsi un potentiel intéressant dans la prise en charge de l'hyperglycémie postprandiale **(Sevindik et *al.*, 2025).**

Les fractions polyphénoliques purifiées à partir de l'extrait de *Lavandula angustifolia* ont démontré une amélioration significative de la tolérance au glucose ainsi qu'une réduction marquée des taux de glycémie chez des rats diabétiques induits par la streptozotocine, suggérant un potentiel antidiabétique intéressant via des mécanismes impliquant probablement l'amélioration de la sensibilité à l'insuline et la réduction de la résistance insulinique **(Chograni et *al*., 2024).**

I.1.10.8. Activité antiallergique

Des revues récentes soulignent que l'inhalation de l'huile essentielle de lavande supprime l'inflammation allergique des voies aériennes et l'hyperplasie des cellules muqueuses, en réduisant l'accumulation cellulaire, la production de mucus et les cytokines Th2, ce qui en fait un candidat prometteur comme anti-inflammatoire alternatif pour l'asthme bronchique allergique **(Sandner et *al.*, 2020).**

Par ailleurs, elle inhibe la synthèse de cytokines pro-inflammatoires (IL-6, IL-8, IL-1β, TNF-α) dans des modèles cellulaires (macrophages THP-1), renforçant son potentiel à moduler les processus inflammatoires impliqués dans les réactions allergiques **(Pandur et *al*., 2021).** Des travaux de synthèse confirment également son profil immuno modulateur global, avec une réduction des médiateurs allergiques et une stabilisation potentielle des mastocytes, bien que des études supplémentaires soient nécessaires pour valider son efficacité clinique et exclure un risque de sensibilisation allergique paradoxale **(Erfanian et *al*., 2025).**

Les extraits de *Lavandula angustifolia* ont démontré une capacité à inhiber l'activation de NF-κB et à diminuer significativement la libération d'histamine par les mastocytes, ce qui met en évidence leur potentiel thérapeutique dans la gestion des maladies allergiques,

notamment par la modulation des voies inflammatoires et la stabilisation des mastocytes **(Jiang, et *al*., 2025).**

I.1.10.9. Anti inflammatoire

Grâce à ses huiles essentielles riches en linalool et acétate de linalyle, *Lavandula angustifolia* réduit la production de médiateurs pro-inflammatoires tels que TNF-α et IL-6. Des études in vitro et in silico ont montré que les extraits de lavande inhibent la voie NF-κB et limitent la libération de cytokines responsables de l'inflammation **(You et *al*., 2024).**

Les flavonoïdes et antioxydants présents dans la plante contribuent également à atténuer le stress oxydatif, renforçant ainsi son effet anti-inflammatoire global **(Sharifi-Rad et *al.*, 2022).**

Plus récemment, une revue pharmacologique a confirmé que les espèces de *Lavandula* représentent une source prometteuse de molécules naturelles pour le développement de nouveaux agents anti-inflammatoires **(Sevindik et *al*., 2025).**

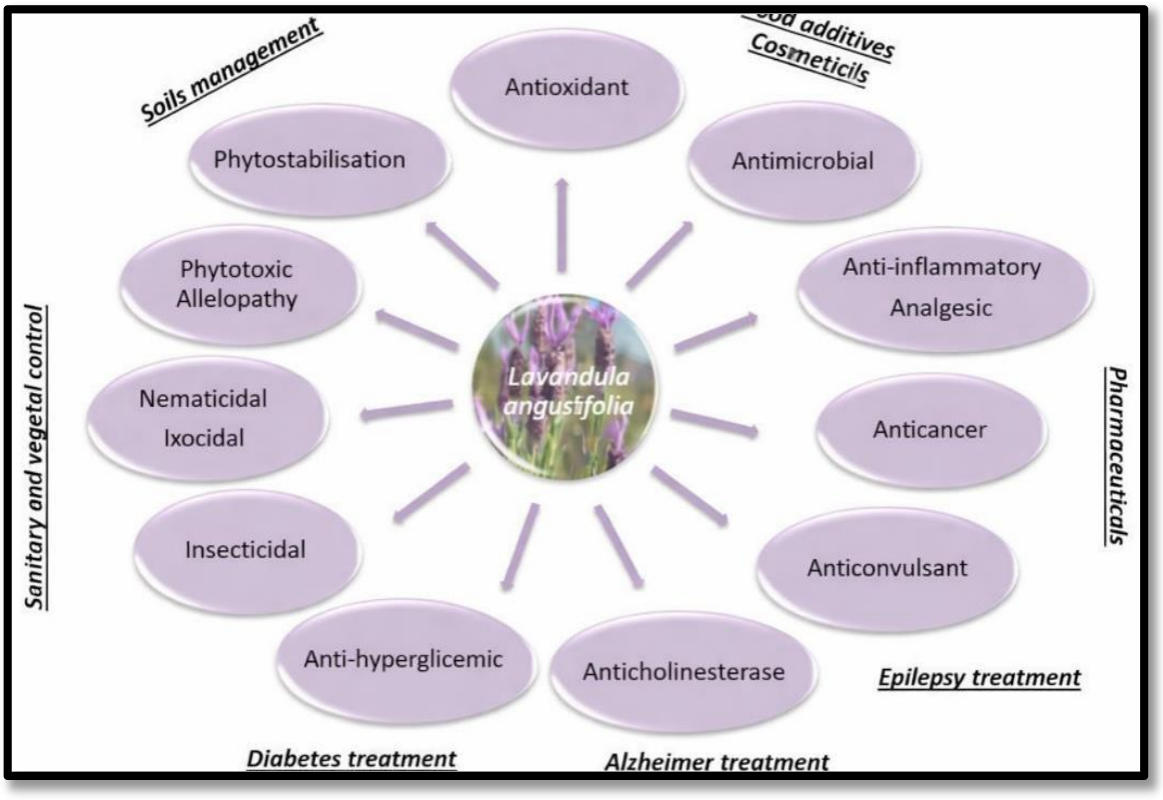


Figure 8 : Activités biologiques de la plante *Lavandula angustifolia* **(Caser et *al*., 2023).**

I.1.11. Toxicité de *Lavandula angustifolia*

L'huile essentielle de lavande (*Lavandula angustifolia*) est généralement bien tolérée lorsqu'elle est utilisée aux doses recommandées. Les effets indésirables signalés concernent

principalement des troubles digestifs en cas de consommation excessive. À fortes doses, les huiles essentielles de lavande peuvent agir comme des substances narcotiques et devenir toxiques **(Lal et *al*., 2025).**

Parmi les composants pouvant être responsables d'effets toxiques dans l'huile essentielle de lavande, on retrouve le d-limonène (dont le peroxyde d'hydrogène est un métabolite), le linalol et l'acétate de linalyle **(Chu et Kemper, 2001).**

I.2. Métabolites secondaires

I.2.1. Définition

Les métabolites secondaires constituent une vaste classe de composés biologiquement actifs, biosynthétisés à partir de métabolites primaires. Leur distribution au sein du règne végétal est relativement restreinte **(Jain et *al*., 2019).** Les métabolites secondaires exercent diverses activités biologiques, notamment thérapeutiques. Ils ne sont pas essentiels à la survie immédiate des plantes et ne contiennent généralement pas de liaisons à haute énergie. Leur production est principalement associée aux mécanismes de défense contre les herbivores et les agents pathogènes **(Ogbemudia et Thompson, 2014).**

I.2.2. Classification

Les métabolites secondaires d'origine végétale peuvent être classés en trois groupes chimiquement distincts : les terpènes, les composés phénoliques et les composés azotés **(Nwokeji et *al*., 2016).**

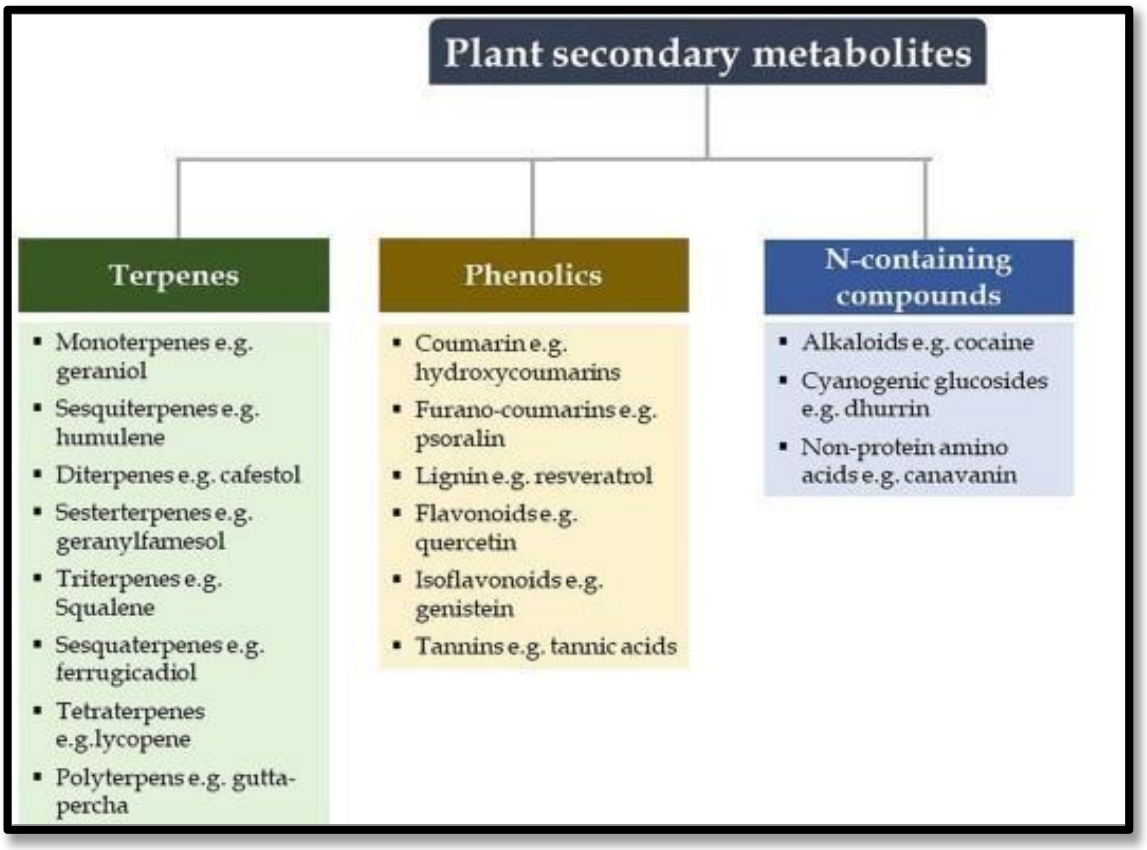


Figure 9 : Les trois principaux types de métabolites secondaires **(Lal et *al*., 2023).**

I.2.2.1. Composés phénoliques

Les composés phénoliques se caractérisent par la présence d'au moins un cycle aromatique portant un ou plusieurs groupes hydroxyles. Ces composés présentent une grande diversité structurale, allant des molécules simples de faible poids moléculaire et ne possédant qu'un seul cycle aromatique jusqu'aux tanins et polyphénols dérivés, structures complexes et de grande taille.Ils peuvent être classés selon le nombre et la disposition de leurs atomes de carbone , ils sont le plus souvent conjugués à des sucres ou à des acides organiques. Sur le plan chimique, les composés phénoliques se répartissent en deux grandes catégories : les flavonoïdes et les non-flavonoïdes **(Crozier et *al*., 2006).**

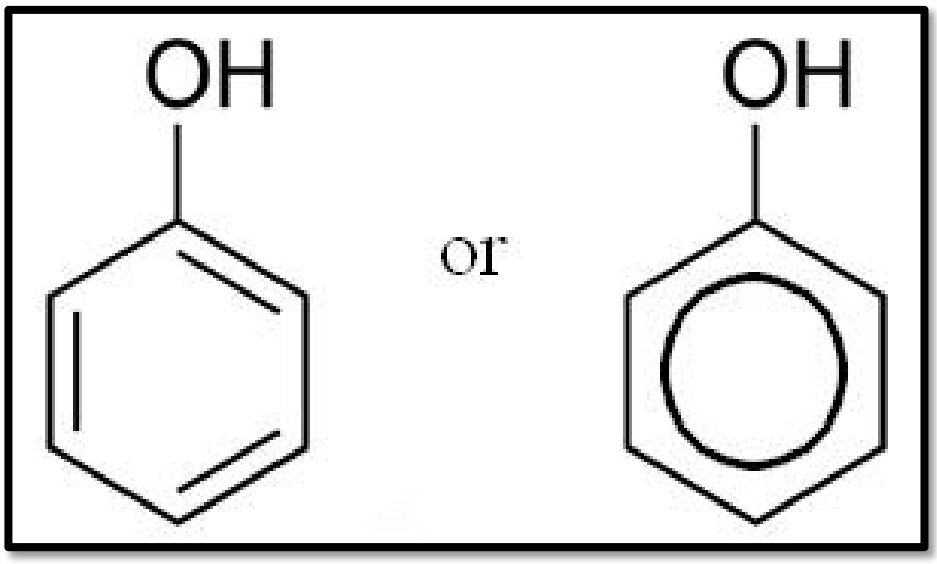


Figure 10 : Structure chimique du phénol **(Abubakar et Shukor, 2017).**

I.2.2.1.1. Flavonoïdes

Les flavonoïdes possèdent un squelette carboné de 15 atomes de carbone constitué de deux cycles aromatiques reliés par un cycle hétérocyclique à trois carbones. Ils forment une vaste famille regroupant plus de 10 000 composés phytochimiques **(Şengül et *al*., 2025).**

Ces molécules sont particulièrement abondantes dans les plantes vertes, où elles se rencontrent principalement sous forme de glycosides au niveau des feuilles, des fleurs, des tiges et des racines. Sur le plan structural, les flavonoïdes se répartissent en six classes principales : les anthocyanidines, les flavonols, les flavones, les flavanones, les isoflavonoïdes et les flavanols **(Twaij et Hasan, 2022).**

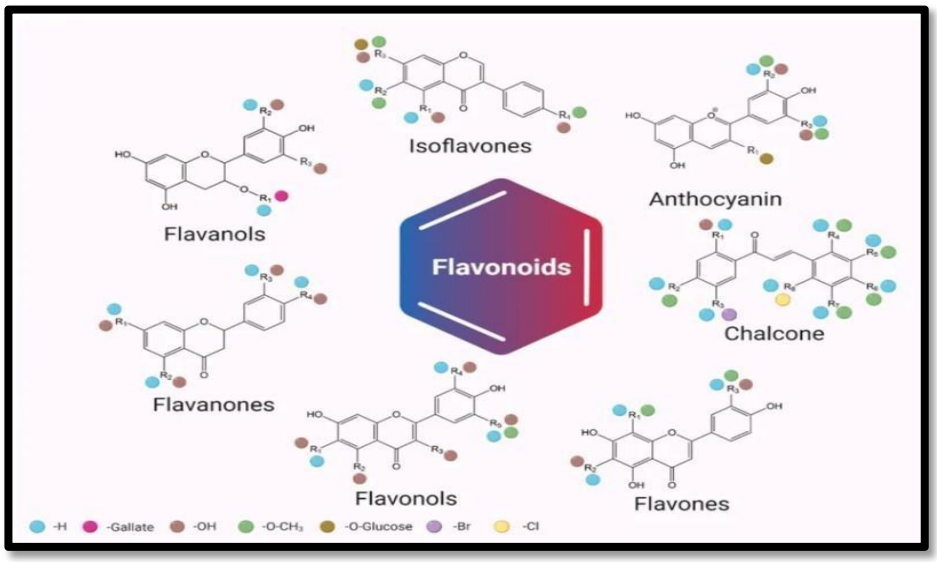


Figure 11 : Structure et classification des flavonoïdes **(Drețcanu et *al*., 2022).**

- **Activités biologiques des flavonoïdes**

Les flavonoïdes possèdent des propriétés antioxydantes remarquables, notamment grâce à leur capacité de piégeage des radicaux libres et de chélation des métaux, contribuant ainsi à la réduction du stress oxydatif **(Chen et *al.*, 2023).** Leur activité anti-inflammatoire est associée à l'inhibition de voies de signalisation telles que NF-κB et MAPK. Par ailleurs, leurs effets anticancéreux reposent sur la régulation de processus cellulaires clés, notamment l'apoptose, l'autophagie et la prolifération cellulaire. Sur le plan métabolique, ils présentent des activités antidiabétiques en améliorant la sensibilité à l'insuline et en modulant le métabolisme glucidique. En outre, leur effet cardioprotecteur se traduit par une amélioration de la fonction endothéliale et une diminution du stress oxydatif vasculaire. Enfin, leurs propriétés neuroprotectrices sont attribuées à la réduction de l'inflammation neuronale et à la protection contre les dommages oxydatifs, ce qui en fait des candidats prometteurs dans la prévention des maladies neurodégénératives **(Barreca et *al.*, 2023).**

I.2.2.1.2. Non-flavonoïdes

Les non-flavonoïdes regroupent les composés phénoliques dont la structure chimique est généralement plus simple et de taille plus réduite que celle des flavonoïdes. Néanmoins, certains non-flavonoïdes présentent une structure complexe et une masse molaire élevée. Ce groupe est principalement constitué par les acides phénoliques, les coumarines, les stilbènes, les tanins et les lignanes **(Cosme et *al*., 2020).**

A. Acides phénoliques

Les acides phénoliques constituent une classe de composés caractérisés par un noyau aromatique substitué par une fonction carboxylique et un ou plusieurs groupes hydroxyles. Ils se divisent principalement en acides hydroxybenzoïques, acides hydroxycinnamiques et autres acides hydroxyphényliques (acétique, propanoïque et pentaénoïque), ces catégories se distinguant par la longueur de la chaîne aliphatique portant le groupe carboxylique. Les acides hydroxybenzoïques sont rarement trouvent sous leur forme libre ; ils se présentent généralement sous forme glycosylée, conjuguée à de petits acides organiques (quinique, maléique ou tartrique) ou associée à des constituants structurels des cellules végétales (cellulose, protéines ou lignine) **(Russell et Duthie, 2011).**

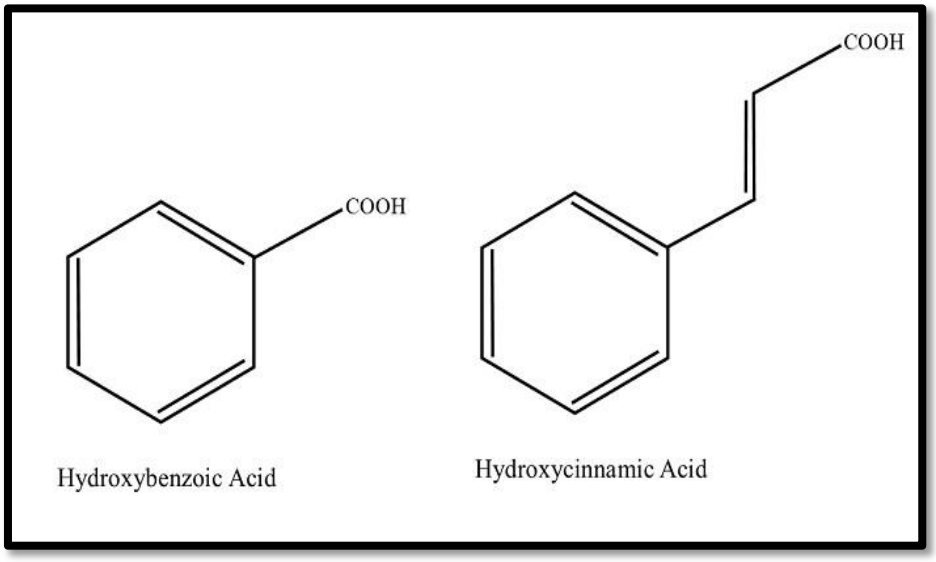


Figure 12 : Les sous-classes des acides phénoliques : l'acide hydroxycinnamique et l'acide hydroxybenzoïque **(Ali et *al*., 2020).**

- **Activités biologique des acides phénoliques**

Les acides phénoliques jouent un rôle majeur dans la promotion de la santé humaine, principalement grâce à leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. Ces mécanismes contribuent à la prévention des pathologies cardiovasculaires et de divers cancers, tout en assurant une protection contre les affections liées au stress oxydatif. Par ailleurs, ils présentent un large spectre d'activités biologiques, incluant des effets antimicrobiens, antimutagènes, hypoglycémiants ainsi qu'une action antiagrégante plaquettaire **(Kumar et *al*., 2025).**

De plus, plusieurs acides phénoliques spécifiques notamment l'acide p-coumarique, l'acide férulique, l'acide p-hydroxybenzoïque, l'acide vanillique et certains dérivés hydroxycinnamiques ont démontré une activité anti-obésité et cardioprotectrice. Cette action se traduit par une réduction significative du cholestérol total, des triglycérides, des acides gras libres et des phospholipides, confirmant leur potentiel dans la modulation du métabolisme lipidique et la prévention des désordres métaboliques associés **(Rashmi et Negi, 2020).**

B. Stilbènes

Les stilbènes constituent une classe de composés polyphénoliques caractérisés par un squelette carboné de type C_6-C_2-C_6. Ils fonctionnent comme des phytoalexines, molécules synthétisées par les plantes en réponse à une attaque par des bactéries, des champignons, des virus ou des nématodes pathogènes. Le resvératrol, présent sous ses isomères cis et trans, en représente l'exemple le plus étudié. Les stilbènes se rencontrent principalement dans le soja, les arachides, le vin et les raisins **(Ahmed et *al*., 2017).**

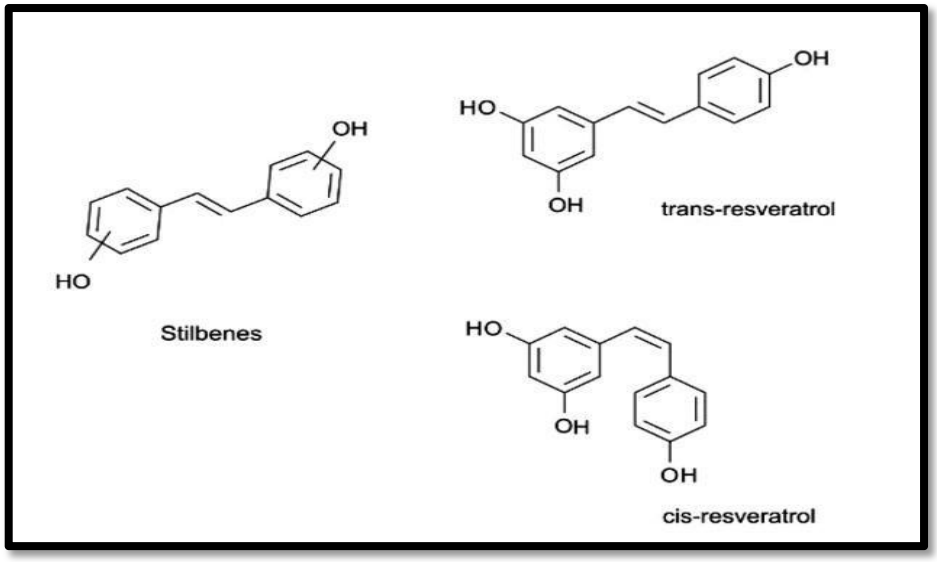


Figure 13 : Structure de base des stilbènes et du resvératrol cis et trans **(Singla et *al*., 2019).**

- **Activités biologiques des stilbénes**

Les stilbènes se caractérisent par une diversité d'activités biologiques, incluant des propriétés antimicrobiennes, antioxydantes, anti leucémiques, antiplaquettaires, inhibitrices des protéines tyrosine kinases, ainsi que des effets anti inflammatoires, anticancéreux et anti VIH **(Kluska et *al*., 2023).**

L'activité anticancéreuse des stilbènes repose principalement sur leur aptitude à bloquer un large spectre de voies de signalisation impliquées dans la croissance et la progression tumorales. Par ailleurs, leur activité antimicrobienne a été associée à plusieurs mécanismes, notamment l'induction de lésions au niveau de la paroi et de la membrane cellulaires des microorganismes, la condensation du cytoplasme ainsi que la perturbation du potentiel membranaire **(Mendonça et *al*., 2024).**

C. Tanins

Les tanins représentent le troisième groupe de composés phénoliques le plus important. Ils se rencontrent fréquemment sous forme d'oligomères et de polymères capables d'interagir avec l'amidon, la cellulose, les protéines et les minéraux, générant ainsi une grande variété de complexes. On distingue deux sous-classes principales de tanins : les tanins condensés et les tanins hydrolysables, dont le poids moléculaire s'échelonne généralement entre 600 et 3 000 Da **(Pramanik et *al*., 2024).**

- **Les tanins hydrolysables**

Les tanins hydrolysables sont généralement présents à des concentrations plus faibles dans les plantes par rapport aux tanins condensés (CT). Ces tanins hydrolysables se

subdivisent en gallotannins (acide gallique et acide quinique) et en ellagitannins (acide caféique et acide quinique). Ils subissent une hydrolyse par l'action d'enzymes taninases impliquées dans la rupture des liaisons estérifiées. Les tanins hydrolysables (HT) peuvent générer des composés tels que le pyrogallol, lequel exerce une toxicité sur les ruminants **(Mihaylova et *al*., 2025).**

- **Les tanins condensés**

Les tanins condensés se caractérisent par une diversité structurale chimique qui détermine leurs propriétés physiques et biologiques. Ils résultent de l'assemblage d'unités flavonoïdes (flavan-3-ols) interconnectées par des liaisons carbone-carbone. La complexité des tanins condensés (TC) est fonction des unités flavonoïdes impliquées, qui varient en fonction des constituants et des sites de formation des liaisons inter flavaniques. Le terme « proanthocyanidines » (PA) provient de la réaction d'oxydation acide-catalysée, laquelle génère des anthocyanidines rouges lorsque les PA sont chauffées en milieu alcoolique acide. Le pigment anthocyanidine est à l'origine des colorations observées dans les fleurs, les feuilles, les jus de fruits et les vins. L'astringence gustative caractéristique de certaines feuilles, fruits et vins résulte de la présence de tanins **(Hassanpour et *al*., 2011).**

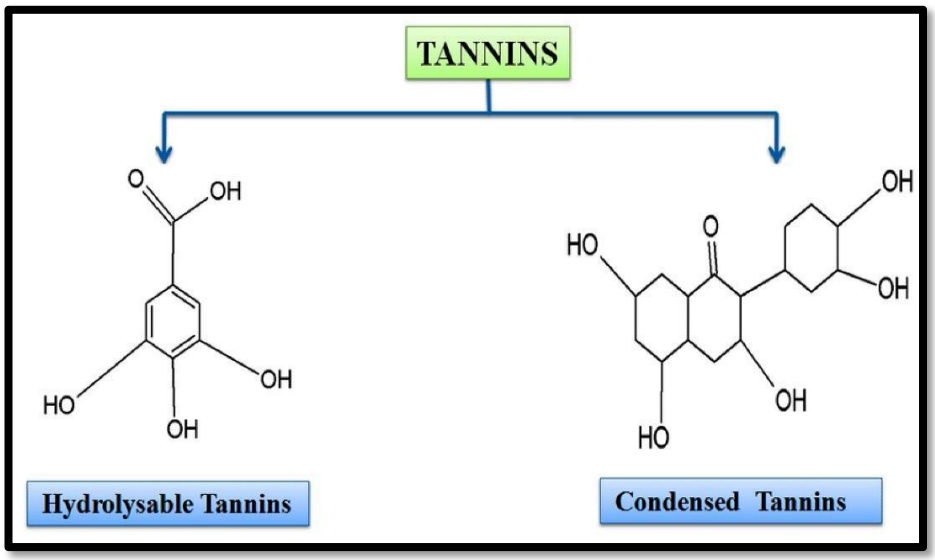


Figure 14 : Structures chimiques des tannins **(Zhao et *al*., 2025).**

- **Activités biologiques des tanins**

Les tanins hydrolysables et condensés présentent une diversité d'activités biologiques remarquables. Leur rôle antioxydant, basé sur le piégeage des radicaux libres et la réduction du stress oxydatif, constitue un mécanisme central de protection. Ils exercent également des propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires et anticancéreuses, en modulant les voies de

signalisation et en inhibant la croissance de pathogènes. Leur forte interaction avec les protéines, les polysaccharides et les minéraux leur confère des effets astringents, antidiarrhéiques et une capacité à limiter l'adhésion des agents infectieux. Enfin, leur potentiel biotechnologique est élevé, notamment par la modulation du microbiote intestinal et la contribution à la prévention de maladies neurodégénératives grâce à leurs effets neuroprotecteurs **(de Melo et *al*., 2023).**

Dans le domaine animal, l'incorporation de tanins dans l'alimentation améliore la qualité de la viande et du lait, tout en renforçant la stabilité oxydative des produits. Leur utilisation en nutrition animale illustre leur potentiel pratique, en combinant des effets antioxydants, antimicrobiens et protecteurs qui contribuent à la durabilité et à la qualité des produits d'origine animale **(Tong et *al*., 2022).**

D. Lignanes

Les lignanes constituent une classe de non-flavonoïdes formés par l'association de deux unités phénylpropanoïdes selon le motif C_6-C_3-C_3-C_6. Bien que largement distribués dans le règne végétal, ils sont généralement présents à de faibles concentrations dans les céréales, les fruits, les noix, les légumes et autres tissus végétaux. Les lignanes les plus fréquemment rencontrés sont le secoisolaricirésinol, le matairésinol, le laricirésinol et le pinorésinol ; ils sont particulièrement abondants dans les graines de lin **(Consonni et Ottolina, 2022).**

Les chalcones et les dihydrochalcones possèdent un squelette carboné de type C_6-C_3-C_6 caractéristique des flavonoïdes ; toutefois, la chaîne C_3 n'est pas cyclisée en un noyau pyranne. Elles sont présentes dans un nombre limité d'aliments. Les dihydrochalcones les plus courantes, caractérisées par une chaîne C_3 saturée, sont la phlorétine et son glucoside, la phloridzine, composés typiques de la pomme et de certains produits dérivés de la pomme **(de la Rosa et *al*., 2019).**

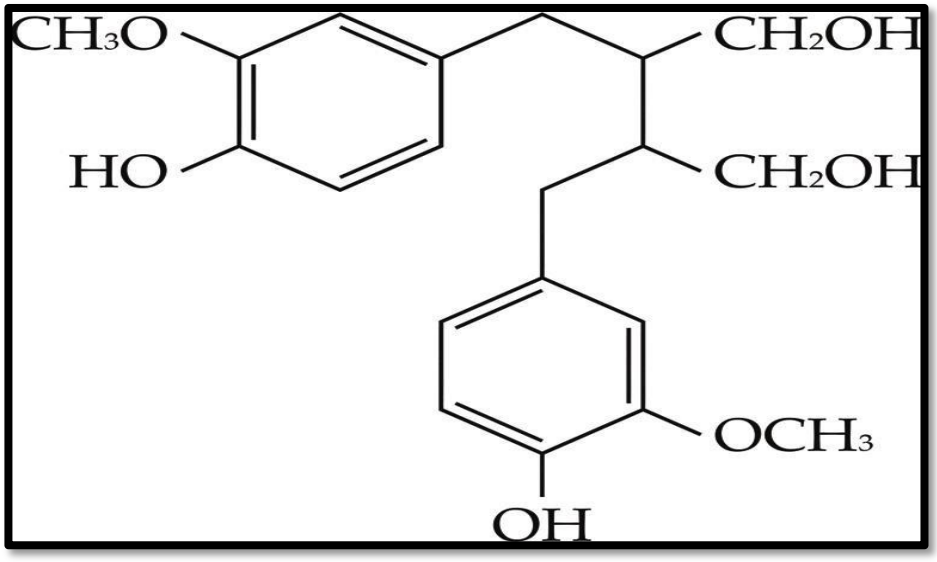


Figure 15 : Structure chimique des lignanes **(Mrduljaš et *al*., 2017).**

- **Activités biologiques des lignanes**

Les chalcones et dihydrochalcones, sont des composés phénoliques largement étudiés pour leurs propriétés antioxydantes et antimicrobiennes. Leur activité antioxydante est principalement attribuée à la présence de groupes hydroxyles, capables de piéger les radicaux libres, de céder des électrons ou des atomes d'hydrogène, ces mécanismes participent à la protection des structures cellulaires contre le stress oxydatif. Sur le plan antimicrobien, ces molécules exercent une action notable en perturbant le métabolisme bactérien, en modifiant les récepteurs membranaires, en inhibant la formation de biofilms et en altérant le fonctionnement des canaux ioniques **(Jang et *al*., 2022).**

Par ailleurs, les lignanes présentent des effets chimiopréventifs significatifs, liés à leur capacité à agir comme modulateurs hormonaux, ce qui leur permet d'inhiber la prolifération cellulaire et de limiter la formation de métastases. Ils contribuent également à la réduction du développement des maladies cardiovasculaires et à la prévention de l'hypertension **(Oluwole et *al*., 2022).**

E. Coumarines

Les coumarines (2H-benzopyran-2-one) sont des substances phénoliques simples correspondent à une classe de composés phénoliques simples formés d'une molécule phénolique majeure résultant de la fusion d'un cycle benzénique et d'un cycle α-pyrone. Elles sont couramment identifiées dans les plantes vasculaires. Les coumarines naturelles se divisent en diverses classes selon leur diversité et leur complexité structurales : coumarines simples, isocoumarines, furanocoumarines et pyranocoumarines (angulaires et linéaires),

biscoumarines, ainsi que d'autres coumarines incluant les phénylcoumarines **(Annunziata et *al*., 2020).**

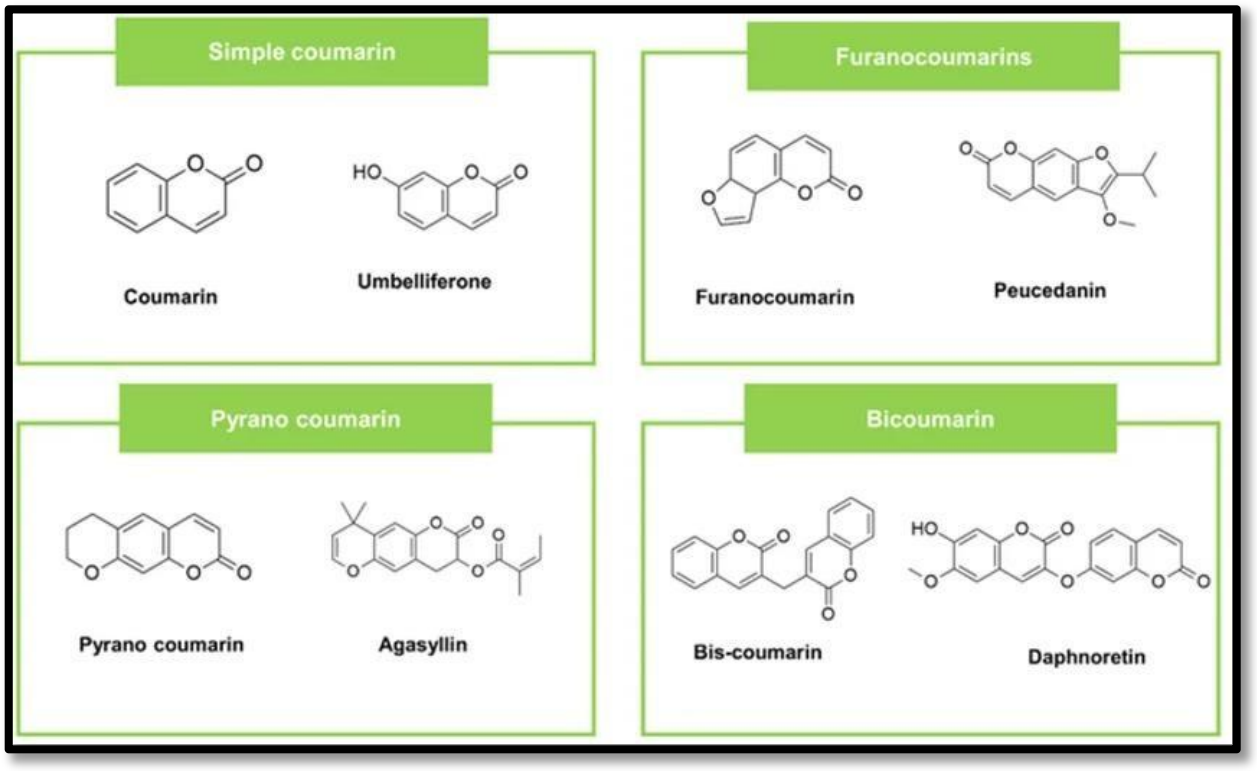


Figure 16 : Structure chimique des coumarines et leurs différentes classes **(Ecevit et *al*., 2022).**

- **Activités biologiques des coumarines**

Les coumarines constituent des composés hétérocycliques reconnus pour la diversité de leurs propriétés médicinales. Elles se caractérisent notamment par des activités antifongiques, antibactériennes, antioxydants et anti-inflammatoires. Par ailleurs, la coumarine et ses dérivés présentent une activité anticancéreuse contre différents types de cancers, incluant ceux de la prostate, du rein, du sein, du larynx, du poumon, du côlon, du système nerveux central, ainsi que la leucémie et le mélanome malin. De plus, certains dérivés de la coumarine à potentiel antiviral anti-VIH sont capables d'inhiber différentes étapes du cycle de réplication du virus, notamment la fixation à la cellule hôte et la fusion membranaire **(Mohammed et Ahamed, 2022).**

En outre, les coumarines se distinguent par leurs propriétés anticoagulantes : ces agents modulent le processus d'hémostase et inhibent la formation de thrombus. Elles exercent également une activité antithrombotique, en prévenant la thrombose grâce à leur capacité à inhiber l'agrégation plaquettaire, ce qui en fait des candidats thérapeutiques prometteurs dans

le traitement des pathologies cardiovasculaires **(Elmusa et *al*., 2022).** Enfin, elles possèdent une activité hypoglycémique, les coumarines naturelles étant capables de réguler les voies de signalisation de l'insuline, de stimuler sa sécrétion et de renforcer l'activité des enzymes impliquées dans le métabolisme du glucose, telles que le glucose-6-phosphate **(Santos Junior et *al*., 2023).**

I.2.2.2. Terpénoides

Les terpénoïdes sont une classe diversifiée de composés organiques naturels dérivés de l'unité isoprène à cinq atomes de carbone. Leur formule générale est : (C5H8) n. les terpénoïdes se manifestent aussi sous forme de divers dérivés oxygénés, incluant les alcools, les aldéhydes, les acides carboxyliques, les cétones, les esters et les glycosides.La biosynthèse des terpénoïdes repose essentiellement sur deux voies métaboliques distinctes : la voie du mévalonate (MVA) et la voie du 1-désoxy-D-xylulose-5-phosphate (DXP). L'isopentényldiphosphate (IPP) représente l'intermédiaire métabolique clé partagé par ces deux voies **(Yang et *al*., 2020).**

La classification des terpénoïdes s'appuie fondamentalement sur le nombre d'unités isoprénoïdes intégrées à leur structure moléculaire **(Ashour et *al*., 2010).**

- **Hemiterpénes**

Les hémiterpènes sont les terpènes les plus simples. Ils sont insolubles dans l'eau, mais certaines molécules contenant du sucre sont solubles dans l'eau. L'hémiterpène le plus connu est l'isoprène, qui est l'unité de base de tous les terpènes. Les acides tiglique, caféique et isovalérique sont des exemples d'hémiterpènes naturels bien connus que l'on trouve dans les plantes **(El Arabi et *al*., 2025).**

- **Monoterpènes**

Les monoterpènes sont composés de 10 atomes de carbone avec deux unités d'isoprène et ont pour formule moléculaire C10H16. Les monoterpénoïdes se présentent sous plus de 30 squelettes carbonés différents connus. Parmi eux, environ 20 sont courants et peuvent être divisés en types acycliques, monocycliques et bicycliques **(Câmara et *al*., 2024).**

- **Sesquiterpène**

Les sesquiterpènes forment une catégorie de métabolites secondaires composés de trois unités d'isoprène (C15H24), adoptant des configurations linéaires, cycliques, bicyliques ou tricyliques. Ils peuvent également adopter une structure de cycle lactone. Ces composés

existent sous forme d'hydrocarbures ou sous forme oxygénée, incluant notamment des lactones, des alcools, des acides, des aldéhydes et des cétones **(Anjali et *al*., 2026).**

- **Diterpènes**

Les diterpénoïdes constituent une catégorie diversifiée de composés chimiques ubiquitaires dans diverses sources naturelles, caractérisés par une formule moléculaire C20H32 et l'assemblage de quatre unités d'isoprène. Dans l'environnement naturel, ils apparaissent typiquement sous une forme polyoxygénée, incorporant des groupes cétoniques et hydroxyles qui sont fréquemment estérifiés par des acides aliphatiques ou aromatiques de faible masse molaire **(Vijayan et *al*., 2026).**

- **Sesterterpènes**

Les sesterterpènes se composent de 25 atomes de carbone, issus de cinq unités d'isoprène, et présentent une formule moléculaire de C25H40 **(Mabou et Nzeuwa Yossa, 2021).**

- **Triterpènes**

Les triterpénoïdes correspondent à une classe de composés dont le squelette carboné est formé de six unités d'isoprène, issues biosynthétiquement de l'hydrocarbure acyclique C30, à savoir le squalène **(Tao et *al*., 2022).**

- **Tétraterpènes**

Les tétraterpénoïdes se composent de huit unités d'isoprène et affichent une formule moléculaire de C40H64. Parmi les tétraterpénoïdes les plus répandus sont les caroténoïdes, reconnus comme des pigments naturels liposolubles **(Sharmila et *al*., 2025).**

- **Polyterpènes**

Les polyterpénoïdes correspondent à des polymères isoprénoïdes de nature hydrocarbonée, formés de plus de huit unités d'isoprène. Il est communément accepté que cette catégorie de composés englobe les caoutchoucs **(Mabou et Nzeuwa Yossa, 2021).**

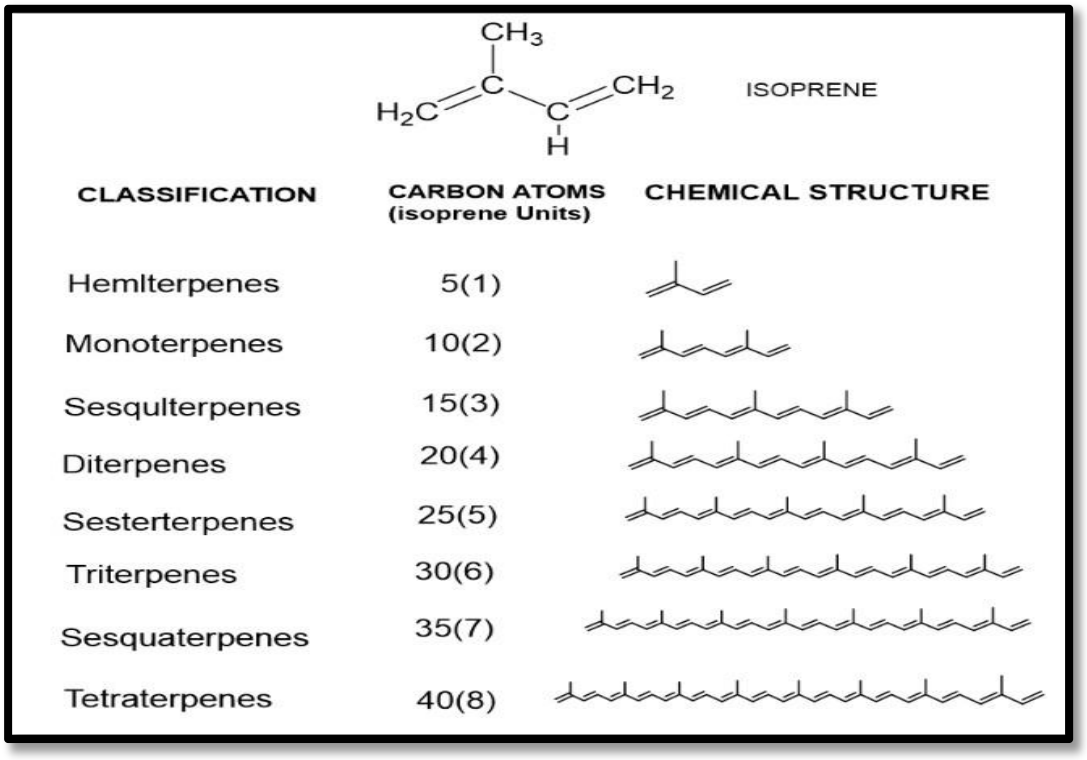


Figure 17 : Structure chimique de l'isoprène et classification des terpènes en fonction du nombre d'unités d'isoprène **(Parekh et *al*., 2024).**

- **Activités biologiques des terpénoïdes**

Plusieurs composés médicaux dérivés de cette famille, tels que le paclitaxel ou l'artémisinine, sont utilisés en chimiothérapie et en traitement antipaludique, illustrant l'importance thérapeutique des terpénoïdes. Leur mécanisme d'action repose souvent sur la perturbation des membranes cellulaires, l'inhibition d'enzymes clés et la modulation de voies de signalisation, ce qui leur confère des effets anticancéreux et anti-infectieux confirmés **(Bergman, et *al* ., 2019)**.

Ils présentent également une large gamme d'activités biologiques : antimicrobiennes (antibactériennes, antifongiques, antivirales), anti-inflammatoires, antioxydantes, antiparasitaires et immunomodulatrices. Leur diversité structurale (monoterpènes, sesquiterpènes, diterpènes, triterpènes) leur confère un potentiel élevé non seulement en médecine mais aussi dans les industries alimentaire, cosmétique et pharmaceutique, où ils sont exploités pour leurs effets thérapeutiques et leurs applications industrielles **(Câmara, et *al*., 2024).**

I.2.2.3. Composés azotés et autre métabolites

A. Alcaloïdes

Les alcaloïdes se définissent comme des substances basiques d'origine naturelle renfermant de l'azote, caractérisées par une distribution restreinte et une structure d'une grande complexité. L'atome d'azote qu'elles contiennent est intégré à un système hétérocyclique, et elles manifestent une activité pharmacologique significative. Les alcaloïdes sont classés en trois groupes : les alcaloïdes vrais, les proto-alcaloïdes et les pseudo-alcaloïdes **(Bribi, 2018).**

- **Les vrais alcaloïdes :** Ces alcaloïdes correspondent à des composés issus de la dérivation d'acides aminés associés à un cycle hétérocyclique azoté, tels que l'atropine ou la nicotine, etc.
- **Les proto-alcaloïdes :** Sont des composés qui contiennent un atome d'azote dérivé d'un acide aminé qui ne fait pas partie du cycle hétérocyclique, par exemple l'adrénaline, l'éphédrine, etc.
- **Les pseudo-alcaloïdes :** Sont des composés qui ne proviennent pas d'acides aminés, par exemple la caféine, la théobromine, etc **(Roy, 2018).**

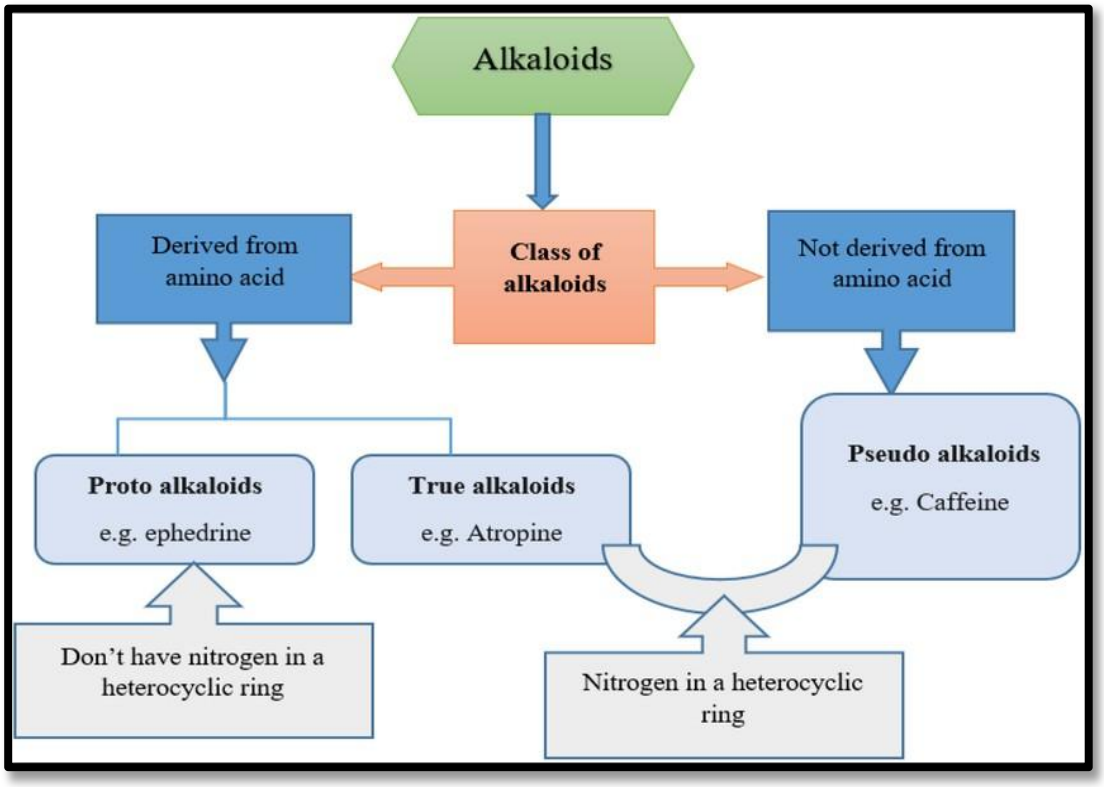


Figure 18 : Classification des alcaloïdes en fonction de leur structure chimique **(Behl et *al*., 2022).**

B. Les glycosides cyanogéniques

Les glycosides représentent près de 90 % des toxines végétales regroupées sous le terme de composés cyanogènes. Sur le plan chimique, ils correspondent à des glycosides d'α-hydroxynitriles, composés de deux unités principales : un résidu glucidique, le plus souvent le glucose, et un aglycone, partie non glucidique de la molécule, portant le groupe cyanogène (–CN). Ces deux constituants sont liés par une liaison glycosidique **(Piršelová et Jakubčinová, 2025).**

C. Les glucosinolates

Les glucosinolates (GSL) constituent une classe importante de composés organosoufrés. Les GSL présentent un motif central caractéristique composé d'un β-thioglucose, relié par un atome de soufre à un ester (Z) -N-hydroximinosulfate. À cette architecture de base s'ajoute une chaîne latérale variable, issue d'un acide aminé, qui confère à chaque glucosinolate des propriétés chimiques et biologiques spécifiques **(Abdel-Massih et *al*., 2023).**

D. Les phénylpropanoïdes

Les phénylpropanoïdes sont une vaste famille de métabolites secondaires dérivés de la voie du shikimate, caractérisés par un squelette aromatique C6–C3 **(Vogt, 2010).**

- **Activités biologiques des composés azotés et autre métabolites**

Un grand nombre de composés hétérocycliques azotés sont reconnus pour leur vaste spectre d'activités pharmacologiques, incluant des propriétés anticancéreuses, anti-VIH, antipaludiques, antituberculeuses, antimicrobiennes et antidiabétiques **(Kerru et *al*., 2020).** Parallèlement, les phénylpropanoïdes jouent un rôle central dans les réponses adaptatives des plantes face aux stimuli biotiques et abiotiques. Ils ne se limitent pas à constituer des marqueurs des réactions végétales au stress induit par des variations de lumière ou par des traitements minéraux, mais agissent également comme médiateurs essentiels de la résistance des plantes contre les agents pathogènes et les ravageurs **(Ortiz et Sansinenea, 2023).**

Les alcaloïdes constituent une vaste famille de composés naturels caractérisés par une diversité remarquable d'activités biologiques. Ils se distinguent notamment par leurs propriétés antioxydantes, attribuées à leur capacité de neutraliser les radicaux libres, de chélater certains ions métalliques et de jouer le rôle de donneurs d'électrons ou d'atomes d'hydrogène **(Badri et *al*., 2019).**

Par ailleurs, plusieurs alcaloïdes présentent une activité anticancéreuse, illustrée par des molécules telles que la vincristine, la vinblastine et le taxol, largement utilisés en

chimiothérapie pour le traitement de la leucémie, des lymphomes et de divers cancers à un stade avancé **(Bhambhani et *al*., 2021).**

Certains alcaloïdes manifestent également une activité antibactérienne, à l'exemple de la squalamine, du lysergol et de la tomatidine, confirmant ainsi leur intérêt thérapeutique dans la lutte contre les infections microbiennes **(Thawabteh et *al*., 2019).**

Outre ces effets généraux, plusieurs alcaloïdes exercent des activités pharmacologiques spécifiques :

- **Atropine :** Dotée d'actions anticholinergiques, antispasmodiques et antimuscariniques, par inhibition des récepteurs muscariniques de l'acétylcholine.
- **Quinine :** Antipaludique reconnu, possédant un effet antipyrétique modéré et une activité analgésique, en inhibant la dégradation de l'hémoglobine par le parasite, ce qui conduit à son inanition.
- **Morphine :** Puissant analgésique et stimulant du système nerveux central, agissant comme agoniste des récepteurs opioïdes et activant la voie de récompense, mécanisme à l'origine de ses effets antalgiques **(Debnath et *al*., 2018).**

Chapitre II:

Matériel et méthodes

Notre travail a été réalisé au niveau du laboratoire pédagogique de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université El Mudjahid Abdelhafid Boussouf de Mila.

II.1. Matériel

Les feuilles de lavande (*Lavandula angustifolia*) ont été collectées à la main au mois de février 2026 dans la région de Sidi Khelifa, (Mila, Algérie).

Le matériel végétal récolté a été séché à température ambiante, à l'abri de la lumière, dans un environnement sec et bien ventilé pendant une période d'environ dix jours. Après dessiccation complète, les feuilles ont été finement broyées à l'aide d'un broyeur jusqu'à l'obtention d'une poudre homogène, puis conservées dans des conditions appropriées, à l'abri de la lumière et de l'humidité, en vue de leur utilisation ultérieure.

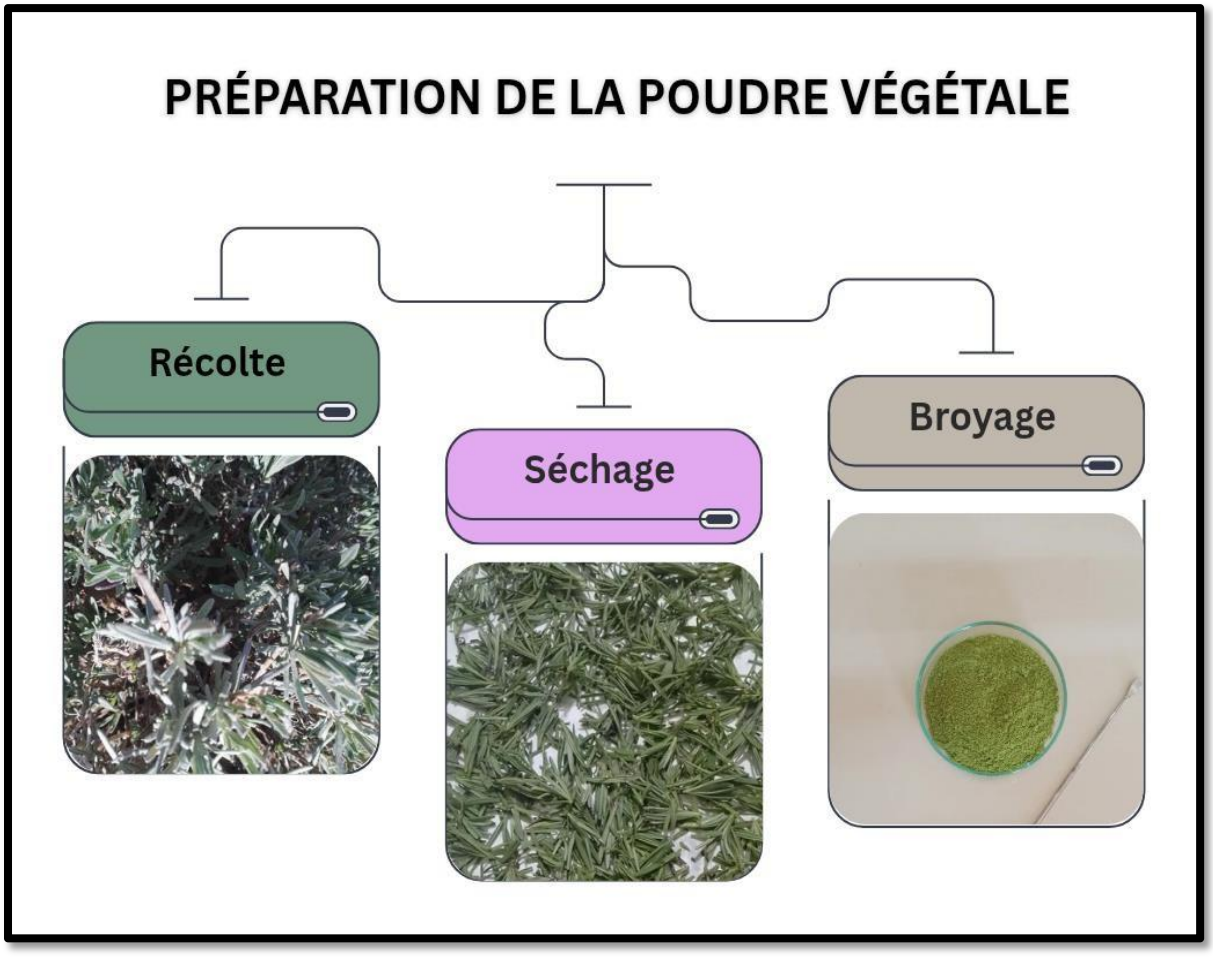


Figure 19 : Etapes de préparation de la poudre des feuilles de *Lavandula angustifolia* **(Photo personnelle).**

II.1.1. Présentation de la zone d'étude

La commune de Sidi Khelifa, d'une superficie d'environ 46 km² (4 600 hectares), est située dans la wilaya de Mila, au nord-est de l'Algérie. Cette localité se trouve dans la région de l'Atlas tellien, à une altitude moyenne autour de 900-970 mètres (environ 927 m au centre), dans une zone montagneuse et vallonnée typique des hauts plateaux et reliefs telliens. Elle est bordée au sein de la wilaya de Mila. Ses coordonnées géographiques approximatives sont 36°20'59" N, 6°18'01" E.

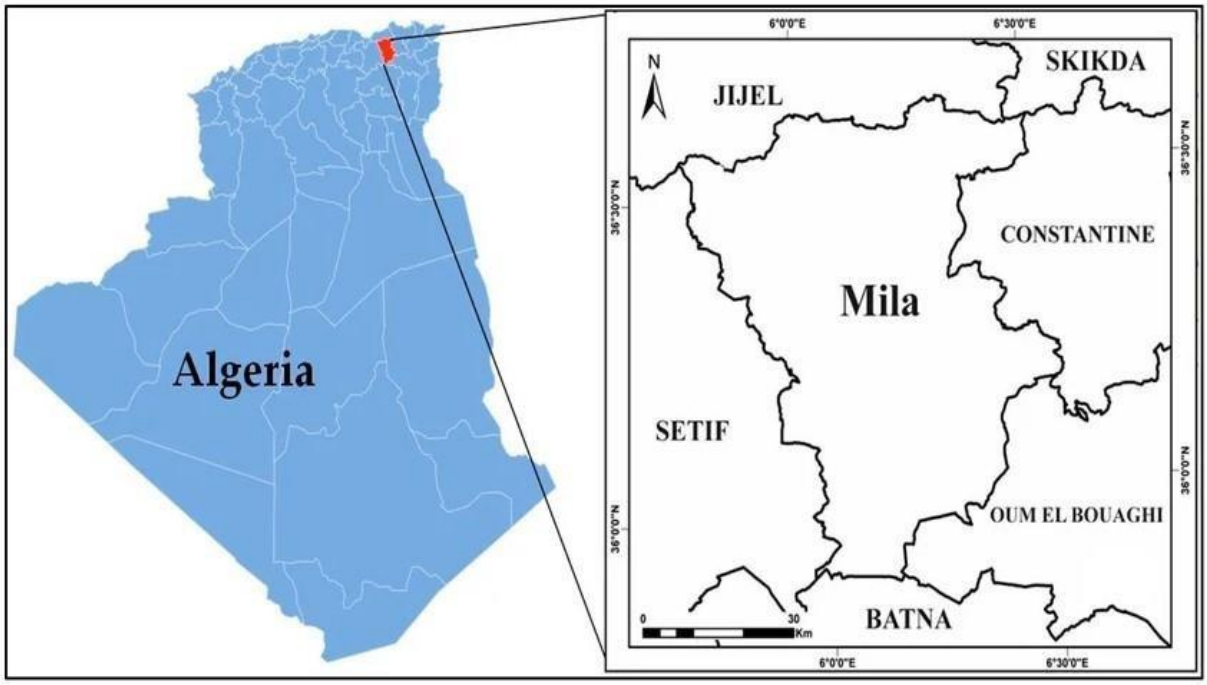


Figure 20 : Localisation géographique de la wilaya de Mila **(Chaabane et *al*., 2024).**

II.2. Méthodes

II.2.1. Extraction

Pour l'extraction, 10 g de poudre végétale ont d'abord été introduite dans un erlenmeyer, puis 100 mL du solvant approprié ont été ajoutés. Deux méthodes d'extraction ont été mises en œuvre selon le solvant utilisé : une extraction éthanolique par macération à froid, utilisant l'éthanol comme solvant organique, et une extraction aqueuse réalisée selon une méthode combinant décoction et macération, avec l'eau distillée comme solvant d'extraction.

Dans l'extraction éthanolique le mélange a été maintenu à température ambiante (20–24 °C) et à l'abri de la lumière pendant 24 heures avec agitation afin de favoriser une extraction complète des composés. Pour l'extraction aqueuse, le mélange a d'abord été chauffé doucement à ébullition pendant 3 heures, puis laissé à macérer sous agitation pendant 24 heures à température ambiante et à l'abri de la lumière. Après la macération, les deux

extraits ont été filtrés à l'aide d'un papier filtre Whatman n°1**(El Machrafi et *al.*, 2025)**. Les filtrats obtenus ont ensuite été concentrés à l'aide d'un évaporateur rotatif à 40 °C puis séchés dans une étuve à 37 °C pour obtenir les extraits secs prêts à l'analyse.

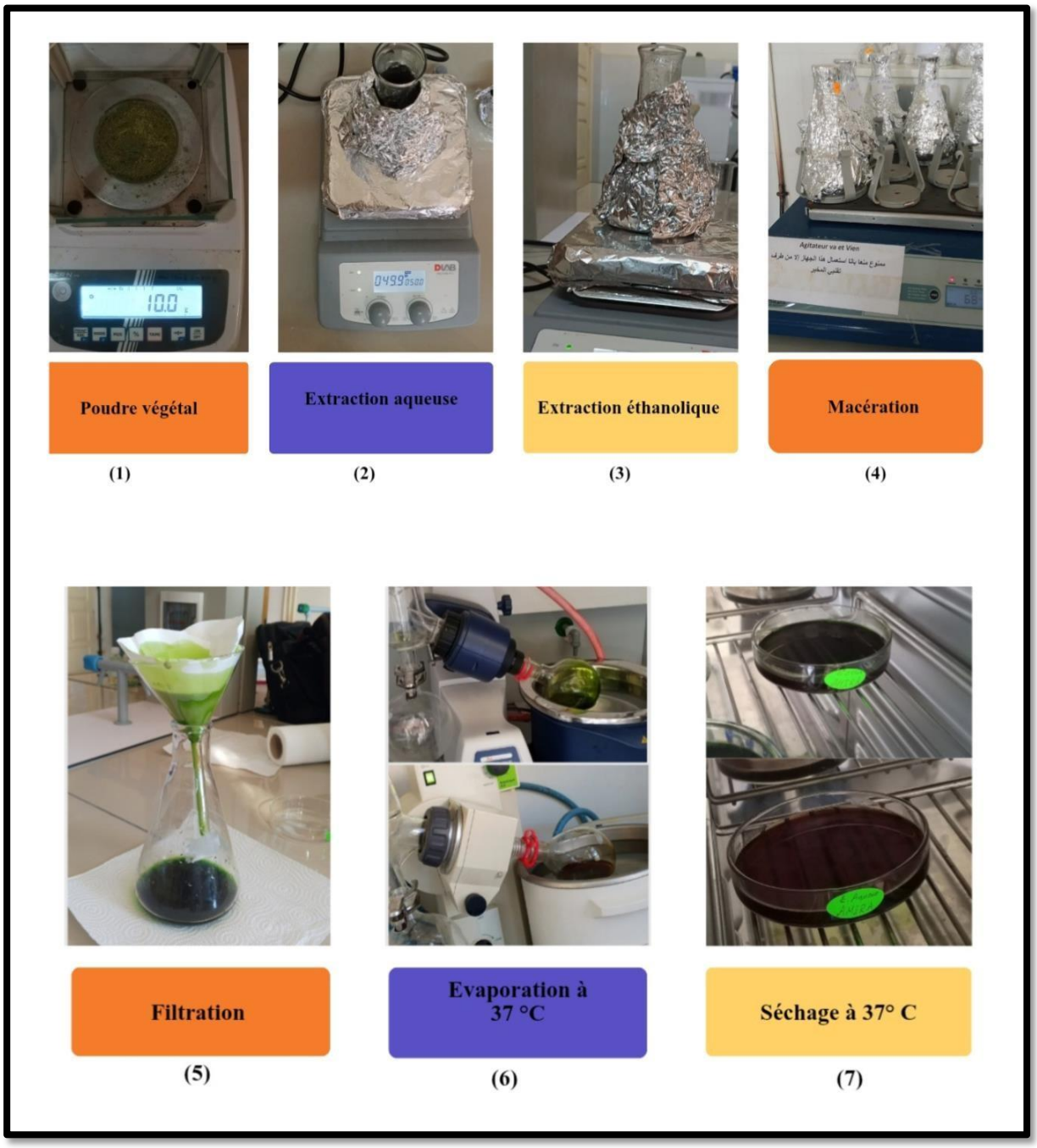


Figure 21 : Protocole de préparation des extraits bruts (éthanoliques et aqueux) des feuilles de la plante *Lavandula angustifolia* **(Photo personnelle).**

II.2.2. Calcul du rendement

Le rendement d'extraction a été déterminé en calculant le rapport entre la masse de l'extrait sec obtenue après évaporation du solvant et la masse initiale de la poudre végétale

utilisée pour l'extraction. Le rendement, exprimé en pourcentage, a été calculé selon l'équation suivante :

$$\textbf{Rendement (\%)=M0 / M1×100}$$

Où :

- **M0 :** la masse du résidu sec obtenu après évaporation.
- **M1 :** La masse initiale de la poudre végétale employée.

II.2.3. Analyse qualitative (screening phytochimique)

- **Phénol :** Les composés phénoliques ont été détectés en mélangeant 2 mL de l'extrait de la plante avec 3 à 4 gouttes de solution de chlorure ferrique ($FeCl_3$) à 5 %, l'apparition d'une coloration noire indiquant leur présence **(Mukeshambala et *al*,. 2024).**
- **Tannins :** Pour détecter les tanins, 2 mL de chlorure ferrique à 5 % ont été ajoutés à 1 mL d'extrait. Le mélange a été laissé au repos pendant 2 minutes. L'apparition d'une coloration bleu foncé ou noir verdâtre indiquait la présence de tanins **(Mathe et *al*., 2024).**
- **Flavonoïdes :** Pour détecter la présence de flavonoïdes, quelques gouttes d'acide chlorhydrique concentré (HCl) et quelques milligrammes de magnésium (Mg) sont ajoutés à 1 mL de l'extrait. La présence de flavonoïdes est confirmée par l'apparition d'une couleur rouge ou orange **(Zatla et *al*., 2024).**
- **Quinone :** Pour évaluer la présence de quinones, 1 mL d'acide sulfurique concentré a été ajouté avec précaution à 1 mL d'extrait. L'apparition d'une coloration rouge a indiqué la présence de quinones **(Mathe et *al*., 2024).**
- **Saponines :** Un test de mousse a été réalisé en mélangeant 2 mL d'extrait avec 2 mL d'eau distillée. Le mélange a été agité pendant 15 minutes. La formation d'une couche stable de mousse d'environ 1 cm indique la présence de saponines **(Mathe et *al*., 2024).**
- **Stéroïdes :** À 1 mL d'extrait, on a ajouté avec précaution un volume égal de chloroforme et quelques gouttes d'acide sulfurique concentré. L'apparition d'un anneau brun indiquait la présence de stéroïdes **(Mathe et *al*., 2024).**
- **Protéines :** La détection des protéines a été réalisée par le test à l'acide xanthoprotéique en ajoutant une solution d'acide nitrique concentré à l'extrait de

plante. La formation d'une couleur jaune indique la présence de protéines **(Aziz et Manju 2021).**

- **Terpénoïdes :** La présence de terpénoïdes a été évaluée après traitement de 0,5 mL d'extrait avec 2 mL de chloroforme et 3 mL d'acide sulfurique concentré. L'apparition d'une coloration brun-rouge à l'interface indique la présence de terpénoïdes **(Mathe et *al*., 2024).**
- **Coumarines :** Pour évaluer la présence de coumarines, 1 mL d'hydroxyde de sodium à 10 % a été ajouté à 1 mL d'extrait. L'apparition d'une coloration jaune a été considérée comme un indicateur de la présence de coumarines **(Mathe et *al*., 2024).**

II.2.4. Analyse quantitative (dosage des polyphénols)

- **Principe**

Le réactif utilisé correspond à un mélange d'acide phosphotungstique (H3PW12O40) et d'acide phosphomolybdique (H3PMo12O40). Lors de l'oxydation des composés phénoliques, ce mélange est réduit en oxydes bleus de tungstène et de molybdène. La coloration obtenue présente une absorption maximale comprise entre 725 et 760 nm, proportionnelle à la teneur en polyphénols des extraits végétaux **(Ruiz-Vasquez et *al*., 2026).**

- **Protocole**

  - **Préparation de la solution de Carbonate de Sodium Na2CO3 à 7.5%**

La solution de carbonate de sodium a été préparée en dissolvant 7,5 g de Na_2CO_3 dans 100 mL d'eau distillée.

  - **Préparation de la solution de Folin Ciocalteu dilué 10 fois**

Le réactif de Folin–Ciocalteu a été dilué dix fois en ajoutant 10 mL de réactif concentré et en complétant le volume avec 90 mL d'eau distillée.

La teneur en polyphénols totaux des extraits éthanolique et aqueux de *Lavandula angustifolia* a été déterminée selon la méthode colorimétrique de Folin–Ciocalteu. À cet effet, 1 mL de chaque extrait a été mélangé à 5 mL du réactif de Folin–Ciocalteu. Après un temps de réaction de 5 minutes, 3,75 mL d'une solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 7,5 % ont été ajoutés au mélange réactionnel.

Les échantillons ont ensuite été incubés à l'obscurité pendant 2 heures à température ambiante afin de permettre le développement de la coloration. L'absorbance a été mesurée à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV–Visible **(Nyarko et *al*., 2019).** La quantification

des polyphénols totaux a été réalisée à partir d'une courbe d'étalonnage établie avec l'acide gallique utilisé comme standard de référence. Les résultats ont été exprimés en microgrammes d'équivalent acide gallique par milligramme d'extrait sec (µg GAE/mg d'extrait).

II.2.5. Activité antioxydante

- **Test au DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle hydraté)**

Le test au DPPH constitue une méthode largement employée pour l'évaluation de la capacité des antioxydants à neutraliser les radicaux libres. Dans ce protocole, le radical libre stable DPPH est mis en contact avec l'extrait végétal, et l'intensité de la variation de couleur est ensuite quantifiée. Une décoloration plus marquée traduit une activité antioxydant plus importante **(Madhuranga et Samarakoon, 2023).**

- **Principe**

Le principe repose sur l'utilisation du radical libre stable DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle), caractérisé par une coloration violette et une absorption maximale à 517 nm. En présence de composés antioxydants, ceux-ci transfèrent des atomes d'hydrogène ou des électrons au DPPH, entraînant sa réduction en DPPH-H (2,2-diphényl-1-picrylhydrazine), de couleur jaune. Cette réaction se traduit par une diminution mesurable de l'absorbance **(Halboup et Alkubati, 2025).**

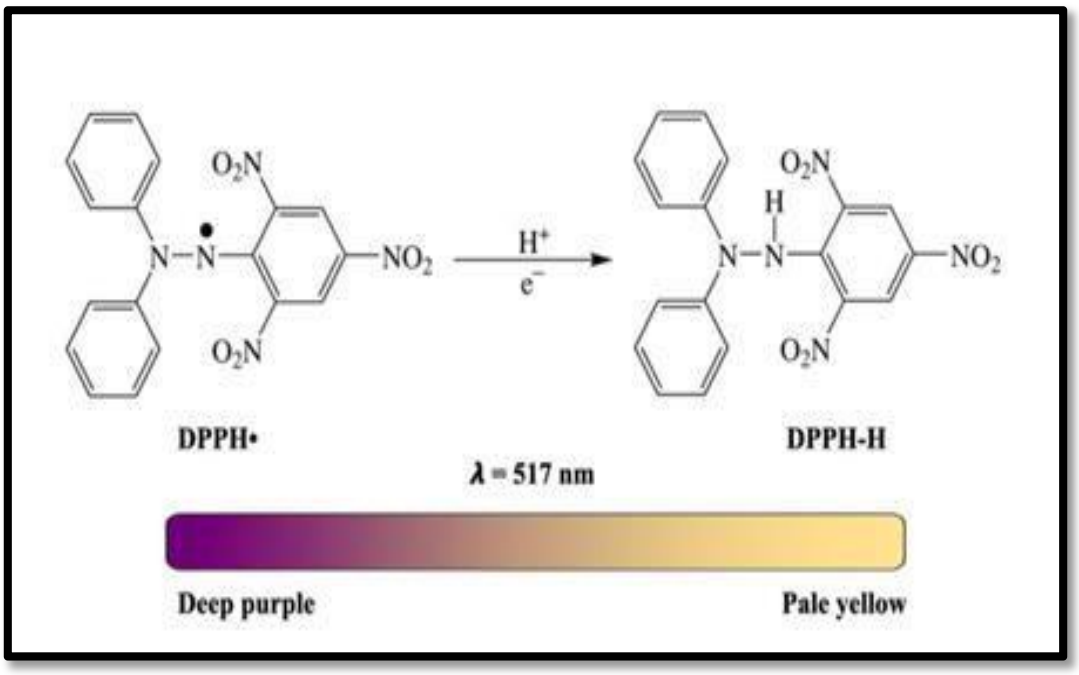


Figure 22 : Mécanismes de piégeage du DPPH par neutralisation des radicaux à l'aide d'un électron et d'un proton **(de Oliveira et *al*., 2026).**

➢ **Mode opératoire**

- **Préparation de la solution méthanolique de DPPH**

Une quantité de 6 mg de DPPH a été dissoute dans 100 mL de méthanol. L'absorbance de la solution ainsi obtenue a été déterminée à 517 nm, puis ajustée de manière à se maintenir dans l'intervalle de 0,7 à 0,8. Ce réglage assure une concentration suffisante en radical libre DPPH dans le milieu réactionnel. Le respect de cette condition est essentiel pour garantir le déroulement adéquat de la réaction de réduction, au cours de laquelle le DPPH sous sa forme oxydée (violette) est converti en sa forme réduite (jaune).

- **Préparation de la solution des extraits de la plante**

Une masse de 10 mg d'extrait sec obtenu à partir des feuilles de *Lavandula angustifolia* a été dissoute dans 10 mL du solvant approprié, à savoir l'éthanol pour l'extrait éthanolique et l'eau distillée pour l'extrait aqueux, afin de préparer une solution mère. À partir de cette dernière, une série de dilutions a été réalisée pour obtenir différentes concentrations de 12,5 ; 25 ; 50 ; 100 ; 200 ; 400 ; 600 ; 800 µg/mL.

➢ **Procédure**

Un volume de 400 µL de chaque concentration d'extrait a été ajouté à 1600 µL de la solution méthanolique de DPPH. Pour le contrôle négatif, 400 µL de méthanol ou d'eau distillée ont été mélangés à 1600 µL de la solution de DPPH, dans des conditions identiques. L'ensemble des mélanges a ensuite été incubé à l'obscurité pendant 30 minutes à température ambiante. L'absorbance a été mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible. Un standard de référence, l'acide ascorbique, a également été soumis à la même procédure analytique.

La capacité de piégeage du radical DPPH a été déterminée selon l'équation suivante :

$$\% \textbf{ Inhibition } = \left[\frac{\textbf{A contrôle } - \textbf{A extrait}}{\textbf{A contrôle}}\right] \times \textbf{100}$$

Dont :

- **A contrôle :** l'absorbance de la solution de DPPH seule.
- **A extrait :** l'absorbance de l'échantillon testé à une concentration donnée ou du standard utilisé.

L'évaluation de l'activité antiradicalaire en fonction des différentes concentrations des extraits permet de déterminer la concentration inhibitrice 50 (CI_{50}), correspondant à la concentration nécessaire pour inhiber 50 % des radicaux libres présents dans le milieu

réactionnel. La valeur de la CI_{50} constitue un indicateur de l'efficacité antioxydante de l'extrait étudié ; ainsi, plus cette valeur est faible, plus l'activité de piégeage des radicaux libres est élevée.

II.2.6. Activité antibactérienne

L'activité antibactérienne des extraits éthanoliques et aqueux de *Lavandula angustifolia* a été évaluée contre les trois souches bactériennes pathogènes (tableau 02). La méthode de diffusion sur disque en milieu Muller-Hinton (MH) a été utilisée pour l'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits. Ce protocole repose sur la mesure du diamètre des zones d'inhibition apparaissant autour des disques imprégnés d'un composé antimicrobien, permettant ainsi de quantifier l'efficacité des extraits testés contre la croissance bactérienne **(Rather et *al*., 2023).**

Tableau 2 : Souches bactériennes testées **(Jones et *al*., 2005).**

Souche bactérienne	ATCC	Gram	Morphologie	Pathogénicité
Escherichia coli	25922	Négatif	Bacille	Infections urinaires, astro-entérites, septicémies
Pseudomonas aeruginosa	27853	Négatif	Bacille	Infections pulmonaires (fibrose kystique)
Bacillus subtilis	6633	Positif	Bacille	Non pathogène, utilisé en biotechnologie

- **Stérilisation du matériel**

L'eau distillée, les tubes à essai, les milieux de cultures (bouillon nutritif et MH), l'eau physiologique, les disques de 6mm préparés de papier Whatman n 3 (ou n 6), les embouts, ont été stérilisé à l'autoclave à 121°C pendant 20 min.

- **Préparation des différentes concentrations des extraits**

Les extraits ont été dissous dans le diméthyle sulfoxyde (DMSO) pour l'extrait éthanolique et l'eau distillé stérile pour l'extrait aqueux. Après la préparation des solutions mères (100 mg/ml) des concentrations 1/2, 1/4, 1/8 ont été préparés.

- **Revivification des souches bactériennes**

Les souches bactériennes utilisées sont réactivées dans le bouillon nutritif (BN) et incubées pendant 24 heures à 37°C.

- **Repiquage (méthode de strie)**

Après la revivification, les souches bactériennes sont repiquées par la méthode de stries sur la surface du milieu Mueller-Hinton. Les stries sont réalisées de façon progressive sur les boites afin d'obtenir un bon isolement des bactéries. Les boites sont ensuite incubées à 37 °C pendant 18 à 24 heures, ce qui permet d'obtenir des cultures jeunes et bien isolées.

- **Préparation de l'inoculum (suspension bactérienne)**

La suspension bactérienne a été préparée à partir des cultures jeunes de 18 à 24 h repiquées au préalable par la méthode de strie sur milieu Muller Hinton (MH). Quelques colonies bien isolées (1 à 3 colonies) ont été prélevées à l'aide d'une anse de platine et mises en suspension dans 9 ml d'eau physiologique stérile. Cette suspension bactérienne est ajustée (ajout de la culture bactérienne ou ajout de l'eau physiologique) jusqu'à l'obtention d'une densité optique de 0.08 à 0.10 à une longueur d'onde de 625 nm **(Eliuz et *al*., 2016).**

- **Préparation du milieu Mueller Hinton (MH)**

Une quantité de 38 g de poudre de milieu MH a été dissoute dans 1 L d'eau distillée. Le mélange a ensuite été chauffé sous agitation continue jusqu'à dissolution complète du milieu.

- **Protocole**

Après la préparation de l'inoculum et des différentes concentrations des extraits, l'ensemencement est réalisé par écouvillonnage sur la surface du milieu Mueller-Hinton afin d'obtenir un tapis bactérien homogène. Ensuite, des disques de papier stériles (6 mm) sont déposés à la surface du milieu inoculé à l'aide d'une pince stérile. Chaque disque est ensuite chargé avec 10 µL d'une des dilutions des extraits préparés. Les boîtes sont laissées quelques minutes à température ambiante pour permettre la diffusion des extraits dans le milieu, puis incubées à 37 °C pendant 18 à 24 heures. Après incubation, les zones d'inhibition autour des disques sont observées et mesurées en millimètres afin d'évaluer l'activité antibactérienne des extraits.



Figure 23 : Protocole de l'activité antibactérienne des feuilles de la plante *Lavandula angustifolia* **(Photo personnelle)**.

- **Expression des résultats**

L'activité antibactérienne a été évaluée par la mesure du diamètre de la zone d'inhibition à l'aide d'un pied à coulisse, pour chaque concentration testée. L'évaluation des niveaux de sensibilité des différentes souches bactériennes a été présentée dans le tableau 03.

Tableau 3 : Niveaux de sensibilité des souches en fonction des diamètres des zones d'inhibition **(Haryani et *al*., 2026).**

Zone d'inhibition	**Activité inhibitrice**
diamètre < 8mm	Nulle
Diamètre compris entre10 à 19 mm	Moyenne
diamètre ≥ 20 mm,	Fort

Chapitre III:

Résultats et discussion

III.1. Rendement de l'extraction

L'extraction des métabolites secondaires des plantes médicinales repose sur une série d'opérations préparatoires, comprenant la fragmentation mécanique de la matière végétale, son homogénéisation, puis l'étape d'extraction. Cette dernière est cruciale, car elle conditionne la récupération et l'isolement des constituants bioactifs à partir de la matrice végétale. Le choix du solvant, notamment pour l'extraction des composés phénoliques, est fortement influencé par leurs propriétés chimiques et leur polarité. Dans la pratique, les solvants organiques sont les plus utilisés, puisqu'ils assurent une meilleure solubilisation et optimisent le rendement des substances ciblées **(Azwanida, 2015)**.

Le rendement d'extraction a été calculé en rapportant la masse de l'extrait sec obtenu à la masse initiale de la matière végétale sèche réduite en poudre. Les résultats ont été exprimés en pourcentage (%) afin de faciliter la comparaison de l'efficacité des différents solvants d'extraction (figure24).

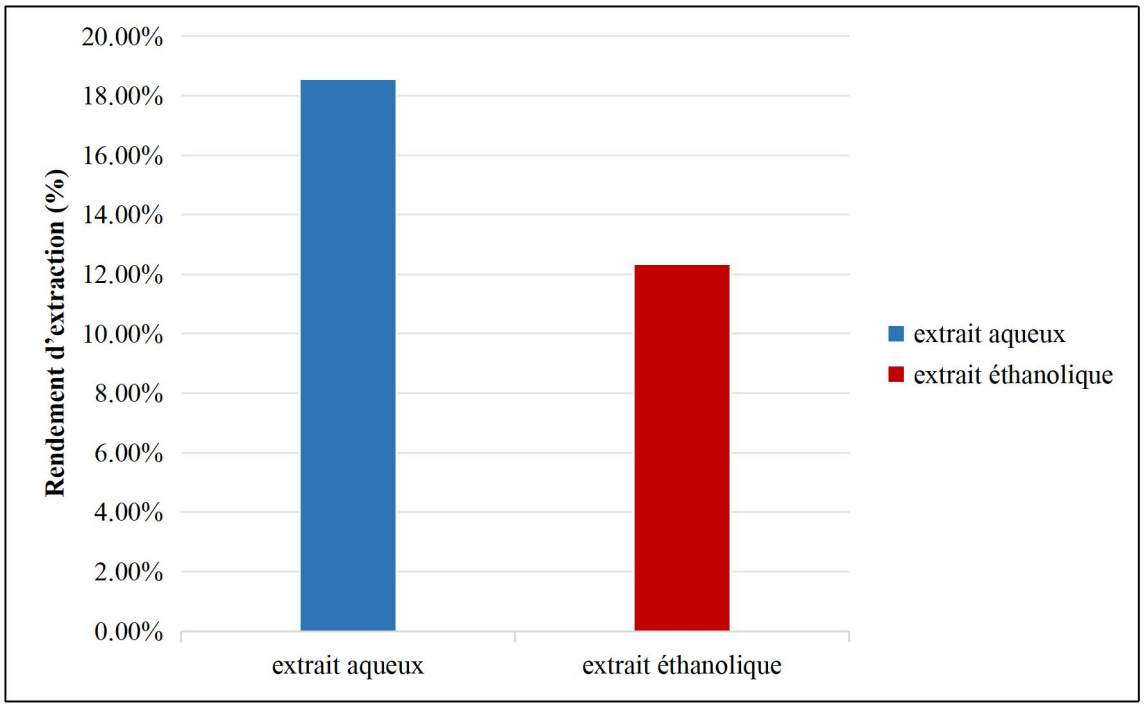


Figure 24 : Rendement en extraits sec.

Le rendement d'extraction le plus élevé a été observé avec l'extrait aqueux des feuilles de la plante *Lavandula angustifolia,* atteignant 18,57 %.Le rendement élevé obtenu avec l'extrait aqueux suggère une bonne solubilisation des composés phytochimiques polaires présents dans *Lavandula angustifolia*. En effet, l'eau est reconnue comme un solvant efficace pour l'extraction de plusieurs métabolites secondaires hydrophiles, notamment les composés phénoliques et les flavonoïdes. Ces observations concordent avec les travaux de **Suica-**

Bunghez et *al*., 2022 qui ont également rapporté une extraction importante de flavonoïdes dans des extraits aqueux de lavande.

En comparaison, l'extrait éthanolique a présenté un rendement d'extraction de 12,34 %, mettant ainsi en évidence une différence notable entre les deux solvants utilisés. **(Slighoua et *al*., 2022)**.Le rendement d'extraction obtenu avec l'extrait aqueux (18,57 %) s'est révélé supérieur à celui rapporté par **Alnamer et *al*., 2012** pour la même espèce, qui était de 16 % .L'extrait éthanolique des fuilles de Lavandula angustifolia a quant à lui fourni un rendement de 12,34 %, valeur très proche de celle rapportée par **Marovska et *al*., (2023)** qui était de 12,8 %. Malgré un rendement plus faible, l'extrait éthanolique demeure particulièrement adapté à l'extraction de certains composés à caractère lipophile et de métabolites secondaires moins polaires **(Lytovchenko et *al*., 2009).**

III.2. Analyse qualitative (screening phytochimique)

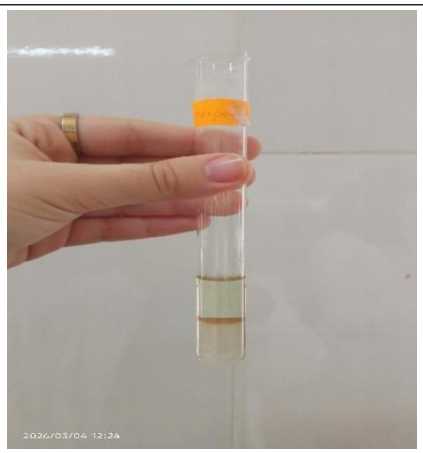
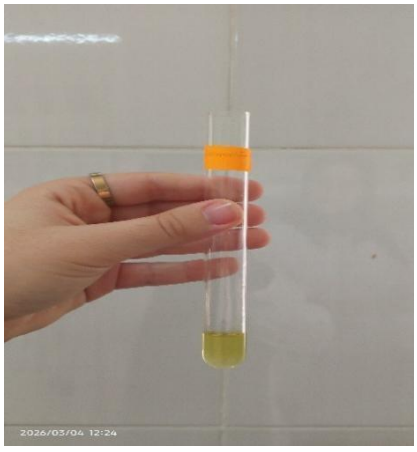
Cette étude fournit une analyse préliminaire visant à estimer la composition chimique des extraits végétaux en détectant la présence ou l'absence de types spécifiques de métabolites. Cela est réalisé à l'aide de tests rapides basés sur des réactions physico-chimiques, telles que les variations de couleur, la formation de précipités ou l'apparition de turbidité. Ces méthodes s'avèrent efficaces pour identifier les composés chimiques présents dans les échantillons végétaux.

Les résultats de l'analyse phytochimique qualitative ont révélé la présence d'une variété de composés dans les extraits des feuilles de la plante de *Lavandula angustifolia*. Parmi les métabolites phytochimiques identifiés figurent les flavonoïdes, les composés phénoliques, les tanins, les terpènoïdes, les stéroïdes, les protéines, les quinones ainsi que les coumarines.

Tableau 4 : Résultats du screening phytochimique des feuilles de la plante *Lavandula angustifolia.*

Classe de métabolites secondaires	Extrait éthanolique	Extrait aqueux
Phénols	 +++	 +++
Flavonoïdes	 -	 +++
Tannins	 +	 -

Quinones		
	+	-
Saponines		
	-	-
Stéroïdes		
	+	+

Terpénoides		
	+ +	+
Protéines		
	+	+
Coumarines		
	+ +	+

(+++) Forte présence de substance ; (+) faible présence de substance ;(-) absences de substances.

L'analyse comparative des extraits aqueux et éthanolique des feuilles la plante Lavandula angustifolia a révélé des différences notables dans la composition phytochimique. L'analyse comparative des extraits éthanolique et aqueux de *Lavandula angustifolia* a révélé des différences notables dans leur composition phytochimique. L'extrait éthanolique s'est caractérisé par la présence de quinones, de stéroïdes , de phénol , de tannins , de terpénoïdes , de protéine et de coumarines , tandis que l'extrait aqueux était principalement riche en phénol , coumarines , flavonoïdes , terpénoïdes , stéroïdes , et en protéines , avec une absence de quinones. En revanche, l'absence de saponines dans les deux extraits pourrait limiter certaines applications pharmacologiques associées à cette classe de métabolites. Ces résultats concordent avec ceux rapportés par **Slimani et *al*., 2022** qui ont montré que le profil phytochimique de *Lavandula angustifolia* varie significativement en fonction du solvant d'extraction utilisé, mettant ainsi en évidence l'importance du choix méthodologique dans l'isolement des métabolites secondaires.

De même, les travaux de **Hayouni et *al*., 2007** et de **Dirar et *al*., 2019** ont montré que les extraits aqueux favorisent l'extraction des composés phénoliques et flavonoïdiques, tandis que les solvants organiques, notamment l'éthanol, permettent une meilleure récupération des stéroïdes et des quinones. Ces observations confirment que la polarité du solvant constitue un facteur déterminant dans la nature et la diversité des composés bioactifs extraits.

III.3. Analyse quantitative (dosage des polyphénols)

Le dosage des polyphénols est une méthode analytique utilisée pour estimer la quantité totale de composés phénoliques présents dans un extrait végétal. Il est souvent réalisé par la méthode de Folin- Ciocalteu, un test colorimétrique simple et très utilisé en phytochimie, qui repose sur la réduction du réactif par les composés phénoliques Les résultats sont généralement exprimés en microgrammes d'équivalent acide gallique par milligramme d'extrait sec (µg EAG/mg d'extrait sec) **(Pérez et *al*., 2023).**

Dans notre étude portant sur les feuilles de *Lavandula angustifolia*, ce dosage a permis d'évaluer et de comparer la richesse en composés phénoliques des extraits en fonction du solvant utilisé pour l'extraction.

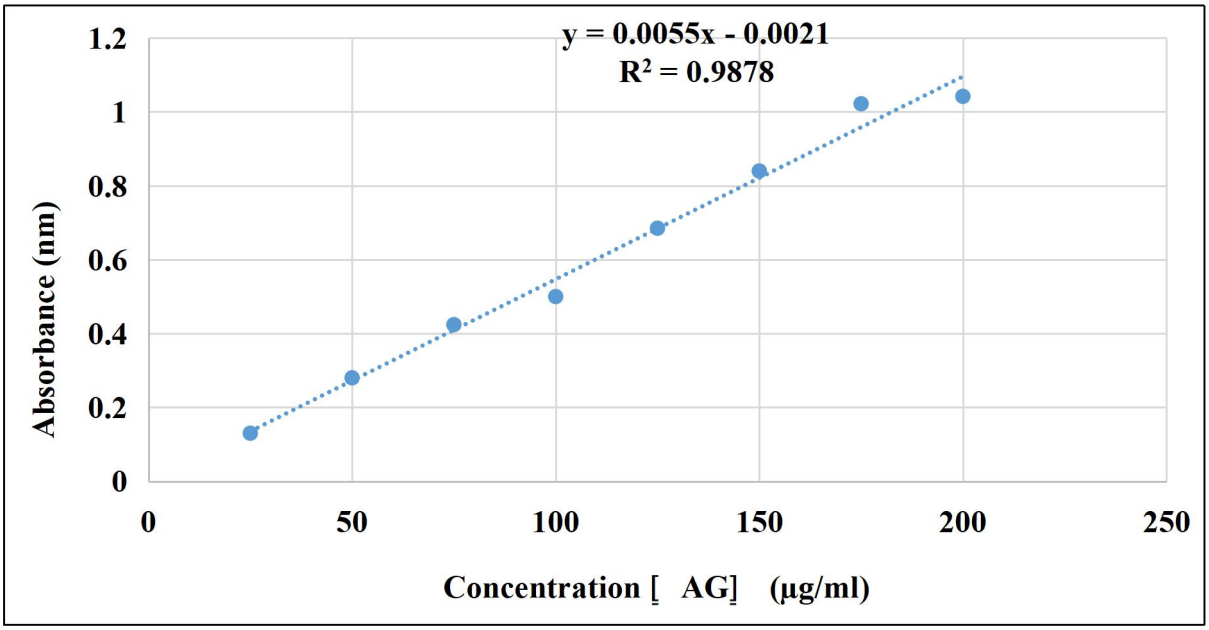


Figure 25 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols.

Le dosage des polyphénols a confirmé la présence de composés phénoliques dans les extraits aqueux et éthanolique des feuilles de la plante *Lavandula angustifolia*, avec des teneurs dépendantes du solvant d'extraction.Les résultats obtenus ont révélé une teneur plus élevée en polyphénols totaux dans l'extrait aqueux, avec une valeur de 135,53 ± 0,64 µg EAG/mg d'extrait sec, comparativement à l'extrait éthanolique, dont la teneur était de 119,47 ± 0,91 µg EAG/mg d'extrait sec.

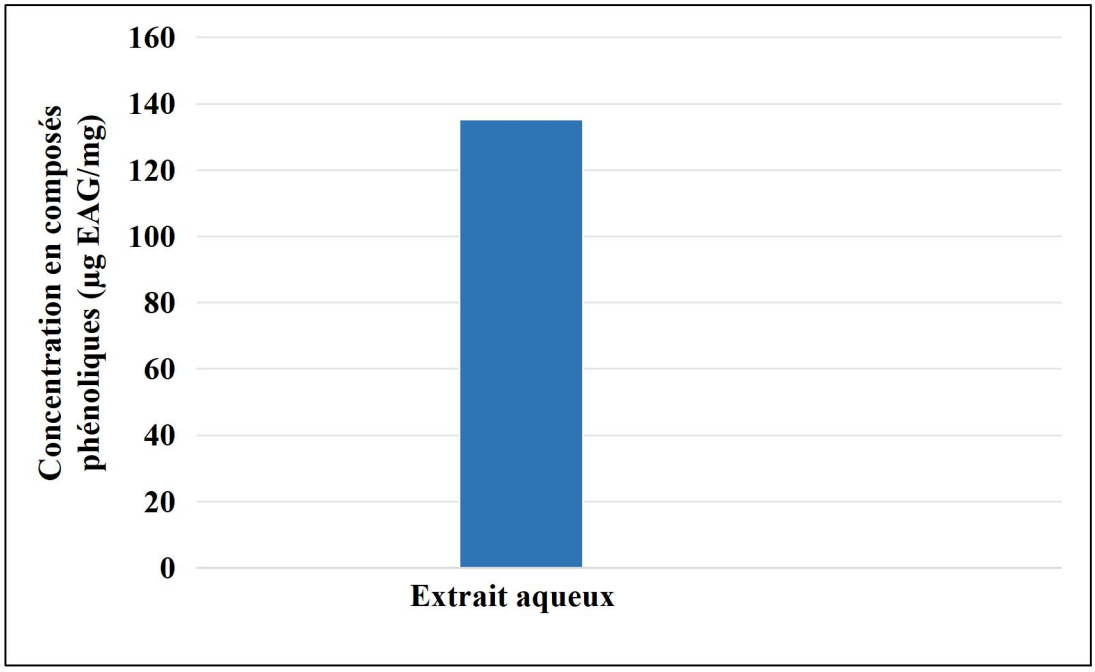


Figure 26 : Teneur des polyphénols de l'extrait aqueux des feuilles de la plante de *Lavandula angustifolia.*

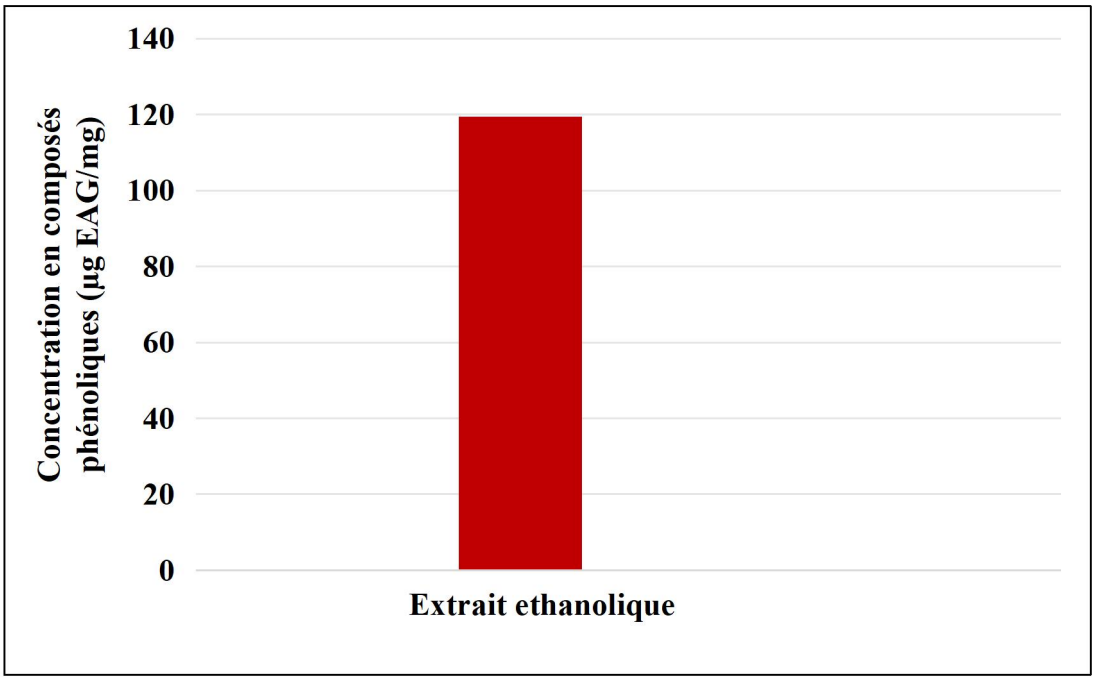


Figure 27 : Teneur des polyphénols de l'extrait éthanolique des feuilles de la plante de *Lavandula angustifolia.*

La teneur la plus élevée en polyphénols totaux a été observée dans l'extrait aqueux des feuilles de la plante *Lavandula angustifolia* (135.53 ± 0,64 µg EAG/mg), suivie par l'extrait éthanolique (119,47 ± 0,91 µg EAG/mg). Ces résultats suggèrent que l'extrait aqueux favorise une meilleure récupération des composés phénoliques dans les conditions expérimentales étudiées. Ces observations concordent avec les travaux de **Mykhailenko et *al*., 2025** qui ont également rapporté des teneurs plus élevées en polyphénols dans les extraits aqueux de lavande comparativement aux extraits éthanoliques.

Nos résultats ont montré que l'extrait aqueux des feuilles de *Lavandula angustifolia* présente une teneur en polyphénols totaux de 135,53 µg EAG/mg d'extrait sec, valeur supérieure à celle rapportée par **Talić et *al*., 2023** pour l'extrait aqueux de la même espèce, qui était de 45,30 mg EAG/g d'extrait sec.

De même, l'extrait éthanolique des feuilles de la plante *Lavandula angustifolia* a présenté une teneur en polyphénols totaux de 119,47 µg EAG/mg d'extrait sec, valeur nettement supérieure à celles rapportées par **Betlej et *al*., 2024** pour l'extrait éthanolique de la même espèce (31,67 mg EAG/g d'extrait sec), ainsi que par **Talić et *al*., 2023** qui ont obtenu une teneur de 14,40 mg EAG/g d'extrait sec.

III.4. Activité antioxydante

Le potentiel antioxydant des extraits bruts (éthanolique et aqueux) des feuilles de Lavandula angustifolia a été évalué à l'aide du test de piégeage du radical libre DPPH. Les valeurs de la concentration inhibitrice à 50 % (IC50), exprimées en µg/mL, ont été déterminées graphiquement à partir de la courbe de régression reliant la concentration des extraits aux pourcentages d'inhibition **(Gülçin et Alwasel, 2023).**

Tableau 5 : IC50 de l'extrait éthanolique, aqueux et de l'acide ascorbique.

Standard / Extrait	IC50 (µg/ml)
Acide ascorbique	14.82
Éthanolique	416.7
Aqueux	463.0

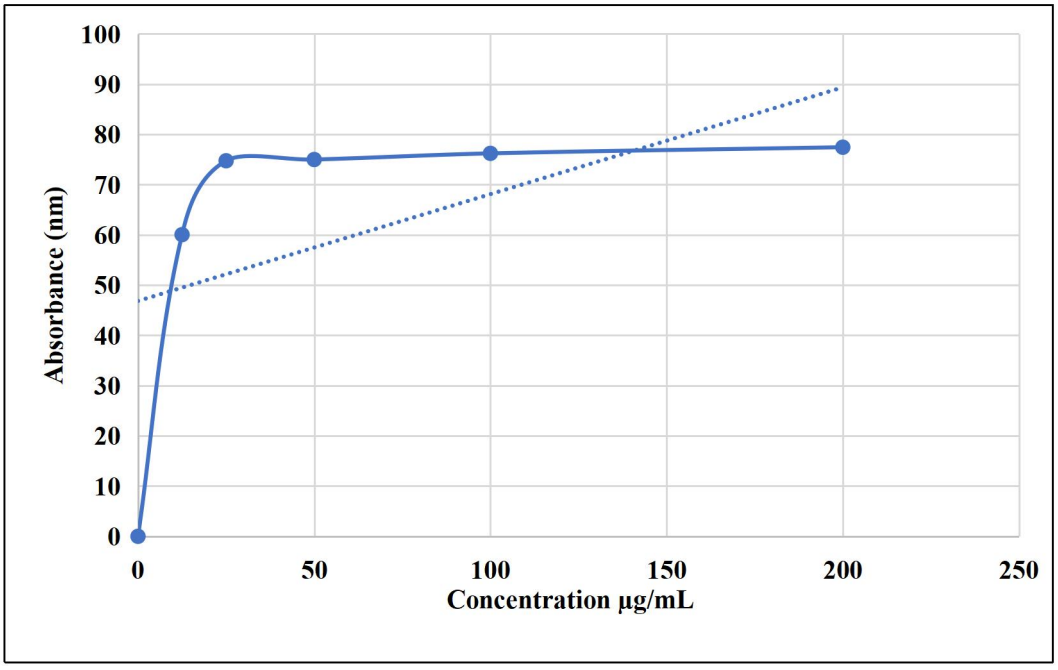


Figure 28 : Test de DPPH de l'acide ascorbique.

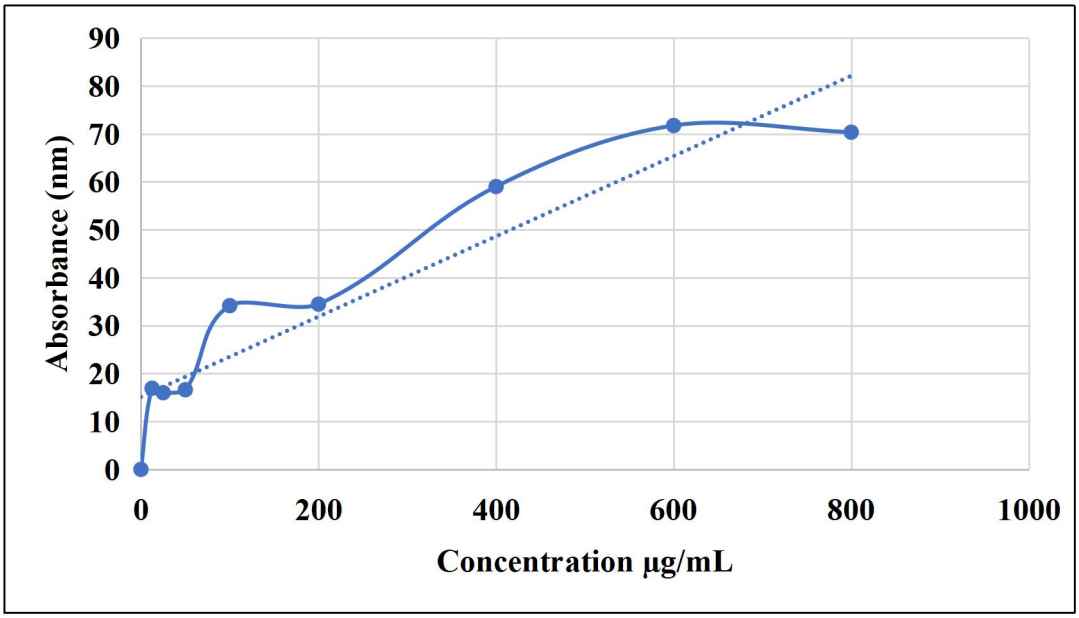


Figure 29 : Test de DPPH de l'extrait éthanolique.

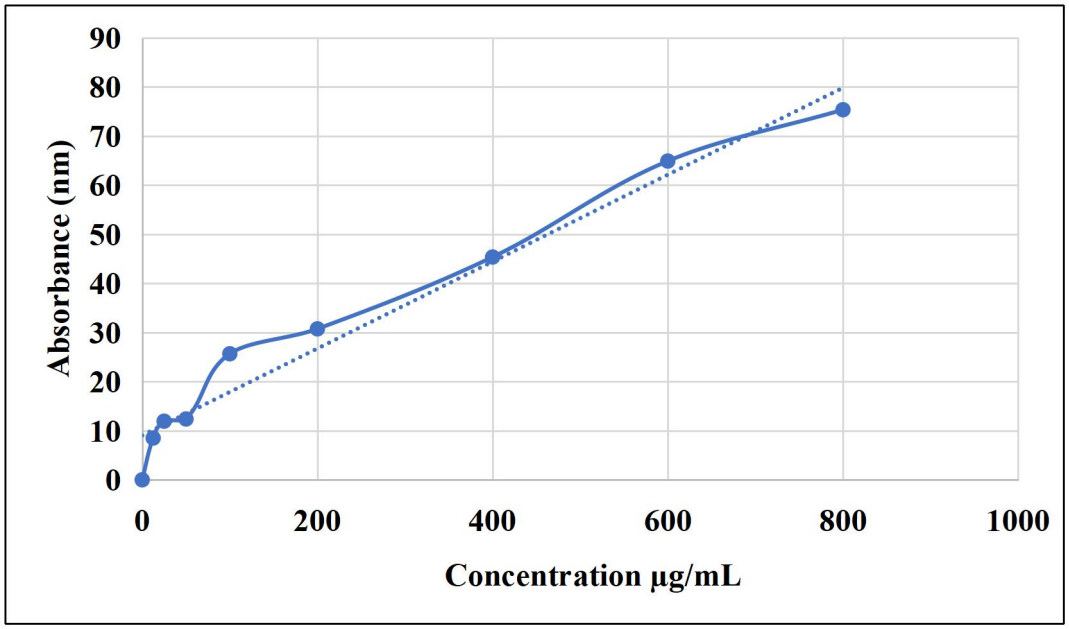


Figure 30 : Test de DPPH de l'extrait aqueux.

D'après les résultats obtenus, les deux extraits des feuilles de la plante *Lavandula angustifolia* ont présenté une activité antioxydante relativement faible comparativement à celle de l'acide ascorbique utilisé comme standard de référence (IC_{50} = 14,82 µg/mL). Parmi les extraits étudiés, l'extrait éthanolique a montré l'activité antioxydante la plus élevée, avec une valeur d'IC_{50} de 416,7 µg/mL, suivi de l'extrait aqueux, dont l'IC_{50} était de 463 µg/mL.

L'extrait éthanolique des feuilles de la plante *Lavandula angustifolia* a présenté une valeur d'IC_{50} de 416,7 µg/mL, traduisant une activité antioxydante plus élevée que celles rapportées par **Zengin et *al*., 2022** qui ont obtenu une IC_{50} de 492,7 µg/mL, et par **Aguerd et *al*., 2025** ayant rapporté une IC_{50} de 648,7 µg/mL pour des extraits éthanoliques de la même espèce.

De même, l'extrait aqueux de *Lavandula angustifolia* a présenté une activité antioxydante avec une valeur d'IC_{50} de 463 µg/mL, indiquant une efficacité supérieure à celles rapportées par **Moro et *al*., 2017** qui ont obtenu une IC_{50} de 680 µg/mL, ainsi que par **Bakkali et *al*., 2020** ayant rapporté une IC_{50} de 500 µg/mL pour des extraits aqueux de la même espèce. Ces variations observées entre les différentes études peuvent être attribuées à l'influence des conditions expérimentales, des méthodes d'extraction ainsi qu'à la qualité et à l'origine du matériel végétal utilisé, facteurs susceptibles d'affecter l'activité antioxydante des extraits.

Par ailleurs, l'analyse conjointe de l'activité antioxydante et de la teneur en polyphénols totaux met en évidence une dissociation intéressante entre la quantité de composés phénoliques et l'efficacité antioxydante des extraits. En effet, l'extrait aqueux, bien que présentant la teneur la plus élevée en polyphénols totaux (135,53 µg EAG/mg d'extrait sec), n'a pas montré l'activité antioxydante la plus importante. À l'inverse, l'extrait éthanolique, contenant une teneur légèrement inférieure en polyphénols (119,47 µg EAG/mg d'extrait sec), s'est révélé plus actif dans le test de piégeage du radical DPPH.

Cette observation suggère que l'activité antioxydante ne dépend pas uniquement de la quantité totale de polyphénols, mais également de la nature chimique des composés présents, de leur structure moléculaire ainsi que des interactions synergiques pouvant exister avec d'autres métabolites secondaires. Ces résultats concordent avec ceux rapportés par **Dobros et *al*., 2022** et **Zagoskina et *al*., 2023** ainsi qu'avec les travaux de synthèse de **Ahmad et *al*., 2025** et **Mueed et *al*., 2023** qui soulignent l'importance de la diversité structurale des polyphénols et de leurs interactions synergiques dans l'expression de leur activité biologique.

III.5. Activité antibactérienne

L'activité antibactérienne a été évaluée à partir de deux extraits bruts obtenus des feuilles de *Lavandula angustifolia* en utilisant la méthode de diffusion sur disque sur un milieu gélose Mueller-Hinton. Cette technique, couramment employée en microbiologie, consiste à placer des disques imbibés d'extrait sur une gélose préalablement ensemencée avec

une suspension bactérienne standardisée. On observe ensuite si des zones d'inhibition se forment autour des disques. La taille de ces zones indique l'efficacité de l'extrait contre la croissance bactérienne : des zones plus larges signalent une activité plus importante de l'extrait. Cette méthode est simple, reproductible et largement utilisée pour évaluer l'activité antibactérienne de substances naturelles, notamment des extraits végétaux tels que ceux de *Lavandula angustifolia*.

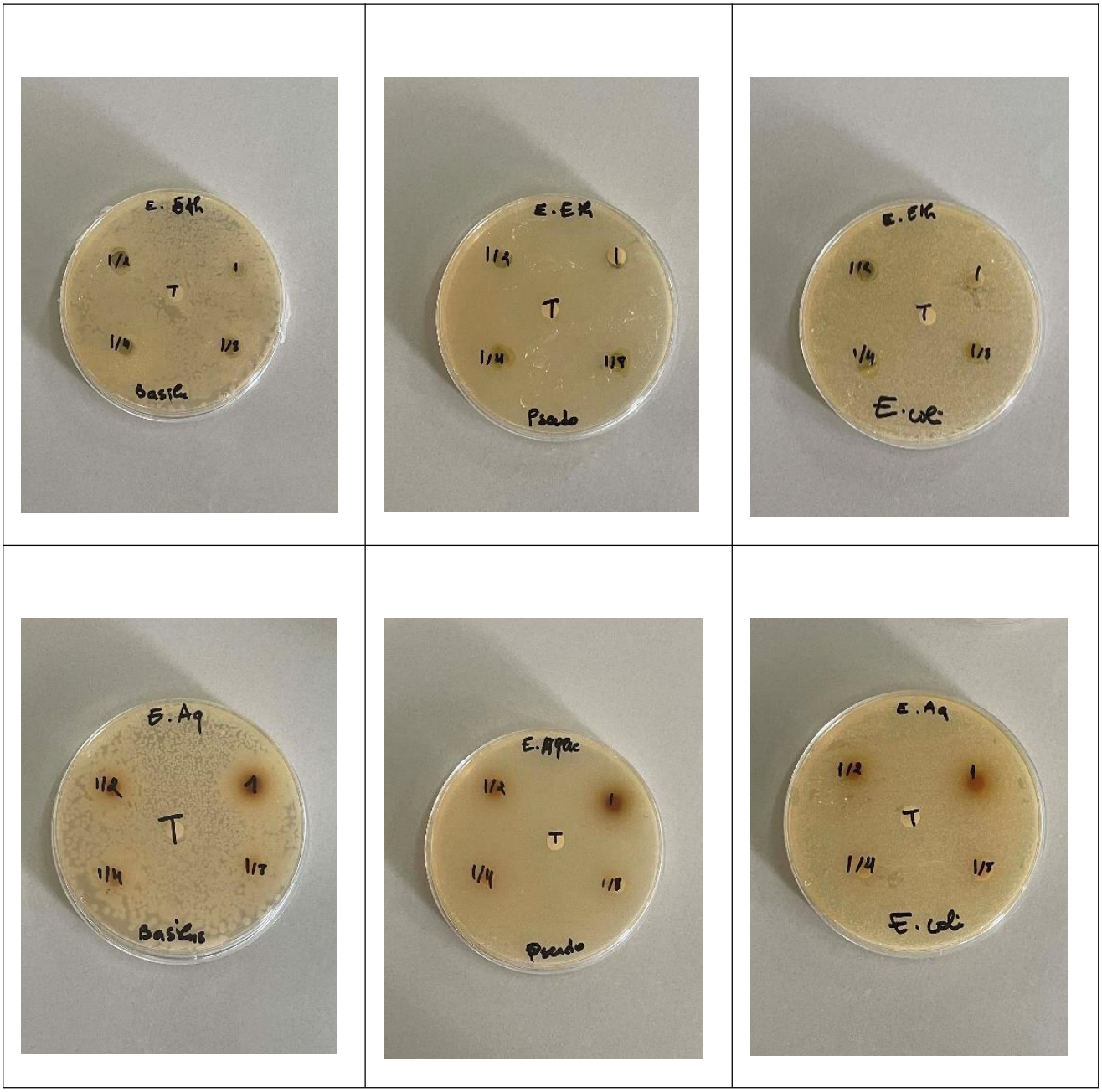


Figure 31 : Résultats de l'activité antibactérienne.

Les résultats obtenus au cours de cette étude n'ont révélé aucune activité antibactérienne significative des extraits aqueux et éthanolique des feuilles de *Lavandula angustifolia* vis-à-vis des souches bactériennes testées. En effet, aucune zone d'inhibition n'a été observée autour des disques imprégnés des différents extraits, traduisant ainsi une absence d'effet inhibiteur dans les conditions expérimentales adoptées.

Nos résultats concordent avec ceux rapportés par **Benyagoub et *al*., 2014** qui ont également observé une absence d'activité antibactérienne des extraits aqueux et éthanoliques de *Lavandula angustifolia* vis-à-vis de *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*. Cette résistance pourrait être attribuée à la structure particulière de la paroi cellulaire des bactéries Gram négatives, caractérisée par une membrane externe riche en lipopolysaccharides, constituant une barrière limitant la pénétration des composés bioactifs.

De plus, nos observations corroborent les résultats rapportés par **Walasek-Janusz et *al*., 2022** qui ont montré que la période de récolte ainsi que le stade de floraison influencent considérablement la teneur en métabolites secondaires, notamment le linalol et l'acétate de linalyle, reconnus comme les principaux composés responsables de l'activité antimicrobienne de *Lavandula angustifolia*. En effet, une récolte effectuée en dehors du stade optimal de floraison peut entraîner une diminution significative de la concentration de ces composés bioactifs, réduisant ainsi l'efficacité antibactérienne des extraits.

Enfin, nos résultats confirment également les observations rapportées par **Barabi, 2019** concernant l'influence des conditions agronomiques, notamment l'origine géographique, les conditions climatiques et la nature du sol, ainsi que de la méthode d'extraction, sur la composition chimique des extraits végétaux. Ces différents paramètres pourraient expliquer l'absence d'activité inhibitrice observée dans notre étude. Par ailleurs, il a été rapporté que l'activité antimicrobienne de *Lavandula angustifolia* est généralement plus prononcée contre les bactéries Gram positives, telles que *Staphylococcus aureus*, que contre les bactéries Gram négatives, connues pour leur résistance accrue liée à la structure complexe de leur paroi cellulaire.

Conclusion

Dans le présent travail, les feuilles la plante *Lavandula angustifolia* a été étudiée afin de déterminer la composition phytochimique et l'activité biologique de ses extraits bruts (aqueux et éthanoliques). Les tests de criblage phytochimique ont révélé la présence de plusieurs familles de métabolites secondaires, notamment les tanins, les coumarines, les alcaloïdes, les stéroïdes, les quinones et les saponosides, confirmant la richesse biochimique de cette espèce. L'étude quantitative a montré que l'extrait aqueux présentait un rendement d'extraction supérieur à celui de l'extrait éthanolique. Les résultats obtenus lors du test DPPH ont montré que les extraits aqueux et éthanolique de *Lavandula angustifolia* possèdent une faible activité antioxydante. Les valeurs enregistrées traduisent une capacité limitée à neutraliser les radicaux libres, ce qui pourrait être attribué à la nature de l'extrait, à la teneur en composés phénoliques ou aux conditions d'extraction utilisées.

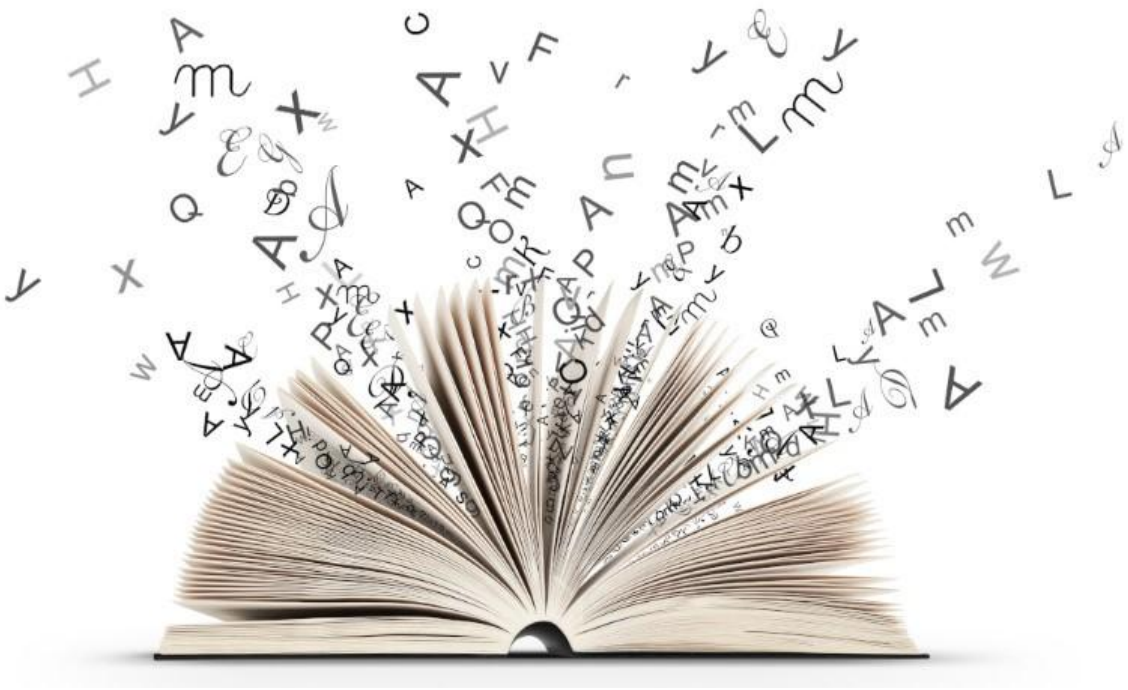
Les résultats de l'activité antibactérienne ont montré une absence totale d'effet inhibiteur des extraits aqueux et éthanolique sur l'ensemble des souches bactériennes testées. Aucune zone d'inhibition n'a été observée, ce qui traduit une absence d'activité antibactérienne dans les conditions de cette étude.

Les résultats obtenus confirment l'intérêt pharmacologique de *Lavandula angustifolia* en tant que source de composés naturels bioactifs, notamment pour ses propriétés antioxydantes et son potentiel antimicrobien sélectif.

En perspectives, afin de valoriser pleinement cette plante médicinale, il serait pertinent de poursuivre les investigations selon plusieurs axes :

- Approfondir les recherches sur les composés bioactifs de *Lavandula angustifolia*.
- Étendre les études biologiques en utilisant des méthodes d'analyse plus performantes.
- Valoriser les résultats obtenus par des études complémentaires en vue d'applications thérapeutiques, alimentaires ou industrielles.

Références bibliographiques



A

Abdechafie, **Abdel-Massih, R. M., Debs, E., Othman, L., Attieh, J., & Cabrerizo, F. M. (2023).** Glucosinolates, a natural chemical arsenal: More to tell than the myrosinase story. *Frontiers in Microbiology, 14*, 1130208. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1130208

Abou Baker, D. H., Amarowicz, R., Kandeil, A., Ali, M. A., & Ibrahim, E. A. (2021). Antiviral activity of Lavandula angustifolia L. and Salvia officinalis L. essential oils against avian influenza H5N1 virus*. Journal of Agriculture and Food Research. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100135

Abubakar, A., & Shukor, M. Y. (2017). Phenol removal via cellular immobilization: A review. *Bioremediation Science and Technology Research, 5*(2), 1–7.

Aguerd, O., Elhrech, H., El Omari, N., Benali, T., Akhazzane, M., Mostakim, M., Ouma, S., Khattabi, L., Amanullah, M., El Menyiy, N., Ingle, R. G., Ming, L. C., & Bouyahya, A. (2025). *Chemical composition and biological effects of Lavandula angustifolia Mill. essential oils cultivated in Morocco. AMB Express, 15*(164). https://doi.org/10.1186/s13568-025-01971-w

Ahmad, Z., Rauf, A., Orhan, I. E., Mubarak, M. S., Akram, Z., Islam, M. R., Imran, M., Edis, Z., Kondapavuluri, B. K., Thangavelu, L., & Thiruvengadam, M. (2025). *Antioxidant potential of polyphenolic compounds, sources, extraction, purification and characterization techniques: A focused review. Food Science & Nutrition, 13*(12), e71259.

Ahmed, E., Arshad, M., Khan, M. Z., Amjad, M. S., Sadaf, H. M., Riaz, I., Sabir, S., Ahmad, N., & Muhammad, S. (2017). Secondary metabolites and their multidimensional prospective in plant life. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 6*(2), 205–214.

Ali, S. S., Wan Ahmad, W. A. N., Budin, S. B., & Zainalabidin, S. (2020). Implication of dietary phenolic acids on inflammation in cardiovascular disease. *Reviews in Cardiovascular Medicine, 21*(2), 225–240. https://doi.org/10.31083/j.rcm.2020.02.49

Alnamer, R., Alaoui, K., Bouidida, E. H., Benjouad, A., & Cherrah, Y. (2012). Sedative and hypnotic activities of the methanolic and aqueous extracts of *Lavandula officinalis*

from Morocco. *Advances in Pharmacological Sciences, 2012*, 270824. https://doi.org/10.1155/2012/270824

Anjali, K., Raghav, A., Chauhan, A. S., & Kumar, P. (2026). Natural terpenes: An overview of structural diversity and multifunctional applications. *Journal of Applied Pharmaceutical Science, 16*(4), 79–91. https://doi.org/10.7324/JAPS.2026.274026

Annunziata, F., Pinna, C., Dallavalle, S., Tamborini, L., & Pinto, A. (2020). An overview of coumarin as a versatile and readily accessible scaffold with broad-ranging biological activities. *International Journal of Molecular Sciences, 21*(13), 4618. https://doi.org/10.3390/ijms21134618

Aprotosoaie, A. C., Gille, E., Trifan, A., Luca, V. S., & Miron, A. (2017). Essential oils of the Lavandula genus: A systematic review of their chemistry. Phytochemistry Reviews, 16(4), 761–799. https://doi.org/10.1007/s11101-017-9517-1.

Arris, L., Abderrahim, S., & Benchoulak, M. (2018). Variabilités des huiles essentielles de deux espèces de Lavandula (Lavandula stoechas et Lavandula angustifolia Miller) des trois régions (Est, Ouest et Centre) d'Algérie. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 21(5), 1320–1332. https://doi.org/10.1080/0972060X.2018.1520497

Ashour, M., Wink, M., & Gershenzon, J. (2010). Biochemistry of terpenoids: Monoterpenes, sesquiterpenes and diterpenes. In M. Wink (Ed.), *Biochemistry of plant secondary metabolism* (2nd ed., Vol. 40, pp. 258–303). Wiley-Blackwell. https://doi.org/10.1002/9781444320503.ch5

Assaggaf, H., El Hachlafi, N., Elbouzidi, A., Benkhaira, N., Mechchate, H., Es-Safi, I., & others. (2024). Exploring the antidiabetic and anti-inflammatory potential of Lavandula officinalis essential oil: In vitro and in silico insights. Heliyon, 10(15), e34135. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34135

Aziz, A., & Manju, M. (2021). *Phytochemical screening and quantitative analysis of locally used medicinal plants of Western Himalayas*. International Journal of Applied Research, 7(5), 288–294.

Azwanida, N. N. (2015). A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation. Medicinal & Aromatic Plants, 4(3), 196. https://doi.org/10.4172/2167-0412.1000196

Adaszyńska-Skwirzyńska, M., Dzięcioł, M., & Szczerbińska, D. (2023). Lavandula angustifolia essential oils as effective enhancers offluconazole antifungal activity against Candida Albicans Molecules,28(3), 1176. https://doi.org/10.3390/molecules28031176

B

Badri, S., Reddy, B. V., Basha, S. K., Chandra, K., Anasuya, D., & Bhavani, M. (2019). A review on pharmacological activities of alkaloids. *World Journal of Current Medical and Pharmaceutical Research, 1*(6), 230–234. https://doi.org/10.37022/WJCMPR.2019.01068

Bakkali, H., El Amrani, A., & Gadhi, C. A. (2020). *Phytochemical screening and antioxidant activity of aqueous extracts of Lavandula angustifolia cultivated in Morocco. Journal of Applied Pharmaceutical Science, 10*(6), 120–126. https://doi.org/10.7324/JAPS.2020.10616

Barabi, H. (2019). Antibacterial Effect of *Lavandula stoechas* Extracts on MRSA and ESBL Multidrug-Resistant Bacteria. Master 2 thesis, University Saad Dahlab Blida.

Barreca, M. M., Alessandro, R., & Corrado, C. (2023). Effects of flavonoids on cancer, cardiovascular and neurodegenerative diseases: Role of NF-κB signaling pathway. *International Journal of Molecular Sciences, 24*(11), 9236. https://doi.org/10.3390/ijms24119236

Behl, T., Gupta, A., Albratty, M., Najmi, A., Meraya, A., Alhazmi, H., Anwer, M. K., Bhatia, S., & Bungau, S. (2022). Alkaloidal phytoconstituents for diabetes management: Exploring the unrevealed potential. *Molecules, 27*(18), 5851. https://doi.org/10.3390/molecules27185851

Benyagoub, E., Nabbou, N., Sirat, M., & Dahlis, Z. (2014). Comprehensive Summary: Antibacterial Properties and Phytochemical Constituents of Lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) from the Tlemcen Region. *Revue des BioRessources*, 4(2).

Bergman, M. E., Davis, B., & Phillips, M. A. (2019). Medically Useful Plant Terpenoids: Biosynthesis, Occurrence, and Mechanism of Action. *Molecules*, 24(21), 3961. https://doi.org/10.3390/molecules24213961

Betlej, I., Kowalczyk, T., Kaczmarek, A., & Nowak, R. (2024). Phytochemical composition and antimicrobial properties of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.)

extracts from leaves and flowers. *Molecules, 29*(8), Article 1740.https://doi.org/10.3390/molecules29081740

Batiha, G. E., Teibo, J. O., Wasef, L., Shaheen, H. M., Akomolafe, A. P., Teibo, T. K. A., … & El-Saber, G. (2023). A review of the bioactive components and pharmacological properties of *Lavandula* species. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology, 396*(6), 877–900. https://doi.org/10.1007/s00210-023-02392-x

Bhambhani, S., Kondhare, K. R., & Giri, A. P. (2021). Diversity in chemical structures and biological properties of plant alkaloids. *Molecules, 26*(11), 3374. https://doi.org/10.3390/molecules26113374

Boughendjioua, H., Khelifa,A.,&Ziani,A.(2017). *Composition chimique et activité antibactérienne de l'huile essentielle de Lavandula officinalis cultivée en Algérie*. **Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, 86**(1), 1-10. https://doi.org/10.25518/0037-9565.7224

Bribi, N. (2018). Pharmacological activity of alkaloids: A review. *Asian Journal of Botany, 1*(2), 44–57. https://doi.org/10.63019/ajb.v1i2.467

C

Câmara, J. S., Perestrelo, R., Ferreira, R., Berenguer, C. V., et al. (2024). Plant-Derived Terpenoids: A Plethora of Bioactive Compounds with Several Health Functions and Industrial Applications—A Comprehensive Overview. *Molecules*, 29(16), 3861. https://doi.org/10.3390/molecules29163861

Câmara, J. S., Perestrelo, R., Ferreira, R., Berenguer, C. V., Pereira, J. A. M., & Castilho, P. C. (2024). Plant-derived terpenoids: A plethora of bioactive compounds with several health functions and industrial applications—A comprehensive overview. *Molecules, 29*(16), 3861. https://doi.org/10.3390/molecules29163861

Caser, M., Falla, N. M., Demasi, S., & Scariot, V. (2023). From fresh to dried lavender flower: Changes in phytochemical profile according to drying method. *Horticulturae, 9*(6), 700. https://doi.org/10.3390/horticulturae9060700

Cedillo-Cortezano, M., Martinez-Cuevas, L. R., Márquez López, J. A., Barrera López, I. L., Escutia-Perez, S., & Petricevich, V. L. (2024). Use of medicinal plants in the process of wound healing: A literature review. *Pharmaceuticals, 17*(3), 303. https://doi.org/10.3390/ph17030303

Chaabane, F. Z., Lamine, S., Guettouche, M. S., Bachari, N. E. I., & Hallal, N. (2024). Landslide risk assessments through multicriteria analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information, 13*(9), 303. https://doi.org/10.3390/ijgi13090303

Chaimae SLIMANI, Hakima SQALLI, Chaimae RAIS, Abdellah FARAH, Abderrahim LAZRAQ ,Lahsen EL GHADRAOUI, Saadia BELMALHA, Ghizlane ECHCHGADDA (2022) .Chemical composition and evaluation of biological effects of essential oil and aqueous extract of Lavandula angustifoliaL. DOI:10.15835/nsb14111172.

Chen, S., Wang, X., Cheng, Y., & Gao, H. (2023). A Review of Classification, Biosynthesis, Biological Activities and Potential Applications of Flavonoids. Molecules, 28(13), 4982. https://doi.org/10.3390/molecules28134982

Chograni, H., Elferchichi, M., Hajji, F., Riahi, L., & Messaoud, C. (2025). Diabetic therapeutic potential of French lavender phenolic-rich extract as revealed by in vivo bioassays. Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration. https://doi.org/10.1007/s41207-025-00997-7

Chu, C. J., & Kemper, K. J. (2001). *Lavender (Lavandula spp.)*. Longwood Herbal Task Force & The Center for Holistic Pediatric Education and Research. Revised July 2, 2001.

Consonni, R., & Ottolina, G. (2022). NMR characterization of lignans. *Molecules, 27*(7), 2340. https://doi.org/10.3390/molecules27072340

Cosme, P., Rodríguez, A. B., Espino, J., & Garrido, M. (2020). Plant phenolics: Bioavailability as a key determinant of their potential health-promoting applications. *Antioxidants, 9*(12), 1263. https://doi.org/10.3390/antiox9121263

Crișan, I., Ona, A., Vârban, D., Muntean, L., Vârban, R., Stoie, A., Mihăiescu, T., & Morea, A. (2023). Current trends for lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) crops and products with emphasis on essential oil quality. *Plants, 12*(2), 357. https://doi.org/10.3390/plants12020357

Crozier, A., Clifford, M. N., & Ashihara, H. (2006). *Plant secondary metabolites: Occurrence, structure and role in the human diet*. Blackwell Publishing Ltd.

D

Dar, R. A., Shahnawaz, M., Ahanger, M. A., & Majid, I. U. (2023). Exploring the diverse bioactive compounds from medicinal plants : A review. *The Journal of Phytopharmacology, 12*(3), 189–195. https://doi.org/10.31254/phyto.2023.12307

de la Rosa, L. A., Moreno-Escamilla, J. O., Rodrigo-García, J., & Alvarez-Parrilla, E. (2019). Phenolic compounds. In E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables* (pp. 253–264). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00012-9

de Melo, L. F. M., de Queiroz Aquino-Martins, V. G., da Silva, A. P., Rocha, H. A. O., & Scortecci, K. C. (2023). Biological and pharmacological aspects of tannins and potential biotechnological applications. Food Chemistry, 414, 135645. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135645

de Oliveira, A., Oliveira, G., Teixeira, V. M. C., da Silva-Buzanello, R. A., & Bona, E. (2026). Conventional methods and new trends for antioxidant analyses. *Talanta Open, 13*, 100636. https://doi.org/10.1016/j.talo.2026.100636

Debnath, B., Singh, W. S., Das, M., Goswami, S., Singh, M. K., Maiti, D., & Manna, K. (2018). Role of plant alkaloids on human health : A review of biological activities. *Materials Today Chemistry, 9*, 56–72. https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2018.05.002

Diass, K.; Merzouki, M.; Elfazazi, K.; Azzouzi, H.; Challioui, A.; Azzaoui, K.; Hammouti, B.; Touzani, R.; Depeint, F.; Ayerdi Gotor, A.; et al. Essential Oil of Lavandula officinalis : Chemical Composition and Antibacterial Activities. Plants 2023, 12, 1571.

Dirar, A. I., Alsaadi, D. H. M., Wada, M., Mohamed, M. A., Watanabe, T., & Devkota, H. P. (2019). Effects of extraction solvents on total phenolic and flavonoid contents and biological activities of extracts from Sudanese medicinal plants. *South African Journal of Botany*. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.07.003

Dobros, N., Zawada, K. D., & Paradowska, K. (2023). Phytochemical profiling, antioxidant and anti-inflammatory activity of plants belonging to the *Lavandula* genus. *Molecules, 28*(1), 256. https://doi.org/10.3390/molecules28010256

Dobros, N., Zawada, K., & Paradowska, K. (2022). *Phytochemical profile and antioxidant activity of Lavandula angustifolia and Lavandula × intermedia cultivars extracted with different methods. Antioxidants, 11*(4), 711. https://doi.org/10.3390/antiox11040711

Drețcanu, G., Stirbu, I., Leoplold, N., Cruceriu, D., Danciu, C., Stanila, A., Fărcaș, A., Borda, I. M., Iuhas, C., & Diaconeasa, Z. (2022). Chemical structure, sources and role of bioactive flavonoids in cancer prevention: A review. *Plants, 11*(9), 1117. https://doi.org/10.3390/plants11091117

E

Ebadollahi, A., Ziaee, M., & Palla, F. (2020). Essential oils extracted from different species of the Lamiaceae plant family as prospective bioagents against several detrimental pests. *Molecules, 25*(7), 1556. https://doi.org/10.3390/molecules25071556

Ebadollahi, A., Ziaee, M., & Palla, F. (2020). Essential oils extracted from different species of the Lamiaceae plant family as prospective bioagents against several detrimental pests. *Molecules, 25*(7), 1556. https://doi.org/10.3390/molecules25071556

Ecevit, K., Barros, A., Silva, J., & Reis, R. (2022). Preventing microbial infections with natural phenolic compounds. *Future Pharmacology, 2*(4), 460–498. https://doi.org/10.3390/futurepharmacol2040030

El Arabi, I., Ousaaid, D., & Laaroussi, H. (2025). Terpenoids: Diverse structures and functions in plant defense and communication. In *Plant secondary metabolites – Occurrence, structure and role*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.1008979

El Machrafi, S., Elkouali, M., Sadia, T., Iskandar, S., Rahhal, R., Bouhadi, M., El Jemli, M., & El Hajjouji, H. (2025). *Phytochemical composition and antioxidant activities of Mentha spicata L. and Melissa officinalis L. from the Settat region of Morocco: A comparative study of extraction methods*. Journal of Ecological Engineering, 26(12), 164– 177.

Elharas, K., Daagare, A., Mesfioui, A., & Ouhssine, M. (2013). Activité antibactérienne de l'huile essentielle des inflorescences de *Laurus nobilis* et *Lavandula angustifolia*. *Afrique Science, 9*(2), 134–141.

Eliuz, E. A. E., Ayas, D., & Goksen, G. (2016). Antibacterial actions and potential phototoxic effects of volatile oils of *Foeniculum* sp. (fennel), *Salvia* sp. (sage), *Vitis* sp. (grape), *Lavandula* sp. (lavender). *Natural and Engineering Sciences, 1*(3), 10–22.

Elmusa, S., Elmusa, M., Elmusa, B., & Kasimoğullari, R. (2022). Coumarins: Chemical synthesis, properties and applications. *Chemistry Methodologies, 6*(2), Article 1441144. https://doi.org/10.29130/dubited.1441144

Erfanian, E., & al. (2025). *Environmental impact on Lavandula officinalis: Chemical profiling and antioxidant activity*. **Euro-Mediterranean Journal of Environmental Integration, 10**(3), 345-356. https://doi.org/10.1007/s41207-025-00345-7

F

Fahmy, M. A., Farghaly, A. A., Hassan, E. E., Hassan, E. M., Hassan, Z. M., Mahmoud, K., & Omara, E. A. (2022). Evaluation of the anti-cancer/anti-mutagenic efficiency of Lavandula officinalis essential oil. Asian Pacific Journal of Cancer Prevention, 23(4), 1215–1222. https://doi.org/10.31557/APJCP.2022.23.4.1215

Fakhriddinova, D. K., Rakhimova, T. R., Dusmuratova, F. M., Duschanova, G. M., Abdinazarov, S. H., & Samadov, I. N. (2020). The anatomical structure of vegetative organs *Lavandula officinalis* Chaix in the introduction of Tashkent Botanical Garden. *American Journal of Plant Sciences, 11*(4), 578–588. https://doi.org/10.4236/ajps.2020.114043

G

Gadibadi, M., Țîței, V., Guțu, A., & Daraduda, N. (2025). Melliferous potential and biomass waste valorization of *Coriandrum sativum*, *Salvia hispanica*, and *Lavandula angustifolia* for renewable energy applications. *Scientific Papers. Series A. Agronomy, 68*(2), 944–950.

Giuliani, C., Bottoni, M., Ascrizzi, R., Milani, F., Spada, A., Papini, A., Flamini, G., & Fico, G. (2023). Insight into micromorphology and phytochemistry of *Lavandula angustifolia* Mill. from Italy. *South African Journal of Botany, 153*, 83–93. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.12.018

Gubišová, M., & Čičová, I. (2023). Multiplication of lavender (*L. angustifolia*) and lavandin (Lavandula × intermedia) in explant culture. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, 69(1), 1–12. https://doi.org/10.2478/agri-2023-0001

Gülçin, İ., & Alwasel, S. H. (2023). DPPH radical scavenging assay. Processes, 11(8), Article 2248. https://doi.org/10.3390/pr11082248

H

Habán, M., Korczyk-Szabó, J., Čerteková, S., & Ražná, K. (2023). *Lavandula* species, their bioactive phytochemicals, and their biosynthetic regulation. *International Journal of Molecular Sciences, 24*(10), 8831. https://doi.org/10.3390/ijms24108831

Hadj Moussa, A. H., Benaliouche, F., Sbartai, I., & Sbartai, H. (2023). Biological activities and chemical characterization of *Lavandula angustifolia* essential oil from Seraïdi, Northeastern Algeria. *Biodiversitas, 24*(8), 4535–4542. https://doi.org/10.13057/biodiv/d240856

Halboup, A., & Alkubati, S. A. (2025). Protocols for antioxidant testing: A mini review of common assays and approaches. *AUIQ Complementary Biological Systems, 2*(1), 71–80. https://doi.org/10.70176/3007-973X.1048

Haryani, Y., Hasan, H., Hendra, R., Iskandar, B., Andriana, Y., Yuwanda, E., Khoirunnisa, E., Halid, N. A., Sabri, S., Ab Rashid Nor-Khaizura, M., & Md Hatta, M. A. (2026). Synergistic enhancement of nisin production through metabolic and regulatory engineering of *Lactococcus lactis* ATCC 11454: Thermal and pH stability and application in food model system. *Trends in Sciences, 23*(7), 12748. https://doi.org/10.48048/tis.2026.12748

Hassanpour, S., Maheri-Sis, N., Eshratkhah, B., & Mehmandar, F. B. (2011). Plants and secondary metabolites (Tannins): A review. *International Journal of Forest, Soil and Erosion, 1*(1), 47–53.

Hayouni, E., Abedrabba, M., Bouix, M., & Hamdi, M. (2007). *The effects of solvents and extraction method on the phenolic contents and biological activities in vitro of Tunisian Quercus coccifera L. and Juniperus phoenicea L. fruit extracts.* **Food Chemistry.** https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.063

Hedayati, S., Tarahi, M., Madani, A., Mazloomi, S. M., & Hashempur, M. H. (2025). Towards a greener future: Sustainable innovations in the extraction of lavender (*Lavandula* spp.) essential oil. *Foods, 14*(1), 100. https://doi.org/10.3390/foods14010100

Hoff, M., Deluzarche, F., Janin, F., & Bertin-Charbonnier, C. (2016). *Les Lavandes (Lavandula, Lamiaceae) de l'Herbier de l'Université de Strasbourg*. Herbier de l'Université de Strasbourg. https://doi.org/10.1002/fsn3.71259

I

Istrate, A.-M.-R., Cojocaru, A., Teliban, G.-C., Amisculesei, P., & Stoleru, V. (2020). Preliminary study regarding the use of medicinal and decorative plants in the concept of peri-urban gardens with role on environmental protection. *Scientific Papers. Series Horticulture, 64*, 389–396.

J

Jain, C., Khatana, S., & Vijayvergia, R. (2019). Bioactivity of secondary metabolites of various plants: A review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 10*(2), 494–504. https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.10(2).494-04

Jang, W. Y., Kim, M.-Y., & Cho, J. Y. (2022). Antioxidant, anti-inflammatory, anti-menopausal, and anti-cancer effects of lignans and their metabolites. *International Journal of Molecular Sciences, 23*(24), 15482. https://doi.org/10.3390/ijms232415482

Javad Sharifi-Rad, Cruz-Martins, N., López-Jornet, P.,Ntoumenopoulos,G., Dey,A., Martorell,M.,Martins, N., & Cho,W.C. (2021). Lavandula species: Phytochemical profile and biological activities. Phytotherapy Research, 35(4), 1813–1837. https://doi.org/10.1002/ptr.6895

Jiang, B., Hou, Y., et al. (2025). *Phytomedicine*, 148, 157274. DOI: 10.1016/j.phymed.2025.157274.

Jones, R. N., Anderegg, T. R., Swenson, J. M., & The Quality Control Working Group. (2005). Quality control guidelines for testing gram-negative control strains with polymyxin B and colistin (polymyxin E) by standardized methods. *Journal of Clinical Microbiology, 43*(2), 925–927. https://doi.org/10.1128/JCM.43.2.925-927.2005.

K

Kalam, M. A., Habib, A., Arzoo, K. S., Ahmad, W., Ahmad, R., & Avid, M. (2024). *Khuzāma (Lavandula angustifolia Mill.): Pharmacological action and therapeutic uses in perspective of Unani medicine: A review*. *Journal of Complementary and Alternative Medical Research, 25*(1), 18–25. https://doi.org/10.9734/JOCAMR/2024/v25i1511

Karakaş, İ. (2025). A comprehensive review of lavender (*Lavandula* spp.): Taxonomy, pollination biology, essential oil applications and breeding developments. *Manas Journal of Agriculture, Veterinary and Life Sciences, 15*(2), 251–270. https://doi.org/10.53518/mjavl.1715260

Karpiński, T. M. (2020). Essential oils of Lamiaceae family plants as antifungals. *Biomolecules, 10*(1), 103. https://doi.org/10.3390/biom10010103

Kerru, N., Gummidi, L., Maddila, S., Gangu, K. K., & Jonnalagadda, S. B. (2020). A review on recent advances in nitrogen-containing molecules and their biological applications. *Molecules, 25*(8), 1909. https://doi.org/10.3390/molecules25081909

Khalmuratov, P., & Artykova, A. (2022). Bio-ecological features of lavender in the conditions of Karakalpakstan. *American Journal of Agriculture and Horticulture Innovations, 2*(12), 39–42. https://doi.org/10.37547/ajahi/Volume02Issue12-08

Kluska, M., Jabłońska, J., & Prukała, W. (2023). Analytics, properties and applications of biologically active stilbene derivatives. *Molecules, 28*(11), 4482. https://doi.org/10.3390/molecules28114482

Kozuharova, E., Simeonov, V., Stoycheva, C., Benbassat, N., & Batovska, D. (2024). Lavender essential oils—hidden relationships between the samples of origin. *Pharmacia, 71*, 1–10. https://doi.org/10.3897/pharmacia.71.e127293

Kumar, A., Saranyadevi, S., Thirumalaisamy, S. K., Dapana Durage, T. T., Jaiswal, S. G., Kavitake, D., & Wei, S. (2025). Phenolic acids in fermented foods: Microbial biotransformation, antioxidant mechanisms, and functional health implications. *Frontiers in Molecular Biosciences, 12*, 1678673. https://doi.org/10.3389/fmolb.2025.1678673

L

Lakušić, B., Lakušić, D., Ristić, M., Marčetić, M., & Slavkovska, V. (2014). Seasonal variations in the composition of the essential oils of *Lavandula angustifolia* (Lamiaceae). *Natural Product Communications, 9*(6), 859–862.

Lal, M., Tamang, R., Dutta, P., Begum, T., & Ghorbanpour, M. (2025). Phytochemical profiling and in vitro biological activity evaluation of *Lavandula angustifolia* flower essential oil. *Scientific Reports, 15*, 28732. https://doi.org/10.1038/s41598-025-12792-z

Lal, N., Rajput, V. D., El-Ramady, H., Upadhyay, S. K., Minkina, T., Ahmed, B., & Mandzhieva, S. (2023). Plant secondary metabolites and their impact on human health. In V. D. Rajput, H. El-Ramady, S. K. Upadhyay, T. Minkina, B. Ahmed, & S. Mandzhieva (Eds.), *Nano-biofortification for human and environmental health. Sustainable plant nutrition in a changing world* (pp. xxx–xxx). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35147-1_15

Lis-Balchin, M. (Ed.). (2002). *Lavender: The genus Lavandula*. Royaume-Uni: Taylor & Francis

Lucas, B. N., Dalla Nora, F. M., Boeira, C. P., Verruck, S., & da Rosa, C. S. (2022). *Determination of total phenolic compounds in plant extracts via Folin-Ciocalteu's method adapted to the usage of digital images*. Food Science and Technology, 42.

Lytovchenko Anna, Romina Beleggia, Nicolas Schauer, Tal Isaacson, Jan E Leuendorf, Hanjo Hellmann, Jocelyn KC Rose and Alisdair R Fernie. Application of GC-MS for the detection of lipophilic compounds in diverse plant tissues. *Plant Methods* **5**, 4 (2009). https://doi.org/10.1186/1746-4811-5-4

M

Mabou, F. D., & Nzeuwa Yossa, I. B. (2021). Terpenes: Structural classification and biological activities. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences, 16*(3), 25–40. https://doi.org/10.9790/3008-1603012540

Mac Sweeney, E., Pieracci, Y., Popescu, V. S., Angius, G., Flamini, G., Pistelli, L., Abate, G., & Mastinu, A. (2025). Phytochemical characterization and potential anti-oxidative activity of *Lavandula angustifolia* subsp. *pyrenaica* (DC.), *Lavandula* × *intermedia* Emeric ex Loisel cv Grosso, and cv Super essential oils compared to a commercial lavender essential oil. *Chemistry & Biodiversity, 22*(7), e202403478. https://doi.org/10.1002/cbdv.202403478

Madhuranga, H. D. T., & Samarakoon, D. N. A. W. (2023). Advancing *in vitro* antioxidant activity assessment: A comprehensive methodological review and improved approaches for DPPH, FRAP and H_2O_2 assays. *Journal of Natural & Ayurvedic Medicine, 7*(4), Article 431. https://doi.org/10.23880/jonam-16000431

Marchidan, I. G., Popa, E. E., Geicu-Cristea, M., Boiu-Sicuia, O.-A., Radu, N., & Băbeanu, N. E. (2023). In vitro antimicrobial activity of different essential oils from *Lavandula* sp. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies, 27*(2), 133–142.

Marovska, M., Ivanova, D., & Petkova, N. (2023). Phytochemical composition and antioxidant properties of ethanolic extracts of Lavandula angustifolia leaves. Plants, 12(4), 765. https://doi.org/10.3390/plants12040765

Mathe, E., Sethoga, L., Mapfumari, S., Adeniran, O., Mokgotho, P., Shai, J., & Gololo,S. (2024). Phytochemical Screening and Characterization of Volatile Compounds from Three Medicinal Plants with Reported Anticancer Properties Using GC-MS. Life, 14(11), 1375.

Mendonça, E. L. S. S., Xavier, J. A., Fragoso, M. B. T., Silva, M. O., Escodro, P. B., Oliveira, A. C. M., Tucci, P., Saso, L., & Goulart, M. O. F. (2024). E-stilbenes: General chemical and biological aspects, potential pharmacological activity based on the Nrf2 pathway. *Pharmaceuticals, 17*(2), 232. https://doi.org/10.3390/ph17020232

Mihaylova, R., Elincheva, V., Momekov, G., & Simeonova, R. (2025). Unlocking the therapeutic potential of ellagitannins: A comprehensive review of key representatives. *Molecules, 30*(22), 4328. https://doi.org/10.3390/molecules30224328

Mohammed, A. Y., & Ahamed, L. S. (2022). Synthesis and characterization of new substituted coumarin derivatives and study their biological activity. *Chemistry Methodologies, 6*(2), Article CHEMM-2206-1569.

Moro, I., Basso, M., & Cossignani, L. (2017). *Antioxidant activity and phytochemical composition of aqueous extracts of Lavandula angustifolia Mill. NaturalProductResearch,31*(18),2131–2138.https://doi.org/10.1080/14786419.2016.1272123

Mrduljaš, N., Krešić, G., & Bilušić, T. (2017). Polyphenols: Food sources and health benefits. In *Functional food – Improve health through adequate food* (Chap. 2). IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.68862

Mueed, A., Shibli, S., Al-Quwaie, D. A., Ashkan, M. F., Alharbi, M., Alanazi, H., Binothman, N., Aljadani, M., Majrashi, K. A., Huwaikem, M., Abourehab, M. A. S., Korma, S. A., & El-Saadony, M. T. (2023). *Extraction, characterization of polyphenols from certain medicinal plants and evaluation of their antioxidant,*

antitumor, antidiabetic, antimicrobial properties. Frontiers in Nutrition, 10, 1125106.https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1125106

Mukeshambala, F. F., Ibanda, A. P., Gakuru, J. B. S., Dhed'a, B. D., & Monde, G. K. (2024). *Investigating Plant Extract in Inhibition of Ralstonia solanacearum Responsible for Potato Wilt*. Journal of Agricultural Science, 16(9), 95–107.

Mykhailenko, O., Hurina, V., Herbina, N., Maslii, Y., Ivanauskas, L., Vladymyrova, I., Lytkin, D., Gudžinskas, Z., Severina, H., Ruban, O., & Georgiyants, V. (2025). Phenolic Compounds and Pharmacological Potential of *Lavandula angustifolia* Extracts for the Treatment of Neurodegenerative Diseases. *Plants*, *14*(2), 289. https://doi.org/10.3390/plants14020289

N

Nedeltcheva-Antonova, D., Gechovska, K., Bozhanov, S., & Antonov, L. (2022). Exploring the chemical composition of Bulgarian lavender absolute (*Lavandula angustifolia* Mill.) by GC/MS and GC-FID. *Plants, 11*(23), 3150. https://doi.org/10.3390/plants11223150

Nwokeji, P. A., Ignatius, E. O., Raymond, E. S., Osasere, O.-I., & Abiola, A. H. (2016). The chemistry of natural product: Plant secondary metabolites. *International Journal of Technology Enhancements and Emerging Engineering Research, 4*(8), 1–8.

Nwozo, O. S., Effiong, E. M., Aja, P. M., & Awuchi, C. G. (2023). Antioxidant, phytochemical, and therapeutic properties of medicinal plants: A review. *International Journal of Food Properties, 26*(1), 359–388. https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2157425

Nyarko, R. A., Larbie, C., Anning, A. K., & Baidoo, P. K. (2019). Phytochemical constituents, antioxidant activity and toxicity assessment of hydroethanolic leaf extract of *Griffonia simplicifolia*. *International Journal of Phytopharmacology, 10*(1), 6–18. https://doi.org/10.21276/ijp.2019.10.1.2

O

Ogbemudia, F. O., & Thompson, E. O. (2014). Variation in plants secondary metabolites and potential ecological roles: A review. *International Journal of Modern Biology and Medicine, 5*(3), 111–130. Modern Scientific Press.

Oluwole, O., Fernando, W. M. A. D. B., Jayasena, V., Lumanlan, J., & Ademuyiwa,

O. (2022). Role of phenolic acid, tannins, stilbenes, lignans and flavonoids in human health – A review. *International Journal of Food Science and Technology, 57*(12), 6326–6335. https://doi.org/10.1111/ijfs.16062

Ortiz, A., & Sansinenea, E. (2023). Phenylpropanoid derivatives and their role in plants' health and as antimicrobials. *Current Microbiology, 80*, 380. https://doi.org/10.1007/s00284-023-03502-x

P

Pandur, E., & al. (2021). *Anti-inflammatory effect of lavender essential oil on THP-1 macrophages*. **BMC Complementary Medicine and Therapies, 21**(1), 246. https://doi.org/10.1186/s12906-021-03461-5

Parekh, S., Parmar, G., Kanojiya, D., Baile, S., Trivedi, R., & Bhatt, F. (2024). Unlocking the therapeutic potential of terpenoids: A roadmap for future medicine. *Pharmacognosy Research, 16*(4), 698–705. https://doi.org/10.5530/pres.16.4.81

Peiris, D. S. H. S., Fernando, D. T. K., Senadeera, S. P. N. N., & Ranaweera, C. B. (2023). Phytochemical screening for medicinal plants: Guide for extraction methods. *Asian Plant Research Journal, 11*(4), 13–34. https://doi.org/10.9734/APRJ/2023/v11i4216

Pérez, M., Dominguez-López, I., & Lamuela-Raventós, R. (2023). The Chemistry Behind the Folin–Ciocalteu Method for the Estimation of (Poly)phenol Content in Food: Total Phenolic Intake in a Mediterranean Dietary Pattern. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 71(46), 17543-17553. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022

Piršelová, B., & Jakubčinová, J. (2025). Plant cyanogenic glycosides: From structure to properties and potential applications. *Frontiers in Plant Science, 16*, 1612132. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1612132

Pokajewicz, K., Czarniecka-Wiera, M., Krajewska, A., Maciejczyk, E., & Wieczorek, P. P. (2023). *Lavandula x intermedia—A bastard lavender or a plant of many values? Part I. Biology and chemical composition of lavandin*. *Molecules, 28*(7), 2943. https://doi.org/10.3390/molecules28072943

Pramanik, J., Kumar, A., Rustagi, S., Katyal, M., Thakur, S., Bora, J., Malik, S., Trehan, A., Talukdar, N., & Slama, P. (2024). A perspective review on the biosynthesis of

plant-based secondary metabolites and their application as potent drugs. *BIOCELL, 48*(4), 541–557. https://doi.org/10.32604/biocell.2023.029031

Prosche, S., & Stappen, I. (2024). Flower power : An overview on chemistry and biological impact of selected essential oils from blossoms. *Planta Medica, 90*(6), 595–626. https://doi.org/10.1055/a-2215-2791

Prusinowska, R., & Śmigielski, K. B. (2014). Composition, biological properties and therapeutic effects of lavender (*Lavandula angustifolia L.*) : A review. *Herba Polonica*, 60(2), 56–66. https://doi.org/10.2478/hepo-2014-0010

R

Ramos da Silva, L. R., Ferreira, O. O., Cruz, J. N., Franco, C. J. P., dos Anjos, T. O., Cascaes, M. M., da Costa, W. A., de Aguiar Andrade, E. H., & de Oliveira, M. S. (2021). Lamiaceae essential oils, phytochemical profile, antioxidant, and biological activities. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2021*, Article ID 6748052, 18 pages. https://doi.org/10.1155/2021/6748052

Rashmi, H. B., & Negi, P. S. (2020). Phenolic acids from vegetables: A review on processing stability and health benefits. *Food Research International, 136*, 109298. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109298

Rather, G. A., Nanda, A., Raj, E., Mathivanan, N., Thiruvengadam, K., Sofi, M. A., & Nayak, B. K. (2023). Determination of phytochemicals, *in vitro* antioxidant and antibacterial activity of *Lavandula angustifolia* Mill. *Research Journal of Pharmacy and Technology, 16*(3), 1161–1166. https://doi.org/10.52711/0974-360X.2023.00193

Roy, A. (2018). A review on the alkaloids: An important therapeutic compound from plants. *International Journal of Plant Biotechnology, 3*(2), 1–10. Journalspub.

Ruiz-Vasquez, L., Ruiz Mesia, L., Maco, M. M., Zapata, J. A., Ricopa Cotrina, H., Cobos, M., Pinedo-Cancino, V., Tello, F., & Castro, J. C. (2026). Optimized Folin-Ciocalteu method for determination of total polyphenols in medicinal plants of the Peruvian Amazon: Validation and application to twelve species. *AppliedChem, 6*(1), 17. https://doi.org/10.3390/appliedchem6010017

Russell, W., & Duthie, G. (2011). Plant secondary metabolites and gut health: The case for phenolic acids. *Proceedings of the Nutrition Society, 70*(3), 389–396. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/S0029665111000152

S

Saifi, M., Didouh, N., Aissaoui, N., Khiri, Z., Medjahdi, K., Achek, R., Daoud, I., & Araujo, R. (2026). Chemical composition and antibacterial potential of *Lavandula latifolia* and *Lavandula angustifolia* essential oils against *Bacillus cereus* isolated from pipelines of dairy industry. *Chemistry & Biodiversity, 23*(1), e01821. https://doi.org/10.1002/cbdv.202501821

Sandner, G., Heckmann, M., Weghuber, J,. (2020). Immunomodulatory activities of selected essential oils. Biomolecules, 10(8), 1139. https://doi.org/10.3390/biom10081139

Santos Junior, C. M., Velozo, E. da S., Silva, S. M. C., Porto dos Santos, E. K., Sales, E. M., Canuto, G. A. B., Azeredo, F. J., Barros, T. F., & Biegelmeyer, R. (2023). Coumarins from Rutaceae: Chemical diversity and biological activities. *Fitoterapia, 167*, 105489. https://doi.org/10.1016/j.fitote.2023.105489

Selim, S., Çoşlu, M., Olgun, R., Karakuş, N., Kahraman, E., Sönmez, N. K., & Selim, C. (2026). Lavender as a catalyst for rural development: Identifying commercially suitable cultivation sites through multi-criteria decision analysis. *Land, 15*(1), 130. https://doi.org/10.3390/land15010130

Şengül, M., Ufuk, S., Zor, M., & Karakütük, İ. A. (2025). Secondary metabolites: Classification, therapeutic properties, and potential usage in the food industry. *Turkish Journal of Agriculture – Food Science and Technology, 13*(10), 3144–3156. https://doi.org/10.24925/turjaf.v13i10.3144-3156.7872

Sevindik, M.,Kilibarda, S., Uysal, I., Šavikin, K., Banjac, N., & Popović-Đorđević, J. (2025). *Overview of phytochemical composition and bioactivity of Lavandula species*.phytochemistry Reviews, 24(2), 180-195. https://doi.org/10.1007/s11101-025-10180-z

Shaikh, B., Sofi, G., Abdul Hafiz, K., & Shaikh, S. U. R. (2025). Lavandula stoechas (Ustokhuddus): A review of traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and recent advances. *International Journal of AYUSH, 14*(3), 33–43.

Sharifi-Rad, M., & al. (2021). *Pharmacological properties of Lavandula species: A review*. Journal of Ethnopharmacology, 283, 114-125.

Sharmila, A., Bhadra, P., Kishore, C., Selvaraj, C. I., Kavalakatt, J., & Bishayee, A. (2025). *Nanoformulated terpenoids in cancer: A review of therapeutic applications, mechanisms, and challenges. Cancers, 17*(18), 3013. https://doi.org/10.3390/cancers17183013

Shevchenko, S. V., & Mitrofanova, I. (2022). Some biological features of lavender and lavandin in relation with virus infection. *Acta Horticulturae, 1324*, 173–178. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1324.26

Singla, R. K., Dubey, A. K., Garg, A., Sharma, R. K., Fiorino, M., Ameen, S. M., Haddad, M. A., & Al-Hiary, M. (2019). Natural polyphenols: Chemical classification, definition of classes, subcategories, and structures. *Journal of AOAC International, 102*(5), 1397–1404. https://doi.org/10.5740/jaoacint.19-0133

Sitarek, P., Merecz-Sadowska, A., Śliwiński, T., Zajdel, R., & Kowalczyk, T. (2020). An *in vitro* evaluation of the molecular mechanisms of action of medical plants from the Lamiaceae family as effective sources of active compounds against human cancer cell lines. *Cancers, 12*(10), 2957. https://doi.org/10.3390/cancers12102957

Slighoua, M., Chebaibi, M., Mahdi, I., Amrati, F. E., Conte, R., Cordero, M. A. W., Alotaibi, A., Saghrouchni, H., Agour, A., Zair, T., Bari, A., & Bousta, D. (2022). The LC-MS/MS identification and analgesic and wound healing activities of *Lavandula officinalis* Chaix: In vivo and in silico approaches. *Plants, 11*(23), 3222. https://doi.org/10.3390/plants11233222

Suica-Bunghez, I. R., Senin, R.-M., & Stoica, R. (2022). Analysis of *Lavandula angustifolia* compounds obtained by different extraction types by GC-MS technique. *Biology and Life Sciences Forum, 20*(1), 15. https://doi.org/10.3390/IECBM2022-13374

T

Tăbărașu, A.-M., Anghelache, D.-N., Găgeanu, I., Biriş, S. Ş., & Vlăduţ, V. (2023). Considerations on the Use of Active Compounds Obtained from Lavender. DOI : 10.3390/su15118879

Talić, S., Odak, I., Marković Boras, M., Smoljan, A., & Martinović Bevanda, A. (2023). Essential oil and extracts from *Lavandula angustifolia* Mill. cultivated in Bosnia and Herzegovina: Antioxidant activity and acetylcholinesterase inhibition. *International*

Journal of Plant Based Pharmaceuticals, 3(1), 95–103. https://doi.org/10.29228/ijpbp.21

Tao, H., Lauterbach, L., Bian, G., Chen, R., Hou, A., Mori, T., Cheng, S., Hu, B., Lu, L., Mu, X., Li, M., Adachi, N., Kawasaki, M., Moriya, T., Senda, T., Wang, X., Deng, Z., Abe, I., Dickschat, J. S., & Liu, T. (2022). Discovery of non-squalene triterpenes. *Nature, 606*(7913), 414–421. https://doi.org/10.1038/s41586-022-04773-3

Thawabteh, A., Juma, S., Bader, M., Karaman, D., Scrano, L., Bufo, S. A., & Karaman, R. (2019). The biological activity of natural alkaloids against herbivores, cancerous cells and pathogens. *Toxins, 11*(11), 656. https://doi.org/10.3390/toxins11110656

Tong, Z., He, W., Fan, X., & Guo, A. (2022). Biological Function of Plant Tannin and Its Application in Animal Health. Frontiers in Veterinary Science, 8, 803657. https://doi.org/10.3389/fvets.2021.803657

Twaij, B. M., & Hasan, M. N. (2022). Bioactive secondary metabolites from plant sources: Types, synthesis, and their therapeutic uses. *International Journal of Plant Biology, 13*(1), 4–14. https://doi.org/10.3390/ijpb13010003

V

Vijayan, R., Ram Kumar, A., Hirad, A. H., Selvaraj, S., Eswaranpillai, U., Rajendran, M., Karuppiah, P., Gurusamy, S., & Raja, R. K. (2026). Structural, spectroscopic characterization, solvent effect, topological aspects, and biological investigation of abietane diterpene pisiferic acid. *Next Materials, 12*, 101973. https://doi.org/10.1016/j.nxmate.2026.101973

Vogt, T. (2010). Phenylpropanoid biosynthesis. *Molecular Plant, 3*(1), 2–20. https://doi.org/10.1093/mp/ssp106

W

Walasek-Janusz, M., Grzegorczyk, A., Zalewski, D., Malm, A., Gajcy, S., & Gruszecki, R. (2022). Variation in the Antimicrobial Activity of Essential Oils from Cultivars of *Lavandula angustifolia* and *L.* × *intermedia*. *Agronomy*, 12, 2955. DOI: 10.3390/agronomy12122955

Wilson, T., Poulson, A., Packer, C., Carlson, R., & Buch, R. (2021). Essential oil profile and yield of corolla, calyx, leaf, and whole flowering top of cultivated *Lavandula*

angustifolia Mill. (Lamiaceae) from Utah. *Molecules, 26*(8), 2343. https://doi.org/10.3390/molecules26082343

Y

Yang, W., Chen, X., Li, Y., Guo, S., Wang, Z., & Yu, X. (2020). Advances in pharmacological activities of terpenoids. *Natural Product Communications, 15*(3), 1–13. SAGE Publications. https://doi.org/10.1177/1934578X20903555

You, J., Shin, Y. K., & Seol, G. H. (2024). Alleviating effect of lavender (Lavandula angustifolia) and its major components on postherpetic pain: A randomized blinded controlled trial. BMC Complementary Medicine and Therapies, 24(54), 1-12. **https://doi.org/10.1186/s12906-024-05400-y**

Z

Zagoskina, N. V., Zubova, M. Y., Nechaeva, T. L., Kazantseva, V. V., Goncharuk, E. A., Katanskaya, V. M., Baranova, E. N., & Aksenova, M. A. (2023). Polyphenols in Plants: Structure, Biosynthesis, Abiotic Stress Regulation, and Practical Applications (Review). *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(18), 13874. https://doi.org/10.3390/ijms241813874

Zatla, A. T., & Hammoudi, A. (2024). *Phytochemical Screening and Inflammatory Activity Evaluation of Hydroalcoholic Extract of Glycyrrhiza glabra Root*. Chemistry Proceedings, 16, 5.

Zengin, G., Sinan, K. I., Mahomoodally, M. F., Angelini, P., & Flores, G. A. (2022). *Chemical composition, antioxidant and enzyme inhibitory properties of different extracts obtained from Lavandula angustifolia L. South African Journal of Botany, 144*, 232–239. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.07.019

Zhao, X., Zhang, S., & Zhang, Y. (2025). Tannin-based strategies for mitigating greenhouse gas emissions through nitrogen and carbon metabolism in ruminants. *Agriculture, 15*(21), 2234. https://doi.org/10.3390/agriculture15212234

Zigene, Z., Kassahun, B., & Gebremedin, B. (2018). Effect of cutting size and position on propagation ability of lavender (*Lavandula angustifolia* L.). *The Ethiopian Horticultural Science Society (EHSS)*.

Zouine, N., El Ghachtouli, N., El Abed, S., & Ibnsouda Koraichi, S. (2024). A comprehensive review on medicinal plant extracts as antibacterial agents : Factors, mechanism insights and future prospects. *Scientific African, 26*, e02395. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02395