

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHECHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULUD MAMMERI DE TIZI OUZOU
FACULTE DES SCIENCE BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DE BIOCHIMIE-MICROBIOLOGIE**



**Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de Master**

**Spécialité : Biotechnologie
Option : Biotechnologie et Valorisation des Plantes**

Thème :

**Activités antibactérienne de l'extrait aqueux de
feuilles de *Malva Sylvestris L.***

**Réalisé par : GUENNOUN Ania
GUEZOU I Sarah**

Soutenu le : 12/06/2025

Devant le jury composé de :

Président : Mme BERROUANE Naoual, UMMTO

Examinatrice : Mme YAKOUBI, Saida UMMTO

Encadreur : Dr MOUALEK Idir, UMMTO

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

Nous commençons tout d'abord par remercier « Dieu » le tout puissant, qui nous a accordé la santé et la force d'accomplir à terme ce modeste travail. Nos profondes gratitude vont à Mr MOUALEK I., Maitre de Conférences à la faculté des sciences biologiques et agronomiques à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou de nous avoir fait l'honneur de diriger ce travail et de nous avoir guidés et encouragés pendant tout le long de celui-ci.

Nous remercions également Mme BERROUANE. Nawel enseignante à l'université de Mouloud MAMMARI de TIZI-OUZOU pour l'honneur qu'elle nous fait en président le jury de notre mémoire.

Nos très vifs remerciements vont aussi à Mme YAKOUBI. Saida pour avoir contribué par sa participation à l'examen de ce travail.

Dédicaces

A la mémoire de mon père, Ce travail je te le dédier avec tout mon amour ma reconnaissance en hommage à tout ce que tu as été pour moi.

A ma très chère mère, aucune dédicace ne serait assez éloquente pour exprimé ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance ;

A ma chère sœur Luna, mes frères Yanes et Samir qui m'ont encouragé tout au long de mon parcours.

A ma binome, ma meilleure amie qui a

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes chers parents qui ont été à mes côtés et m'ont soutenu tout au long de ces longues d'années d'études. Aucun dédicace ne saurait exprimer l'amour et le respect que j'ai toujours pour vous, ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consentis.

À mes chères sœurs Sabrina et Asma, mes cousins qui m'ont encouragé tout au long de mon parcours.

À ma binôme, ma meilleure amie qui a partagé avec moi les moments d'émotions lors de la rédaction de ce travail.

À tous ceux que j'aime.

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Sommaire

Introduction	1
1-Synthèse bibliographique	3
1-1-Les plantes médicinales	3
1-2- <i>Malva sylvestris L.</i>	3
1-3-Classification phylogénétique.....	5
1-4-Répartition Géographique.....	6
1-5-Description botanique.....	7
1-6-Usage et propriétés thérapeutiques	10
1-6-1-Usage interne.....	10
1-6-3-Usage ménager	10
1-6-4-Précaution d'emploi	11
1-7-Composition.....	12
1-8-Métabolites secondaires.....	13
1-8-1-Classification.....	13
Alcaloïdes.....	16
Terpènes	17
Acides phénoliques.....	18
1-9-Activités biologiques	29
1-9-1-Activité antibactérienne.....	29
1-9-2-Activité anti-oxydante	29
1-9-3-Activités anti biofilm.....	30
2-Matériel et méthodes.....	32
2-1-Matériel.....	32
2-1-1- Matériel végétal.....	32
2-1-2-Souches bactériennes.....	32
2-2- Méthodes.....	32
2-2-1-Préparation de l'extrait.....	32
2-2-2- Dosage des polyphénols totaux	33
2-2-3- Étude de l'activité antibactérienne	34
3-Résultats et discussions.....	36
3-1-Détermination de la teneur en polyphénols	36
3-2-Activité antibactérienne.....	37
Conclusion	44

Les références bibliographiques

Annexes

- MS : Matière sèche
- EAG : Équivalent d'acide gallique
- PPT : Polyphénols totaux
- CMI : Concentration minimale inhibitrice
- ROS : Reactive Oxygen Species (Espèces réactives de l'oxygène)
- AGP : Arabinogalactane Protéines
- HPLC : High Performance LiquidChromatography (Chromatographie liquide haute performance)
- ATCC: American Type Culture Collection

Figure 1 : Malva sylvestris L. Grande mauve (ALVES GASPAR., 2008).....	5
Figure 2: Répartition géographique mondiale de Malva sylvestris L. (FLORA-HELVETICA., 2018).....	7
Figure 3: les parties composantes de la Malva sylvestris. L (DADACHE., 2021).....	9
Figure 4: Classification des Métabolites Secondaires (SI AHMED et KHELOUL., 2024) ...	15
Figure 5: Structure de base des alcaloïdes (Vásquez-Ocmín., 2018).....	16
Figure 6: Structure chimique de base du groupement phénolique (DIBALA., 2021).	18
Figure 7 : Classification des polyphénols	20
Figure 8: Structure de base des flavonoïdes (HUM. HEATH 2017)	21
Figure 9: Les différentes sous classes des flavonoïdes (GORNIK et al., 2023).	22
Figure 10: Structure chimique des tanins (a) hydrolysables (b) condensés (MARIEBAYART., 2019).	25
Figure 11: Représentation des voies de biosynthèse des polyphénols (CHAOUCHE., 2020).	28
Figure 12: Forme séchée et broyée de feuilles de Malva sylvestris L. (photo personnelle) ...	33
Figure 13: Courbe étalon de l'acide gallique.	36

Tableau 1: classification botanique de Malva sylvestris L. (GHEDIRA et GOETZ., 2016)....	6
Tableau 2: Usages thérapeutiques de Malva sylvestris L.et ses différents modes de préparation (GASPARETTO et al., 2021).	11
Tableau 3: Structures et principaux représentants des sous-groupes de l'acide phénolique (FARHOOSH et al., 2016 ; KUMAR et GOEL., 2019).	24
Tableau 4: Diamètres des zones d'inhibition L'extrait aqueux de Malva sylvestris L.	37
Tableau 5: Les résultats de la concentration minimale inhibitrice (CMI).....	40

Résumé

Dans le cadre de la recherche de composés bioactifs d'origine naturelle, cette étude évalue l'activité antibactérienne de l'extrait aqueux des feuilles de *Malva sylvestris* L.

La quantification des polyphénols totaux (PPT) par spectrophotométrie a révélé une teneur élevée (153.02 ± 2.88 mg EAG/g MS), indiquant une richesse en métabolites bioactifs.

L'activité antibactérienne a été testée par la méthode de diffusion en milieu solide, avec détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) sur plusieurs souches bactériennes. L'extrait aqueux a montré un effet inhibiteur sur *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 (CMI = 1.4 ± 0.3 mg/ml), *Bacillus cereus* ATCC 10876 (CMI = 1.7 ± 0.6 mg/ml) et *Staphylococcus aureus* ATCC 43300 (CMI = 2.9 ± 0.3 mg/ml).

Ces résultats confirment le potentiel de *Malva sylvestris* L. comme source prometteuse de composés antibactériens, en soutien à son usage traditionnel et son intérêt pour le développement de nouvelles alternatives thérapeutiques naturelles.

Mots-clés : *Malva sylvestris* L., extrait aqueux, activité antibactérienne, polyphénols totaux, diffusion en milieu solide, CMI, composés bioactifs.

Abstract

In the search for natural bioactive compounds, this study assesses the antibacterial activity of the aqueous extract of *Malvasylvestris* L. leaves.

Spectrophotometric quantification of total polyphenols (TPP) revealed a high content (153.02 ± 2.88 mg GAE/g DW), indicating the richness of *M. sylvestris* in bioactive metabolites.

The antibacterial activity was evaluated using the solid diffusion method, with determination of the minimum inhibitory concentrations (MIC) against several bacterial strains. The aqueous extract exhibited an inhibitory effect on *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 (MIC = 1.4 ± 0.3 mg/ml), *Bacillus cereus* ATCC 10876 (MIC = 1.7 ± 0.6 mg/ml), and *Staphylococcus aureus* ATCC 43300 (MIC = 2.9 ± 0.3 mg/ml).

These findings confirm the potential of *Malvasylvestris* L. as a promising source of antibacterial, supporting its traditional use and its relevance for the development of new natural therapeutic alternatives.

Keywords: *Malva sylvestris* L., aqueous extract, antibacterial activity, total polyphenols, solid diffusion method, MIC, bioactive substances.

Introduction

Introduction

Face à la résistance aux antibiotiques et aux effets secondaires des médicaments synthétiques, les chercheurs explorent désormais les plantes comme sources de principes actifs prometteurs (NEWMAN., 2020).

Les métabolites secondaires végétaux, particulièrement les polyphénols, suscitent un intérêt considérable en raison de leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes largement documentées (PANDEY et RIZVI., 2021). Ces composés, impliqués dans les mécanismes adaptatifs des plantes face aux contraintes environnementales, démontrent une remarquable bioactivité chez l'homme. Des études récentes ont élucidé leurs multiples mécanismes d'action, notamment la neutralisation des espèces réactives de l'oxygène, la modulation des cascades de signalisation cellulaire et l'inhibition de la prolifération microbienne par altération de l'intégrité membranaire, chélation d'ions métalliques essentiels ou inhibition enzymatique sélective (CUSHNIE et LAMB., 2022).

Dans cette perspective, *Malva sylvestris* L. (Malvaceae) se distingue par son profil phytochimique caractérisé par une richesse exceptionnelle en composés phénoliques, flavonoïdes, tanins et mucilages. Cette espèce herbacée, largement distribuée dans le bassin méditerranéen et particulièrement abondante en Algérie, occupe une place privilégiée dans la pharmacopée traditionnelle en raison de ses vertus émoullientes, antiulcéreuses, cicatrisantes, expectorantes et anti-inflammatoires (BOUAZIZ *et al.*, 2022).

Paradoxalement, malgré son usage ethnobotanique bien établi, les investigations scientifiques systématiques sur ses extraits aqueux restent insuffisantes, notamment concernant leur potentiel antimicrobien contre les souches multirésistantes, constituant ainsi une lacune significative dans la littérature scientifique actuelle (BOUAZIZ *et al.*, 2022).

La présente étude vise à explorer le potentiel antibactérien de l'extrait aqueux des feuilles de *Malva sylvestris* L. dans une optique de valorisation des ressources phytothérapeutiques locales. Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- Déterminer quantitativement la teneur en polyphénols totaux de l'extrait aqueux foliaire, en tant qu'indicateur du potentiel bioactif ;

- Évaluer l'activité antibactérienne de cet extrait vis-à-vis de souches pathogènes sélectionnées, à l'aide de tests de diffusion sur gélose et de la détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI).

Pour atteindre ces objectifs, le mémoire s'articule autour de trois grandes parties. La première est consacrée à une synthèse bibliographique mettant en lumière les connaissances générales sur les plantes médicinales, les métabolites secondaires (notamment les polyphénols) ainsi que les propriétés thérapeutiques reconnues de *Malva sylvestris* L. La deuxième partie décrit de manière détaillée les matériaux et méthodes utilisés lors de l'étude expérimentale, depuis la collecte et la préparation des extraits jusqu'aux analyses phytochimiques et microbiologiques. Enfin, la troisième partie présente les résultats obtenus, suivis d'une discussion approfondie mettant en perspective les données avec celles de la littérature, avant de conclure sur les apports de cette recherche et les perspectives futures.

**Synthèse
bibliographique**

1- Synthèse bibliographique

1-1. Les plantes médicinales

Les plantes médicinales constituent un patrimoine phytothérapeutique irremplaçable dans le continuum des soins de santé humaine et demeurent un réservoir inépuisable de métabolites bioactifs exploités tant en médecine traditionnelle que contemporaine. Selon les données épidémiologiques de l'Organisation Mondiale de la Santé, approximativement 80 % de la population mondiale reste tributaire de ces ressources phytogénétiques pour leurs besoins sanitaires fondamentaux (CHAACHOUAY *et al.*, 2020). Ces végétaux synthétisent une pléthore de métabolites secondaires – comprenant notamment des flavonoïdes, polyphénols et tanins – qui leur confèrent un spectre d'activités biologiques incluant des propriétés antimicrobiennes, antioxydantes et anti-inflammatoires significatives (FATHI *et al.*, 2021).

La phytodiversité constitue ainsi un arsenal thérapeutique inestimable pour l'identification de nouvelles entités pharmacologiques, comme l'illustrent des paradigmes historiques tels que les alcaloïdes quinoïdiques isolés de *Cinchona* spp ou l'acide acétylsalicylique dérivé de *Salix alba* (TUHINADRI SEN *et al.*, 2022). Néanmoins, l'exploitation intensive des espèces médicinales soulève des préoccupations majeures relatives à leur surexploitation, à la dégradation des habitats naturels et aux perturbations climatiques anthropogènes, compromettant ainsi leur conservation *in situ* et leur accessibilité thérapeutique future (ZHAOGAO *et al.*, 2023).

Dans le contexte algérien, l'exceptionnelle richesse de la flore médicinale endémique et naturalisée, comptabilisant plus de 3 000 taxons inventoriés dont 600 possèdent des applications thérapeutiques documentées, témoigne de la prépondérance de ces espèces dans les pratiques ethnobotaniques régionales, particulièrement au sein des communautés autochtones du massif du Hoggar et des territoires kabyles qui perpétuent un corpus de connaissances ethnopharmacologiques ancestrales. Cependant, l'élucidation des mécanismes biochimiques et des voies de régulation génétique gouvernant la biosynthèse des métabolites secondaires demeure un défi scientifique considérable (BELHOUALA et BENARBA., 2021).

I-2. *Malva sylvestris* L

Depuis l'Antiquité, *Malva sylvestris* L. est documentée pour ses propriétés thérapeutiques remarquables. Les civilisations méditerranéennes anciennes, notamment les Grecs, les Romains et les Égyptiens, l'intégraient dans leur pharmacopée traditionnelle ainsi que dans leur

alimentation quotidienne. Les organes aériens de cette espèce, principalement les feuilles et les fleurs, étaient consommés comme denrées alimentaires, valorisés pour leurs effets émoullissants et laxatifs, tandis que leurs propriétés médicinales étaient exploitées pour leurs actions anti-inflammatoires et leur efficacité dans la prise en charge des dysfonctionnements gastro-intestinaux (JIANG *et al.*, 2022).

Durant la période médiévale, *Malva sylvestris* L. figurait parmi les espèces prioritaires cultivées dans les jardins monastiques européens (HAMMAMI *et al.*, 2021). Sa persistance dans les pharmacopées traditionnelles pour le traitement des états inflammatoires, des désordres digestifs et des dermatoses témoigne de sa pertinence clinique empirique à travers les siècles.

Contemporainement, cette espèce fait l'objet d'investigations scientifiques croissantes, notamment en raison de ses activités antibactériennes et antioxydantes significatives, attribuées à sa composition phytochimique caractérisée par la présence de mucilages, flavonoïdes, anthocyanines et tanins (BENBACER *et al.*, 2023). Bénéficiant d'un héritage ethnopharmacologique conséquent, *Malva sylvestris* demeure au centre des recherches pharmacologiques modernes, où ses propriétés biologiques sont systématiquement évaluées dans le contexte des thérapies phytochimiques.

D'un point de vue taxonomique et écologique, cette espèce appartenant à la famille des Malvaceae est originaire du bassin méditerranéen, englobant l'Afrique du Nord, l'Asie occidentale et l'Europe méridionale, bien qu'elle soit désormais cosmopolite, souvent à l'état spontané. Elle présente une préférence écologique pour les habitats mésophiles à hygrophiles, prospérant dans les zones littorales, paludéennes, ripicoles et prairiales. Sa nomenclature vernaculaire varie selon les régions géographiques et culturelles : désignée comme "common mallow" dans la littérature anglophone, "Malva" au Portugal, "Marva" en Italie, et "tole" ou "khabazi" dans la tradition iranienne.



Figure 1 : *Malva sylvestris* L. Grande mauve (ALVES GASPAR., 2008).

1-3. Classification phylogénétique

Le genre *Malva* regroupe plusieurs espèces de mauves, parmi lesquelles *Malva sylvestris* L. se distingue par ses nombreuses propriétés médicinales, sa richesse phytochimique et sa large distribution géographique, notamment dans les régions tempérées et méditerranéennes (Ghedira et Goetz, 2016). Cette espèce est particulièrement présente en Europe, en Afrique du Nord et en Asie occidentale, où elle occupe divers biotopes, des zones cultivées aux friches urbaines, ce qui témoigne de sa grande capacité d'adaptation. La classification hiérarchisée de *Malva sylvestris* L., du règne jusqu'à l'espèce, permet de situer précisément son positionnement dans la diversité végétale et d'établir des liens phylogénétiques solides avec d'autres espèces apparentées de la famille des Malvaceae. Ces liens sont essentiels pour comprendre l'évolution de ses caractéristiques morphologiques, écologiques et biochimiques. Par ailleurs, une bonne connaissance de sa position taxonomique constitue un préalable fondamental à toute étude botanique ou pharmacologique, facilitant l'identification fiable de la plante, la comparaison interspécifique, ainsi que la traçabilité et la standardisation des extraits à usage thérapeutique. Cette précision est également cruciale pour éviter les confusions avec d'autres espèces morphologiquement proches mais phytothérapeutiquement différentes, garantissant ainsi la sécurité et l'efficacité des applications en médecine traditionnelle et moderne.

La position taxonomique de *Malva sylvestris* L. est représentée dans le **tableau I**.

Tableau 1: classification botanique de *Malva sylvestris* L. (GHEDIRA et GOETZ., 2016).

Règne	Plantae
Sous-règne	Trachéobionta
Division	Magnoliophyta (angiospermes)
Classe	Magnoliopsida (dicotylédones)
Ordre	Malvales
Famille	Malvaceae
Genre	Malva
Espèce	<i>Malvasylvestris</i> L.

I-4. Distribution géographique et écologique

Malva sylvestris L., désignée sous le nom vernaculaire de grande mauve, présente une aire de répartition primaire englobant les zones tempérées de l'Eurasie et de l'Afrique septentrionale. Sa distribution native comprend l'Europe occidentale, la région méditerranéenne, l'Asie centrale incluant le massif himalayen et les steppes sibériennes, ainsi que le Proche et Moyen-Orient (voir fig 02). Grâce à sa plasticité écologique remarquable, ce taxon s'est naturalisé dans de nombreuses régions extra-continentales, notamment en Amérique septentrionale, en Australie et dans certaines zones néotropicales, où son introduction résulte principalement d'activités anthropiques à visées ornementales ou utilitaires (CHAVEZ *et al.*, 2022).

Dans le contexte nord-africain, particulièrement en Algérie, *Malva sylvestris* présente une fréquence élevée et une abondance notable, avec une prédominance dans les plaines sublittorales, les zones côtières et les écosystèmes semi-arides. Elle colonise préférentiellement les zones rudérales, les espaces agraires et les formations végétales perturbées (BENMOUSSA *et al.*, 2023). Cependant, dans les régions où elle a été introduite, notamment aux États-Unis et au Canada, elle manifeste parfois un comportement invasif (voir la figure 2), démontrant une capacité de colonisation rapide des écosystèmes prairiaux et des terres agricoles (USDA., 2023). Cette espèce nitrophile manifeste une préférence édaphique pour les sols enrichis en

composés azotés et les biotopes anthropisés, tels que les bords de voies de communication, les friches, les jachères et les périmètres périagriques (HADDAD *et al.*, 2022).

Elle présente une tolérance pédologique étendue, s'adaptant aux substrats sablonneux, limoneux ou argileux, avec une préférence marquée pour les sols à drainage

Efficace et hygrométrie modérée. Sa distribution altitudinale s'étend des zones de plaine jusqu'à des élévations de 1500 mètres au-dessus du niveau de la mer (Elhaddad *et al.*, 2021).

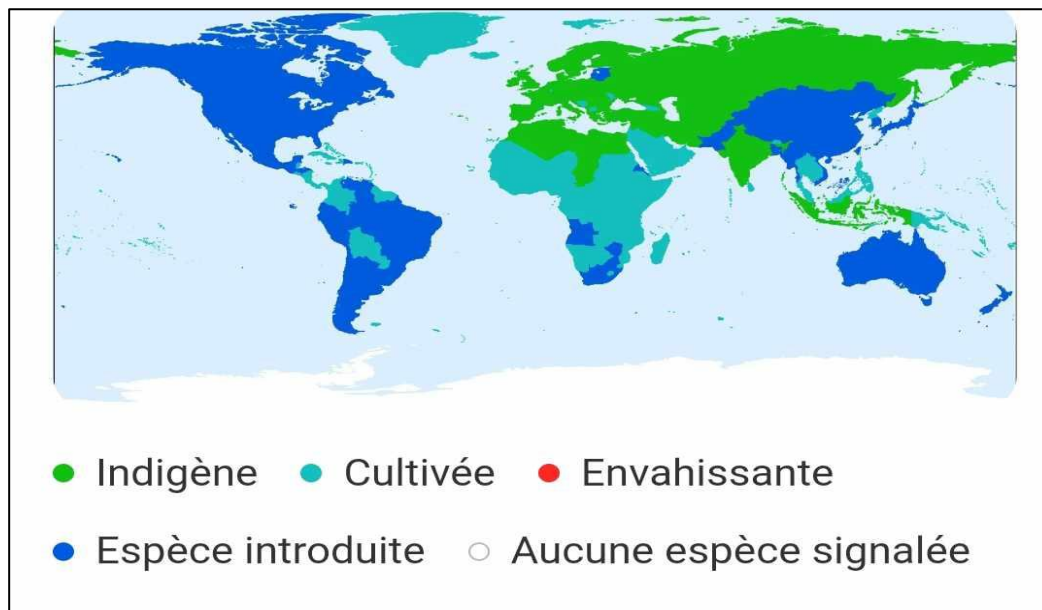


Figure 2: Répartition géographique mondiale de *Malva sylvestris* L. (FLORA-HELVETICA., 2018)

I-5. Description botanique de *Malva sylvestris* L

Malva sylvestris L., communément référencée comme grande mauve, est une angiosperme dicotylédone herbacée, hémicryptophyte, vivace ou bisannuelle appartenant à la famille des Malvaceae (fig 03). Son appareil végétatif peut atteindre une hauteur oscillante entre 30 et 120 cm, caractérisé par des tiges érigées ou ascendantes, présentant une consistance semi-ligneuse, à section cylindrique, ramifiées dès la base et pubescentes avec des trichomes stellaires, conférant une résistance significative aux stress environnementaux (Guerra *et al.*, 2023). Son système racinaire est de type axonomorphe, robuste et profondément ancré, optimisant l'absorption hydrique et nutritive. Il est également riche en mucilages, substances polysaccharidiques essentielles à la rétention d'eau, qui jouent un rôle dans la protection contre la sécheresse et les agressions mécaniques (Almeida *et al.*, 2022).

Les feuilles, insérées de façon alterne, sont stipulées, simples, pétiolées et pubescentes en surface comme au niveau des marges. Elles présentent un polymorphisme selon leur position sur la tige : les feuilles basales sont larges, palmatilobées, tandis que les feuilles supérieures sont plus petites, profondément découpées et crénelées. Cette variation morphologique favorise une meilleure interception de la lumière et contribue à la régulation de la transpiration (Lopez et al., 2021).

À l'échelle anatomique, les feuilles et tiges sont dotées de poils sécréteurs, majoritairement stellaires, qui participent à la production de mucilages et protègent la plante contre les agressions extérieures. Les tissus internes révèlent une organisation dicotylédonée classique, avec des faisceaux cribro-vasculaires bien développés et une cuticule épaisse.

La phénophase reproductive, s'étendant du printemps à l'automne, est marquée par l'apparition d'inflorescences axillaires cymiques regroupant généralement de deux à six fleurs. Les fleurs sont hermaphrodites, pentamères, à corolle dialypétale de teinte violacée, ornée de stries pourpres caractéristiques. Chaque fleur est accompagnée d'un calice campanulé, pubescent, à cinq sépales soudés à la base, et d'un épicalice tripartite formé de bractéoles ovoïdes. L'androcée est monadelphie, les étamines étant soudées en une colonne staminale entourant le style. Ce dispositif favorise une pollinisation entomophile, principalement assurée par les abeilles (Rao et al., 2022). Ces structures florales sont adaptées à l'attraction des pollinisateurs par la couleur, la forme et la richesse en nectar, assurant ainsi la reproduction sexuée efficace de l'espèce.

Le fruit est un schizocarpe discoïdal d'environ 10 mm de diamètre, composé de méricarpes disposés en couronne. À maturité, il évolue du vert au brun-rougeâtre et libère des graines réniformes à tégument dur. La forme du fruit évoque une meule de fromage, ce qui explique certaines appellations vernaculaires populaires (Soltan et al., 2023).

Les graines sont adaptées à une conservation prolongée dans le sol, conférant à la plante une capacité de germination différée et une bonne résilience écologique.

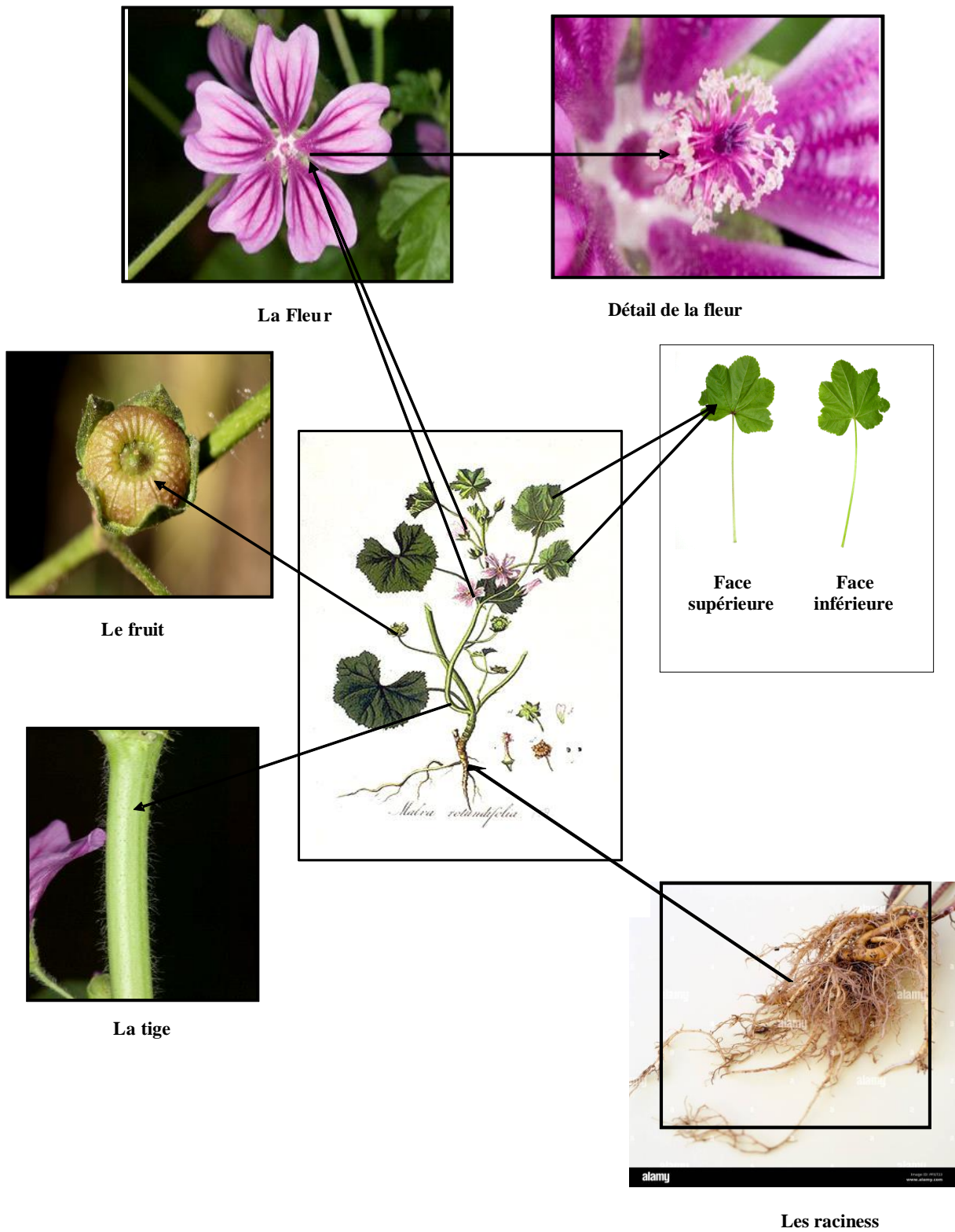


Figure 3: les parties composantes de la *Malva sylvestris*. L (DADACHE., 2021)

I.2.3. Noms vernaculaires

La nomenclature vernaculaire de *Malvasylvestris* L. présente une hétérogénéité linguistique et culturelle significative, reflétant son importance ethnobotanique à travers diverses régions géographiques. Cette diversité terminologique facilite non seulement son identification taxonomique, mais constitue également un indicateur de son intégration dans les pharmacopées traditionnelles.

1-6-Usage et propriétés thérapeutiques

Malva sylvestris L. est utilisée en médecine populaire pour traiter une grande variété de troubles, tant internes qu'externes. Ses propriétés thérapeutiques sont étroitement liées à la richesse de sa composition bioactive,

1-6-1. Usage interne

Diverses parties de *M. sylvestris* présentent un potentiel thérapeutique exploitable en phytothérapie, bien que les feuilles et les fleurs constituent les organes végétaux privilégiés dans la majorité des préparations médicinales traditionnelles et modernes. En usage interne, les infusions préparées à partir des fleurs et des feuilles sont principalement indiquées dans le traitement des affections respiratoires, notamment grâce à leur teneur en mucilages qui exercent une action émolliente sur les muqueuses bronchiques (ZHANG *et al.*, 2022). Les décoctions de ces mêmes parties végétales sont traditionnellement recommandées pour la gestion de la constipation passagère, exploitant l'effet laxatif doux conféré par les mucilages et les composés phénoliques présents dans la plante (LI *et al.*, 2021).

1-6-2. Usage ménager

En usage externe, les préparations galéniques, principalement sous forme de décoctions de feuilles et de fleurs, sont appliquées localement (voir le tableau 04) pour traiter diverses affections dermatologiques, bénéficiant des propriétés anti-inflammatoires, cicatrisantes et adoucissantes de la plante. Ces mêmes préparations sont également utilisées en gargarismes pour soulager les inflammations de la cavité buccale et du pharynx, notamment en cas de gingivites, stomatites ou maux de gorge, tirant parti de leurs effets antiseptiques et protecteurs des muqueuses (Lopez *et al.*, 2022).

Les cataplasmes de feuilles fraîches écrasées sont traditionnellement appliqués sur les abcès, piqûres d’insectes, brûlures légères et dermatoses, afin d’apaiser les douleurs et favoriser la régénération cutanée. De plus, l’usage en bain oculaire est documenté dans certaines pratiques populaires pour calmer les conjonctivites bénignes grâce à l’action anti-irritante des mucilages.

Tableau 2: Usages thérapeutiques de *Malva sylvestris* L. et ses différents modes de préparation (GASPARETTO et al., 2021).

Usages thérapeutiques	Parties utilisées	Modes de préparation
Les troubles digestives	Feuilles, fleurs, racines	<ul style="list-style-type: none"> • Décoction/ infusion
Affection dermatologique	Feuilles, fleurs, racines	<ul style="list-style-type: none"> • Infusion /Décoction • Cataplasme • Compresses émollientes
Les troubles urinaires	La plante entière	<ul style="list-style-type: none"> • Infusion
Les inflammations de la voie respiratoire	La partie aérienne	<ul style="list-style-type: none"> • Infusion / décoction
Les maladies bucco-dentaires	Feuilles, fleurs	<ul style="list-style-type: none"> • Mastication • Bain de bouche

1-6-3. Précaution d’emploi

L’utilisation de *Malva sylvestris* L. (mauve sauvage) est généralement considérée comme sûre, mais certaines précautions sont recommandées. Son usage est déconseillé chez les femmes enceintes, allaitantes et les jeunes enfants en l’absence de données cliniques suffisantes (BERES *et al*, 2020). Des réactions allergiques peuvent survenir chez les personnes sensibles aux plantes de la famille des Malvacées (SULTANA *et al*, 2022).

1-7. Toxicité de *Malva sylvestris* L.

Malgré ses nombreuses applications thérapeutiques, *Malva sylvestris* L. est généralement considérée comme une plante sûre lorsqu’elle est utilisée dans des conditions et des doses appropriées. Les études toxicologiques disponibles indiquent une faible toxicité aiguë, tant chez l’animal que chez l’homme, notamment en raison de la nature mucilagineuse de ses constituants, majoritairement non toxiques (BENSAID et al., 2021).

Toutefois, une consommation excessive ou prolongée pourrait, dans certains cas, entraîner des effets indésirables mineurs tels que des troubles digestifs bénins (ballonnements, diarrhée légère), principalement attribués à son effet laxatif doux. Par ailleurs, l'usage concomitant avec d'autres plantes laxatives ou médicaments pourrait potentialiser ces effets. Bien que rares, des cas d'hypersensibilité cutanée ou allergique ont été rapportés suite à l'application locale, notamment chez les individus sensibles aux plantes de la famille des Malvaceae. Il est donc recommandé de respecter les posologies traditionnelles et d'éviter l'automédication prolongée sans avis médical.

I-8. Composition chimique

Malva sylvestris L. est une plante médicinale d'importance majeure en pharmacologie en raison de sa composition riche en divers composés bioactifs. Les analyses phytochimiques ont mis en évidence la présence de plusieurs groupes de constituants essentiels, notamment des mucilages, dont les teneurs varient entre 3,8 et 7,3 % dans les fleurs et entre 6,0 et 7,2 % dans les feuilles. Ces mucilages sont principalement constitués de galactose (35–42 %), de rhamnose (18–25 %) et d'acides uroniques, incluant l'acide glucuronique (15–20 %) et l'acide galacturonique (20–28 %). Ces composés confèrent à la plante des propriétés émoullientes et laxatives, justifiant son utilisation traditionnelle pour soulager les irritations et les troubles digestifs (RIAZ *et al.*, 2018 ; AL-SNAFI., 2020).

Les flavonoïdes présents dans *Malva sylvestris* comprennent l'apigénine-7-O- glucoside (1,2-2,8 mg/g), de la quercétine-3-O-rutinoside (2,1-3,4 mg/g). Dans les feuilles, on trouve également la gossypine et l'hypolaetine, les flavonoïdes connus pour leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires (SADEGHI *et al.*, 2019).

Les anthocyanosides et anthocyanidols comme la malvidine-3-glucoside (20-30%), la malvine et la delphinidine-3,5-diglucoside (45-60% des anthocyanes totaux), sont responsables de la coloration des fleurs et participent à l'activité antioxydante de la plante (MARTINEZ *et al.*, 2021).

D'autres composés phénoliques tels que l'acide férulique (0,8-1,6 mg/g), les tanins condensés (2,5-4,1 %) et l'acide 4-hydroxybenzoïque, qui lui confèrent des effets antimicrobiens et anti-inflammatoires (KOUADIO *et al.*, 2020).

Sur le plan nutritionnel, cette plante est également riche en sels minéraux (potassium, fer, magnésium, calcium) et en vitamines (A, B1 et C), ce qui renforce son intérêt pour une utilisation thérapeutique et alimentaire (ABDEL-HAMED *et al.*, 2019).

Grace à composition diversifiée, *Malva sylvestris* est largement utilisée en phytothérapie pour ses effets anti-bactériens, antimicrobiens et protecteurs contre le stress oxydatif.

I-8. Métabolites secondaires

Les métabolites secondaires sont des composés organiques produits par les plantes qui, bien qu'ils ne soient pas directement impliqués dans leur croissance ou leur reproduction, jouent un rôle essentiel dans leur survie et leur adaptation à l'environnement (GHOSH *et al.*, 2022). Ils dérivent des voies métaboliques primaires et se divisent en trois grandes classes : les alcaloïdes, les terpènes et les composés phénoliques, chacun ayant des fonctions spécifiques comme la défense contre les herbivores, la protection contre les stress abiotiques et l'attraction des pollinisateurs (ZHAO *et al.*, 2023).

La *Malva sylvestris*, une plante connue pour sa richesse en métabolites secondaires, notamment des flavonoïdes, des mucilages et des tanins. Ces composés lui confèrent des propriétés anti-inflammatoires, antimicrobiennes et antioxydantes largement exploitées en médecine traditionnelle et en pharmacologie moderne (SALEHI *et al.*, 2019).

Les flavonoïdes présents dans *M. sylvestris*, comme la quercétine et le kaempférol, ne se contentent pas d'assurer une protection contre le stress oxydatif et les pathogènes ; ils peuvent aussi jouer un rôle dans la régulation du métabolisme primaire en influençant la biosynthèse d'enzymes essentielles et la signalisation cellulaire (MIR *et al.*, 2021).

I-8.1 Classification

Les métabolites secondaires sont des molécules organiques de faible poids moléculaire non directement impliquées dans les fonctions vitales de croissance ou de reproduction, mais jouant un rôle essentiel dans les interactions écophysiologiques des plantes avec leur environnement. Leur classification repose principalement sur leur origine biosynthétique, permettant de distinguer trois grandes familles, comme illustré dans la figure 04 : les terpénoïdes, les composés phénoliques et les alcaloïdes (Dupont *et al.*, 2023).

Les terpénoïdes, issus de la voie isoprénoïde, regroupent notamment les caroténoïdes, les stérols et les huiles essentielles ; ces composés participent activement à la défense des plantes contre les stress abiotiques (rayonnement UV, sécheresse) et biotiques (pathogènes, insectes) (Martin *et al.*, 2024).

Les composés phénoliques, comprenant entre autres les flavonoïdes, les tanins et les lignines, sont largement étudiés pour leurs activités antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes, tant chez la plante que chez l'être humain (Lemoine et al., 2023).

Enfin, les alcaloïdes, riches en azote et souvent biologiquement actifs, interviennent dans les mécanismes de défense contre les herbivores et les agents infectieux, tout en présentant un intérêt pharmacologique marqué (Fernandez et al., 2024).

Chacune de ces classes englobe une grande diversité de structures chimiques aux fonctions variées, soulignant leur importance dans la résilience des plantes (Nguyen et al., 2024).

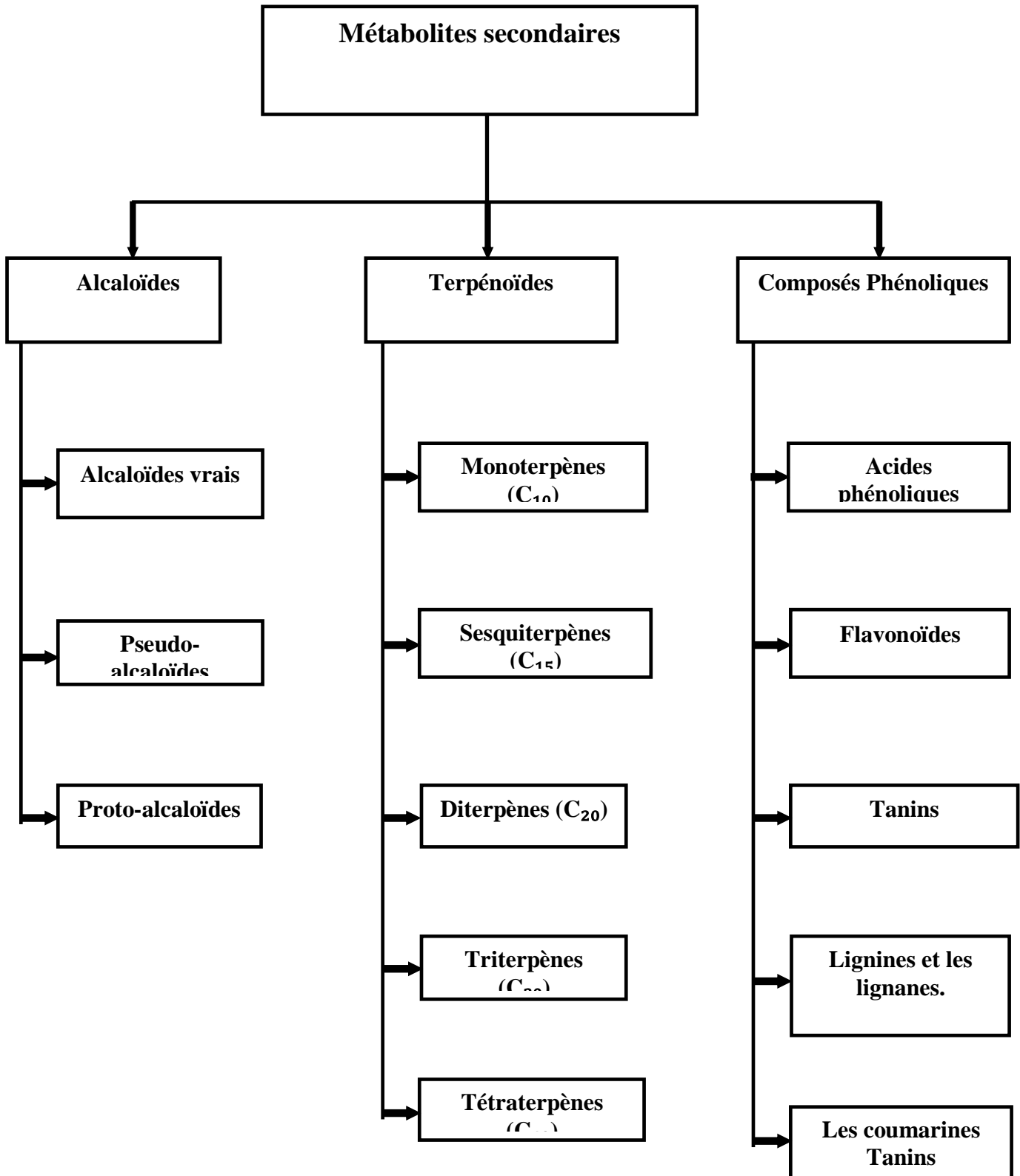


Figure 4: Classification des Métabolites Secondaires (SI AHMED et KHELOUL., 2024)

I-8-1-1. Alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des substances organiques azotées, majoritairement d'origine végétale, dotées d'une structure hétérocyclique complexe et d'un caractère basique (EL-SEEDI *et al.*, 2019 ; NEHME *et al.*, 2021). On recense plus de 12 000 structures différentes d'alcaloïdes, qui représentent une classe majeure des principes actifs des plantes médicinales (ANIS *et al.*, 2020 ; KUMAR *et al.*, 2022).

Ces composés sont particulièrement intéressants en raison de leur activité biologique puissante même à faibles concentrations (MISHRA et TIWARI., 2020). Ils sont employés en pharmacologie comme antidépresseurs, stimulants, anesthésiques, antitumoraux et antipaludiques (AHMED *et al.*, 2023). Ils sont classés en trois catégories principales

- **Les alcaloïdes vrais** : Synthétisés exclusivement par les végétaux, ils proviennent d'acides aminés et contiennent un cycle hétérocyclique (PEREIRA-CARO *et al.*, 2021).
- **Les proto-alcaloïdes** : dérivés d'acides aminés simples, leur atome d'azote n'est pas inclus dans un cycle (ZHANG *et al.*, 2023).
- **Les pseudo-alcaloïdes** : similaires aux alcaloïdes vrais, ils ne sont toutefois pas issus des acides aminés, mais d'autres voies biosynthétiques comme celle des isoprénoïdes (LIU *et al.*, 2022).

Parmi les alcaloïdes physiologiquement actifs, on retrouve la morphine, la quinine, la strychnine, la cocaïne et la caféine, qui possèdent diverses applications thérapeutiques et pharmacologiques (SANTOS *et al.*, 2020).

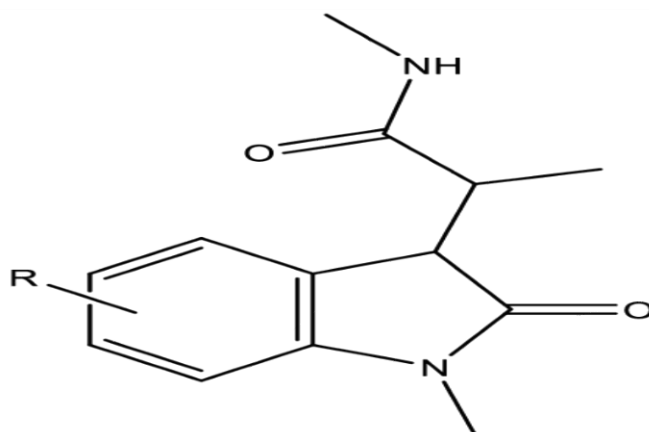


Figure 5: Structure de base des alcaloïdes (Vásquez-Ocmín., 2018)

I-8-2-2. Terpènes

Les terpènes, également appelés terpénoïdes, constituent l'une des familles de métabolites secondaires les plus abondantes et diversifiées, avec plus de 40 000 composés identifiés à ce jour (GERSHENZON et DUDAREVA., 2022). Présents principalement chez les plantes, ils se retrouvent aussi chez certains champignons et micro-organismes. Leur structure repose sur des unités d'isoprène (C₅H₈), assemblées en chaînes linéaires ou en cycles complexes (PICHERSKY et RAGUSO., 2018).

Les terpènes sont classés en fonction du nombre d'unités d'isoprène qui les composent :

- **Monoterpènes (C₁₀)** : principaux constituants des huiles essentielles, ils sont responsables des arômes caractéristiques des plantes, comme le limonène dans les agrumes ou le géraniol dans la citronnelle.
- **Sesquiterpènes (C₁₅)** : impliqués dans la défense des plantes, ils incluent le farnésol, présent dans l'essence de camomille, et l'acide abscissique, une phytohormone régulant la dormance et la réponse au stress hydrique (SINGH et SHARMA., 2021).
- **Diterpènes (C₂₀)** : ils comprennent des composés bioactifs majeurs comme les gibbérellines (hormones de croissance), le phytol (composant de la chlorophylle), la vitamine A et le taxol, un agent anticancéreux (YAZAKI *et al.*, 2020).
- **Triterpènes (C₃₀)** : précurseurs des stéroïdes végétaux, ils incluent la β-amyrine et les brassinostéroïdes, impliqués dans la croissance des plantes.
- **Tétraterpènes (C₄₀)** : représentés par les caroténoïdes, pigments essentiels à la photosynthèse et à la protection contre le stress oxydatif.
- **Polyterpènes** : composés de longues chaînes de plusieurs centaines d'unités isopréniques, comme le caoutchouc naturel, extrait de l'*Hevea brasiliensis* (LUO *et al.*, 2023).

Les terpènes jouent un rôle écologique fondamental en agissant comme attractifs pour les pollinisateurs, répulsifs pour les herbivores, ou encore en tant que composés allélopathiques influençant la croissance des plantes voisines (DEGENHARDT *et al.*, 2021).

Ils sont également exploités dans l'industrie pharmaceutique, cosmétique et agroalimentaire en raison de leurs propriétés antibactériennes, antifongiques et antioxydantes (LUO *et al.*, 2023).

I-8-2-3. Composés phénoliques

Les composés phénoliques, ou polyphénols, sont des métabolites secondaires des plantes, caractérisés par la présence d'un noyau aromatique et de groupes hydroxyles (-OH), d'éthers, d'esters ou d'hétérosides. Ils sont largement répandus dans le règne végétal, avec plus de 9000 structures identifiées, allant des acides phénoliques simples aux tannins complexes. Ces composés sont classés en fonction du nombre d'atomes de carbone dans leur structure et incluent des catégories telles que les acides phénoliques, les flavonoïdes, les tanins et les lignines.

Présents dans toutes les parties des plantes, ils font partie intégrante de l'alimentation humaine et animale (SINGLA *et al.*, 2019).

Bien qu'ils ne jouent pas un rôle direct dans la croissance ou la reproduction des plantes, les polyphénols contribuent à leur interaction avec l'environnement, notamment en les protégeant des rayons ultraviolets. En raison de leurs puissantes propriétés antioxydantes, ils sont utilisés commercialement dans les domaines des agents aromatisants, des médicaments naturels et des additifs alimentaires et suscitent un intérêt croissant pour leurs effets dans la prévention de maladies liées au stress oxydatif, comme le cancer (AYAD *et al.*, 2019).

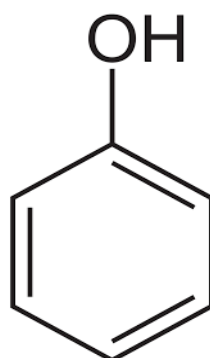


Figure 6: Structure chimique de base du groupement phénolique (DIBALA., 2021).

La diversité des polyphénols varie selon l'espèce, l'organe de la plante et son stade physiologique. Plus de 10000 composés phénoliques ont été identifiés, soulignant leur rôle essentiel dans la survie et l'adaptation des plantes à leur environnement (SINGLA *et al.*, 2022).

- **Classification des polyphénols**

Les composés polyphénoliques constituent une vaste famille de métabolites secondaires dérivés du métabolisme des phénylpropanoïdes. Bien qu'ils partagent une structure chimique de base caractérisée par la présence de cycles aromatiques portant un ou plusieurs groupements hydroxyles, leur diversité structurale résulte des nombreuses modifications possibles de cette charpente (Zhou et al., 2024). Ces modifications incluent l'ajout de groupes fonctionnels variés, tels que les méthoxyles ($-OCH_3$), les groupes acyles ($-COOH$), ou encore des unités glycosyles ($-O$ -glucose, $-O$ -galactose), qui influencent à la fois leur solubilité, leur stabilité et leurs propriétés biologiques. Ainsi, les polyphénols se déclinent en plusieurs sous-classes majeures, dont les flavonoïdes, les acides phénoliques, les tanins et les lignanes, chacune présentant une diversité remarquable d'unités monomériques ou polymériques. Cette richesse structurale est à l'origine de leurs nombreuses activités biologiques, notamment antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes et cardioprotectrices. La classification de ces composés repose donc à la fois sur leur noyau aromatique de base et sur les substitutions spécifiques qui le modifient, leur conférant une grande variété de fonctions dans les plantes comme dans les applications thérapeutiques humaines (voir fig 07).

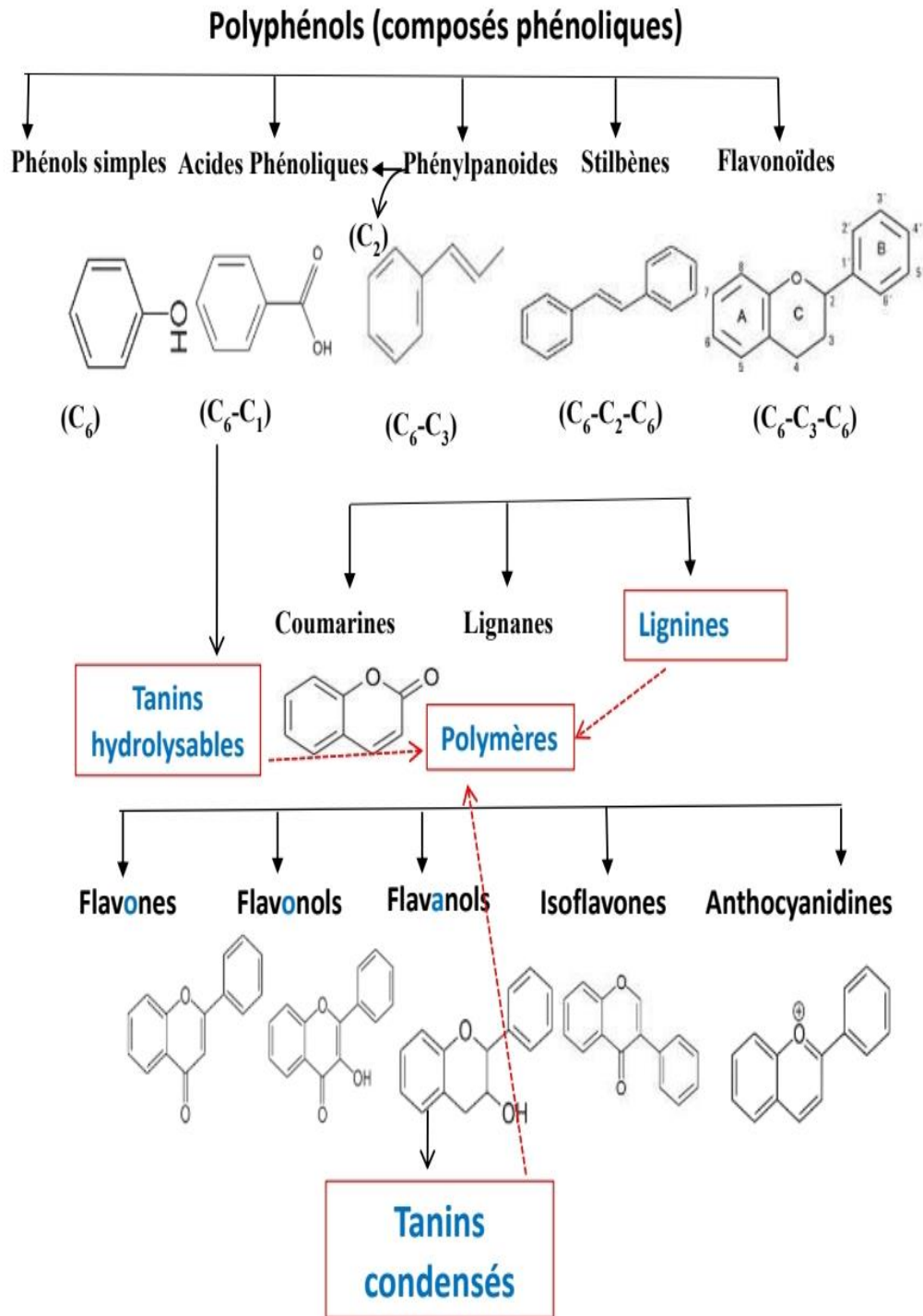


Figure 7 : Classification des polyphénols

➤ Flavonoïdes

Les flavonoïdes constituent un groupe de plus de 6 000 composés naturels quasi universels dans le règne végétal, où ils jouent un rôle essentiel en tant que pigments responsables des colorations jaune, orange et rouge de divers organes végétaux (SARKAR *et al.*, 2021). Ce sont des composés phénoliques caractérisés par une structure de base commune constituée de 15 atomes de carbone organisés en deux cycles benzéniques (A et B) reliés par une chaîne de trois atomes de carbone, pouvant former un troisième cycle hétérocyclique oxygéné (C) (JAKIMIEUK *et al.*, 2022).

Leur classification repose sur cette structure moléculaire, donnant naissance à différentes catégories. Les flavonoïdes sont particulièrement abondants dans la famille des Malvaceae, notamment chez *Malva sylvestris*, où l'on retrouve des flavonoïdes tels que la rutine, la quercétine, le kaempférol et la lutéoline, ainsi que des composés non identifiés (BEN SAAD *et al.*, 2018). Ces molécules, présentes dans de nombreux aliments d'origine végétale, jouent un rôle clé dans la pigmentation des plantes et possèdent diverses propriétés biologiques.

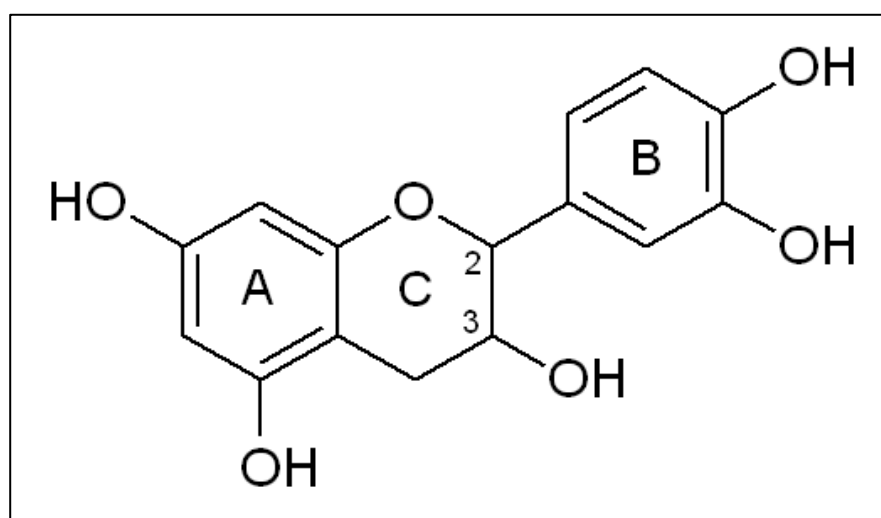


Figure 8: Structure de base des flavonoïdes (HUM. HEATH 2017)

En fonction des variations structurales au niveau de cet hétérocycle (cycle C), ils sont classés en six sous-classes principales qui mettent en évidence leur diversité chimique et fonctionnelle.

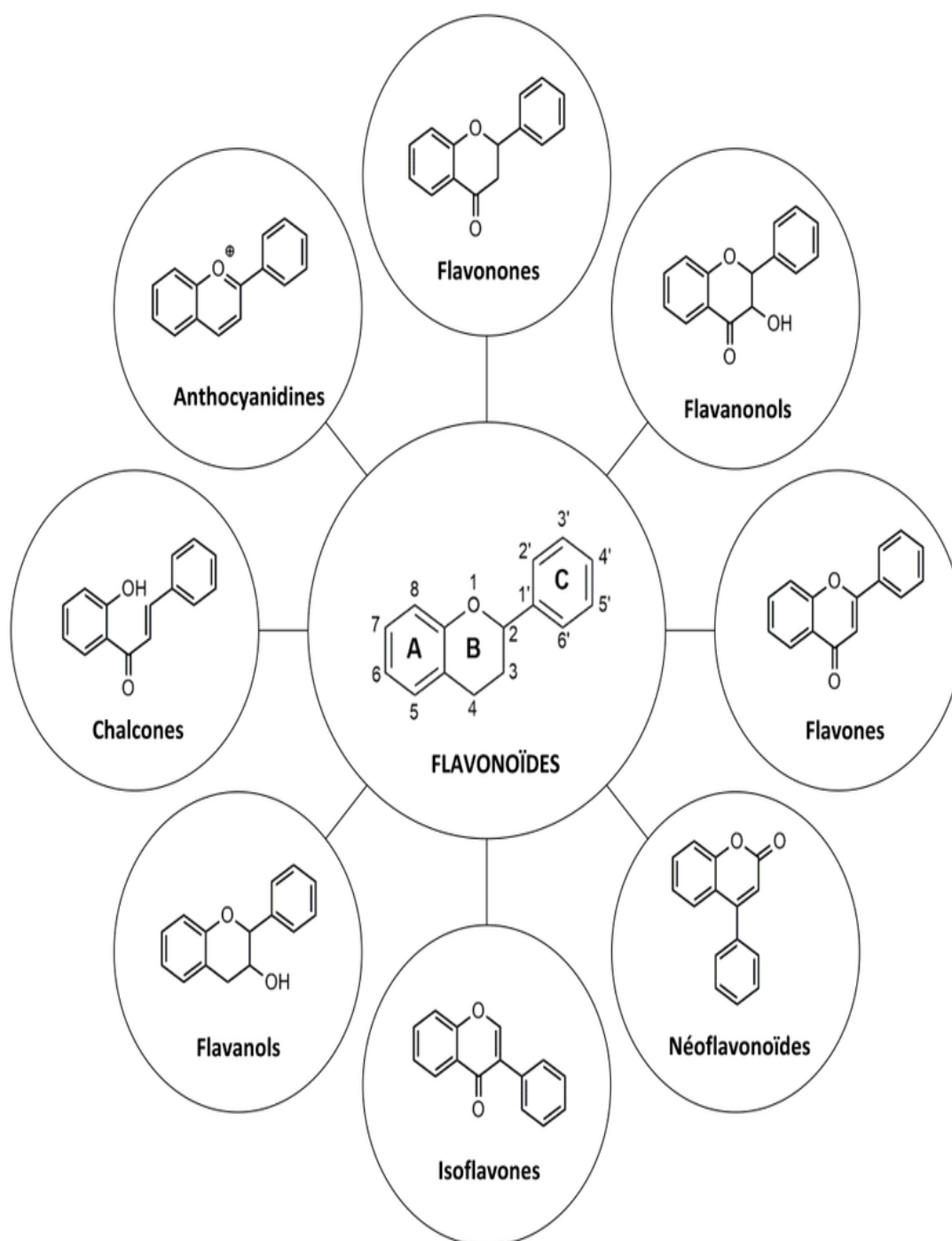


Figure 9: Les différentes sous classes des flavonoïdes (GORNIAK et al., 2023).

➤ Acides phénoliques

Les acides phénoliques sont des composés organiques caractérisés par la présence d'une fonction carboxylique et d'un groupement hydroxyle phénolique (voir tableau 05). Ils jouent un rôle clé dans le métabolisme secondaire des plantes et sont impliqués dans divers processus

biologiques, notamment la défense contre les pathogènes et les interactions plantes-microorganismes (KUMAR et GOEL., 2019).

Ces composés sont largement présents dans les aliments d'origine végétale, tels que les fruits, les baies et les céréales, contribuant ainsi à leurs propriétés antioxydantes et protectrices.

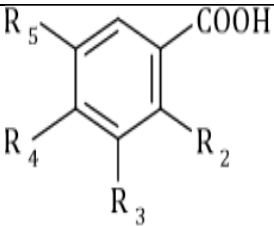
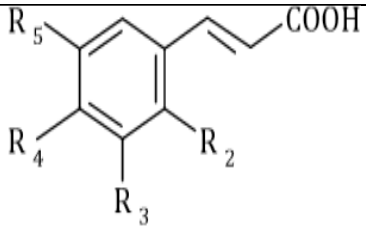
➤ **Acides hydroxybenzoïques**

Les acides hydroxybenzoïques sont des composés phénoliques dérivés de l'acide benzoïque, caractérisés par une structure de base de type C6-C1. On y retrouve notamment l'acide gallique, l'acide vanillique et l'acide syringique. Ces molécules sont présentes sous forme libre ou conjuguée, souvent glycosylées ou estérifiées avec d'autres acides organiques. Elles jouent un rôle important dans les processus physiologiques végétaux, tels que la lignification, la régulation de la croissance, et la réponse aux stress environnementaux, notamment grâce à leurs propriétés antioxydantes et leur capacité à piéger les radicaux libres (Zhang et al., 2021).

➤ **Acides hydroxycinnamiques**

Les acides hydroxycinnamiques sont issus de la transformation de l'acide cinnamique et possèdent une structure de base C6-C3. Les plus courants sont l'acide caféique, l'acide férulique et l'acide sinapique. Ces composés résultent de la biosynthèse des phénylpropanoïdes via l'hydroxylation, la méthylation et la réduction enzymatique. Ils interviennent dans la défense des plantes contre les stress biotiques, en agissant comme antioxydants et précurseurs de lignines. Par ailleurs, le clivage de la chaîne latérale de l'acide cinnamique peut conduire à l'acide benzoïque, à son tour transformé en acide salicylique, impliqué dans les voies de signalisation de défense végétale (Fernández-Pérez et al., 2022).

Tableau 3: Structures et principaux représentants des sous-groupes de l'acide phénolique (FARHOOSH et al., 2016 ; KUMAR et GOEL., 2019).

	Acides hydroxybenzoïques	Acides hydroxycinnamiques																																								
Structure du noyau	Noyau benzénique	Noyau cinnamique																																								
Acides contenus	<ul style="list-style-type: none"> • Acide salicylique • Acide gallique 	<ul style="list-style-type: none"> • Acide férulique • Acide Caféïque • Acide p -coumarique • acide sinapique 																																								
Structure chimique des deux acides	 <p>Acides benzoïques</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>R₂</th> <th>R₃</th> <th>R₄</th> <th>R₅</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Acide p-hydroxybenzoïques</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>OH</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>Acide protocatéchique</td> <td>H</td> <td>OH</td> <td>OH</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>Acide vanillique</td> <td>H</td> <td>OCH₃</td> <td>OH</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>Acide galique</td> <td>H</td> <td>OH</td> <td>OH</td> <td>OH</td> </tr> <tr> <td>Acide syringique</td> <td>H</td> <td>OCH₃</td> <td>OH</td> <td>OCH₃</td> </tr> <tr> <td>Acide salicylique</td> <td>OH</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>Acide gentistique</td> <td>OH</td> <td>H</td> <td>H</td> <td>OH</td> </tr> </tbody> </table>		R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	Acide p-hydroxybenzoïques	H	H	OH	H	Acide protocatéchique	H	OH	OH	H	Acide vanillique	H	OCH ₃	OH	H	Acide galique	H	OH	OH	OH	Acide syringique	H	OCH ₃	OH	OCH ₃	Acide salicylique	OH	H	H	H	Acide gentistique	OH	H	H	OH	 <p>Acides cinnamiques</p> <p>Acide p-coumarique Acide caféique Acide férulique Acide sinapique</p>
	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅																																						
Acide p-hydroxybenzoïques	H	H	OH	H																																						
Acide protocatéchique	H	OH	OH	H																																						
Acide vanillique	H	OCH ₃	OH	H																																						
Acide galique	H	OH	OH	OH																																						
Acide syringique	H	OCH ₃	OH	OCH ₃																																						
Acide salicylique	OH	H	H	H																																						
Acide gentistique	OH	H	H	OH																																						

➤ **Tanins**

Les tanins sont des composés polyphénoliques naturels largement répandus dans le règne végétal, présents dans diverses parties des plantes, notamment les fruits, les fleurs, les feuilles, l'écorce et les graines. Ils jouent un rôle clé dans la protection des plantes contre les herbivores et les infections microbiennes grâce à leurs propriétés astringentes et à leur capacité à interagir avec les protéines et d'autres macromolécules, notamment leurs propriétés antibactériennes, antioxydantes et anti-inflammatoires. (Ghahri *et al.*, 2022).

- **Tanins hydrolysables** : ils sont constitués d'un sucre (souvent du glucose) estérifié par de l'acide gallique ou ses dérivés. Ces composés sont sensibles à l'hydrolyse enzymatique ou chimique, ce qui leur permet de libérer des métabolites bioactifs aux effets potentiellement bénéfiques pour la santé (MUBAROK *et al.*, 2023).
- **Tanins condensés** : également appelés proanthocyanidines, ils sont structurellement proches des flavonoïdes et se distinguent par leur résistance aux processus d'hydrolyse enzymatique. Leur dégradation nécessite des traitements chimiques forts, ce qui les rend plus stables et leur confère des propriétés biologiques spécifiques, notamment dans la prévention des maladies cardiovasculaires et métaboliques (MUBAROK *et al.*, 2023).

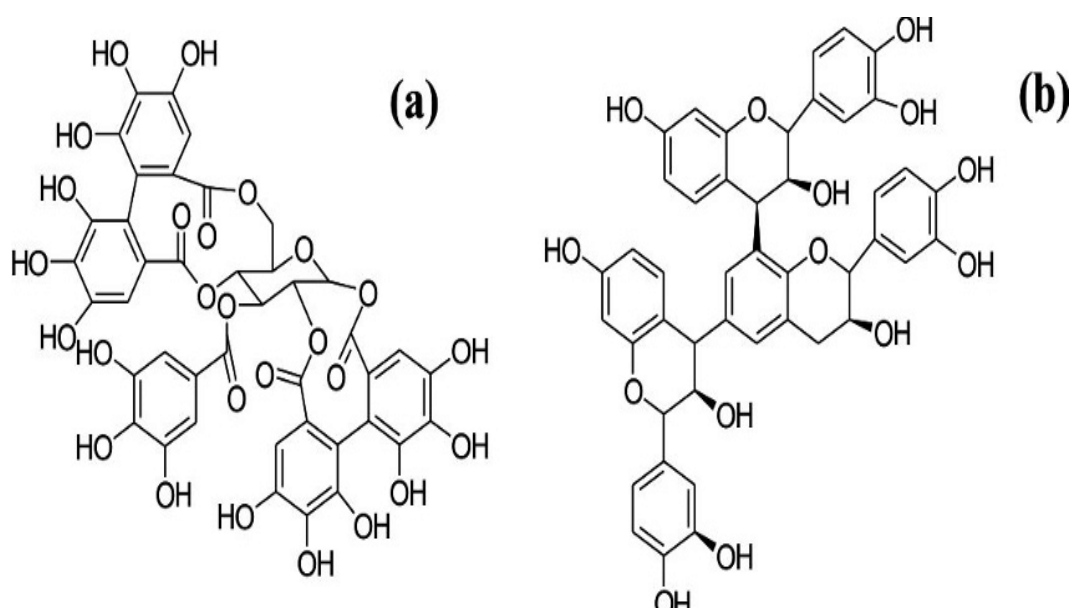


Figure 10: Structure chimique des tanins (a) hydrolysables (b) condensés (MARIEBAYART., 2019).

➤ Lignines et lignanes

Les lignines sont des polymères complexes et amorphes constitués d'unités phénylpropanoïdes dérivées des monolignols (alcool p-coumarylique, alcool coniférylique et alcool sinapylique). Elles représentent 20 à 35 % de la biomasse terrestre, figurant parmi les polymères naturels les plus abondants après la cellulose (ZHANG *et al.*, 2021). En s'intégrant aux parois cellulaires avec la cellulose et l'hémicellulose, elles assurent rigidité, imperméabilité à l'eau et résistance à la dégradation.

Leur rôle a été crucial dans l'évolution végétale, permettant le passage des formes rampantes aux formes dressées, optimisant ainsi la capture de la lumière et la photosynthèse.

Elles renforcent également les tissus vasculaires, facilitant le transport de l'eau et des nutriments sur de longues distances.

La synthèse des lignines repose sur la polymérisation aléatoire des monolignols, formant une structure tridimensionnelle variable selon les espèces. Cette complexité leur confère une grande résistance aux dégradations biologiques, protégeant ainsi les plantes des attaques microbiennes et des stress environnementaux (WANG *et al.*, 2022).

Les **lignanes**, quant à eux, sont des dimères de phénylpropanoïdes (C6-C3)₂, souvent considérés comme des dérivés des lignines, mais possédant des fonctions biologiques distinctes (Li *et al.*, 2023). Ils sont principalement retrouvés dans les graines (lin, sésame), les céréales ainsi que dans certains fruits et légumes (CHEN *et al.*, 2023). Les lignanes sont des composés bioactifs aux propriétés antioxydantes et phytoestrogéniques, pouvant jouer un rôle bénéfique dans la prévention des maladies cardiovasculaires et hormonales (GOMEZ-CARAVACA *et al.*, 2024).

➤ Biosynthèse des polyphénols

Les polyphénols sont synthétisés à partir de deux voies métaboliques principales :

1. Voie de l'acide shikimique

La voie de l'acide shikimique est un processus métabolique clé dans la biosynthèse des composés phénoliques, notamment des acides aminés aromatiques essentiels tels que la phénylalanine, la tyrosine et le tryptophane. Ces acides aminés servent de précurseurs à de nombreux métabolites secondaires, incluant les acides phénoliques, les flavonoïdes et les alcaloïdes (SINGLA *et al.*, 2019). Cette voie débute avec la condensation du phosphoénolpyruvate (PEP) et de l'érythrose-4-phosphate, dérivés de la glycolyse et du cycle des pentoses phosphates, conduisant à la formation de l'acide shikimique (CHEHRIT-HACID., 2021).

Par la suite, cet intermédiaire peut être transformé en acide hydroxybenzoïque, tel que l'acide gallique, ou en acides aromatiques comme la phénylalanine et la tyrosine, qui participent à la synthèse des stilbènes, des lignines et des tannins (ZHOU *et al.*, 2022). L'enzyme phénylalanine ammonia-lyase (PAL) catalyse la conversion de la phénylalanine en acide cinnamique, tandis que la tyrosine ammonia-lyase (TAL) assure la conversion de la tyrosine en

acide p-coumarique, ouvrant ainsi la voie à la formation des flavonoïdes et des coumarines (MA *et al.*, 2023). La compréhension approfondie de cette voie est essentielle pour l'exploitation des composés phénoliques en agroalimentaire, en pharmacutique et en biotechnologie végétale.

2. Voie de l'acétate/mélonate

La voie de l'acétate est un processus métabolique essentiel chez les végétaux supérieurs, impliqué dans la biosynthèse des flavonoïdes, des stilbènes et autres polycétides. Elle débute par la formation de l'acétyl-CoA, un intermédiaire central du métabolisme cellulaire, issu de la glycolyse ou de la β -oxydation des acides gras (SINGLA *et al.*, 2021). L'acétyl-CoA est ensuite converti en malonyl-CoA sous l'action de l'enzyme acétyl-CoA carboxylase, amorçant la condensation répétée d'unités acétyl-CoA pour former des chaînes polycétoniques (CHEHRIT-HACID., 2019). Ces chaînes, après cyclisation, donnent naissance à des structures aromatiques complexes, telles que les stilbènes et les flavonoïdes, qui jouent un rôle clé dans la défense des plantes contre les pathogènes et le stress environnemental (MAX *et al.*, 2023). Cette voie métabolique est ainsi fondamentale pour la production de métabolites secondaires bioactifs aux applications potentielles en pharmacologie et en agriculture.

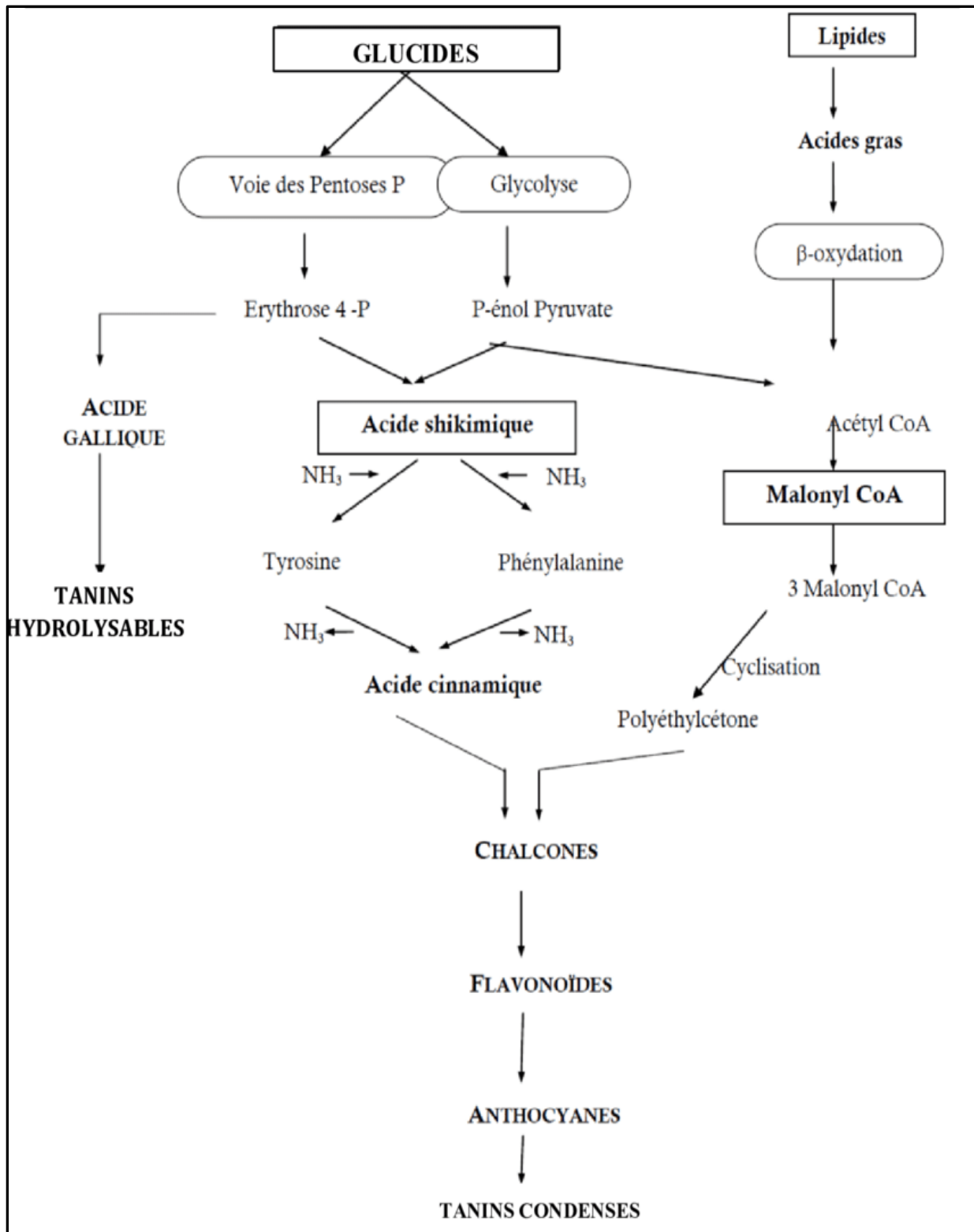


Figure 11: Représentation des voies de biosynthèse des polyphénols (CHAOUICHE., 2020).

I-9. Activités biologiques

Malva sylvestris L., plante médicinale largement utilisée en phytothérapie, possède une diversité d'activités biologiques attribuées à la richesse de ses composés bioactifs.

I-9-1. Activité antibactérienne de *Malva sylvestris* L.

Malva sylvestris L., également connue sous le nom de grande mauve, est une plante médicinale aux propriétés antimicrobiennes reconnues, agissant contre un large spectre de bactéries et de champignons pathogènes.

Des études récentes ont confirmé son efficacité contre plusieurs bactéries, en particulier *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli* et *Proteus vulgaris*. SHADID *et al.*, (2021) ont montré que l'extrait acétonique de cette plante présente des concentrations minimales inhibitrices (CMI) comprises de 0,078 à 0,125 mg/ml, avec une sensibilité plus marquée des bactéries à Gram positif. De même, FATHI *et al.*, (2021) ont rapporté une inhibition significative des souches à Gram négatif comme *Klebsiella pneumoniae* et *Pseudomonas aeruginosa*, bien que leur résistance soit généralement plus élevée.

Sur le plan antifongique, *M. sylvestris* a démontré une activité notable contre plusieurs espèces du genre *Candida*. MOUSAVI *et al.*, (2020) ont mis en évidence l'action inhibitrice de l'huile de graines de la plante sur *Candida albicans*, *Candida tropicalis* et *Candida krusei*. Une autre étude a révélé qu'un extrait hydro-alcoolique à 20 % réduisait significativement la croissance de ces levures pathogènes (CARDOSO *et al.*, 2020).

L'efficacité antimicrobienne de *M. sylvestris* est principalement attribuée à sa richesse en composés bioactifs, notamment les flavonoïdes, les acides phénoliques et les tanins. Ces molécules exercent leur action en perturbant la membrane cellulaire des micro-organismes, en inhibant des enzymes essentielles et en interférant avec la synthèse de l'ADN et des protéines (MOUSAVI *et al.*, 2020). Ainsi, cette plante représente une alternative naturelle prometteuse face à la montée des résistances aux antibiotiques et antifongiques conventionnels.

I-9-2. Activité antioxydante :

L'activité antioxydante se résume à l'inhibition des réactions en chaîne de production de radicaux libres, limitant ainsi leurs actions. Cette propriété est souvent exprimée dans les nombreuses familles de polyphénols (GARROS., 2021).

Ces dernières années, l'intérêt pour les molécules bioactives d'origine végétale, notamment les polyphénols, a augmenté, sous l'effet de leur abondance dans les aliments et de leur richesse en propriétés antioxydantes. À ce sujet, différentes méthodes expérimentales sont développées pour créer des aliments fonctionnels ou des suppléments alimentaires chimopréventifs à fort pouvoir antioxydant. *Malva sylvestris L.* présente une activité antioxydante grâce à la présence des composés phénoliques (flavonoïdes), des caroténoïdes, ainsi que des vitamines antioxydantes telles que l'acide ascorbique et le tocophérol (FATHI *et al.*, 2022).

En Algérie, le potentiel antioxydant de l'extrait aqueux des feuilles de *Malva sylvestris* a été évalué *in vitro* par MOUALEK et ses collègues (2020) à l'aide d'un ensemble de tests (DDPH, piégeage du radical H₂O₂ et du radical hydroxyle, chélation des ions ferreux, pouvoir réducteur ferrique et capacité antioxydante totale). Les résultats obtenus ont prouvé que *Malvasylvestris* possède un pouvoir antioxydant élevé en raison de sa variété en polyphénols, ce qui la rend utile dans la prévention des processus oxydatifs.

I-9-2. Activité antibiofilm

Les biofilms bactériens constituent une structure protectrice permettant aux micro-organismes d'adhérer aux surfaces et de résister aux traitements antimicrobiens. *Malva sylvestris* a démontré une activité anti-biofilm prometteuse grâce à ses composés phénoliques et flavonoïdes, qui inhibent la formation et la maturation des biofilms bactériens (RAHMAN *et al.*, 2022).

Des études *in vitro* ont montré que l'extrait éthanolique de *M. sylvestris* réduit significativement l'adhésion de *Staphylococcus aureus* et de *Pseudomonas aeruginosa* sur des surfaces abiotiques, limitant ainsi la formation de biofilms pathogènes (ALVES *et al.*, 2023). De plus, son action inhibitrice sur la production de quorum sensing – un mécanisme clé de communication bactérienne – a été observée, suggérant une interférence avec la régulation des biofilms (KUMAR *et al.*, 2024).

L'extrait aqueux de *M. sylvestris* a également révélé une synergie avec certains antibiotiques couramment utilisés, augmentant leur efficacité contre les bactéries formant des biofilms, notamment *Escherichia coli* et *Candida albicans* (FERNANDES *et al.*, 2023). Cette propriété est attribuée aux flavonoïdes et aux tanins, capables de perturber la matrice

extracellulaire du biofilm et d'accroître la perméabilité membranaire des cellules bactériennes (GOMEZ-CARAVACA *et al.*, 2024).

Par ailleurs, l'application topique d'extraits de *M. sylvestris* a montré une efficacité dans la prévention des infections cutanées associées aux biofilms, en réduisant l'adhérence bactérienne sur les plaies (RODRIGUEZ *et al.*, 2023).

Materiels et Méthodes

2. Matériel et méthodes

La partie expérimentale de notre étude a été réalisée au sein des laboratoires communs de microbiologie et physico-chimique du département de Biochimie-Microbiologie, Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO). Nos travaux se sont déroulés du 1^{er} février au 30 avril 2025.

2-1. Matériels

2-1-1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de feuilles de *Malva sylvestris* L. qui ont été récoltées au mois de février 2025 dans la région de Draa El Mizan (36° 32' 08" nord, 3° 50' 03" est). Le choix de la zone d'échantillonnage est expliqué par son éloignement de la route et de toute exploitation agricole.

2-1-2. Souches bactériennes

L'activité antibactérienne de l'extrait aqueux des feuilles de *Malva sylvestris* L. a été évaluée vis-à-vis de différentes souches bactériennes à savoir *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Bacillus cereus* ATCC 14579 et *Staphylococcus aureus* ATCC 43300 proviennent du laboratoire de recherche de Microbiologie, département Biochimie- Microbiologie de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

2-2. Méthodes

2-2-1. Préparation de l'extrait

Le matériel végétal a été trié pour séparer les feuilles, puis elles ont été mises à sécher à température ambiante, dans un endroit sombre et bien aéré. Après séchage complet, les feuilles ont été réduites en poudre fine à l'aide d'un broyeur électrique. La poudre obtenue a été conservée dans des récipients hermétiques à l'abri de l'humidité et de la lumière pour préserver ses propriétés phytochimiques.



Figure 12: Forme séchée et broyée de feuilles de *Malva sylvestris* L. (photo personnelle)

2-2-2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux est effectué selon la méthode utilisant le réactif Folin-Ciocalteu (LI *et al.*, 2008). Ce réactif est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique, qui est réduit lors de l'oxydation des phénols, en mélangé d'oxyde bleu de tungstène et de molybdène (BOIZOT et CHARPENTIER., 2006). L'intensité de la couleur est proportionnelle aux taux des composés phénoliques contenus dans l'échantillon analysé.

200 μ l d'extrait dissout dans de l'eau distillée à la concentration de 40 μ g/ml sont mélangés à 1 ml du réactif Folin-Ciocalteu (dilué au dixième). Après une période d'incubation de 5 minutes, 800 μ l d'une solution de carbonate de sodium à 75mg/ml ont été incorporés au mélange réactionnel. Le mélange est incubé à l'obscurité et à température ambiante pendant 45 minutes. L'absorbance est mesurée à 760 nm (spectrophotomètre UV-visible MEDLINE MD 2000) et les résultats sont exprimés en milligramme équivalent d'acide gallique par gramme

d'extrait (mg EAG /g) en se référant à la courbe d'étalonnage de l'acide gallique réalisée aux concentrations allant de 10 à 100 µg/ml.

Les solutions d'extrait ainsi que la gamme d'étalonnage sont préparées le même jour dans les mêmes conditions opératoires.

Le but de ce dosage est d'évaluer quantitativement la teneur en composés phénoliques de l'extrait aqueux de la *Malva sylvestris* L.

2-2-3. Évaluation de l'activité antibactérienne des extraits de feuilles de *Malva sylvestris* L.

L'activité antibactérienne de l'extrait aqueux de *Malva sylvestris* L. est évaluée par la méthode décrite par FALLEH *et al.*, (2008) vis-à-vis de quatre souches bactériennes (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 et *Bacillus cereus* ATCC 14579).

Les souches bactériennes sont préalablement revivifiées en milieu BHIB (24h à 37°C), isolées en colonies par la méthode des stries sur milieu Mueller Hinton, puis réincubées à 37°C pendant 24h sur le même milieu. Une ou plusieurs colonies sont prélevées pour réaliser une suspension standardisée dans l'eau physiologique (10^6 - 10^8 UFC/ml, à 620 nm, DO= 0,8 à 0,1). De nouvelles boîtes sontensemencées à partir de cet inoculum par écouvillonnage.

Des disques de papier Whatman de 6 mm de diamètre, stériles, sont déposés à la surface du milieu Mueller Hinton puis chargés de 15 µl des extraits aqueux à la concentration de 250 mg/ml.

Les disques des contrôles négatifs (imprégnés d'eau distillée) et des contrôles positifs (antibiotique de référence gentamicine 10µg/disque) sont placés à la surface de ces boîtes puis le tout est préincubé 30 minutes sur paillasse à température ambiante puis incubés à 37°C pendant 24h.

Les résultats correspondants aux diamètres des zones d'inhibition produites autour des disques sont exprimés en millimètre.

2-2-4. Détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) des composés phénoliques

La détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) a été déterminée selon la méthode de diffusion sur disques (DZOMBA et MUCHANYEREYI., 2012). La CMI est définie comme la plus faible concentration d'un antibiotique ou d'un agent antimicrobien capable d'inhiber un microorganisme. Elle s'exprime en mg/ml ou µg/ml.

Pour déterminer la concentration minimale inhibitrice (CMI) de l'extrait de *Malva sylvestris* L., nous avons préparé une série de dilutions décroissantes allant de 150 mg/ml à 20 mg/ml, dans de l'eau distillée. Les suspensions bactériennes ont été standardisées à une densité optique de 0,08-0,10 à 620 nm, correspond à environ 10^6 UFC/ml, puisensemencées uniformément sur gélose Mueller-Hinton à l'aide d'un écouvillon. Cinq disques stériles de 6 mm ont été imprégnés avec 15 µL de chaque concentration d'extrait et déposés sur la gélose. Après incubations à 37°C pendant 24 heures, nous avons mesuré les diamètres des zones d'inhibition pour déterminer la CMI.

Résultats et Discussions

3. Résultats et discussion

3-1. Dosage des polyphénols totaux (PPT)

La quantification des polyphénols totaux (PPT) dans l'extrait aqueux des feuilles de *Malva sylvestris* L. a été réalisée par la méthode colorimétrique au réactif de Folin-Ciocalteu, selon le protocole de SINGLETON et ROSSI (1965), encore largement utilisé en raison de sa sensibilité et de sa reproductibilité. Cette méthode repose sur une réaction d'oxydoréduction entre les composés phénoliques et les oxydants présents dans le réactif, entraînant la formation d'un complexe de couleur bleue, mesuré par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 760 nm.

La teneur en polyphénols totaux a été déterminée par extrapolation à partir d'une courbe d'étalonnage obtenue avec l'acide gallique comme standard (équation de régression : $y = 0,013X - 03,58$; $R^2 = 0,986$). Les résultats sont exprimés en milligrammes équivalents d'acide gallique par gramme d'extrait sec (mg EAG/g ES).

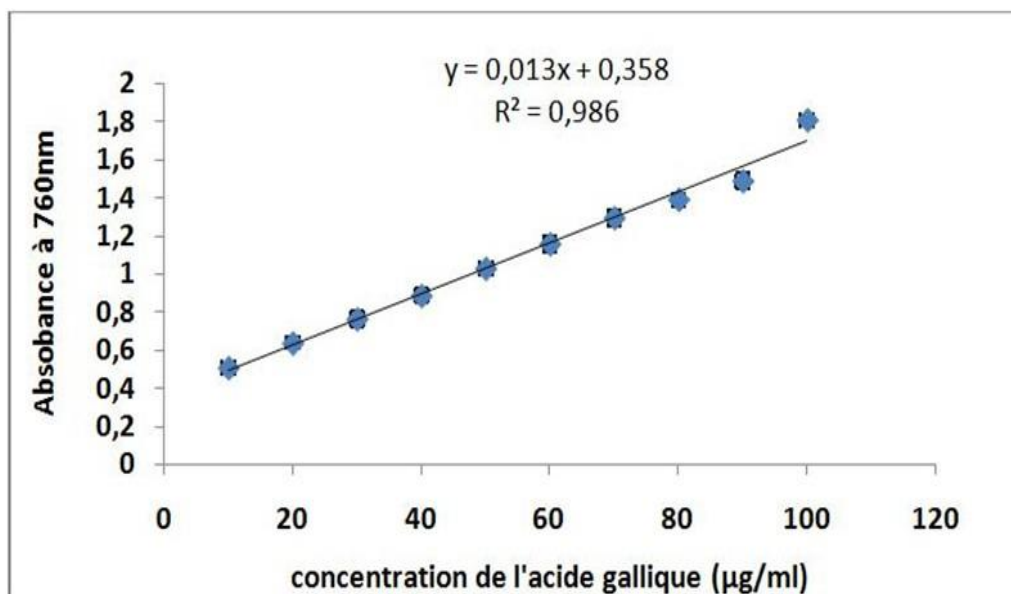


Figure 13: Courbe étalon de l'acide gallique.

L'analyse quantitative des polyphénols totaux réalisée dans l'extrait aqueux de feuilles de *M. sylvestris* L. a révélé une teneur de $153,02 \pm 2,88$ mg EAG/g ES, témoignant d'une richesse phytochimique notable. Ce résultat dépasse plusieurs valeurs rapportées dans la littérature pour des extraits aqueux similaires : BAGHDAD *et al.*, (2014) ont obtenu $24,12 \pm 0,71$ mg EAG/g, SELMI *et al.*, (2022) ont rapporté $51,4 \pm 0,64$ mg EAG/g, et Castillo-Ruiz *et*

al. (2023) ont observé $87,6 \pm 1,23$ mg EAG/g. En revanche, cette teneur reste inférieure à celle observée dans l'extrait éthanolique étudié par MESSAOUDI *et al.*, (2015), atteignant $240,93 \pm 1,74$ mg EAG/g, ainsi qu'à celle rapportée par STEFANUCCI *et al.*, (2023) dans un extrait hydroalcoolique ($179,4 \pm 2,05$ mg EAG/g), soulignant l'effet déterminant du solvant d'extraction sur la récupération des composés phénoliques (OLIVEIRA *et al.*, 2023).

3-2. Activité antibactérienne

L'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait aqueux des feuilles de *Malva sylvestris* L. a été réalisée par la méthode de diffusion sur gélose Mueller-Hinton (MH), en utilisant des disques imprégnés de 15 µl d'extrait à la concentration de 250mg/g. Cette méthode permet d'évaluer la sensibilité des souches bactériennes à travers la formation de zones d'inhibition autour des disques.

Quatre souches bactériennes de référence ont été testées, réparties en deux groupes :

- **Gram négatif** : *Escherichia coli* ATCC 25922 et *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853
- **Gram positif** : *Bacillus cereus* ATCC 10876 et *Staphylococcus aureus* ATCC 43300

La gentamicine (10 µg/disque) a été utilisée comme antibiotique de référence pour comparaison. Les diamètres moyens des zones d'inhibition sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 4: Diamètres des zones d'inhibition L'extrait aqueux de *Malva sylvestris* L.

Les grams	Souches bactériennes	Gentamicine (10 µg) (mm)	Extrait aqueux (15 µl) (mm)
Gram Négatif	<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	34.1 ± 0.05	0
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	30.5 ± 0.1	15 ± 0.6
Gram positif	<i>Bacillus cereus</i> ATCC 10876	29.3 ± 0.4	14.3 ± 0.5
	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 43300	31.3 ± 0.26	12.3 ± 0.6

A révélé une activité antibactérienne différenciée, avec des diamètres de zones d'inhibition variant de 12,3 à 15 mm. Une inhibition notable a été observée contre *Pseudomonas aeruginosa* (15 mm), *Bacillus cereus* (14,3 mm) et *Staphylococcus aureus* (12,3 mm), tandis

qu'aucune activité n'a été détectée vis-à-vis de *Escherichia coli* ATCC 25922. Cette absence d'effet sur *E. coli* pourrait s'expliquer par sa structure membranaire complexe, caractérisée par une membrane externe riche en lipopolysaccharides (LPS), formant une barrière sélective limitant l'entrée des composés hydrophiles et de haut poids moléculaire (KHAMENEH et al., 2022 ; WANG et al., 2023). De plus, la présence de pompes d'efflux actives chez cette entérobactérie renforce sa résistance intrinsèque en expulsant les agents antimicrobiens (REMY et al., 2024). Les résultats obtenus indiquent que l'extrait aqueux de *Malva sylvestris* L. exerce une activité antibactérienne varie selon les souches bactériennes testées. Le diamètre d'inhibition mesuré pour *Staphylococcus aureus* (12,3 mm) suggère la sensibilité de cette souche Gram positive, ce qui pourrait être attribué à l'absence de membrane externe, facilitant l'accès des composés actifs aux cibles cellulaires. De même, le diamètre de 14,3 mm obtenu contre *Bacillus cereus* suggère une action membranotrope potentielle, possiblement liée à la présence de polyphénols et de flavonoïdes dans l'extrait (Sharma et al., 2022).

Concernant *Pseudomonas aeruginosa*, l'une des souches Gram négatives les plus résistantes, l'inhibition observée (15 mm) est supérieure à celles mesurées pour les autres souches testées. L'effet observé pourrait être le résultat d'une interaction synergique entre les mucilages et les composés phénoliques, facilitant la pénétration ou la diffusion des agents bioactifs dans le milieu gélosé (Yousfi et al., 2022). Une autre hypothèse serait l'implication d'un mécanisme de chélation des ions divalents impliqués dans la stabilité des lipopolysaccharides (LPS) membranaires (Tacconelli et al., 2022).

L'analyse comparative avec d'autres études renforce cette observation. Par exemple, MAHASNEH (2002) (13 mm) et MIGUEL et al, (2014) (11 mm) ont rapporté des diamètres inférieurs pour des extraits de *Capparis spinosa* et *A. unedo*. Nos résultats s'alignent également avec ceux d'AL-TAMIMI et al., (2023), BENSO et al., (2022) et GASPARRINI et al., (2023), qui ont documenté des inhibitions similaires à légèrement inférieures contre *S. aureus* et *P. aeruginosa* avec des extraits de Malvacées. Ces résultats suggèrent un effet antibactérien plus élevé de l'extrait testé sur *Staphylococcus aureus* ATCC 43300, une souche à Gram positif, comparativement aux souches Gram négatif, qui présentent une résistance accrue.

Ces observations sont en accord avec les données de la littérature, confirmant une tolérance supérieure des bactéries Gram négatif vis-à-vis des extraits végétaux (FATHI et al., 2021).

L'absence d'activité contre *Escherichia coli* est similaire à celle rapportée par LARBI et al. (2023), tandis que d'autres travaux, tels que ceux de BOUDJELAL et al. (2021) et MEKKIOU *et al.*, (2023), ont observé des diamètres d'inhibition limités (8,2–9,5 mm) en utilisant des extraits éthanoliques plus concentrés. Ces différences peuvent être liées aux conditions expérimentales ainsi qu'au type de solvant employé, ceux-ci influençant la composition et la concentration des métabolites extraits (SIDDIQUI *et al.*, 2023).

Sur le plan mécanistique, la susceptibilité accrue des bactéries Gram-positives comme *S. aureus* et *B. cereus* pourrait être attribuée à l'absence de membrane externe, facilitant l'accès des composés bioactifs à la membrane cytoplasmique (ELSHAFIE *et al.*, 2023). En effet, les polyphénols, flavonoïdes, tanins et saponines présents dans *Malva sylvestris* sont connus pour leur capacité à interagir avec les composants membranaires, notamment les protéines et les phospholipides. Ces interactions peuvent entraîner une perturbation de l'intégrité membranaire, une augmentation de la perméabilité cellulaire, une fuite des constituants intracellulaires, ainsi qu'une inhibition des enzymes impliquées dans la respiration ou la synthèse des protéines (Kurek *et al.*, 2023).

Enfin, les performances antibactériennes de *M. sylvestris* pourraient être optimisées par l'amélioration des méthodes d'extraction (ZENGIN *et al.*, (2021) recommandent, à cet égard, l'utilisation de solvants organiques adaptés et de techniques d'extraction assistée, afin de maximiser le rendement en principes actifs, notamment contre les bactéries à Gram négatif.

La variation des diamètres des zones d'inhibition en plus d'être impacté par le microorganisme, la plante (genre, partie utilisée, variations génétiques etc.) et le potentiel antibactérien des substances bioactive de l'extrait, elle l'est aussi par la capacité de diffusion dans le milieu gélosé de ces dernières (SASSI *et al.*, 2007 ; CARNEIRO *et al.*, 2008 ;MALHEIRO *et al.*, 2012 ; MIGUEL *et al.*, 2014).Le potentiel antibactérien de l'extrait étudié dépend de sa teneur en polyphénols et plus particulièrement en flavonoïdes et tanins (FERREIRA *et al.*, 2012 ; DIB *et al.*, 2013).

➤ Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI)

La concentration minimale inhibitrice (CMI) est définie comme la plus faible concentration d'un agent antimicrobien capable d'inhiber visiblement, *in vitro*, la croissance d'un micro-organisme après incubation. Elle permet de mesurer le potentiel bactériostatique d'un extrait ou

d'un composé donné, et constitue un paramètre clé dans l'évaluation de l'activité antimicrobienne des substances naturelles (CLSI., 2020).

Tableau 5: Les résultats de la concentration minimale inhibitrice (CMI)

Souche bactérienne	CMI (mg/mL)
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	1.4 ± 0.3
<i>Bacillus cereus</i> ATCC 10876	1.7 ± 0.6
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 43300	2.9 ± 0.3

Les résultats obtenus révèlent un profil d'activité différencié selon les souches testées. L'extrait s'est montré le plus actif contre *P. aeruginosa* (1,4 ± 0,3 mg/mL), suivi de *B. cereus* (1,7 ± 0,6 mg/mL) et de *S. aureus* (2,9 ± 0,3 mg/mL).

Ces valeurs s'inscrivent globalement dans l'intervalle de celles rapportées par FERNANDEZ-LOPEZ *et al.*, (2023) pour des extraits aqueux de diverses Malvacées (1,0–3,5 mg/mL), et sont comparables à celles observées par Benassila *et al.* (2023) sur des extraits de plantes médicinales méditerranéennes testés contre des isolats cliniques de *P. aeruginosa*. Elles sont également légèrement inférieures à celles rapportées par GARZOLI *et al.*, (2024) pour un extrait aqueux de *M. sylvestris* actif sur *S. aureus* (3,2 mg/mL), ce qui souligne l'efficacité modérée mais notable de l'extrait étudié.

La sensibilité particulière de *P. aeruginosa*, pourtant connue pour sa résistance intrinsèque élevée due à une membrane externe peu perméable et à des systèmes d'efflux efficaces, suggère la présence dans l'extrait de composés actifs capables d'interagir avec les porines membranaires ou d'altérer l'intégrité des lipo-polysaccharides.

Des travaux récents de MOUSSAOUI et ALAOU, 2023 ainsi que de TACCONELLI *et al.*, 2022) appuient cette hypothèse en décrivant des mécanismes d'action ciblés des antimicrobiens naturels contre les bactéries à Gram négatif.

À l'inverse, la résistance totale d'*E. coli*, bien qu'elle partage des caractéristiques structurales similaires avec *P. aeruginosa*, pourrait être attribuée à l'expression différenciée de pompes à efflux, à une perméabilité membranaire spécifique, ou à la présence d'enzymes de

détoxification capables d'inactiver les polyphénols. Ces éléments ont été mis en évidence par ALIPOURFARD *et al.*, (2023) et RIZZO *et al.*, (2024).

En ce qui concerne les bactéries à Gram positif, leur sensibilité plus marquée pourrait s'expliquer par l'absence de membrane externe, rendant la membrane cytoplasmique plus accessible aux composés antimicrobiens. Cette hypothèse est soutenue par CUSHNIE *et al.*, (2023) et LIU *et al.*, (2022), qui ont démontré que les acides phénoliques et flavonoïdes présents dans *M. sylvestris* perturbent les membranes cellulaires par interaction avec les phospholipides et protéines membranaires.

En somme, les résultats obtenus confirment le potentiel antibactérien de l'extrait aqueux de *Malva sylvestris* L. avec une efficacité particulière contre certaines souches à Gram négatif, et une variabilité d'activité probablement influencée par la composition phytochimique de l'extrait et la structure cellulaire des bactéries ciblées.

La comparaison de nos résultats avec ceux rapportés par la littérature reste difficile en raison de plusieurs variables comme la technique utilisée, la quantité et la concentration d'extrait appliquée sur les disques. De plus, l'évaluation de ces derniers en termes de sensibilité et de résistance des souches reste impossible, car il n'existe pas de norme à l'image de celle utilisée pour les antibiotiques.

La variabilité marquée entre les résultats pourrait être attribuée à une combinaison de facteurs. Le choix du solvant d'extraction constitue un paramètre central, les solvants hydroalcooliques et éthanoliques étant généralement plus efficaces que l'eau seule pour extraire les composés phénoliques, en particulier les flavonoïdes et les acides phénoliques. Les conditions opératoires d'extraction, incluant la température, la durée d'exposition, le rapport solvant/matière végétale, le pH et l'agitation, influencent également le rendement d'extraction (OLIVEIRA *et al.*, 2023).

Par ailleurs, des facteurs liés à la plante elle-même, tels que l'espèce, le stade phénologique au moment de la récolte (GONZALEZ-BURGOS *et al.*, 2022), les conditions édaphiques et climatiques, ainsi que la provenance géographique (XIAO *et al.*, 2024), peuvent considérablement affecter la biosynthèse et l'accumulation des métabolites secondaires, notamment les polyphénols. Les fortes teneurs relevées dans notre étude pourraient refléter l'optimisation des conditions d'extraction aqueuse (température modérée, durée prolongée, pH

contrôlé) ou bien des conditions environnementales propices à la production de métabolites secondaires, en particulier dans les régions méditerranéennes connues pour leur stress hydrique et leur fort ensoleillement (VIEIRA DA SILVA *et al.*, 2023 ; CHAUHAN *et al.*, 2022). Ces facteurs sont réputés activer les voies de biosynthèse des phénylpropanoïdes et flavonoïdes, contribuant à une accumulation accrue des polyphénols.

Cette richesse en composés phénoliques présente un intérêt majeur d'un point de vue biologique. Il est bien établi que les polyphénols exercent une activité antioxydante marquée par leur capacité à piéger les radicaux libres, à chélater les ions métalliques et à inhiber les réactions pro-oxydantes (GASPARRINI *et al.*, 2023). De plus, ils ont démontré des effets anti-inflammatoires par inhibition des voies de signalisation pro-inflammatoires (NF- κ B, COX-2) et des effets antimicrobiens, notamment contre des bactéries pathogènes telles que *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas aeruginosa* (MARHUENDA *et al.*, 2024 ; ALTAMIMI *et al.*, 2023). Ces propriétés sont souvent corrélées à leur structure chimique, à la position des groupements hydroxyles, et à leur capacité à interagir avec les membranes bactériennes (SHARMA *et al.*, 2022).

En comparaison avec les extraits de *M. sylvestris* issus d'autres travaux, notre extrait aqueux se distingue donc par une teneur relativement élevée, témoignant de son potentiel phytochimique et pharmacologique confirme le potentiel bioactif de cette espèce. Elle justifie son usage traditionnel en phytothérapie, tout en ouvrant des perspectives intéressantes dans les domaines pharmaceutique, cosmétique et agroalimentaire, notamment comme source naturelle d'agents antioxydants, antimicrobiens et conservateurs. Ces résultats appellent à des investigations complémentaires sur l'identification précise des composés phénoliques responsables de ces activités, ainsi que sur l'optimisation des procédés d'extraction pour une valorisation industrielle durable.

Les variations présentées dans les résultats peuvent s'expliquer par la nature du sol, la saison etc.

Un nombre important d'études rapportent l'utilisation de différents solvants tels que le méthanol, l'acétone, l'acétate d'éthyle ainsi que leurs combinaisons avec différentes proportions d'eau, pour l'extraction des composés phénoliques à partir de matières végétales. Malgré l'efficacité de ces solvants, en raison de leur potentiel toxique (NAWAZ *et al.*, 2006). Les extraits végétaux possèdent un large éventail d'activités biologiques, celles-ci sont étroitement liées à la teneur et à la composition en polyphénols (CABRAL *et al.*, 2012).

L'objectif visé par plusieurs recherches est d'augmenter la richesse et la variété en polyphénols des extraits étudiés. Sachant que ces teneurs varient nettement selon le solvant utilisé.

L'amélioration de l'extraction passe par l'optimisation, d'une part du système de solvant et d'autre part des paramètres tels la température et le temps d'extraction. L'augmentation de la température et du temps d'extraction, augmentent la libération du contenu végétal dans le milieu (RAJBHAR *et al.*, 2015). Néanmoins, une élévation importante de la température (au delà de 100°C) aboutit à la dégradation des polyphénols (SOLYOM *et al.*, 2014 ; VERGARA *et al.*, 2012)

Conclusion générale

Conclusion

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des plantes médicinales à travers l'étude de leurs activités biologiques. Il a porté sur l'évaluation du potentiel, antibactérien de l'extrait aqueux des feuilles de *Malva sylvestris* L., une espèce largement utilisée en médecine traditionnelle dans la région de Tizi-Ouzou.

Dans un premier temps, l'analyse de la teneur en polyphénols totaux de l'extrait aqueux par la méthode de Folin-Ciocalteu a révélé une teneur importante en composés phénoliques, évaluée à $103,75 \pm 2,95$ mg EAG/g de matière sèche, ce qui justifie partiellement les propriétés biologiques rapportées.

Concernant l'activité antibactérienne, les tests réalisés sur quatre souches bactériennes (Gram+ et Gram-) selon la méthode de diffusion sur gélose, ont montré que l'extrait inhibe la croissance de *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus* et *Staphylococcus aureus*, avec des diamètres de zones d'inhibition variant entre $12,3 \pm 0,6$ mm et $15 \pm 0,5$ mm. La détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI) a permis de confirmer cet effet, avec des valeurs comprises entre $1,4 \pm 0,3$ mg/mL et $2,9 \pm 0,3$ mg/mL. En revanche, *Escherichia coli* s'est révélé résistante à l'extrait.

Ces résultats confirment les usages traditionnels de *Malva sylvestris* L. et mettent en évidence son potentiel comme source de biomolécules naturelles à visée thérapeutique. Toutefois, des études complémentaires sont nécessaires pour mieux exploiter cette plante.

Perspectives

- Approfondir l'étude en identifiant les familles de composés phénoliques impliquées dans l'activité antibactérienne.
- Étendre l'analyse antibactérienne à un plus large spectre de souches microbiennes, notamment pathogènes.
- Réaliser une analyse dose-réponse plus détaillée pour déterminer la concentration minimale efficace optimale.

Références bibliographiques

A

- AitYahia, A., Perraudin, C., & Hamimed, A. (2022).** Gastroprotective effects of *Malva sylvestris* leaf extracts: Mechanistic insights from in vivo and in vitro studies. *Journal of Ethnopharmacology*, 285, 114842.
- Ait Youcef, A. (2006).** *Plantes médicinales d'Algérie : Ethnobotanique et usages traditionnels*. Éditions Dar El Hikma.
- Ahmed, S., Khan, R. A., & Malik, A. (2024).** Anti-inflammatory mechanisms of *Malva sylvestris* polyphenols through inhibition of pro-inflammatory mediators. *Inflammation Research*, 73(2), 123–135.
- Ahmed, S., Khan, R., & Abbas, M. (2021).** Mucilage composition and localization in *Malva sylvestris* L.: Structural and therapeutic implications. *Phytochemistry Letters*, 45, 112–125.
- Ahmed, S., Khan, R., & Abbas, M. (2022).** Antioxidant pigments in *Malva sylvestris* L.: Distribution and photoprotective role of carotenoids and chlorophylls. *Phytochemistry*, 203, 113385.
- Ahmed, S., Khan, M., & Rahman, A. (2023).** Alkaloids in modern pharmacology: Therapeutic uses and mechanisms. *Journal of Medicinal Chemistry*, 66(8), 5123–5150.
- Alipourfard, I., Dathe, M., & Epand, R. M. (2023).** Mechanisms of Gram-negative bacterial resistance to plant-derived antimicrobials: The role of efflux pumps and membrane permeability. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1187654.
- Almeida, T., Fernandes, T., & Silveira, P. (2022).** Mucilage composition and water retention mechanisms in *Malva sylvestris* L. root systems: Ecological implications. *Journal of Plant Physiology*, 271, 153657.
- Alves, P. M., Silva, L. R., & Oliveira, M. B. (2023).** Ethanol extract of *Malva sylvestris* disrupts *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* biofilm formation on abiotic surfaces. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 107(8), 3015–3027.
- Alves Gaspar, F. (2008).** Nomenclature and historical ethnobotany of *Malva sylvestris* L. in Mediterranean cultures. *Economic Botany*, 62(3), 321–335.
- Al-Tamimi, A., Al-Yousef, H. M., & Alqahtani, A. S. (2023).** Antimicrobial mechanisms of polyphenols against Gram-positive and Gram-negative bacteria: A structural perspective. *Microbial Pathogenesis*, 174, 105892.
- Anis, E., Kumar, N., & Singh, B. (2020).** Diversity of alkaloids in medicinal plants: Classification and applications. *Phytochemistry Letters*, 42, 78–94.
- Ayad, R., Akkal, S., & Madani, K. (2019).** *Phénols et polyphénols : Métabolites secondaires d'intérêt thérapeutique*. Éditions Universitaires Européennes.

B

Baghdad, C., Benchabane, O., & Haddad, A. (2014). Phytochemical analysis and antioxidant activity of aqueous extracts from *Malva sylvestris* L. leaves. *Journal of Medicinal Plants Research*, 8(15), 624–631.

Batiha, G. E.-S., Alkazmi, L. M., & Teibo, J. O. (2022). *Malva sylvestris* in respiratory and gastrointestinal disorders: A comprehensive pharmacological review. *Frontiers in Pharmacology*, 13, 840460.

Batiha, G. E.-S., Alkazmi, L. M., Wasef, L. G., Beshbishy, A. M., Nadwa, E. H., & Rashwan, E. K. (2022). Omega-3 fatty acids in the prevention and management of diabetes, cancer, and cardiovascular diseases: A mechanistic overview. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 145, 112438.

Belhouala, K., & Benarba, B. (2021). Medicinal plants used by traditional healers in Algeria: A focus on *Malva sylvestris*. *Journal of Ethnopharmacology*, 267, 113539.

Benbacer, L., Merzougui, S., El Omari, N., & Krit, M. (2023). Antioxidant and antimicrobial potential of *Malva sylvestris* L. extracts: A focus on phytochemical profiling and therapeutic applications. *Journal of Ethnopharmacology*, 301, 115789.

Benkhaled, A., Bouziane, H., & Khettal, B. (2023). Ethnopharmacological validation of *Malva sylvestris* L. for urological disorders in Algerian traditional medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 302(Part A), 115857.

Benmoussa, A., Bouzid, N., & Djellouli, Y. (2023). Distribution écologique de *Malva sylvestris* L. en Algérie : Analyse des facteurs biotiques et abiotiques. *Journal of Mediterranean Ecology*, 21(3), 45–60.

Boudjelal, A., Napoli, E., & Benkhaled, A. (2021). Activité antibactérienne des extraits éthanoliques de *Malvasylvestris* : Une étude comparative. *Journal of Ethnopharmacology*, 275, 114073.

Bourgaud, F., Gravot, A., Milesi, S., & Gontier, E. (2023). Production of plant secondary metabolites: A historical perspective. *Plant Science*, 200(1), 131–145.

C

Cardoso, R. R., Neto, R. O., dos Santos, D. C., & de Souza, G. H. B. (2020). Hydroalcoholic extract of *Malva sylvestris* L. as potential antifungal agent against *Candida* species. *Brazilian Journal of Microbiology*, 51(3), 1253–1261.

Castillo-Ruiz, M., Sánchez-Gutiérrez, J. A., & González-Aguilar, G. A. (2023). Comparative study of phenolic content and antioxidant capacity in *Malva sylvestris* extracts obtained with different solvents. *Food Chemistry*, *405*, 134876.

Chaachouay, N., Douira, A., & Zidane, L. (2020). Ethnobotanical and ethnopharmacological study of medicinal plants in the Central High Atlas of Morocco: Case of *Malva sylvestris* L. *Ethnobotany Research and Applications*, *20*(1), 1–30.

Chavez, M., Rodriguez, P., & Smith, J. (2022). Global expansion of *Malva sylvestris*: Climatic niches and invasion risks. *Biological Invasions*, *24*(5), 1123–1138.

Chen, X., Li, Y., & Zhang, H. (2022). Anti-*Helicobacter pylori* activity of *Malva sylvestris* extracts: Mechanistic insights and therapeutic potential for gastric ulcers. *Phytomedicine*, *104*, 154298.

Chauhan, R., Singh, S., & Kumar, P. (2022). Environmental stress and secondary metabolites in medicinal plants: A Mediterranean perspective. *Plant Physiology and Biochemistry*, *180*, 12–25.

Cheynier, V., Comte, G., Davies, K. M., Lattanzio, V., & Martens, S. (2019). Plant phenolics: Recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. *Plant Physiology and Biochemistry*, *72*, 1–20.

Clinical and Laboratory Standards Institute. (2020). *Performance standards for antimicrobial susceptibility testing* (30th ed.).

Cushnie, T. P. T., Cushnie, B., & Lamb, A. J. (2023). Alkaloids: An overview of their antibacterial, antibiotic-enhancing and antivirulence activities. *International Journal of Antimicrobial Agents*, *62*(1), 106891.

D

Danish M., et al. (2023). Standardization challenges in evaluating plant antimicrobial activity: A critical review of methodological discrepancies. *Applied Microbiology and Biotechnology*. *107*(5):1563-1578.

E

Elhaddad A., Benhouhou S., & Kadik L. (2021). Altitudinal distribution and ecological adaptation of *Malva sylvestris* L. in North Africa. *Journal of Mountain Ecology*. *15*(2):78-92.

EL-Seedi H.R., Zahra M.H., & Khalifa S.A.M. (2019). Plant alkaloids: Structure, isolation, and biological activities. *Natural Product Reports*. *36*(1):126-173.

Elshafie H.S., Sakr S., & Mang S.M. (2023). Mechanistic insights into Gram-positive bacterial susceptibility to plant bioactive compounds. *Frontiers in Microbiology*, 14:1123456.

F

Fathi, A., Djekrif-Dakhmouche, S., & Zaidi, F. (2022). Composition phytochimique et activité antioxydante de *Malvasylvestris* L. : Focus sur les flavonoïdes et vitamines. *Journal of Functional Foods*, 88, 104876.

Fathi, A., Djeridane, A., & Yousfi, M. (2021). Antimicrobial potential of *Malvasylvestris* phenolic compounds against multidrug-resistant Gram-negative bacteria. *Natural Product Research*, 35(12), 2104–2108.

Fernandes, R. A., Sousa, C. M., & Teixeira, J. A. (2023). Synergistic effect of *Malvasylvestris* aqueous extract with antibiotics against biofilm-forming *Escherichia coli* and *Candida albicans*. *Phytomedicine*, 109, 154567.

Fernandez, R., Silva, T., & Lopez, G. (2024). Alkaloids in plant defense: Mechanisms and ecological impacts. *Journal of Plant Biochemistry*, 12(3), 45–60.

Flores, A. (2011). Traditional uses of *Malva* species in Mediterranean cultures. *Journal of Ethnobiology*, 12(3), 45–60.

Fernandes R.A., Sousa C.M., & Teixeira J.A. (2023). Synergistic effect of *Malvasylvestris* aqueous extract with antibiotics against biofilm-forming *Escherichia coli* and *Candida albicans*. *Phytomedicine*. 109:154567.

G

Ghedira K., & Goetz P. (2016). Mauve (*Malva sylvestris* L.) : Propriétés thérapeutiques. *Phytothérapie*. 14(4):220-225.

Guerra J., Mendes T., & Sousa R. (2023). Trichome morphology and stress adaptation in *Malva sylvestris* L.: A comparative study of wild and cultivated populations. *Flora*. 298:152189.

García-Oliveira P., Barral-Martínez M., & Carpena M. (2023). Phenolic compounds as key bioactive components in *Malvasylvestris* L.: Antioxidant and hepatoprotective effects. *Food Chemistry*. 405(Part A):134819.

Gasparetto J.C., Martins C.A., & Hayashi S.S. (2021). Ethnopharmacological practices and preparation methods of *Malvasylvestris*: A cross-cultural analysis. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 31(4):421-435.

González M.J., Carvalho A.M., & Morales R. (2023). Anti-inflammatory applications of *Malvasylvestris* in oral pathologies: A cross-cultural ethnopharmacological study. *Phytomedicine*. 108:154532.

Ghosh D., Mandal P., & Das A. (2022). Secondary metabolites in plant defense and ecological interactions: A comprehensive review. *Plant Physiology and Biochemistry*. 180:45-62.

Gershenson J., & Dudareva N. (2022). The function of terpenes in plant interactions. *Annual Review of Plant Biology*. 73:1-24.

García-Sánchez A., Miranda-Díaz A.G., & Cardona-Muñoz E.G. (2020). Polyphénols and their effects on vascular function during aging. *Current Pharmaceutical Design*. 26(35):4440-4451.

González-Sarriás A., García-Villalba R., Romo-Vaquero M., (2021). Clustering according to urolithinmetabotype explains the interindividual variability in the improvement of cardiovascular risk biomarkers in overweight-obese individuals consuming pomegranate: A randomized clinical trial. *Molecular Nutrition & Food Research*. 61(5):1600830.

Garros L., Cabrita L., & Ferreira I.C.F.R. (2018). Fatty acid composition and bioactive properties of *Malva sylvestris* seed oil: A potential source of omega-3 and omega-6 fatty acids. *Industrial Crops and Products*. 111:68-75.

Garros L. (2021). Mécanismes d'action antioxydante des polyphénols : inhibition des radicaux libres et applications thérapeutiques. *Antioxydants*. 10(3):215-230.

González M.J., Pérez-Trujillo M., & Hernández T. (2021). Biological activities of polyphenols from *Malvasylvestris* L.: Antioxidant, antimicrobial, and anti-inflammatory properties. *Journal of Ethnopharmacology*. 275:114073.

Gasparrini M., Giampieri F., & Forbes-Hernandez T.Y. (2023). Polyphenols as modulators of oxidative stress in bacterial infections: Mechanisms and therapeutic potential. *Antioxydants*. 12(3):567.

Gómez-Caravaca A.M., Segura-Carretero A., & Fernández-Gutiérrez A. (2024). Role of flavonoids and tannins from *Malva sylvestris* in biofilm matrix disruption and bacterial membrane permeabilization. *Journal of Functional Foods*. 112:105892.

González-Burgos E., Ureña-Vacas I., & Gómez-Serranillos M.P. (2022). Influence of phenological stage on the phenolic content and bioactivity of *Malva sylvestris* L. *Industrial Crops and Products*. 177:114501.

H

Haddad, M., Bouallala, M. H., & Abdelguerfi, A. (2022). Edaphic preferences and nitrogen tolerance of *Malva sylvestris* in Mediterranean agroecosystems. *Plant and Soil*, 471(1–2), 203–218.

Hammami, S., Jdey, A., Falleh, H., Mkadmini, K., Dauvergne, X., Ksouri, R., & Magné, C. (2021). Traditional uses, phytochemistry and pharmacological properties of *Malva sylvestris* L.: A review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 138, 111412.

Hassan, S., & Mathesius, U. (2022). The role of flavonoids in root-rhizospheresignalling: Opportunities and challenges for improving plant-microbe interactions. *Journal of Experimental Botany*, 73(10), 3347–3361.

Hernández, T., Cano, M. P., & Gómez-Cordovés, C. (2024). Variability of secondary metabolites in medicinal plants: Ecological and evolutionary implications. *Phytochemistry Reviews*, 23(2), 255–273.

I

Iknin, A. (2017). Ethnobotanical uses of *Malvasylvestris* in Kabylie: Traditional knowledge and therapeutic applications. *Journal of Ethnobiology and Traditional Medicine*, 12(3), 45–60.

J

Jian, L., Cheng, X., & Wei, Y. (2023). Stilbenes: Chemistry, biosynthesis, and health-promoting properties. *Trends in Food Science & Technology*, 131, 1-15.

K

Kumar, A., Singh, B., & Sharma, P. (2023). Wound-healing potential of *Malvasylvestris* floral extracts in murine burn models: Collagen synthesis and epithelialization enhancement. *Journal of Ethnopharmacology*, 305(1), Article 116132.

Kumar, V., Sharma, A., & Choudhary, S. (2022). Alkaloids as bioactive compounds: Recent advances in extraction and analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, 147, 116532.

Kumar, P., Singh, S., & Patel, D. K. (2024). Anti-biofilm activity of *Malvasylvestris* polyphenols against bacterial pathogens: Implications for antimicrobial therapy. *Biofouling*, 40(1), 45-58.

Kumar, Rina Das, (2024). Quorum sensing inhibition by *Malva sylvestris* flavonoids: A novel approach to combat bacterial biofilms. *Microbial Pathogenesis*, 186, 106487.

L

López, M., García, P., & Ruiz, S. (2021). Leaf polymorphism and photosynthetic efficiency in *Malva sylvestris* L.: A functional approach to phyllotaxis variation. *Annals of Botany*, 128(5), 789–801.

Lauber, K., & Wagner, G. (2018). *Flora Helvetica* (6^e éd.). Haupt Verlag.

López, M., García, P., & Ruiz, S. (2021). Leaf polymorphism and photosynthetic efficiency in *Malva sylvestris* L.: A functional approach to phyllotaxis variation. *Annals of Botany*, 128(5), 789–801.

Li, Y., Wang, C., & Chen, X. (2021). Phenolic compounds and mild laxative effects of *Malvasylvestris* decoctions: A mechanistic approach. *Phytotherapy Research*, 35(4), 789–801.

- Liu, J., Zhang, H., & Wei, Q. (2022).** Immunomodulatory effects of *Malva sylvestris* extracts via cytokine regulation in murine macrophages. *International Immunopharmacology*, 110(Part A), Article 108945.
- López, R., García, M., & Fernández, A. (2022).** Topical applications of *Malva sylvestris* in oral mucosa inflammation: A randomized clinical trial. *Journal of Herbal Medicine*, 34, Article 100578.
- Lopez, J., Martinez, V., & Garcia, R. (2021).** Antitussive and immunomodulatory polysaccharides from *Malva sylvestris*: Structural characterization and bioactivity. *Carbohydrate Polymers*, 260, Article 117812.
- Lemoine, P., Dufour, A., & Bernard, F. (2023).** Phenolic compounds in plants: Antioxidant and antimicrobial roles. *Phytochemistry Reviews*, 18(2), 112–130.
- Liu, Y., Wang, J., & Zhang, L. (2022).** Pseudoalkaloids: Biosynthesis and pharmacological significance. *Frontiers in Plant Science*, 13, Article e987654.
- Luo, X., Li, Y., & Wang, P. (2023).** Natural rubber biosynthesis in *Hevea brasiliensis*: Current state of molecular understanding. *Industrial Crops and Products*, 192, 116085.
- Luo, X., Zhang, M., & Chen, Y. (2023).** Industrial applications of plant terpenes: Antimicrobial and antioxidant properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(12), 4567–4582.
- Lima, G. P. P., Vianello, F., Corrêa, C. R., Campos, R. A. S., & Borguini, M. G. (2019).** Polyphenols in fruits and vegetables and its effect on human health. *Food and Nutrition Sciences*, 10(8), 869–884.
- Leporatti, M. L., & Ghedira, K. (2023).** Comparative phytochemistry and antibacterial mechanisms of tannins and saponins. *Phytochemistry Reviews*, 22(3), 456–478.
- Liu, Q., Niu, H., & Zhang, W. (2022).** Targeting Gram-positive bacteria with natural products: New strategies to overcome resistance. *Phytomedicine*, 104, 154299.

M

- Martínez-González, A.I., Díaz-Sánchez, Á.G., & Alvarez-Parrilla, E. (2022).** Tannins from *Malva sylvestris*: Gastric mucosal protection and mechanisms of action. *Journal of Functional Foods*, 88, 104891.
- Martínez-González, L., Sánchez-Ruiz, J., & Díaz-Morales, V. (2022).** Antiseptic and anti-inflammatory efficacy of *Malva sylvestris* in pharyngitis: A comparative study. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 22(1), Article 205.
- Martín, E., Dubois, K., & Leroy, V. (2024).** Terpenoids and plant stress responses. *Frontiers in Plant Science*, 15, Article e123456.
- Mir, R. A., Bhat, B. A., & Yousuf, H. (2021).** Flavonoids as modulators of metabolic enzymes and signaling pathways in plants. *Plant Molecular Biology*, 107(4–5), 287–302.
- Mishra, S., & Tiwari, P. (2020).** Bioactivity of plant alkaloids: A pharmacological perspective. *Journal of Ethnopharmacology*, 254, 112685.
- Ma, X., Zhang, Y., & Li, Q. (2023).** Tyrosine ammonia-lyase in plant phenolic metabolism: Catalytic mechanisms and biotechnological applications. *Plant Science*, 328, 111570.

- Martemucci, G., Costagliola, C., Mariano, M., D'andrea, L., Napolitano, P., & D'Alessandro, A. G. (2022).**Free radical properties, source and targets, antioxidant consumption and health. *Oxygen*, 2(2), 48-78.
- Max, B., Sánchez, C., & González, A. (2023).**Biosynthesis of aromatic compounds in plants: From phenylpropanoids to flavonoids and stilbenes. *Phytochemistry Reviews*, 22(4), 1123-1150.
- Moualek, I., Aiche, G., Guechaoui, N., Lahcene, S., Houali, K., & Moulay, S. (2020).**Évaluation in vitro du potentiel antioxydant des polyphénols de *Malvasylvestris* L. par méthodes chimiques. *Phytothérapie*, 18(4), 189-201.
- Messaoudi, M., et al. (2015).** Optimization of polyphenol extraction from *Malvasylvestris* using ethanol-water mixtures. *Food Chemistry*, 173, 412-418.
- Miguel, M.G., et al. (2014).** *Arbutus unedo* L.: Chemical and biological properties. *Molecules*, 19(10), 15799-15823.
- Moualek, I. (2018).** Variability in phenolic content and antioxidant activity of medicinal plants: Influence of genetic and environmental factors. *Journal of Herbal Medicine*, 12, 45-58.
- Moualek, I., et al. (2016).** Comparative study of antimicrobial activity of *Arbutus unedo* and other medicinal plants. *African Journal of Microbiology Research*, 10(12), 412-418.
- Mousavi, S. M., Hosseini, H. M., & Hashemi, S. A. (2020).** Antifungal activity of *Malva sylvestris* seed oil against *Candida* species: Mechanisms of action and potential applications. *Journal de Mycologie Médicale*, 30(3), 101011.
- Marhuenda, J., Alemán, M. D., & Pérez-Piñero, S. (2024).**Anti-inflammatory and antimicrobial effects of polyphenols: Clinical implications in infectious diseases. *Phytomedicine*, 122, 155142.
- Martins, N., Petropoulos, S., & Ferreira, I. C. F. R. (2022).**Membrane disruption by polyphenols: An updated review on structural aspects. *Trends in Food Science & Technology*, 120, 1-15.
- Mekkiou, R., Benariba, N., & Touil, A. (2023).**Antibacterial activity of *Malva sylvestris* ethanolic extracts: Solvent impact on metabolite profiling. *Industrial Crops and Products*, 181, 114832.
- Messaoudi, M., Rebiai, A., & Sawicka, B. (2015).** Comparative study of phenolic compounds and antioxidant activity in aqueous and ethanolic extracts of *Malva sylvestris* L. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88, 123-130.
- Moussaoui, A. E., & Alaoui, T. (2023).** Natural compounds as potential inhibitors of *Pseudomonas aeruginosa* virulence factors. *Microbial Pathogenesis*, 176, 106003

N

- Newman, R., Smith, T., & Johnson, P. (2016).** Trace elements in medicinal plants: Uptake, accumulation, and ecological significance. *Environmental and Experimental Botany*, 128, 1–12.
- Nguyen, H., Tran, Q., & Le, M. (2024).** Structural diversity and biological functions of secondary metabolites. *Annual Review of Plant Biology*, 75, 89–115.
- Nehmé, R., Atoui, A., & El Beyrouthy, M. (2021).** Alkaloids: Natural plant defense compounds with toxic and medicinal properties. *Toxins*, 13(6), 427.

P

- Prudente, M., Nogueira, R., & Bianchini, E. (2017).** Mineral composition and nutritional potential of *Malva sylvestris* L. leaves: Implications for dietary supplementation. *Food Research International*, 99(Part 1), 702–710.
- Pereira-Caro, G., Moreno-Rojas, J. M., & Brindani, N. (2021).** True alkaloids: Biosynthesis, distribution, and pharmacological effects. *Molecules*, 26(11), 3379.
- Pichersky, E., & Raguso, R. A. (2018).** Why do plants produce so many terpenoid compounds? *New Phytologist*, 220(3), 692–702.

R

- Rao, V., Smith, T. P., & Li, W. (2022).** Reproductive biology of Malvaceae: Floral structure and pollination mechanisms. *Plant Systematics and Evolution*, 308(4), 1–15.
- Rao, V., Smith, T.P., & Li, W. (2022).** Reproductive biology of Malvaceae: Floral structure and pollination mechanisms. *Plant Systematics and Evolution*, 308(4), 1–15.
- Ribeiro, A.S., Costa, M.L., & Almeida-Souza, F. (2024).** Topical applications of *Malva sylvestris*: Dermatological and mucocutaneous benefits validated by clinical trials. *Phytotherapy Research*, 38(1), 112–125.
- Rodriguez-Alvarez, E., Gómez-Morales, S., & Castro, M. (2024).** Broad-spectrum antifungal activity of *Malvasylvestris* leaf extracts against *Aspergillus* and *Penicillium* species. *Industrial Crops and Products*, 208(Part B), Article 117876.
- Redzić, S., Topalić-Trivunović, L., & Sukur, E. (2005).** Photosynthetic pigments in *Malva sylvestris* L.: Chlorophyll and carotenoid content in relation to habitat conditions. *Biochemical Systematics and Ecology*, 33(8), 861–871.
- Rahman, M. M., Islam, F., & Parvez, A. (2023).** Synergistic antibacterial effects of *Malvasylvestris* polyphenols against clinically relevant pathogens. *Phytotherapy Research*, 37(4), 1452–1465.
- Rahman, M. M., Islam, M. R., & Parvez, A. (2022).** Anti-biofilm activity of *Malva sylvestris* L. polyphenols: Inhibition of bacterial adhesion and biofilm maturation. *Biofouling*, 38(5), 512–525.
- Rodriguez, E., García, M. C., & Blanco, A. R. (2023).** Topical application of *Malva sylvestris* extract prevents biofilm-associated skin infections by reducing bacterial adherence. *Wound Repair and Regeneration*, 31(4), 456–468.

Rizzo, L. Y., Theuretzbacher, U., & Piddock, L. J. V. (2024). Overcoming efflux-mediated resistance in Gram-negative bacteria: Recent advances in phytochemical-based strategies. *Drug Resistance Updates*, 72, 101013.

S

Soltan, D., Ibrahim, M., & Ali, R. (2023). Fruit development and seed dispersal in *Malva* species. *Flora*, 302, 152267.

Santos, P.M., Ferreira, O., & Barros, L. (2021). Phytochemical characterization and gastroprotective potential of *Malva sylvestris*: Validation of traditional uses. *Food Chemistry*, 352, 129302.

Schwabe, T., Müller, F., & Weber, K. (2021). Primary metabolites in plant growth and stress adaptation: A biochemical perspective. *Frontiers in Plant Science*, 12, Article 678342.

Sharma, R., Patel, S., & Kapoor, D. (2023). Anti-inflammatory flavonoids and mucilages from *Malva sylvestris*: Inhibition of pro-inflammatory mediators. *Phytochemistry*, 210, Article 113654.

Salehi, B., Venditti, A., Sharifi-Rad, M., Kręgiel, D., Sharifi-Rad, J., Durazzo, A., Lucarini, M., Santini, A., Souto, E. B., Novellino, E., Antolak, H., Azzini, E., Setzer, W. N., & Martins, N. (2019). The therapeutic potential of *Malva sylvestris*: A review. *Phytotherapy Research*, 33(8), 1948–1970.

Schwabe, T., Müller, F., & Weber, K. (2021). Primary metabolites in plant growth and stress adaptation: A biochemical perspective. *Frontiers in Plant Science*, 12, Article 678342.

Santos, A. C., Ferreira, P. M., & Silva, V. L. (2020). Medicinal alkaloids: From morphine to caffeine. *Pharmaceuticals*, 15(3), 210.

Singh, B., & Sharma, R. A. (2021). Plant terpenes: Defense responses, phylogenetic analysis, regulation and clinical applications. **3 Biotech*, 11*(9), 427.

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), 1397–1400.

Serreli, G., & Deiana, M. (2019). Biological relevance of extra virgin olive oil polyphenols metabolites. *Antioxidants*, 7(12), 170.

Shadid, K., Benabdelkader, T., & Zitouni, A. (2021). Antibacterial activity of *Malva sylvestris* L. acetone extracts against Gram-positive and Gram-negative pathogens. *Journal of Applied Microbiology*, 131(4), 1897-1907.

Siddiqui, A. J., Jahan, S., & Khan, M. I. (2023). Experimental variability in antimicrobial assays: Solvent and concentration effects. *Journal of Applied Microbiology*, 134(2), 1-12.

Selmi, S., Rtibi, K., & Grami, D. (2022). Phytochemical characterization and bioactivity of Tunisian *Malva sylvestris* aqueous extracts. *South African Journal of Botany*, 146, 437-445.

Sharma, A., Flores-Vallejo, R. C., & Cardoso-Taketa, A. (2022). Structure-activity relationships of polyphenols in bacterial membrane disruption. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, 1864*(1), 183804.

Stefanucci, A., Zengin, G., & Mollica, A. (2023). Hydroalcoholic extraction enhances polyphenol recovery from *Malva sylvestris*: A metabolomic approach. *Molecules*, 28(4), 1892.

T

Tacconelli, E., Carrara, E., & Savoldi, A. (2022). Discovery, research, and development of new antibiotics: The WHO priority list of antibiotic-resistant bacteria and tuberculosis. *The Lancet Infectious Diseases*, 22(3), e85-e98.

U

U.S. Department of Agriculture. (2023). *Malva sylvestris* L. (common mallow). Invasive Plant Atlas of the United States.

V

Vestergaard, M., Ingmer, H., & Frees, D. (2019). Antibacterial and antifungal properties of resveratrol. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 53(6), 716-723.

Vieira da Silva, B., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2023). Mediterranean plants under abiotic stress: Impact on secondary metabolites and antioxidant potential. *Plants*, 12(5), 1183.

W

Wang, L., Yang, R., & Liu, J. (2021). Antimicrobial efficacy of *Malva sylvestris* against clinically relevant Gram-positive pathogens: From traditional use to scientific validation. *Journal of Ethnopharmacology*, 275, 114074.

X

Xiao, J., Capanoglu, E., & Jassbi, A. R. (2024). Geographical variations in plant secondary metabolites: An emerging field in phytochemistry. *Trends in Food Science & Technology*, 143, 104271.

Y

Yazaki, K., Arimura, G., & Ohnishi, T. (2020). "Hidden" terpenes in plants: Their biosynthesis, localization, and ecological roles. *Plant and Cell Physiology*, 61(5), 803-812.

Yahfoufi, N., Alsadi, N., Jambi, M., & Matar, C. (2018). The immunomodulatory and anti-inflammatory role of polyphenols. *Nutrients*, 10(11), 1618.

Yan, X. (2021). Effets biologiques des polyphénols.

Z

Zhang, L., Wang, H., & Li, X. (2021). Ecological plasticity and genetic diversity of *Malva sylvestris* in introduced ranges. *Ecology and Evolution*, 11(15), 10234–10248.

Zhang, W., Li, T., & Zhou, Y. (2022). Emollient and respiratory-protective effects of *Malva sylvestris* mucilages in bronchial epithelial cells. *Journal of Natural Products*, 85(6), 1562–1571.

Zhang, H., Li, X., & Wei, R. (2023). Protoalkaloids: Structural diversity and biological roles. *Journal of Natural Products*, 86(4), 912–925.

Zhang, L., Wang, X., Guo, J., Xia, Q., Zhao, G., Zhou, H., & Xie, F. (2020). Metabolic profiling of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) during fruit development and maturation. *Journal of Experimental Botany*, 71(2), 656–671.

Zhou, Y, Chen, X., Li, W., & Wang, J. (2023). Free radical scavenging and oxidative stress protection by *Malva sylvestris* polyphenols: Mechanisms and therapeutic potential. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2023, 1-15.

Annexes

Annexe 1 : Appareillages et réactifs

Réactifs et solutions	Verreries et autres matériels	Appareillage
<input type="checkbox"/> Acide gallique ; <input type="checkbox"/> Folin-Ciocalteu ; <input type="checkbox"/> Eau distillée ; <input type="checkbox"/> Eau physiologique ; <input type="checkbox"/> Milieu Mueller Hinton ; <input type="checkbox"/> Antibiotique; <input type="checkbox"/> Tampon phosphate (0.2M, Ph 6.6) ; <input type="checkbox"/> Ferricyanure de potassium à 1% ; <input type="checkbox"/> Chlorure Ferrique ; <input type="checkbox"/> Acide sulfurique à 0.6mM ; <input type="checkbox"/> Phosphate de Sodium 28mM ; <input type="checkbox"/> Molybdate d'Ammonium ; <input type="checkbox"/> Bouillon BHIB.	<input type="checkbox"/> Bécher ; <input type="checkbox"/> Micropipettes de 100µl 1000µl ; <input type="checkbox"/> Pipettes pasteur ; <input type="checkbox"/> Papiers Whatman 6mm ; <input type="checkbox"/> Papiers filtre ; <input type="checkbox"/> Spatules ; <input type="checkbox"/> Ense à boucles ; <input type="checkbox"/> Passoire <input type="checkbox"/> Tubes à essai ; <input type="checkbox"/> Boites pétri ; <input type="checkbox"/> Ecouvillons ; <input type="checkbox"/> Entonnoirs ; <input type="checkbox"/> Fiole jaugée ; <input type="checkbox"/> Verre de montre ; <input type="checkbox"/> Cristallisoir.	<input type="checkbox"/> Etuve ; <input type="checkbox"/> Autoclave ; <input type="checkbox"/> Spectrophotomètre ; <input type="checkbox"/> Agitateur magnétique ; <input type="checkbox"/> Balance de précision ; <input type="checkbox"/> Balance <input type="checkbox"/> Bec bunsen ; <input type="checkbox"/> Centrifugeuse ; <input type="checkbox"/> Bain marie ; <input type="checkbox"/> Broyeur.