

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية
الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistrement

Université de Ghardaïa



كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم التعليم المشترك في العلوم

والتكنولوجيا

Département de tronc communs en sciences et technologies

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine : Sciences de la Matière

Filière : Chimie

Spécialité : Chimie analytique

Thème

**Étude de l'activité antioxydante des extraits des Méthanoïque et
Chloroformique de *Rhamnus alaternus L.***

Présenté par :

☐ BITOUR AMANI MEREIM NAILA

Soutenue publiquement le 16/06/2025

Devant le jury composé de :

Zohra Babaamer Pr. Université de Ghardaia Président

Wassila Benchadi MCA Université de Ghardaia Directrice

Ilias Babaarbi MCB Université de Ghardaia Examineur

Année universitaire 2024/2025

Remerciements

*Tout d'abord, je voudrais exprimer ma profonde gratitude à **Dieu** tout-puissant, source de ma force et de ma persévérance, qui m'a permis d'accomplir cette tâche.*

*Ce mémoire a été réalisé au sein du Laboratoire de Chimie du Département des enseignements communs en Sciences et de la Technologies, de la faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Ghardaïa sous la direction du Docteur **Wassila Benchadi**.*

*Je tiens à remercier sincèrement le docteur **Wassila Bnechadi**, ma directrice de travail, de m'avoir suivi et dirigé tout au long de la réalisation de ce mémoire. Je la remercie aussi pour la confiance qu'elle a placée en moi, pour sa disponibilité permanente, pour sa patience et ses conseils.*

*Je tiens également à exprimer ma gratitude à **Mesdames et Messieurs les membres du jury**, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'évaluer ce travail, ainsi que pour leurs remarques constructives et enrichissante.*

J'exprime également mes remerciements à mes collègues de promotion et amies pour leur amitié et gentillesse pour les bons moments passés ensemble.

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail. J'exprime ma profonde gratitude à vous tous.

*Je remercie **mes parents** pour tout l'amour et le soutien qu'ils m'apportent chaque jour, qui ont cru à moi, m'avoir encouragé et donné la force d'aller jusqu'au bout de mes ambitions.*



Dédicace

À ceux qui ont instillé en moi l'amour de l'apprentissage et du travail, à ceux qui ont constamment été mon appui indéfectible, à mes précieux parents... Je consacre ce mémoire en témoignage de loyauté et de gratitude.

À mes frères qui m'ont grandement aidée,

À Ma famille entière pour leurs prières et leur soutien sans faille.

À ma chère amie Manal, partenaire de voyage et âme attentive qui m'a soutenue à chaque phase de ce cheminement, je t'exprime toute ma gratitude et partage avec toi le résultat de ces efforts.

En mémoire de ma bien-aimée grand-mère, dont les prières, l'affection et le souvenir demeurent une source de force et d'inspiration, que Dieu te fasse bénéficier de Sa miséricorde et t'accueille dans Son immense paradis.

À mes amis(es) sincères, et à tous ceux qui m'ont soutenue, ne serait-ce que par un mot bienveillant...

Je vous dédie humblement ce travail, avec fierté et gratitude.



Abréviations

AcOEt	: acétate d'éthyle
<i>n</i> -BuOH	: <i>n</i> -butanol
CHCl ₃	: chloroforme
DCM	: dichlorométhane
CH ₂ Cl ₂	: dichlorométhane
EtOH	: éthanol
EP	: éther de pétrole
MeOH	: méthanol
Na ₂ SO ₄	: sulfate de sodium
CCM	: chromatographie sur couche mince
VLC	: chromatographie liquide sous vide
SiO ₂	: gel de silice normale
UV	: ultra-violet
λ	: longueur d'onde exprimée en nm

Liste de figures

Numéros	Titre	Page
Figure I.1	Feuilles, Fleurs et Fruits de la famille des Rhamnaceae	4
Figure I.2	Monographies des différentes espèces de <i>Rhamnus</i> dans le monde	10
Figure I.3	Monographies des différentes espèces de <i>Rhamnus</i> , en Algérie	11
Figure I.4	Répartition écologique des grandes zones bioclimatiques en Algérie. <i>Les zones de présence de l'espèce Rhamnus alaternus</i>	12
Figure I.5	Composés chimiques isolés de <i>R. alaternus</i>	14
Figure I. 6	Structures chimiques des composés identifiés : (A) Quercitrine, (B) Rutoside	14
Figure II. 1	Structure général des composés phénoliques	17
Figure II.2	Structure générale des substances simple	17
Figure II. 3	Structure général des coumarines simple	20
Figure II. 4	Structure général de quelques coumarines complexes	20
Figure II.5	Structure générale des flavonoïdes	21
Figure II. 6	Flavonoïdes et ses isomères naturels	22
Figure II. 7	Structures caractéristiques des tannins hydrolysables	24
Figure II.8	Représentation schématique du tannin procyanidé lié principalement en C4-C8	25
Figure II.9	Structure chimique de l'unité isoprène (C ₅ H ₈)	25
Figure II.10	Structure de certains hémiterpénoïdes	27
Figure II.11	Structure de certains monoterpénoïdes	28

Figure II.12	Structures de quelques sesquiterpénoïdes	28
Figure II.13	Structures de quelques diterpénoïdes	29
Figure II.14	Structures de quelques triterpénoïdes	30
Figure II.15	Structures de quelques tétraterpénoïdes	30
Figure II.16	Structures de quelques polyterpénoïdes	31
Figure II.17	Structures de quelques Vrais alcaloïdes	32
Figure II.18	Structures de quelques Proto-alcaloïdes	32
Figure II.19	Structures de quelques pseudo-alcaloïde	33
Figure III. 1	L'extraction et évaporation de la poudre de <i>Rhamnus alaternus</i> L.	36
Figure III. 2	Schéma général d'extraction des racines de l'espèce <i>Rhamnus alaternus</i> L	37
Figure III. 3	Une extraction liquide/liquide de chloroforme	37
Figure III. 4	Une extraction liquide/liquide par méthanol	38
Figure III. 5	Etape d'enrobage et l'extrait de chloroforme par le VLC	39
Figure III.6	Etape d'enrobage et l'extrait de méthanol par le VLC	41
Figure III. 7	CCM des VLC des extraits	42
Figure III.8	CCM des VLC des extraits	42
Figure III.9	Réduction du radical DPPH	44
Figure III.10	Courbe d'étalonnage pour l'extrait de méthanol	46
Figure III.11	Courbe d'étalonnage pour l'extrait de chloroforme	48

Liste des tableaux

Numéro du tableau	Titre du tableau	Page
Tableau I. 1	Classification phylogénétique	12
Tableau II. 1	Les structures d'Acide benzoïque	18
Tableau II. 2	Les structures d'Acide hydroxycinnamiques	19
Tableau II. 3	Différentes classes des flavonoïdes	22
Tableau II. 4	Classification des terpènes	26
Tableau III. 1	Rendements d'extraction (en %) obtenus pour les extraits méthanolique et chloroformique de <i>Rhamnus alaternus</i>	38
Tableau III. 2	Progression de la VLC de l'extrait CHCl ₃	40
Tableau III. 3	Tableau des fractions - extrait méthanoïque	42
Tableau III. 4	Les résultats de Screening phytochimique	45
Tableau III. 5	Résultats obtenus pour l'extrait de méthanol	47
Tableau III. 6	Résultats obtenus pour l'extrait de chloroforme	48

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction.....	1
--------------------------	----------

CHAPITRE I : Rappel Bibliographique

I-1-Plantes sahariennes.....	3
I-2-La famille des Rhamnaceae.....	3
I-2-1- Généralités.....	3
I-2-2-La position systématique.....	3
I-2-3-Description botanique.....	4
I-2-4-La répartition géographique.....	5
I-2-5-Propriétés biologiques.....	5
I-2-6-Utilisations traditionnelles et intérêt.....	5
I-2-7-L'étude chimique.....	6
I-3-Présentation du genre <i>Rhamnus</i>	7
I-3-1-Généralités.....	7
I-3-2-Position systématique.....	7
I-3-3-Description botanique du genre <i>Rhamnus</i>	7
I-3-4-Distribution géographique.....	8
I-3-5- <i>Rhamnus</i> en médecine traditionnelle.....	8
I-3-6-Étude chimique antérieure.....	8
I-3-7-Étude biologique antérieure.....	9
I-3-8-Les espèces du genre	9
I-3-9-Nomenclature du <i>Rhamnus alaternus</i> L.....	12
I-3-10-Écologie du genre <i>Rhamnus</i>	12
I-3-11-Études phytochimiques antérieures.....	13

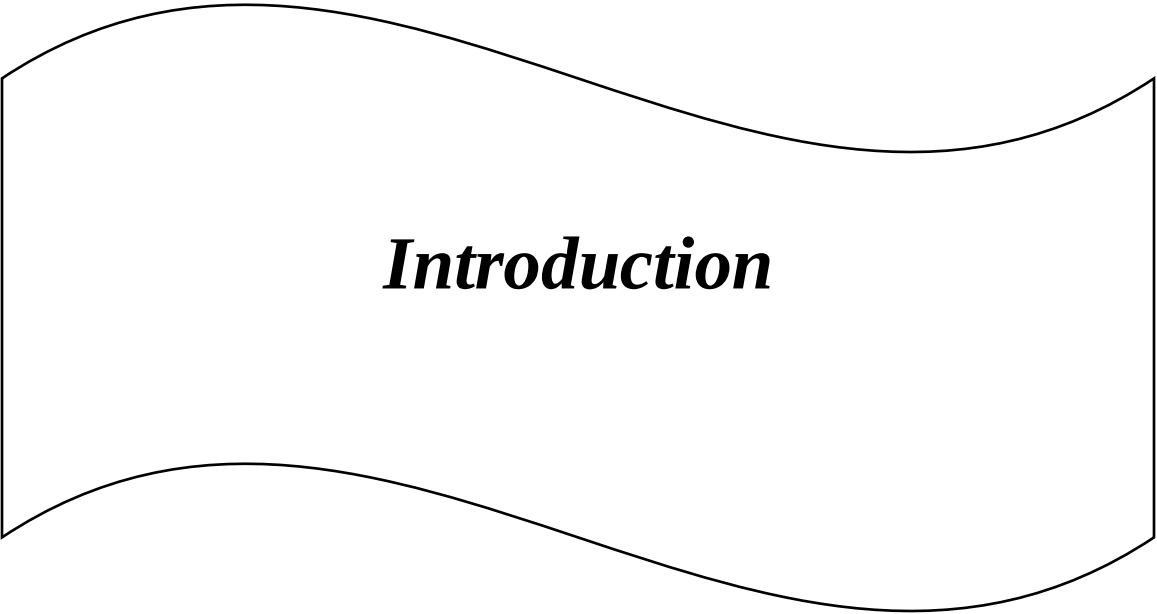
CHAPITRE II : Métabolites secondaires

II-1- Définition.....	15
II-2- Classification.....	16
II-2-1- Les composés phénoliques.....	16
II-2-1-1- Classification des composés phénoliques.....	17
II-2-1-1-a- Phénols simples.....	17
II-2-1-1-b- Polyphénols.....	20
II-2-2- Les terpènes.....	25
II-2-2-1-Classification des terpènes.....	25
II-2-3- Les alcaloïdes.....	31
II-2-3-1- Classification des alcaloïdes.....	32

CHAPITRE III : Travaux personnels

III-1- Chimie extractive.....	34
III-1-1- Chromatographie sur couche mince (CCM).....	34
III-1-2- Chromatographie liquide sous vide (VLC).....	34
III-1-3- Chromatographie sur colonne ouverte (CC).....	34
III-2-Matériel végétal.....	35
III-2-1-Récolte de la plante <i>Rhamnus alaternus</i> L.....	35
III-2-2- Description botanique de l'espèce <i>Rhamnus alaternus</i> L.....	35
III-2-3- Conservation des échantillons.....	35
III-3-Méthodes d'extraction.....	35
III-3-1-Définition de l'extraction.....	35
III-3-2- Préparation d'extraits de la plante.....	36
III-3-2-1-Macération.....	36
III-3-2-2- Extraction liquide-liquide (LLE).....	36
III-3-2-3- Rendement d'extraction.....	38
III-4- Séparation et purification.....	39
III-4-1-Fractionnement et purification de l'extrait chloroformique.....	39
III-4-2-Fractionnement et purification de l'extrait méthanolique.....	41

III-5-Contrôle chromatographique des fractions (CCM).....	42
III-6- Analyse phytochimique qualitative.....	45
III-7- Activité antioxydante.....	45
III-7-1-Principe du test du DPPH.....	46
III-7-2-Evaluation de l'activité antioxydante des extraits.....	46
III-7-3-Mode d'opérateur.....	47
Conclusion.....	49
Références bibliographiques.....	50
Résumé.....	60
ملخص.....	61



Introduction

Introduction

Dans les pays en voie de développement, entre 70 et 95% de la population utilise des plantes médicinales pour les soins de santé de base, non seulement à cause du manque d'accès aux médicaments contemporains, mais aussi grâce à l'efficacité prouvée de ces végétaux via une utilisation traditionnelle ancienne [1].

Dans ce contexte, les métabolites secondaires des plantes revêtent une importance particulière. Ce sont des composés naturels qui ne sont pas nécessaires à la croissance immédiate de la plante, mais qui jouent un rôle essentiel dans son adaptation à l'environnement et ses mécanismes de défense. Ces composés ont démontré leur efficacité biologique grâce à diverses activités, notamment des propriétés antioxydantes, antimicrobiennes et anti-inflammatoires [2].

Le genre *Rhamnus* contient plusieurs espèces végétales dont certaines sont des plantes médicinales [3]. Les membres de ce genre sont présents dans le bassin méditerranéen : *Rhamnus alaternus* notamment en Afrique du Nord et plus précisément en Algérie sous le nom localement identifié tel que Mliles, Amliles ou Oud el khir [4]. Cette plante a été utilisée depuis longtemps dans la médecine traditionnelle pour protéger le foie, la peau et le système digestif [5].

Le genre *Rhamnus* présente une grande diversité structurale dans les principaux composés bioactifs, y compris les composés phénoliques notamment les flavonoïdes, les triterpènes alcaloïdes [6].

Les activités de recherche passent par la récolte et l'identification des espèces végétales présentant un intérêt en médecine traditionnelle en particulier, l'extraction de la matière végétale, l'isolement des biomolécules, leur caractérisation par les différentes méthodes.

Notre étude se concentre sur l'analyse phytochimique de la plante *Rhamnus alaternus* et l'évaluation de son activité biologique tel que l'activité antioxydante, Ce travail de mémoire est subdivisé en trois chapitres :

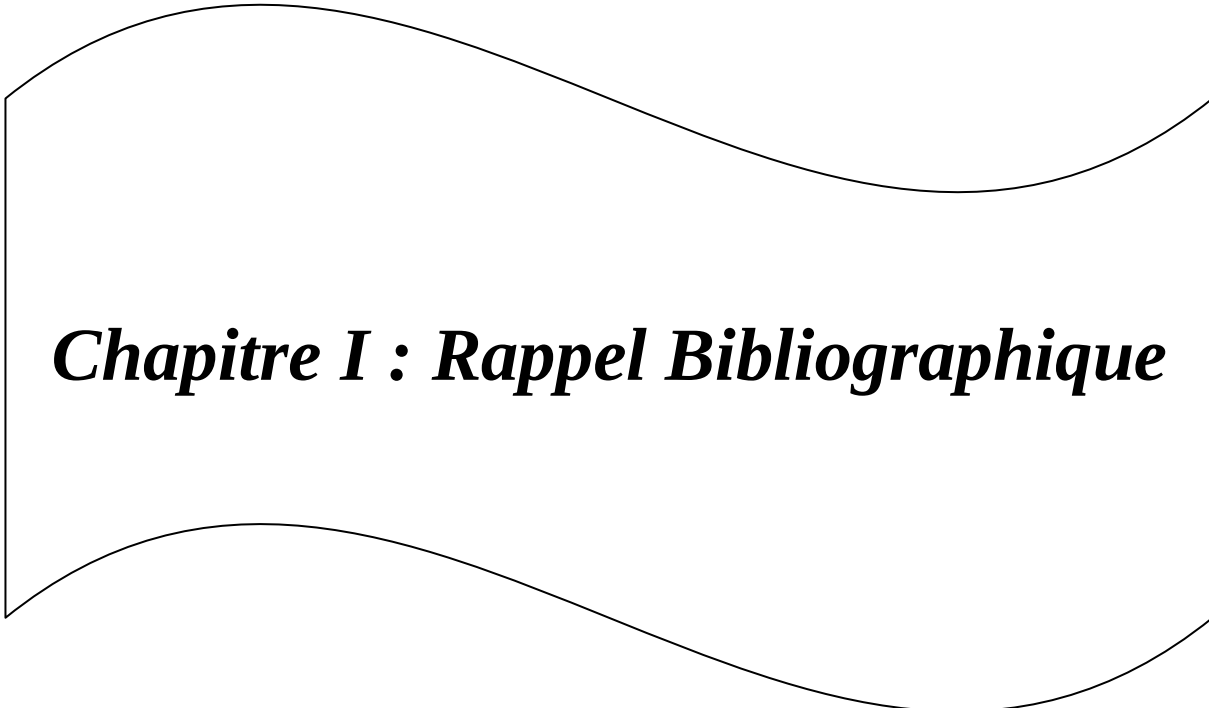
Le premier chapitre présente une recherche bibliographique, comportant une présentation botanique et phytochimique de la famille des Rhamnaceae et du genre *Rhamnus*.

Le deuxième chapitre apporte une synthèse bibliographique sur les différentes classes de métabolites secondaires les plus connus avec leurs propriétés biologiques.

Le troisième chapitre consiste :

- ✓ Les matériaux et les méthodes utilisés. Il aborde spécifiquement l'étude phytochimique des extraits provenant de notre plante, ainsi que sur l'évaluation de leur activité antioxydante.
- ✓ Une discussion des résultats obtenus, les résultats de l'étude phytochimique ainsi que l'évaluation de l'activité biologique seront interprétés.

Ce travail a été terminé par une conclusion générale.



Chapitre I : Rappel Bibliographique

I-1-Plantes sahariennes

Les plantes du Sahara sont un groupe d'espèces végétales adaptées aux conditions climatiques sèches des régions désertiques. Ces plantes se caractérisent par des mécanismes d'adaptation spécifiques, tels qu'une faible surface d'évaporation, un faible stockage d'eau dans les tissus, un cycle végétatif, un système racinaire très développé et une tolérance accrue à la salinité. Ces stratégies les aident à survivre au stress hydrique et thermique [7].

I-2-La famille des Rhamnaceae**I-2-1- Généralités**

Les Rhamnaceae sont une famille presque cosmopolite de 61 genres d'arbres, d'arbustes et de vignes contenant environ 900 espèces [8].

En Algérie, les Rhamnaceae sont divisées en 9 genres, 3 genres, classés selon des caractères morphologiques. La famille est particulièrement diversifiée dans les régions tempérées, certaines espèces étant adaptées aux sols secs [9].

C'est une famille qui présente de nombreuses différences morphologiques, car elle est présente dans de nombreuses régions différentes. Mais les plantes de cette famille ont certaines choses en commun [10].

I-2-2-La position systématique

La famille des Rhamnaceae se caractérise par la classification suivante [11]:

- Règne : Planta
- Sous-règne : Tracheobionta
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Magnoliopsida
- Ordre : Rhamnales
- Famille : Rhamnaceae

I-2-3-Description botanique de la famille des Rhamnaceae (Les Rhamnacées) :

La famille des Rhamnaceae fait partie du groupe des Eudicots et sa classification s'établit comme suit [12] **Figure (I. 1)** :

- Type de plantes : Arbres, arbustes, plantes grimpantes et parfois herbacées.
- Caractéristiques des tiges : Certaines espèces possèdent des épines ou des perchoirs.
- Feuilles : Simples. Alternes ou opposées.
- Fleurs : De petite taille. Présence de pétales, mais parfois absents.
- Fruits : Généralement en forme de drupe. Ressemblent à la pulpe du lotus.
- Répartition géographique : Présentes dans différentes régions du monde. Majoritairement dans les zones tropicales.
- Utilisations : Production de médicaments. Fabrication de colorants. Production de fruits et de bois.



Figure I.2 : Feuilles, Fleurs et Fruits de la famille des Rhamnaceae

I-2-4-La répartition géographique

La famille des Rhamnaceae contient environ 900 espèces réparties dans 58 genres à travers le monde [13].

Cette famille est presque cosmopolite et se retrouve particulièrement dans les régions tropicales. Certaines espèces se trouvent également dans des zones arides caractérisées par des sols calcaires [7].

Dans le nord-ouest de l'Europe, on ne trouve que deux genres, comprenant quatre espèces. Les espèces les plus communes sont *Frangula alnus* et *Rhamnus catharticus*, qui sont les plus communes dans cette région [13].

D'autres espèces, telles que *Rhamnus alaternus* et *Rhamnus saxatilis*, sont plus répandues dans le sud et le centre de l'Europe, avec quelques occurrences limitées dans les régions du nord-ouest [13].

En Algérie, neuf espèces de Rhamnaceae, appartenant à trois genres différents, ont été observées et classées selon leurs caractéristiques morphologiques [7].

I-2-5-Propriétés biologiques de la famille

En raison de la diversité de leurs métabolites secondaires, les Rhamnaceae sont bien connues pour leurs multiples propriétés biologiques. Ces propriétés comprennent des effets antioxydants, anti-inflammatoires, antibactériens et laxatifs [14-15].

L'une des espèces les plus utilisées, *Rhamnus alaternus*, possède une activité antioxydante remarquable en raison de sa forte concentration en composés phénoliques, notamment en flavonoïdes et en anthraquinones. La recherche a démontré son efficacité dans l'élimination des radicaux libres, la réduction du stress oxydatif, ainsi que son potentiel antiprolifératif et antimutagène [14-15].

I-2-6-Utilisations traditionnelles et intérêt

La famille des Rhamnaceae regroupe environ 900 espèces réparties dans plus de 50 genres. Elle est largement représentée dans les régions tempérées et tropicales, notamment dans les écosystèmes méditerranéens [16].

En Afrique du Nord, plusieurs de ses espèces sont utilisées depuis l'Antiquité pour leurs vertus thérapeutiques, mais aussi pour leurs applications économiques et écologiques [17].

Depuis des siècles, les plantes de cette famille ont été utilisées dans la médecine populaire à travers plusieurs régions du monde. Dans les pays du Maghreb, tels que l'Algérie, le Maroc et la Tunisie, certaines espèces jouent un rôle important dans le traitement des affections courantes : *Ziziphus lotus* et *Paliurus spina-christi* sont employés localement contre les troubles digestifs, l'hypercholestérolémie et les infections cutanées [18].

Rhamnus alaternus, quant à lui, est utilisé comme purgatif et dépuratif, particulièrement dans les zones rurales [19].

Les feuilles et les fruits sont souvent administrés sous forme de décoctions ou appliqués localement selon l'affection traitée [20].

En Espagne, notamment dans la région de Navarre, *Rhamnus alaternus* est utilisé traditionnellement comme antihypertenseur, pris à jeun sous forme de tisane, ainsi que pour stimuler la digestion [21].

Dans la médecine arabo-musulmane ancienne, des espèces telles que *Ziziphus spina-christi* étaient utilisées pour leurs propriétés anti-inflammatoires, sédatives et cicatrisantes, particulièrement dans le traitement des infections respiratoires et des blessures légères [22].

I-2-7-L'étude chimique

Les études phytochimiques réalisées sur les Rhamnaceae ont révélé la présence d'une grande variété de composés : flavonoïdes, anthraquinones, tanins et anthrones. Ces métabolites secondaires sont responsables de nombreuses propriétés biologiques et sont également utilisés comme colorants naturels [23,24].

Historiquement, les fruits de plusieurs espèces de *Rhamnus* ont été utilisés comme source de colorants pour la teinture et la peinture [25].

Ces caractéristiques sont principalement attribuées à la présence de composés tels que les anthraquinones, les anthrones et les flavonoïdes. Ces derniers contiennent des noyaux actifs (cétophénolate, diphénolate, catéchol) qui permettent la formation de complexes de coordination avec les ions métalliques [23,24].

I-3-Présentation du genre *Rhamnus*

I-3-1-Généralités

Le genre *Rhamnus* appartient à la famille des Rhamnaceae et comprend environ 100 espèces d'arbustes présents dans diverses régions du monde. Ces espèces sont traditionnellement utilisées en médecine populaire dans des régions telles que l'Asie de l'Est, l'Amérique du Nord et du Sud et les régions tropicales d'Afrique pour traiter diverses maladies telles que le cancer, la jaunisse, le paludisme, les infections, l'hypertension artérielle, les maux d'estomac et les morsures de serpent [26].

Les fruits de *Rhamnus* contiennent des composés chimiques importants tels que des flavonoïdes et des anthraquinones, qui ont des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et cicatrisantes, ainsi que des activités antibactériennes, antimutagènes et antitumorales [27].

I-3-2-Position systématique

Le genre *Rhamnus*, communément appelé Nerprun, appartient à la famille des Rhamnacées et se classe dans le système taxonomique de la manière suivante :[12]

- Règne : Plantae
- Phylum : Tracheophyta
- Classe : Magnoliopsida
- Ordre : Rosales
- Genre : *Rhamnus*
- Famille : Rhamnaceae

I-3-3-Description botanique du genre *Rhamnus*

Le genre *Rhamnus*, appartenant à la famille des Rhamnaceae, comprend plus d'une centaine d'espèces d'arbustes ou de petits arbres, parfois épineux [28].

Les feuilles sont simples, opposées ou alternes, ovales à elliptiques, parfois dentées, persistantes ou caduques. Les fleurs sont petites et verdâtres, bisexuées ou unisexuées, généralement 4 ou 5 pièces, les fleurs fleurissent au printemps. Les fruits sont de couleur rouge, devenant noirs à maturité, et contiennent une ou plusieurs graines [7].

I-3-4-Distribution géographique

Le genre *Rhamnus*, appartenant à la famille des Rhamnaceae, est largement réparti dans les régions tempérées et subtropicales de l'hémisphère nord. Il regroupe environ 125 espèces d'arbustes et de petits arbres. Sa répartition couvre l'Europe, l'Asie de l'Est, l'Amérique du Nord, la Chine ainsi que l'Afrique du Nord. Sa présence est particulièrement marquée dans le bassin méditerranéen, où certaines espèces se sont adaptées à des conditions arides et salines [7].

I-3-5-*Rhamnus* en médecine traditionnelle

Le genre *Rhamnus* comprend environ 137 espèces utilisées en médecine traditionnelle dans des régions telles que l'Asie de l'Est, l'Amérique du Nord et du Sud et l'Afrique subtropicale. Il est utilisé pour traiter diverses maladies telles que le cancer, les plaies, la jaunisse, l'hépatite et le paludisme. Ce genre contient des composés tels que les anthraquinones et les flavonoïdes, qui ont des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et cicatrisantes [26].

I-3-6-Étude chimique antérieure

Historiquement, les fruits de plusieurs espèces de *Rhamnus* (nerprun) ont été utilisés comme source de colorants naturels pour la teinture et la peinture [29, 30].

Ces caractéristiques sont principalement attribuées à la présence de composés tels que les anthraquinones, les anthrones et les flavonoïdes. Ces derniers contiennent des sites actifs, tels que les noyaux cétophénolate, diphénolate et catéchol, qui favorisent la formation de complexes de coordination avec les ions métalliques [30, 31].

Des molécules comme la quercétine, la cyanidine et la lutéoline sont connues pour présenter ce type de comportement [30].

Les fruits verts étaient utilisés pour produire un colorant jaune, tandis que les fruits mûrs servaient à fabriquer un pigment vert appelé « vert de sève », dérivé principalement de *Rhamnus*

frangula. Historiquement, ce pigment, conservé dans des contenants naturels, était utilisé pour les peintures à l'eau, bien qu'il soit instable à la lumière [32].

I-3-7-Étude biologique antérieure du genre

Le genre *Rhamnus*, appartenant à la famille des Rhamnaceae, regroupe plus d'une centaine d'espèces d'arbustes ou d'arbres généralement à feuilles persistantes ou caduques. Ces espèces sont largement répandues dans les régions tempérées et subtropicales du monde entier [33].

Plusieurs d'entre elles sont utilisées traditionnellement pour leurs vertus thérapeutiques, notamment en raison de leurs propriétés purgatives, anti-inflammatoires, antimicrobiennes et antioxydantes [34].

I-3-8-Les espèces du genre *Rhamnus*

Le genre *Rhamnus* comprend de nombreuses espèces réparties à travers le monde, dont certaines ont été particulièrement investiguées en raison de leur intérêt pharmacologique ou de leur adaptation écologique. Parmi elles, certaines sont bien représentées en Algérie.

A-Espèces les plus étudiées dans le monde

↳ *Rhamnus cathartica* L.

Connue sous le nom de « nerprun purgatif » ou *common buckthorn*, cette espèce originaire d'Europe et d'Asie est largement documentée pour ses fruits riches en anthraquinones aux propriétés laxatives puissantes [35].

Elle est utilisée historiquement comme purgatif naturel, bien que son usage prolongé puisse entraîner des effets secondaires, notamment hépatotoxiques [36].

↳ *Rhamnus frangula*

Appelée aussi « nerprun bourdaine » ou *alder buckthorn*, cette espèce produit une écorce utilisée comme laxatif doux grâce aux anthraglycosides [37].

Elle présente également des activités antioxydantes et antimicrobiennes [38]. C'est un arbuste caduc (2–5 m) aux branches alternes, au feuillage vert brillant devenant jaune à l'automne, avec des fruits passant du rouge vif au pourpre foncé [38].

✍ *Rhamnus alpina* L

Cet arbuste non épineux possède des feuilles lancéolées pouvant atteindre 13 cm de longueur, avec 10 à 15 paires de nervures latérales bien marquées [44].

Ces trois espèces sont parmi les plus documentées dans la littérature scientifique, tant sur les plans phytochimique que pharmacologique, **Figure (I.02)**, [39].

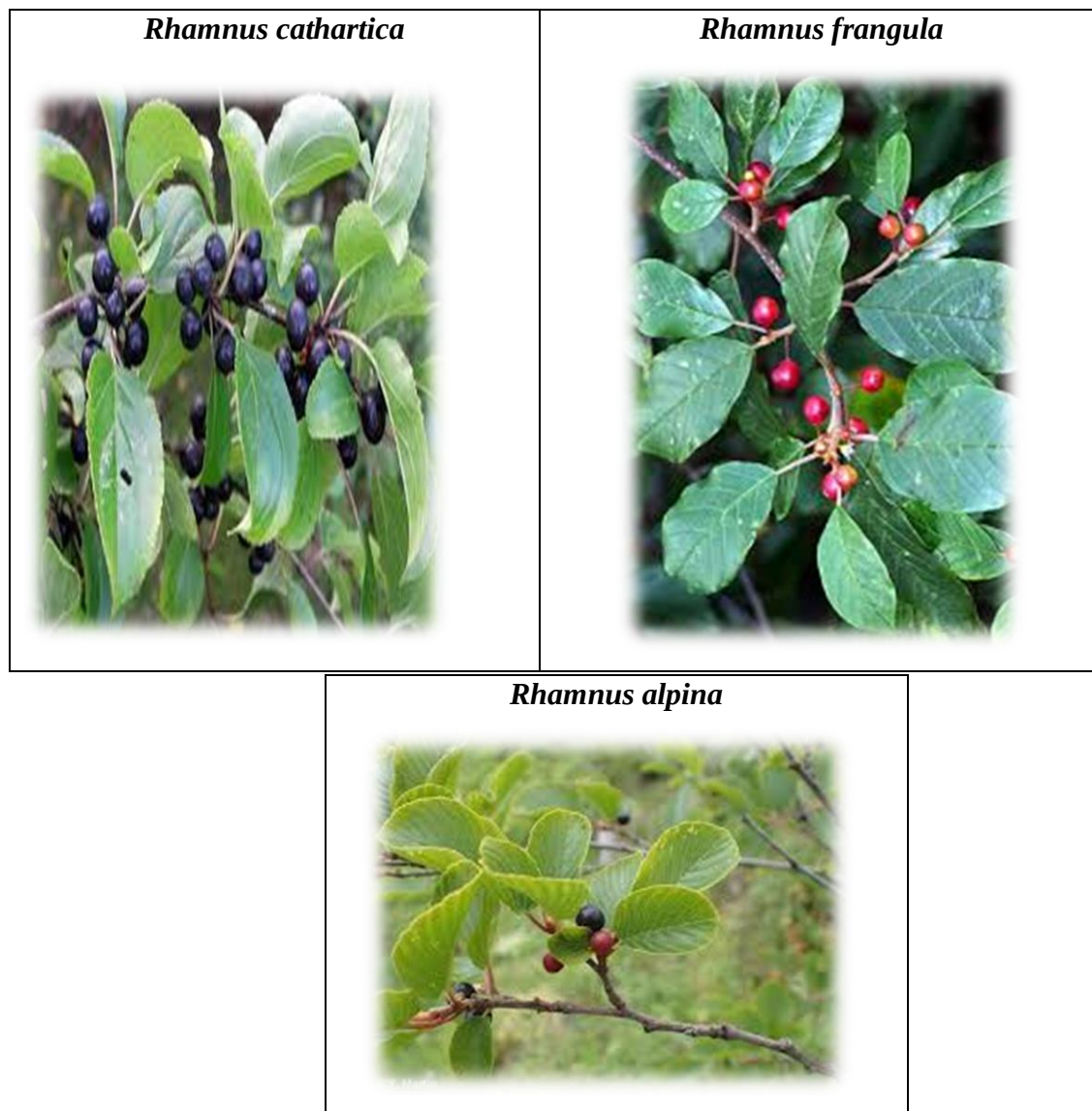


Figure I.2 : Monographies des différentes espèces de *Rhamnus* dans le monde

B-Espèces les plus répandues en Algérie**☞ *Rhamnus alaternus* L.**

Espèce très commune dans les zones côtières et semi-arides du nord de l'Algérie, connue localement sous le nom de *mlilis*. Elle est utilisée en médecine traditionnelle pour le traitement des troubles digestifs et comme antiseptique [7]. Des études récentes ont montré son activité antibactérienne [41].

☞ *Rhamnus lycioides* L.

Arbuste résistant à la sécheresse, il se développe dans des milieux secs et rocailleux, notamment dans les régions du sud-est marocain (Er Rachidia, Boudenib, Bou Anane) et divers massifs d'Afrique du Nord. Il atteint 4 à 8 mètres, avec de grandes feuilles glabres, des fleurs vertes à quatre pétales, et des fruits jaunâtres à maturité [44].

Longtemps considéré comme une sous-espèce, il est aujourd'hui reconnu comme espèce distincte pour des raisons morphologiques et écologiques [42]. Il présente un intérêt écologique et ses fruits contiennent des composés antioxydants [43].

Ces espèces contribuent significativement à la biodiversité locale, bien que leurs potentialités biologiques soient encore peu explorées comparativement aux espèces européennes [40], **Figure (I.03)**.

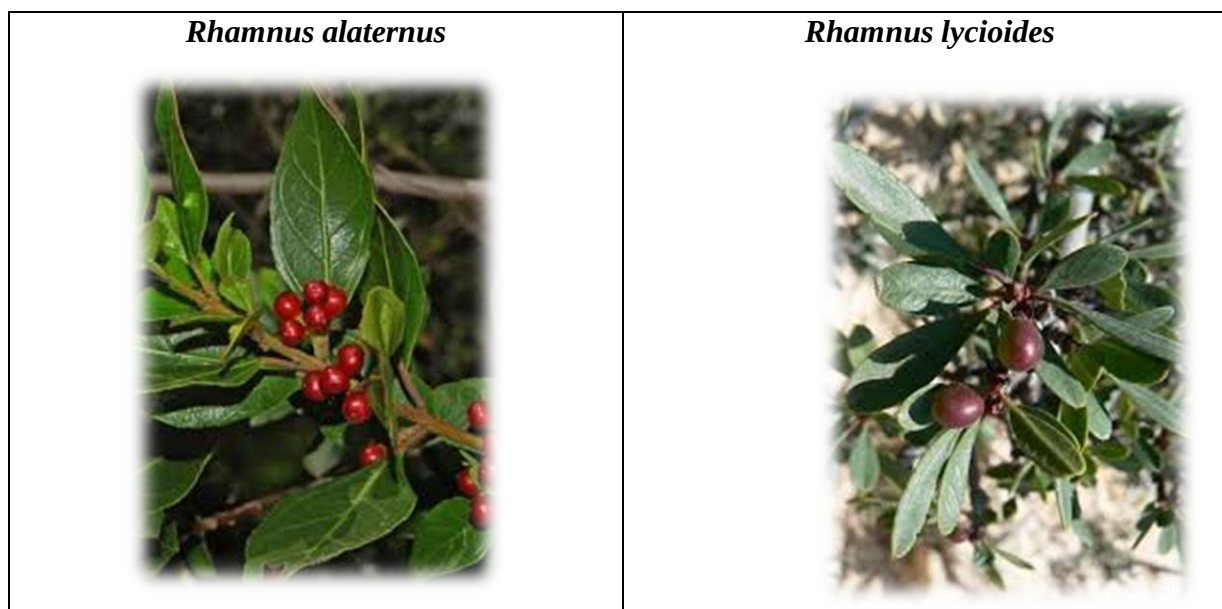


Figure I. 3 : Monographies des différentes espèces de *Rhamnus*, en Algérie

Rhamnus alaternus est une espèce végétale d'origine méditerranéenne qui s'adapte particulièrement bien aux environnements allant des zones humides aux régions semi-arides. En Algérie, sa présence est principalement observée dans trois types de milieux :

- Les zones côtières et telliennes (représentées en vert sur la carte), qui offrent un climat propice à son développement ;
- Les massifs montagneux au climat subhumide (zones rouge/rose), où les conditions météorologiques restent favorables ;
- Une portion des hauts plateaux (en jaune), où malgré un climat plus rude, les températures et l'humidité demeurent compatibles avec sa croissance. **Figure (I.04)**

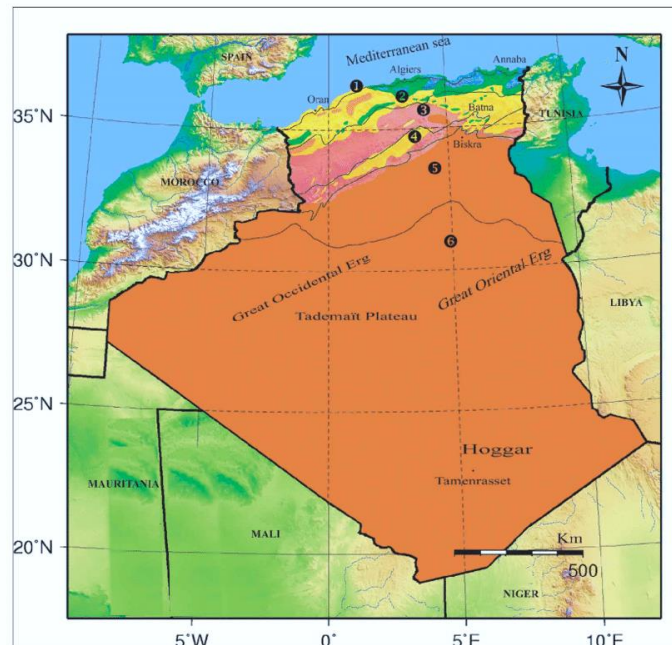


Figure I.4 : Répartition écologique des grandes zones bioclimatiques en Algérie.

*Les zones de présence de l'espèce *Rhamnus alaternus**

I-3-9-Nomenclature du *Rhamnus alaternus* L

Rhamnus alaternus est connu sous plusieurs appellations vernaculaires, aussi bien locales qu'internationales. En arabe, il porte des noms tels que : Am'lile'ce, M'lila, Soitfaïr, Oud El-khir ou encore Safir [14, 25].

En kabyle, il est désigné par le nom Mélilés [14, 25]. En anglais, la plante est connue sous le nom de Buckthorn, en français sous celui de Nerprun, en allemand Kreuzdorn, en espagnol Aladierna, Cosco Unia, ou Sanguino de Andalucia, et en italien Alaterno ou Legno Puzzo **Tableau (I.01), [46]**.

Tableau I .1 : Classification phylogénétique [47]

Taxon	Nom
Domaine	Eucaryote
Règne	Végétal
Sous règne	Plante vertes
Classe	Magnoliopsida
Sous classe	Rosaceae
Ordre	Rosale
Sous Ordre	Rhamnale
Famille	Rhamnaceae
Genre	<i>Rhamnus</i>
Espèce	<i>Rhamnus Alaternus</i> L.

I-3-10-Écologie du genre *Rhamnus*

Le genre *Rhamnus* est principalement présent dans les régions tempérées et subtropicales de l'hémisphère nord, notamment en Asie de l'Est, en Amérique du Nord, en Chine ainsi que dans le bassin méditerranéen. Certaines espèces telles que *R. alaternus* et *R. oleoides* sont présentes en Afrique du Nord et dans le sud de l'Europe. Ces arbustes s'installent volontairement sur les sols calcaires, les pentes rocheuses, les berges d'oueds ainsi que dans les garrigues sèches. Ce genre est reconnu pour sa tolérance à la sécheresse et sa capacité d'adaptation aux environnements pauvres et arides. Il a d'ailleurs donné son nom à la famille des Rhamnaceae, à laquelle appartiennent également d'autres genres tels que *Ceanothus* et *Ziziphus* (le jujubier) [48].

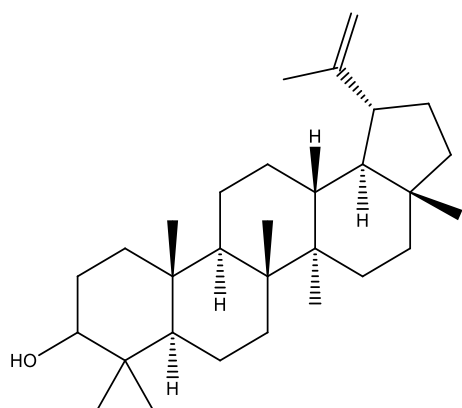
I-3-11-Études phytochimiques antérieures sur le genre *Rhamnus*

Le genre *Rhamnus* attire beaucoup l'attention des chercheurs grâce à sa teneur élevée en métabolites secondaires possédant des activités biologiques intéressantes [49].

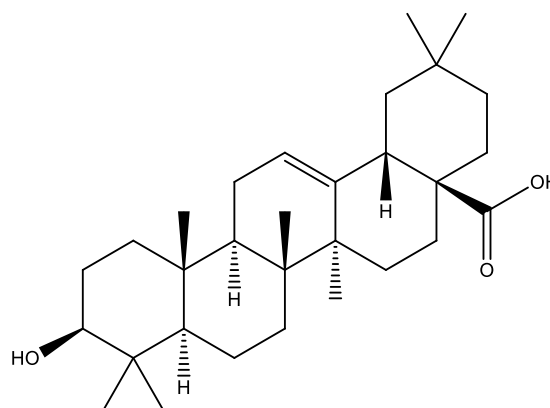
Le criblage phytochimique des extraits bruts de *Rhamnus alaternus* a révélé une richesse en métabolites secondaires, notamment des terpénoïdes, phénols, flavonoïdes et quinones, présents dans tous les extraits analysés.

Il est également bien documenté que plusieurs espèces du genre *Rhamnus* (*R. alaternus*, *R. fallax*, *R. intermedia*, *R. pumila*, *R. catharticus*, *R. orbiculatus*, *R. saxatilis*, *R. frangula* et *R. alpinus*) produisent des quantités élevées de flavonoïdes, anthraquinones et composés phénoliques, reconnus pour leurs activités biologiques et pharmacologiques variées, **Figure (I. 5)**, [50].

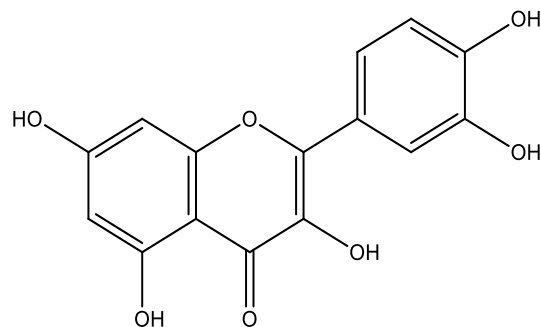
Par ailleurs, chez *Frangula alnus* (anciennement classifiée sous le nom de *Rhamnus frangula*), divers composés phénoliques ont été isolés et identifiés, notamment la quercitrine, la quercétine et le rutoside, témoignant du fort potentiel antioxydant de cette espèce, **Figure (I. 6)** [51].



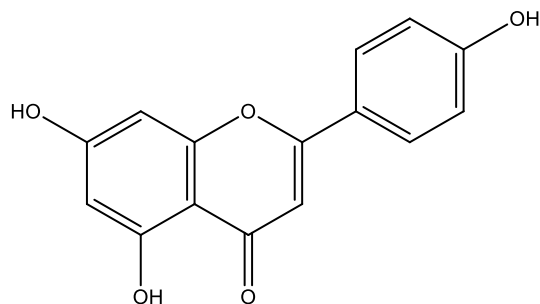
Lupeol



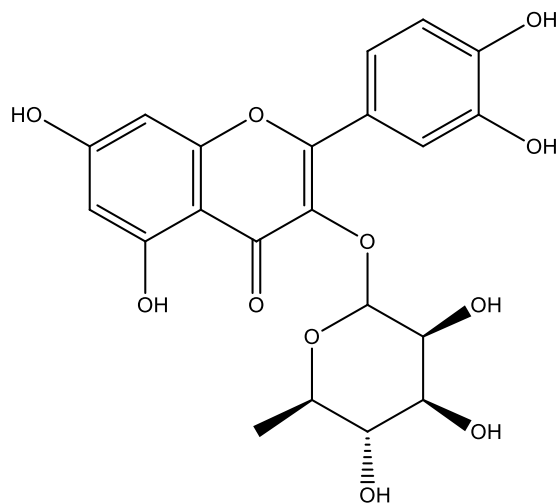
Acide oleanolique



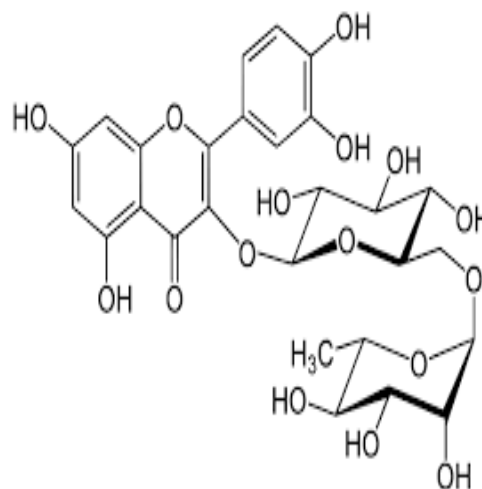
Quercetine



Apigenine

Figure I. 5 : Composés chimiques isolés de *R. alaternus*

(A) Quercitrine



(B) Rutoside

Figure I. 6 : Structures chimiques des composés identifiés : (A) Quercitrine, (B) Rutoside

***Chapitre II : Les métabolites
secondaires de la plante***

II-1-Définition aux métabolites

Les métabolites sont les produits intermédiaires ou finaux du métabolisme et sont principalement constitués de petites molécules telles que les acides aminés, les sucres et les lipides. Ils jouent un rôle essentiel dans la production d'énergie, la formation de structures cellulaires, la transmission du signal, la régulation des enzymes et la défense contre d'autres organismes [52].

Les métabolites sont de petites molécules produites lors de processus métaboliques naturels et synthétiques, à travers des réactions de phase I (comme l'oxydation) ou de phase II (comme la glucuronidation). Ils jouent un rôle crucial dans les processus biologiques, affectant les cellules invasives, dormantes et prolifératives. Certains métabolites sont utilisés dans le développement de nouveaux médicaments en raison de leur efficacité et sécurité [53].

Il existe deux types principaux de métabolites que l'on peut distinguer :

- **Les métabolites primaires** : Les métabolites primaires sont des biomolécules essentielles à la fonction métabolique, à la croissance et au développement des organismes vivants. Il s'agit notamment des éléments constitutifs des acides aminés, des glucides, des lipides, des vitamines et des acides nucléiques. Ils sont principalement présents dans les plantes, remplissent des fonctions énergétiques et sont des précurseurs de métabolites secondaires [54].
- **Les métabolites secondaires** : Le concept de métabolites secondaires a été introduit pour la première fois par Kossel, qui les a distingués des métabolites primaires. Trente ans plus tard, Czapek a apporté une contribution importante en proposant que ces composés soient formés par des modifications chimiques telles que la désamination au cours du métabolisme de l'azote [55].

Les métabolites secondaires ne participent pas à la croissance des organismes, mais ils favorisent leur adaptation à l'environnement. Bien qu'ils ne soient pas essentiels à la survie immédiate, ils peuvent affecter la longévité. Issus du métabolisme primaire, ils servent parfois de réserves de carbone et d'azote qui peuvent être mobilisées en cas de besoin [56].

Les métabolites secondaires protègent les plantes et attirent les pollinisateurs. Bien qu'ils soient présents en petites quantités, ils ont une énorme importance médicinale et commerciale. Ils

sont classés selon leur structure chimique et sont utilisés dans les cosmétiques, l'agriculture et la fabrication de peintures [57].

II-2- La classification des métabolites secondaires

Les métabolites secondaires sont divisés en 3 grandes classes : notamment les composés phénoliques, les terpènes et les alcaloïdes. Chaque catégorie comprend une grande variété de molécules aux activités biologiques multiples. Ces composés jouent un rôle important dans la biologie humaine et sont étudiés pour leurs diverses applications [58].

Ces composés jouent un rôle important dans la protection des plantes et leur adaptation à leur environnement. Certains métabolites secondaires contribuent à la résistance aux rayons ultraviolets, tandis que d'autres ont des propriétés défensives contre les organismes nuisibles [59].

II-2-1- Les composés phénoliques

Les composés phénoliques sont des molécules organiques qui contiennent un ou plusieurs groupes hydroxyles attachés à un cycle aromatique. Leur structure leur confère une acidité douce et une réactivité spécifique. Présents principalement dans les plantes, on les trouve souvent sous forme d'esters ou de glycosides plutôt qu'à l'état libre [60].

Ces composés de métabolites spécialisés sont présents principalement dans les plantes et présentent une grande diversité structurelle [61].

Les composés phénoliques contribuent à la défense des plantes principalement contre les agents pathogènes et les herbivores. Ils jouent également un rôle dans l'attraction des pollinisateurs et fournissent une coloration pour le camouflage. De plus, ils possèdent des propriétés antibactériennes et antifongiques, qui améliorent leur capacité à résister aux facteurs environnementaux nocifs [62].

II-2-1-a- Structure chimique

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires des plantes dérivés principalement de la phénylalanine et, dans une moindre mesure, de la tyrosine. Ils se caractérisent par la présence d'au moins un cycle aromatique avec un ou plusieurs groupes hydroxyles. Plus de 8 000 structures phénoliques ont été identifiées, largement réparties dans le règne végétal [63] (Figure II. 1).

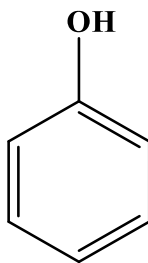


Figure II. 1 : Structure général des composés phénoliques

II-2-1-1- Classification des composés phénoliques

Selon leur structure chimique, les composés phénoliques peuvent être répartis en plusieurs sous-classes. Les catégories principales incluent les phénols simples (notamment les acides phénoliques), les flavonoïdes, les tanins, ainsi que les coumarines [64].

II-2-1-1-a- Phénol Simple

Les molécules phénoliques « simples » sont constituées d'un atome de phénol ou de ses dérivés, caractérisé par un squelette C6. Leur structure de base comporte un groupe organique (R) qui peut être un groupe alkyle, alcényle, aryle ou d'autres groupes fonctionnels en position ortho, méta ou para du cycle aromatique. La position du groupe hydroxyle définit le type spécifique de phénol, correspondant aux relations carbone 1,2 (ortho), 1,3 (méta) et 1,4 (para) [65] **Figure (II.2)**

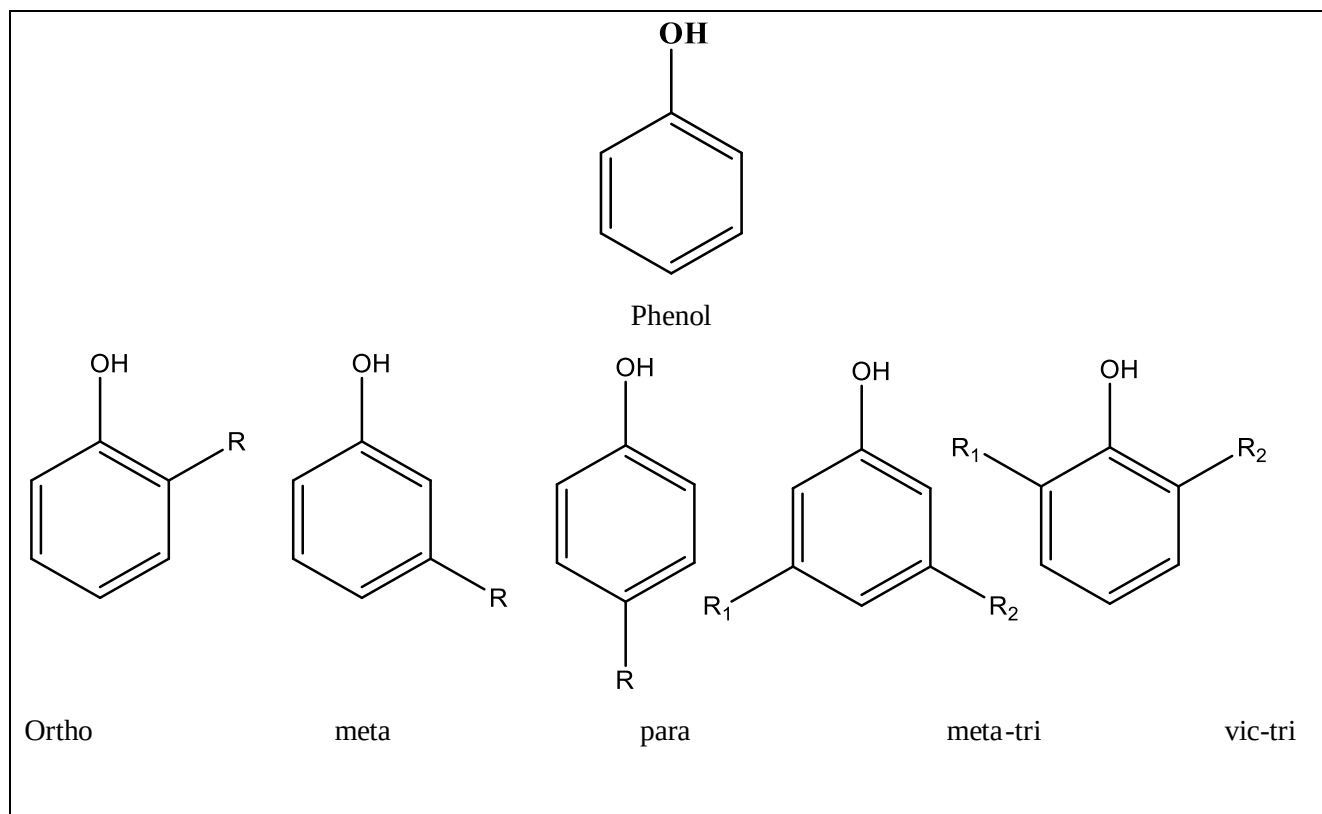


Figure II. 2 : Structure général des substances simple

❖ Les acides phénoliques

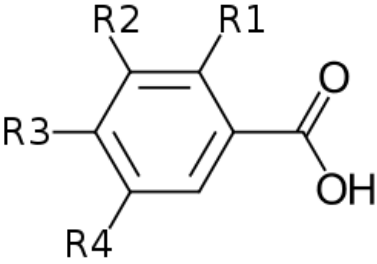
Les acides phénoliques sont une classe majeure de composés phénoliques présents dans les plantes, présents sous forme libre et liée. Selon leur structure, ils sont divisés en deux sous-groupes principaux : les acides hydroxy benzoïques, caractérisés par une structure de type C_6-C_1 , et les acides hydroxy cinnamiques, définis par une structure de type C_6-C_3 [66].

➤ Classification des acides phénoliques

↪ Acides hydroxybenzoïques

L'acide hydroxy benzoïque, dérivé de l'acide benzoïque, a une structure C_6-C_1 . Ils contribuent aux propriétés sensorielles des aliments et fournissent des effets antioxydants, anti-inflammatoires et antibactériens, ainsi qu'un rôle protecteur pour le foie [67] (Tableau II. 1).

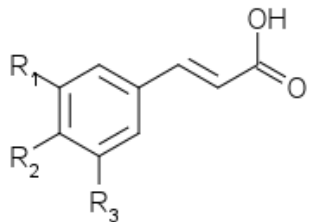
Tableau II. 1: Les structures d'Acide benzoïque

Structure	Nom	R1	R2	R3	R4
 Acide benzoïque	Acide p-hydroxy benzoïque	H	H	OH	H
	Acide protocatéchique	H	OH	OH	H
	Acide vanillique	H	OCH ₃	OH	H
	Acide glycolique	H	OH	OH	OH
	Acide syringique	H	OCH ₃	OH	OCH ₃
	Acide salicylique	OH	H	H	H
	Acide gentisique	OH	H	H	OH

➤ Acides hydroxycinnamiques

Les acides hydroxycinnamiques sont des composés naturels dérivés de l'acide phénylpropanoïque et existent sous diverses formes, telles que les esters et les glycosides. Ils constituent un intermédiaire clé dans la synthèse des polyphénols et possèdent des propriétés antioxydantes, ce qui les rend influents sur la stabilité, la saveur et la couleur des aliments [68] (Tableau II. 2)

Tableau II. 2 : Les structures d'Acide hydroxycinnamiques

Structure	Nom	R1	R2	R3
 Acides hydroxycinnamiques	Acide cinnamique	H	H	H
	Acide p-comarique	H	OH	H
	Acide caféique	OH	OH	H
	Acide férulique	OCH ₃	OH	H
	Acide sinapique	OCH ₃	OH	OCH ₃

🔗 Coumarines

Le terme coumarines provient du mot (cumaru) qui fait référence à la fève tonka dans une langue de l'Amazonie. Pour la première fois en 1820, elles ont été extraites à partir de plantes aromatiques telles que le foin d'odeur, la fève tonka, l'herbe vanille, la cannelle de Cassia, le mélilot, la sauge sclérée et la lavande. Ils se trouvent aussi dans des produits naturels tels que le miel ou le thé vert [69].

Les coumarines sont des composés naturels ou artificiels, réputés pour leurs multiples utilisations biologiques. Du point de vue chimique, il s'agit de composés comportant neuf atomes de carbone, avec un noyau 2H-1-benzopyran-2-one, dérivant de la cyclisation de l'acide cinnamique substitué au C-2 [70].

➤ Classification des coumarines

Les coumarines contiennent une ou plusieurs fonctions phénoliques. Les groupes hydroxyles de ces molécules peuvent être présents sous différentes formes : libres, étherifiés ou liés par une liaison hétérosidique. On peut classer les coumarines en deux catégories : simples et complexes [71].

✓ Coumarines simples

Les coumarines les plus courantes dans le monde végétal comportent des substituants (OH ou OCH₃) en positions R₂ et R₃ [72] **Figure (II. 3)**.

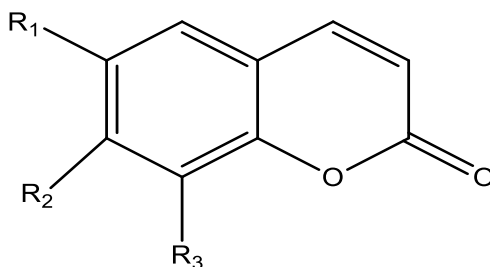
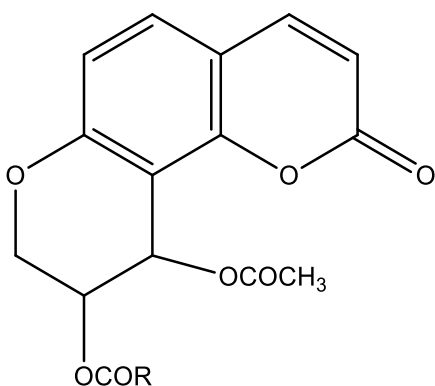


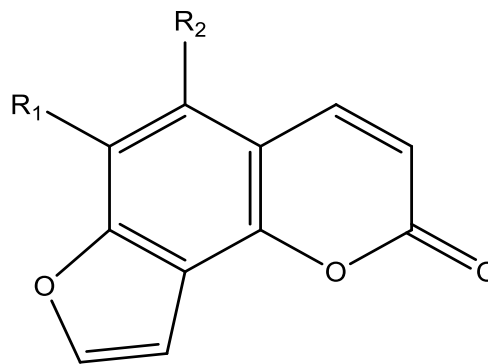
Figure II. 3 : Structure général des coumarines simple

✓ Coumarines complexes

Ces composés sont formés d'un noyau soit de furanne, soit de pyrane, relié au noyau benzo- α -pyrone. On distingue diverses catégories de coumarines complexes, comme les furanocoumarines, les pyranocoumarines, les dicoumarines et les tricoumarines [71] **Figure (II.4).**



Pyranocoumarine



Furanocoumarine

Figure II. 4 : Structure général de quelques coumarines complexes

II-2-1-1-b- Les Polyphénols

Les polyphénols sont des composés organiques présents naturellement dans les plantes. Ils sont classés comme métabolites secondaires et se caractérisent par la présence de groupes hydroxyles attachés à un cycle aromatique. Les plantes les synthétisent en réponse à divers facteurs de stress environnementaux, tels que les rayons ultraviolets et les agents pathogènes [73].

➤ Classification des polyphénols

Les polyphénols sont des métabolites secondaires contenant une ou plusieurs structures aromatiques et au moins deux groupes hydroxyles, que l'on retrouve dans les racines, les tiges, les feuilles, les fleurs, les fruits et les graines des plantes [74]. Environ 8 000 composés phénoliques ont été identifiés dans la plupart des plantes médicinales et comestibles [75].

❖ Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont une classe importante de métabolites poly-phénoliques d'origine végétale. Structuellement, les flavonoïdes contiennent 15 atomes de carbone disposés en deux cycles aromatiques reliés par une chaîne à trois carbones [76] **Figure (II. 5)**.

Produits comme métabolites secondaires, ils protègent les plantes contre divers stress environnementaux, tels que les rayons UV et les micro-organismes. Outre leur rôle dans la défense des plantes, les flavonoïdes influencent la couleur, le goût et l'arôme des fruits et des fleurs. À ce jour, plus de 9 000 dérivés ont été identifiés, jouant un rôle important dans la régulation physiologique des plantes [77] **Figure (II. 6)**.

Les recherches portent sur leur extraction, leur mécanisme d'action et leur utilisation potentielle dans le développement de nouveaux médicaments contre les maladies chroniques [78].

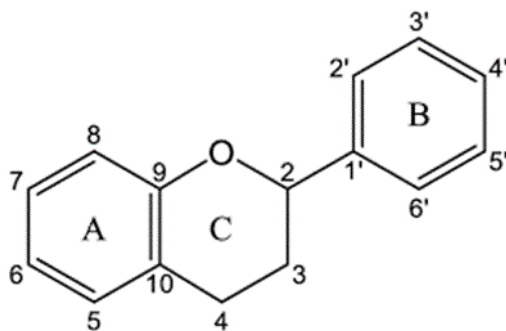
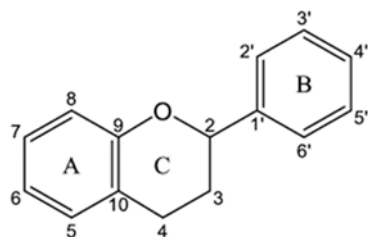
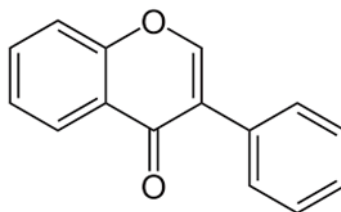


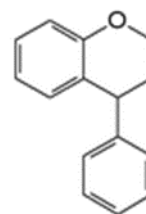
Figure II. 5 : Structure générale des flavonoïdes



Flavonoïdes



Isoflavonoïdes



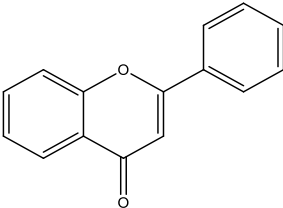
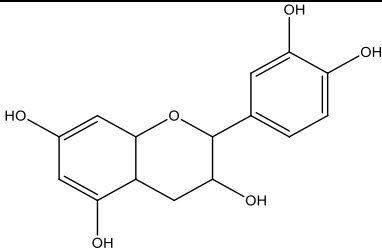
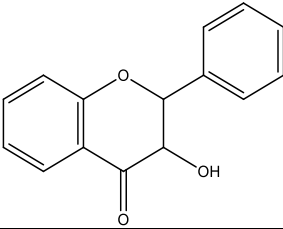
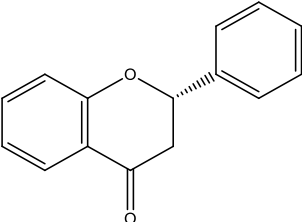
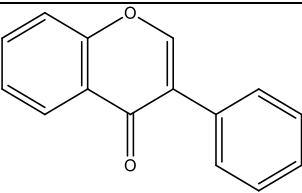
Néoflavonoïdes

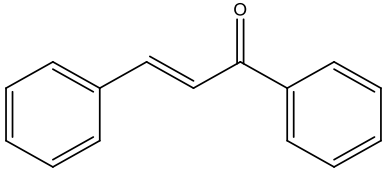
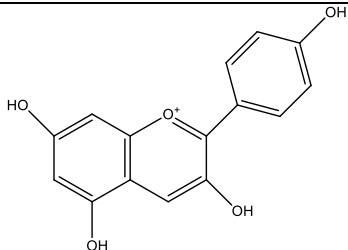
Figure (II. 6) : Flavonoïdes et ses isomères naturels

➤ **Classification des flavonoïdes**

Les flavonoïdes sont classés en sept sous-classes : [79] (Tableau II. 3).

Tableau II.3 : Différentes classes des flavonoïdes

Sous-Classe	Structure chimique
Flavones	
Flavanols	
Flavonols	
Flavonones	
Isoflavones	

Chalcones	
Anthocyanes	

❖ Tanins

Les tanins sont des composés secondaires issus du métabolisme des plantes qui jouent un rôle important dans les interactions plantes-environnement. En raison de leur goût astringent et de leur capacité à précipiter les protéines, ils fonctionnent principalement comme agents de défense contre les herbivores et les infections [80].

Les tanins ont une large gamme d'effets biologiques et sont d'une grande importance dans les industries pharmaceutiques et nutraceutiques, où ils sont utilisés dans les médicaments et les compléments alimentaires [81].

Les tanins ont des propriétés bioactives importantes, notamment leur capacité à absorber les protéines, les minéraux et les sucres, qui sont utilisés dans les industries alimentaires, pharmaceutiques et antipoison. De plus, ils jouent un rôle essentiel dans la protection des plantes contre les micro-organismes en inhibant les enzymes végétales [82].

➤ Classification des tanins

✓ Tanins hydrolysables

Les tanins hydrolysables sont généralement constitués d'une molécule centrale de glucose liée à des molécules d'acide gallique (gallotannins) ou d'acide hexahydroxydiphénique (ellagitannins). Ils sont facilement hydrolysables, d'où leur nom [83] **Figure (II.7).**

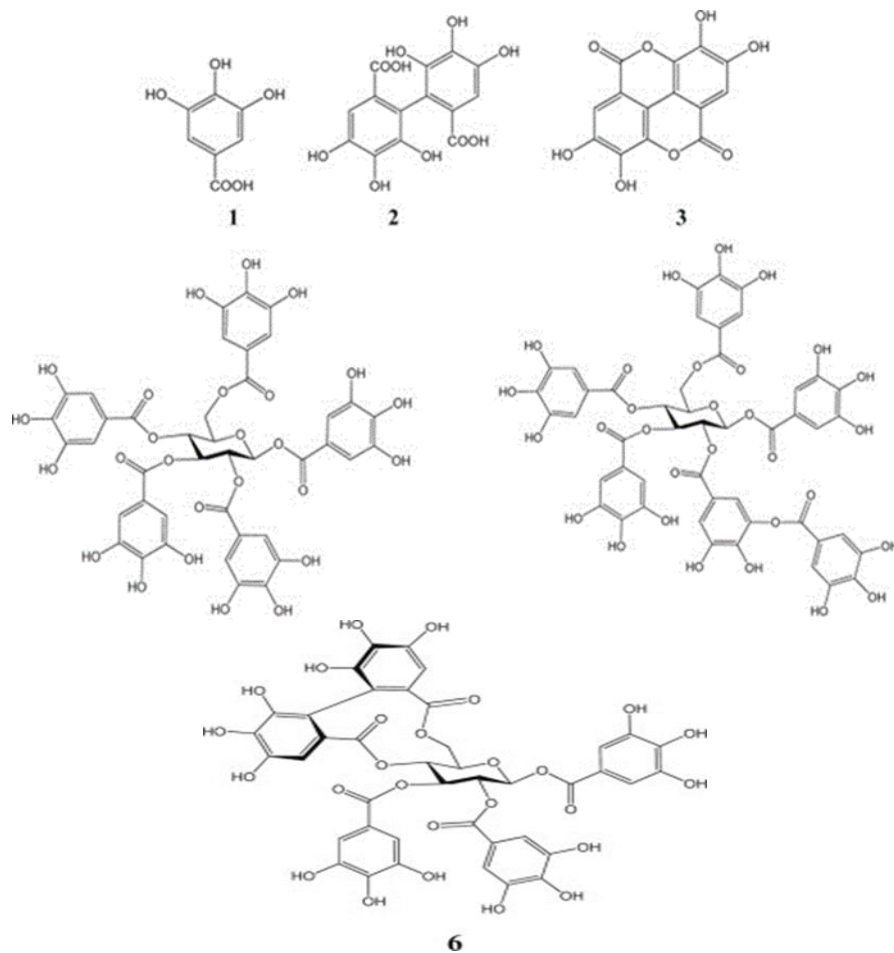


Figure II. 7 : Structures caractéristiques des tannins hydrolysables

✓ Tanins condensés

Les tanins condensés sont des polyphénols et des poly-flavonoïdes poly-hydroxylés solubles dans l'eau, l'alcool et l'acétone. Ils ont la capacité de coaguler les protéines et sont extraits principalement du bois et de l'écorce par extraction à l'eau. Cependant, les composants non tanniques, tels que les sucres simples et les glucides polymères, peuvent affecter négativement le rendement des composés liés aux tanins, la résistance à l'eau et augmenter la viscosité de l'extrait [84] Figure (II. 8).

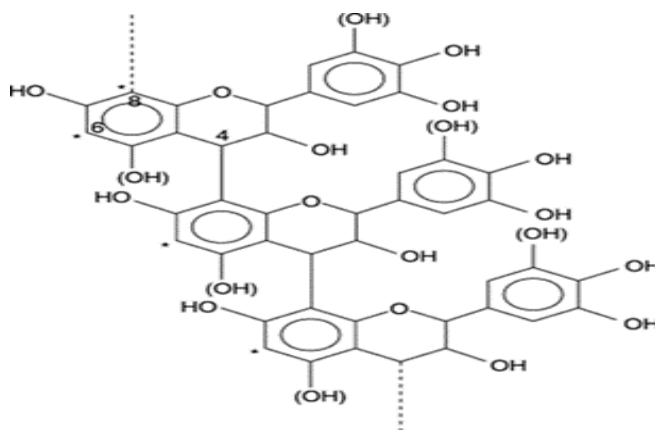


Figure II. 8 : Représentation schématique du tannin procyanidé lié principalement en C4-C8

II-2-2- Les terpènes

Les terpènes sont des composés dérivés de l'isoprène, basés sur la base isoprène, ce qui suggère une connexion « tête-à-queue » des unités. Ces composés comprennent des hydrocarbures végétaux et des composés dérivés de l'oxygène tels que les alcools, les aldéhydes et les cétones [85].

Les terpénoïdes sont des métabolites végétaux secondaires très répandus, caractérisés par leurs diverses propriétés chimiques et fonctions biologiques, notamment leurs effets antimicrobiens, anti-inflammatoires et anticancéreux [86].

II-2-2-1-Classification des terpènes (des terpénoïdes)

Les terpénoïdes sont généralement classés en fonction du nombre et de l'organisation structurelle des unités isoprènes à cinq carbones impliqués dans leur synthèse, telles que : [87] **Figure (II. 9), Tableau (II. 4).**

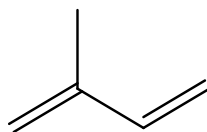


Figure II. 9 : Structure chimique de l'unité isoprène (C_5H_8)

TableauII. 4 : Classification des terpènes

Nombre d'atomes de carbone	Valeur de n	Classe
5	1	Hémiterpénoïdes C5
10	2	Monoterpénoïdes C10
15	3	Sesquiterpénoïdes C15
20	4	Diterpénoïdes C20
30	6	Triterpénoïdes C30
40	8	Tétraterpénoïdes C40
>40	>8	Polyterpénoïdes C>40

✓ Les hémiterpénoïdes

Les hémiterpénoïdes représentent la catégorie la plus basique parmi les terpènes, étant composés d'une seule unité isoprénique (C_5H_8). Jusqu'à présent, moins d'une centaine de molécules de cette famille ont été isolées et identifiées. Ces composés sont souvent présents dans les huiles essentielles d'origine végétale, et se distinguent généralement par leur caractère hydrophobe, les rendant peu solubles dans l'eau. Toutefois, certains de leurs dérivés, notamment ceux conjugués à des sucres (glycosylés), peuvent exhiber une certaine solubilité aqueuse [88].

Parmi ces hémiterpénoïdes, l'isoprène se distingue comme le composé central, étant l'unité fondamentale impliquée dans la biosynthèse de toutes les autres classes de terpènes. On trouve également, dans le règne végétal, des exemples tels que l'acide tiglique, l'acide caféique et l'acide isovalérique, qui appartiennent tous à cette même catégorie chimique [88,89]. **Figure (II.10)**

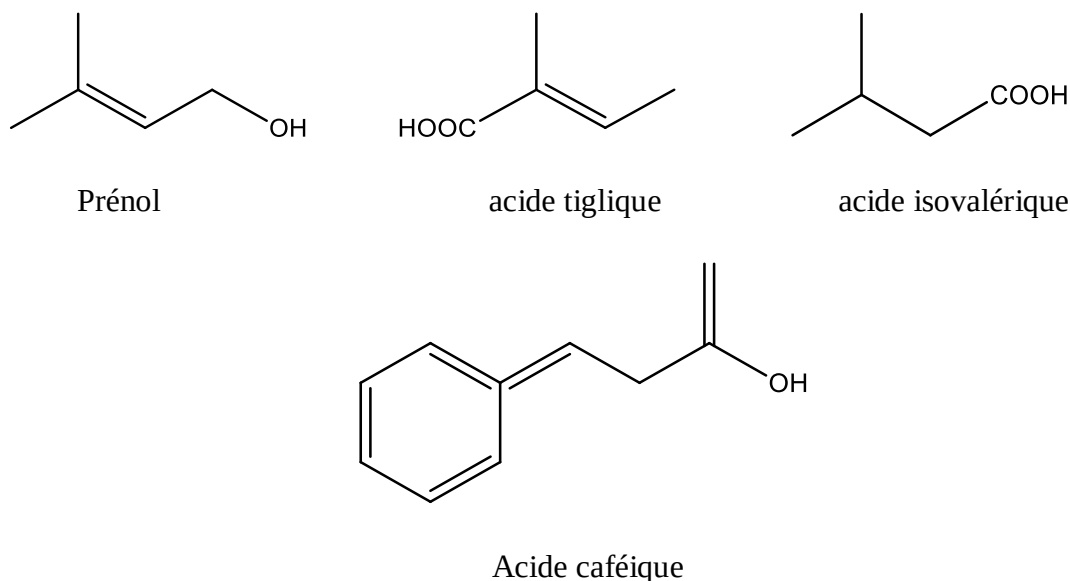


Figure II.10 : Structure de certains hémiterpénoïdes.

✓ **Les Monoterpénoïdes C10**

Les Monoterpénoïdes sont des composés organiques constitués de deux unités d'isoprène ($C_{10}H_{16}$). Ils sont principalement produits par les tissus sécrétoires des plantes vasculaires, notamment les glandes à huiles essentielles, les canaux résinifères et les cellules sécrétrices. Ils sont également présents chez certains champignons, insectes et organismes marins. Plus de trente structures carbonées différentes ont été identifiées dans cette classe, témoignant d'une grande diversité structurale et fonctionnelle [90].

Ces composés occupent une place centrale dans la composition des huiles essentielles de nombreuses plantes aromatiques telles que l'orange, la menthe, la lavande, le thym et la verveine [91].

Sur le plan biologique, ils jouent un rôle clé dans l'arôme caractéristique de ces plantes, tout en présentant des activités biologiques reconnues, notamment des propriétés antimicrobiennes et anti-inflammatoire [92]. **Figure (II.11).**

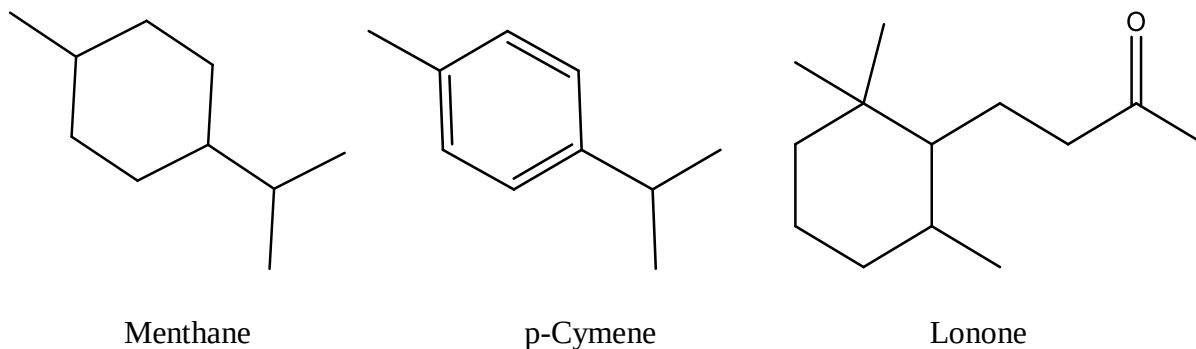


Figure II.11 : Structure de certains monoterpénoïdes

✓ **Les Sesquiterpénoïdes C15**

Les sesquiterpènes, qui sont des métabolites secondaires, résultent de la combinaison de trois unités d'isoprène ($C_{15}H_{24}$). On peut les trouver sous différentes formes, notamment linéaires, cycliques, bicycliques et tricycliques. De plus, ces composés peuvent être soit hydrocarbonés, soit oxygénés, comme les alcools, acides ou cétones. On les découvre fréquemment dans les huiles essentielles et les substances aromatiques présentes dans les plantes. Alors que des structures simples comme le farnésane existent, la plupart d'entre elles présentent des structures cycliques plus compliquées [93]. **Figure (II.12)**

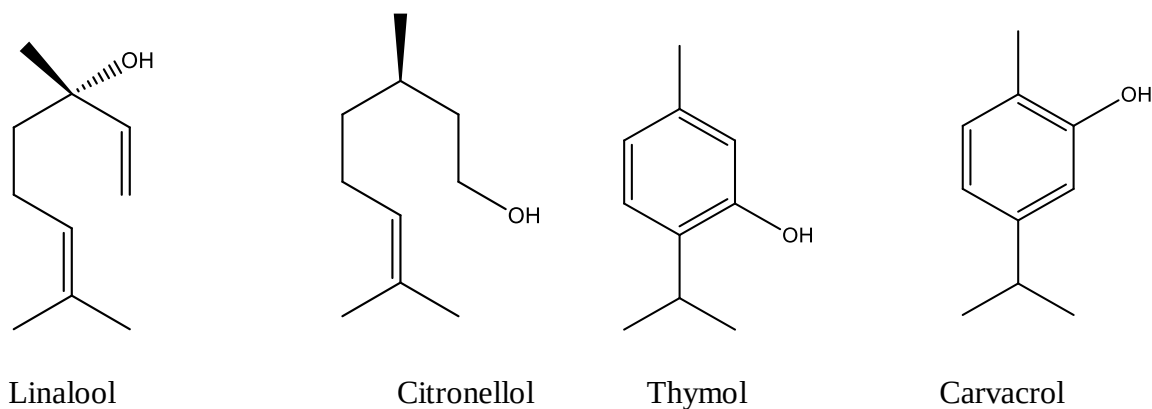


Figure II.12 : Structures de quelques sesquiterpénoïdes.

✓ **Les Diterpénoïdes C20**

Les diterpènes sont des isoprénoïdes composés de 20 atomes de carbone (quatre unités d'isoprène) et présentant une grande diversité structurale, allant de formes linéaires à des structures

cycliques complexes. Cette variété leur confère de nombreuses propriétés bioactives, ce qui les rend très importants en pharmacologie et en agrochimie [94] **Figure (II.13)**

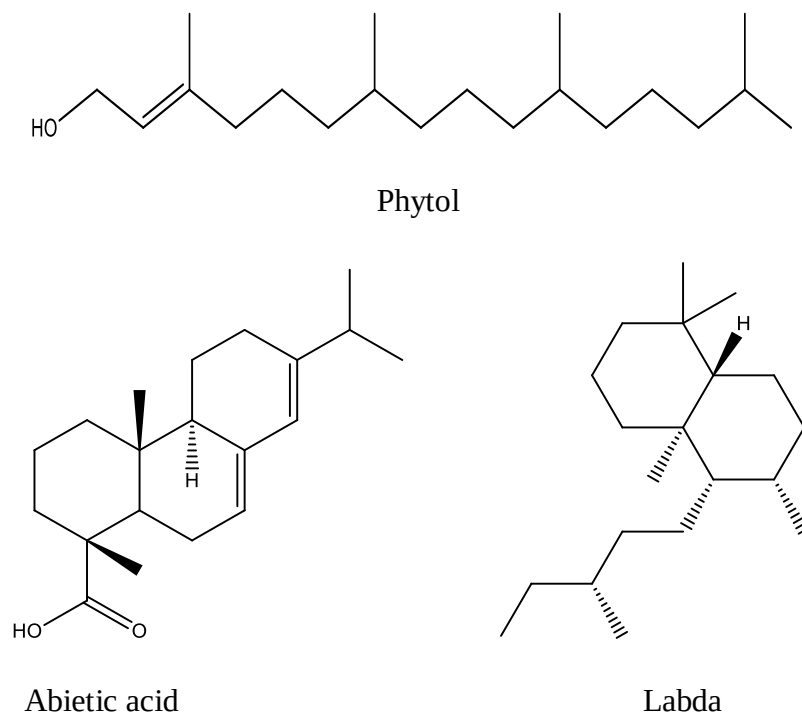


Figure II.13 : Structures de quelques diterpénoïdes

✓ Les Triterpénoïdes C30

Se composent de six unités d'isoprène, correspondant à la formule moléculaire $\text{C}_{30}\text{H}_{48}$. Parmi les exemples bien connus figurent le cholestérol (Cholesterol), les saponines (Saponins) et l'acide oléanolique (Oleanolic Acid) [95].

Le cholestérol joue un rôle fondamental dans la structure et la fluidité des membranes cellulaires. Les saponines sont reconnues pour leurs propriétés anticancéreuses et leur capacité à réguler le taux de cholestérol. Quant aux acides triterpéniques tels que l'acide oléanolique, ils présentent des activités anti-inflammatoires et antivirales intéressantes [96] **Figure (II.14)**.

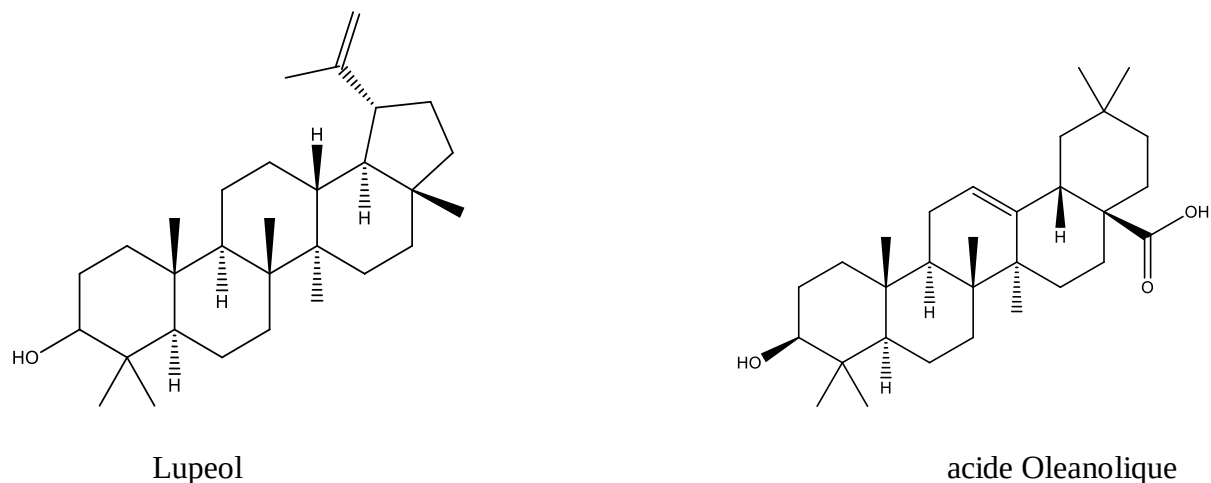


Figure II.14 : Structures de quelques triterpénoïdes

✓ Les Tétraterpénoïdes C40

Les tétraterpénoïdes C40 sont des composés formés de huit unités d'isoprène ($C_{40}H_{64}$), parmi lesquels les caroténoïdes sont les plus connus. Ce sont des pigments naturels liposolubles largement présents dans les plantes [97].

Reconnus comme de puissants antioxydants, les caroténoïdes contribuent au renforcement de l'immunité et à la protection des yeux et de la peau contre les effets néfastes des rayons ultraviolets [98], **Figure (15)**.

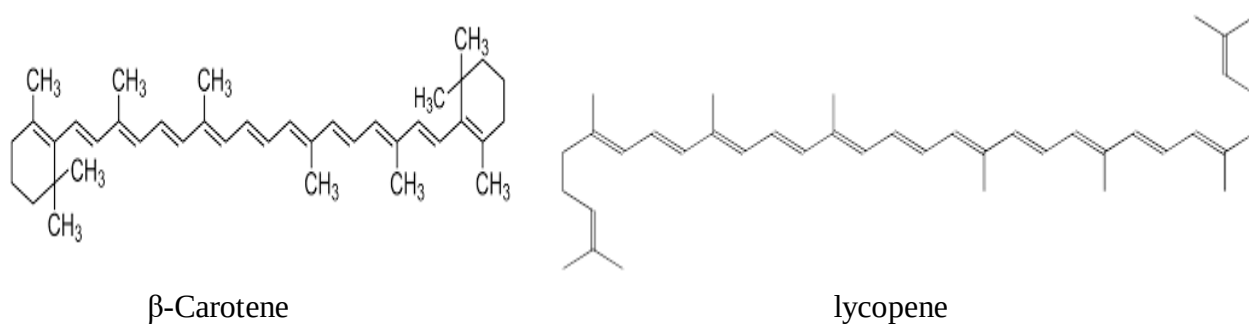


Figure II.15 : Structures de quelques tétraterpénoïdes

- ✓ **Les Polyterpénoïdes C>40 :** Les polyterpénoïdes sont des composés formés de plus de 8 unités d'isoprène reliées entre elles. L'exemple le plus connu est le caoutchouc naturel, constitué d'unités d'isoprène liées par des doubles liaisons en configuration cis [99], **Figure (II.16)**.

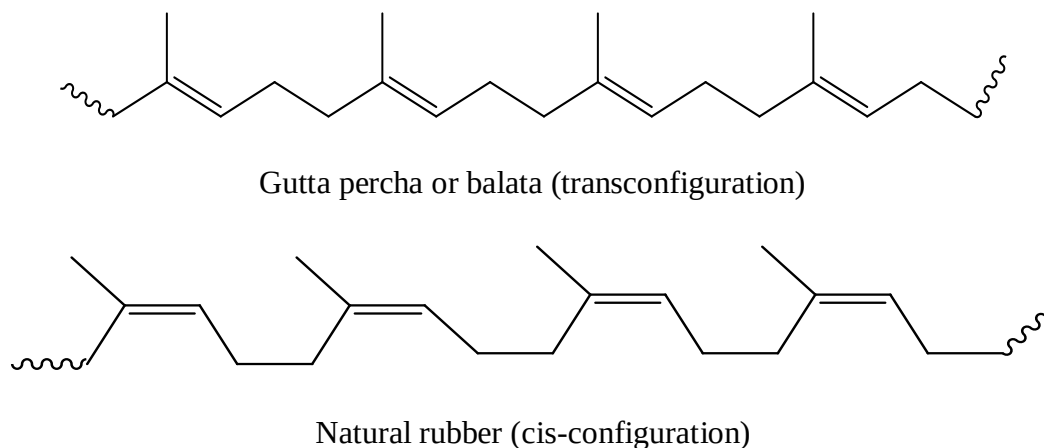


Figure II.16 : Structures de quelques polyterpénoïdes

II-2-3- Les alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des substances naturelles qui se forment principalement dans les plantes comme des produits secondaires. Au fil du temps, la définition de ces composés a changé. Au début, en 1880, Königs les a définis uniquement comme ceux ayant une structure pyridinique. Par la suite, Ladenburg a élargi cette définition pour inclure tous les composés des plantes avec une structure azotée hétérocyclique, en laissant de côté ceux qui sont d'origine animale ou créés artificiellement [100].

Les alcaloïdes sont des composés organiques secondaires qui contiennent des atomes d'azote basiques. Ils peuvent également inclure d'autres éléments tels que l'oxygène ou le soufre. Ces substances se retrouvent surtout dans les plantes, bien qu'elles soient présentes dans divers organismes. Leur influence sur le système nerveux central est notable. Grâce à leurs propriétés médicinales, les alcaloïdes, comme l'atropine et la morphine, sont essentiels en pharmacologie. On les divise en trois catégories principales selon leur mode de biosynthèse : les véritables alcaloïdes, les Protoalcaloïdes et les pseudo-alcaloïdes [101].

II-2-3-1- Classification des alcaloïdes

➔ Vrais alcaloïdes

Les vrais alcaloïdes contiennent un atome d'azote dans leur cycle hétérocyclique et sont synthétisés à partir d'acides aminés. Ces composés réagissent avec les tests chimiques courants utilisés pour détecter les alcaloïdes [102], **Figure (II.17)**.

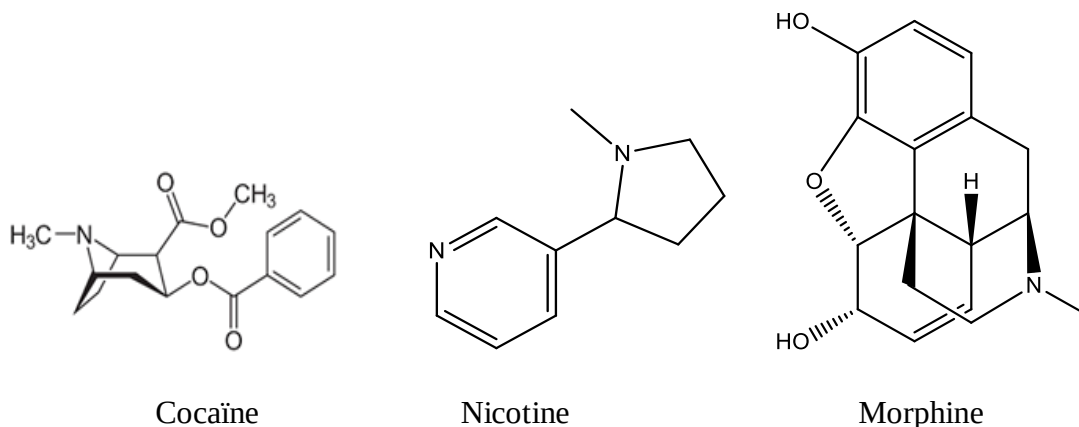


Figure II.17 : Structures de quelques Vrais alcaloïdes

➤ Proto-alcaloïdes

Les Proto alcaloïdes sont un sous-groupe d'alcaloïdes constitués de composés simples contenant des atomes d'azote dérivés d'acides aminés mais ne faisant pas partie d'un cycle hétérocyclique. Ils sont dérivés principalement du tryptophane et de la tyrosine. Parmi les exemples, on peut citer la yohimbine, la mescaline et l'hordéine, qui sont utilisées dans le traitement des troubles mentaux, de la douleur et des maladies neurologiques [103], **Figure (II.18)**.

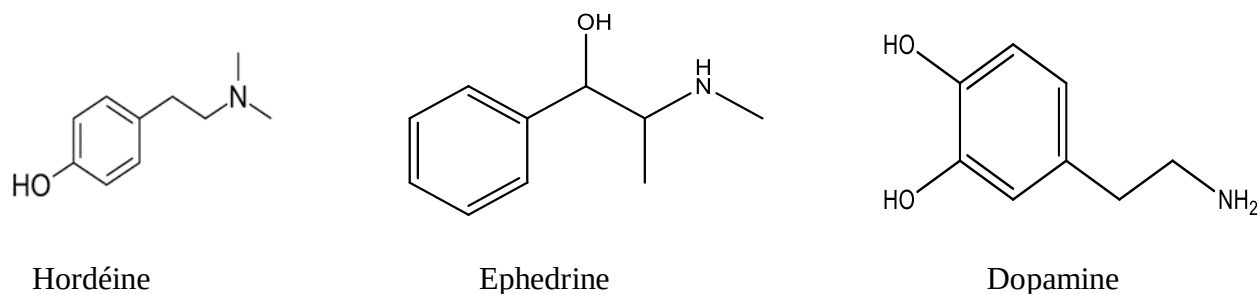
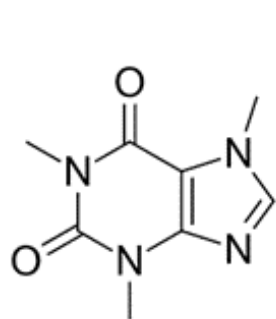


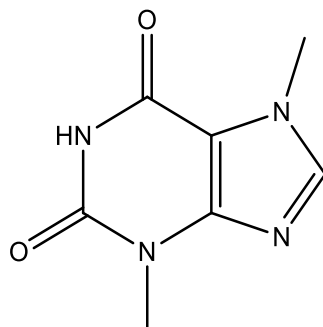
Figure II.18 : Structures de quelques Proto-alcaloïdes

➤ Pseudo-alcaloïdes

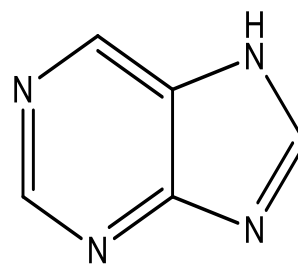
Les pseudo alcaloïdes sont des composés dont les squelettes carbonés ne dérivent pas directement d'acides aminés, mais sont formés par des processus d'amination ou de transamination à partir de précurseurs ou d'intermédiaires dérivés d'acides aminés. Cette catégorie comprend les alcaloïdes dérivés de l'acétate et de la phénylalanine, ainsi que les alcaloïdes stéroïdes. Parmi les exemples notables, on peut citer la capsaïcine, l'éphédrine, la caféine [104] **Figure (II.19)**.



Caféine

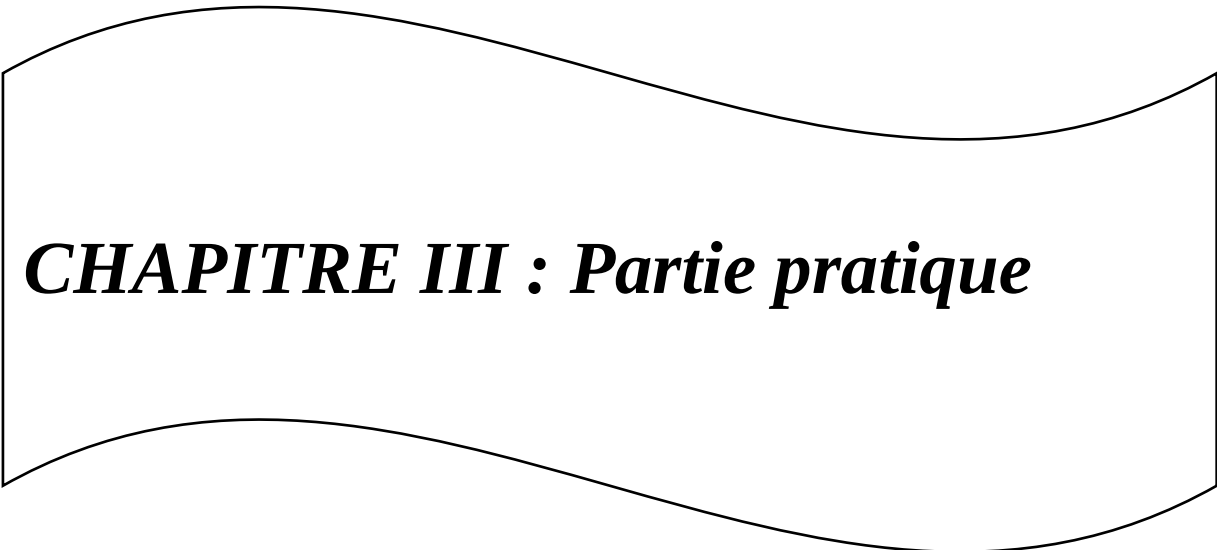


Theobromine



Purine

Figure II.19 : Structures de quelques pseudo-alcaloïde



CHAPITRE III : Partie pratique

III-1- Chimie extractive

III-1-1- Chromatographie sur couche mince (CCM)

La chromatographie sur couche mince (CCM) repose sur l'adsorption et la capillarité. Lorsque la plaque avec l'échantillon est placée dans la cuve chromatographique, la phase mobile migre à travers la phase stationnaire. Le déplacement des composants dépend de facteurs comme la densité, la solubilité et les interactions électrostatiques avec la phase stationnaire. La cuve est généralement en verre et est fermée hermétiquement pour assurer des conditions optimales de séparation [105].

Les CCM sont utilisées à chaque étape pour le suivi et le contrôle des purifications, les chromatogrammes sur couche mince permettent de vérifier la présence et l'état de pureté des produits suivis. Ces analyses sont réalisées en phase normale sur des plaques d'aluminium, Kieselgel 60 F₂₅₄ Merck, 250 µm (10 ou 20 x 20 cm) et en phase inverse sur des plaques d'aluminium RP-18 (20 x 20 cm).

Le développement des plaques s'effectue dans des cuves en verre saturées avec l'éluant approprié. Cette phase mobile est constituée d'un mélange binaire ou tertiaire de solvants selon le type de séparation souhaité. Le révélateur utilisé est 25 %H₂SO₄, 25 %acide acétique et 50 %eau.

III-1-2- Chromatographie liquide sous vide (VLC)

Cette technique est utilisée pour obtenir un fractionnement grossier de l'extrait brut. Elle est rapide et a l'avantage de consommer moins de solvants que les méthodes de chromatographie classiques. La silice Kiesselgel Merck (70-230 mesh, 63-200 µm) est mise dans un entonnoir cylindrique filtrant sur verre fritté n° 4.

III-1-3- Chromatographie sur colonne ouverte (CC)

La taille et le diamètre de la colonne sont choisis en fonction de la quantité d'échantillons à purifier et de la résolution souhaitée. La quantité de la silice utilisée est généralement 30 à 40 fois supérieure à la quantité d'échantillons déposée.

La chromatographie d'exclusion stérique est réalisée sur Séphadex LH-20, en employant 30 fois le poids de l'échantillon à purifier. L'élution est effectuée à pression atmosphérique. Les fractions recueillies sont regroupées selon les résultats de l'analyse par CCM.

III-2-Matériel végétal

III-2-1-Récolte de la plante *Rhamnus alaternus* L.

La plante *Rhamnus alaternus* L. a été collectée dans la wilaya de Biskra à la fin du mois de mai 2025. Toutes les parties de la plante (racines, tiges, feuilles, fleurs, fruits) ont été récoltées manuellement. Ensuite, elles ont été soigneusement nettoyées pour éliminer les impuretés, puis placées dans des sacs en papier, en les protégeant de la lumière et de l'humidité. La plante a été séchée dans un endroit ombragé et sec, à température ambiante.

III-2-2- Description botanique de l'espèce *Rhamnus alaternus* L

Le *Rhamnus alaternus* L. est un buisson durable de la famille des Rhamnaceae, qui peut atteindre une hauteur de 3 à 5 mètres. Il arbore une structure dense et ramifiée, avec des feuilles résistantes disposées en alternance. Ces dernières sont ovales allongées, dentelées sur les côtés, d'un vert sombre sur la face supérieure et plus claires sur la face inférieure. Les fleurs, de petite taille et verdâtres, se rassemblent à l'aisselle des feuilles. Les fruits sont des drupes de forme sphérique, d'abord rouges et qui deviennent noires à pleine maturité. On retrouve cette espèce fréquemment dans la région méditerranéenne, où elle se développe sur des terrains pierreux et arides [9].

III-2-3- Conservation des échantillons

Après la récolte, la plante entière (racine et parties aériennes) est soigneusement collectée dans un filet pour éliminer les impuretés, puis aplatie et séchée à l'abri de la lumière et de l'humidité, dans un endroit aéré et sec, à température ambiante pendant environ 10 jours.

Après un séchage complet, la matière végétale a été broyée à l'aide d'un moulin électrique afin d'obtenir une poudre fine, conservée ensuite dans un bocal en verre hermétiquement fermé, à l'abri de la lumière et de l'humidité.

III-3-Méthodes d'extraction

III-3-1-Définition de l'extraction

L'extraction est le processus de séparation d'une substance spécifique d'un mélange. Cette étape est essentielle et est suivie d'une étape de purification visant à éliminer les impuretés, permettant d'analyser la quantité, la structure et les propriétés biologiques de la biomolécule [2].

III-3-2- Préparation d'extraits de la plante

III-3-2-1-Macération

La matière végétale sèche de l'espèce *Rhamnus alaternus* L, est découpée puis broyées finement pesant 400 g de poudre fine a été macérée dans un mélange Ethanol/Eau (70-30) (v/v) pendant 24 heures à température ambiante. Après filtration sur papier filtre, le solvant a été évaporé sous pression réduite à l'aide d'un évaporateur rotatif (Rotavapor), ce qui a permis d'obtenir l'extrait hydroalcolique, **Figure (III. 1)**.

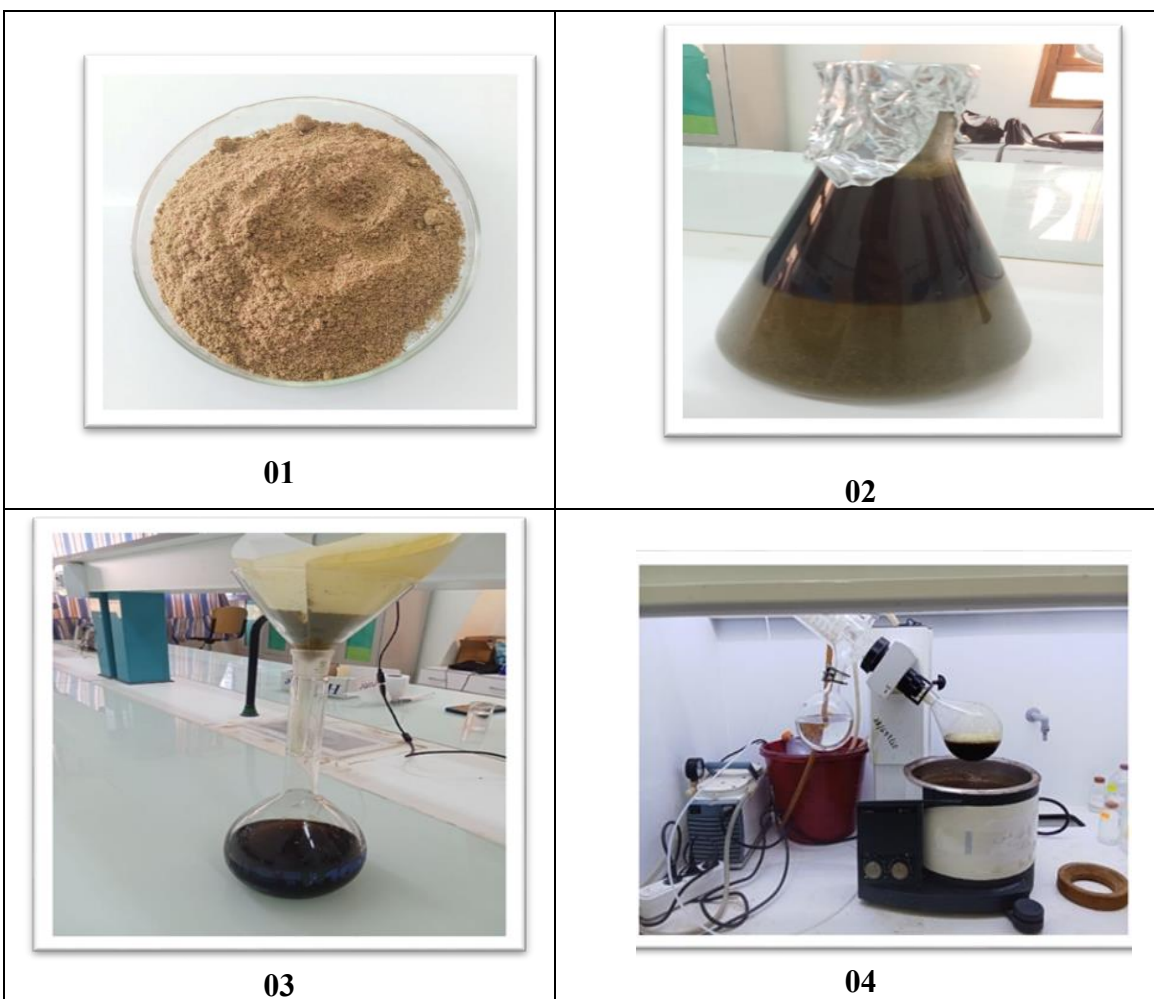


Figure III. 1 : L'extraction et évaporation de la poudre de *Rhamnus alaternus* L.

III-3-2-2- Extraction liquide-liquide (ELL)

L'extrait hydro-éthanolique obtenue après filtration et évaporation, est soumise une série d'extraction liquide-liquide, en utilisant deux solvants à polarité croissante, chloroforme et méthanol. Les phases organiques résultantes sont séchées sur Na_2SO_4 anhydre, suivi d'une filtration

et évaporation à sec ce qui a conduit à la récupération de: 60.3g d'extrait Chloroformique et l'extrait Méthanolique (89.16g). Les différentes étapes d'extraction de l'espèce *Rhamnus alaternus* L Sont représentées dans les figures (III. 2), (III. 3), (III. 4).

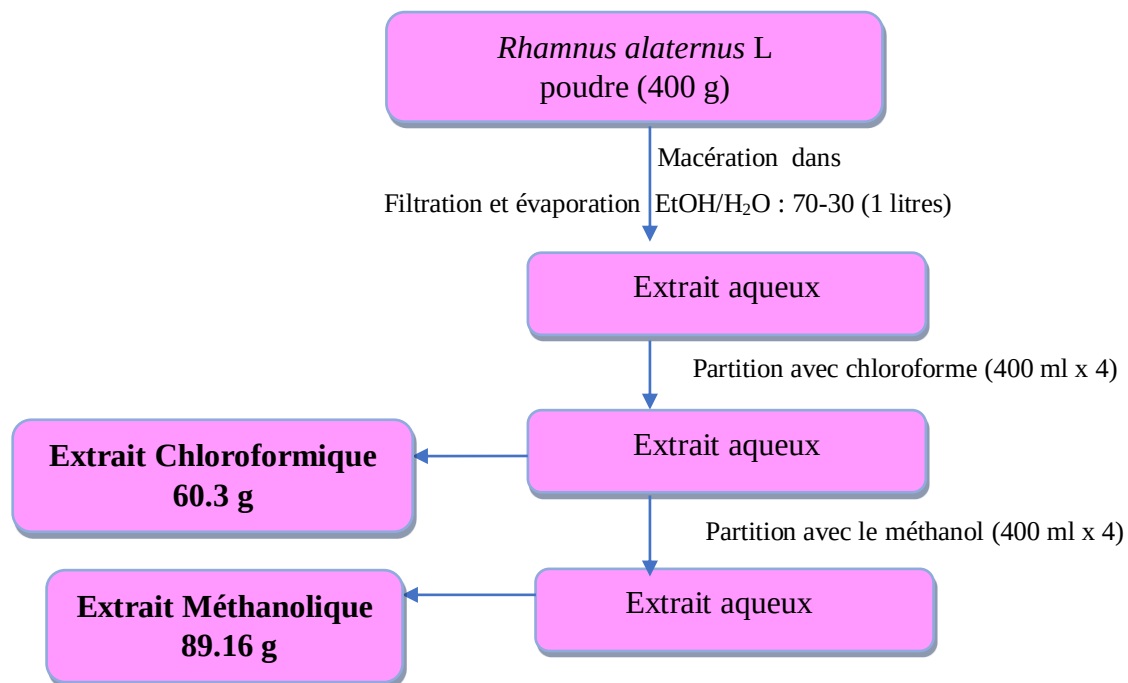


Figure III. 2 : Schéma général d'extraction des racines de l'espèce *Rhamnus alaternus* L



Figure III.3 : une extraction liquide/liquide de chloroforme

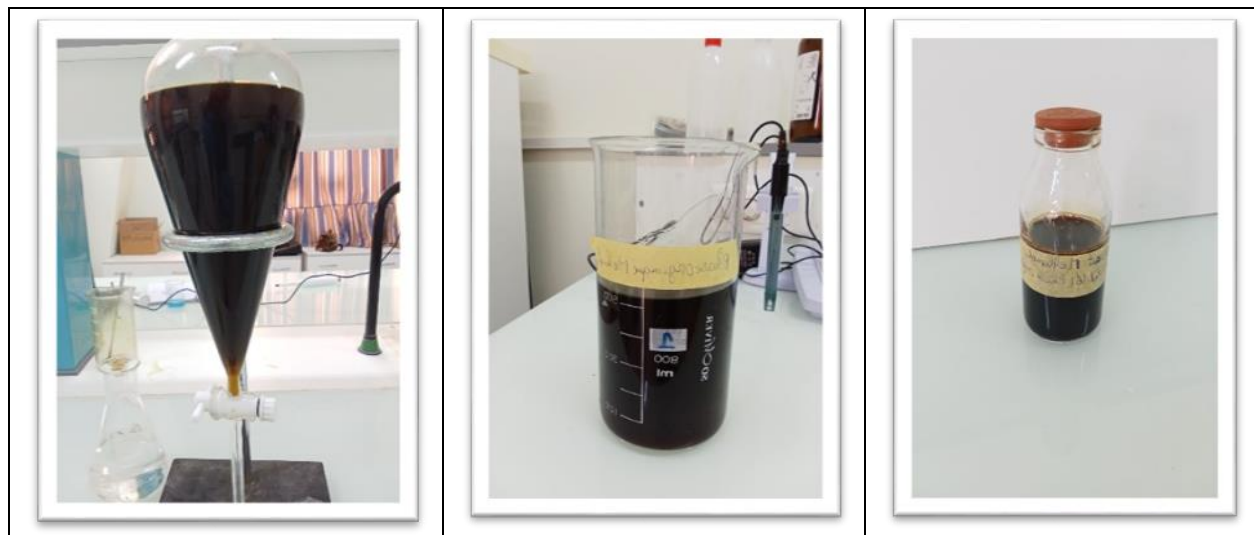


Figure III. 4 : Une extraction liquide/liquide par méthanol

III-3-2-3- Rendement d'extraction

Le calcul du rendement d'extraction se réalisera en fonction de la masse de l'extrait sec obtenu par rapport à la masse de la plante séchée utilisée, selon à la formule :

$$\text{Rendement (\%)} = \left(\frac{\text{masse d'extrait sec}}{\text{la masse de la plante séchée}} \right) \times 100$$

Le rendement d'extraction a été déterminé pour chaque échantillon. Les valeurs obtenues sont regroupées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III. 1 : Rendements d'extraction (en %) obtenus pour les extraits méthanolique et chloroformique de *Rhamnus alaternus*

Matériel végétal	Extrait	M(g)	Rendements (%)
<i>Rhamnus alaternus</i>	Méthanol	89,16	22,29
	Chloroforme	60,3	15,075

Les résultats qu'on a obtenus, ont montré que le rendement des extraits se diffère d'un extrait à l'autre. On distingue que l'extrait MeOH présente le rendement le plus élevé avec par l'extrait CHCl₃.

III-4- Séparation et purification

Une analyse chromatographique CCM a été réalisée sur les deux extraits obtenus déjà. Les profils chromatographique sur couche mince CCM ont été réalisées sur les deux extraits obtenus précédemment dans différents système d'élution, montrent que les deux extraits chloroforme et méthanol sont riches en produits naturels.

La révélation des CCM obtenues a été faite par un mélange : eau - acide sulfurique - acide acétique : 50-25-25 (v / v / v) et chauffage à 100 °C.

III-4-1-Fractionnement et purification de l'extrait chloroformique

L'extrait chloroformique sont soumis une VLC (chromatographie liquide sous vide) sur gel de silice en phase normale. L'élution est effectué par le mélange de solvants Ether de pétrole/ CH_2Cl_2 . A l'issue de cette étape, 16 fractions ont été obtenues (**tableau III. 02**). Ces fractions sont soumises la purification par différentes techniques chromatographiques sur colonne de gel de silice normale (CC), Séphadex LH-20 (CC), Figure (**III. 5**).

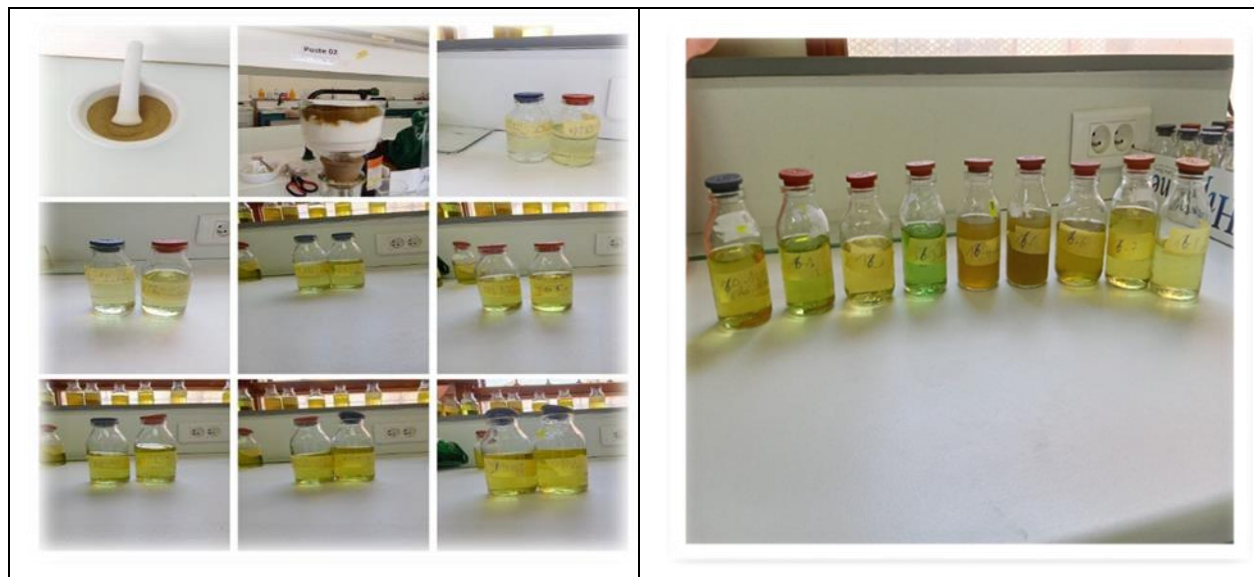


Figure III. 5 : étape d'enrobage et l'extrait de chloroforme par le VLC

Tableau III. 2 : Progression de la VLC de l'extrait CHCl_3

Fraction Fractions Regroupées	Eluant Éther de pétrole /Dichlorométhane
F1	(100-0)
F2	(95-5)
F3	(90-10)
F4	(85-15)
F5	(80-20)
F6	(75-25)
F7	(70-30)
F8	(65-35)
F9	(60-40)
F10	(55-45)
F11	(50-50)
F12	(40-60)
F13	(30-70)
F14	(20-80)
F15	(10-90)
F16	(0-100)
F16-1	(0-100)
F16-2	(0-100)
F16-3	(0-100)
F16-4	(0-100)
F16-5	(0-100)
F16-6	(0-100)
F16-7	(0-100)
F16-8	(0-100)

III-4-2-Fractionnement et purification de l'extrait méthanolique

L'extrait brut obtenu par méthanol a été fractionné par chromatographie liquide sous vide (VLC) sur un gel de silice en phase normale. L'élution a été réalisée en utilisant un système de solvants polaires composé d'eau et de méthanol, avec un gradient de polarité croissant. Ce processus a permis d'isoler 9 fractions distinctes, comme indiqué dans le **(tableau III. 3)**.

Pour améliorer la pureté et faciliter l'identification des composés présents, ces fractions ont ensuite été soumises à des séparations complémentaires par chromatographie sur colonne, utilisant à la fois la silice normale et le gel Séphadex LH-20 **Figure (III. 6)**.



Figure III. 6 : étape d'enrobage et l'extrait de méthanol par le VLC

Tableau III. 3 : Tableau des fractions - extrait méthanoïque

Fractions	Pourcentage	Eau (ml)	Méthanol (ml)
F1	(80-20)	40	10
F2	(70-30)	35	15
F3	(60-40)	30	20
F4	(50-50)	25	25
F5	(40-60)	20	30
F6	(30-70)	15	35
F7	(20-80)	10	40
F8	(10-90)	5	45
F9	(0-100)	50	0
F9-1	(0-100)	50	0
F9-2	(0-100)	50	0
F9-3	(0-100)	50	0

III-5-Contrôle chromatographique des fractions (CCM)

Toutes les fractions obtenues ont ensuite été analysées par chromatographie sur couche mince (CCM) pour étudier leur composition chimique. Les profils révélés nous ont permis d'identifier des similitudes entre certaines fractions, facilitant leur regroupement et guidant les étapes de purification ultérieures. **Figure (III. 7), Figure (III.8).**

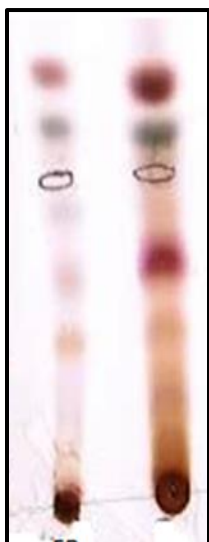


Figure III. 7 : CCM des VLC des extraits

Après révélation par la lampe UV 365 nm, on remarque la présence de plusieurs tâches dans les deux extraits, cela confirme la présence de plusieurs métabolites secondaires dans nos extraits.

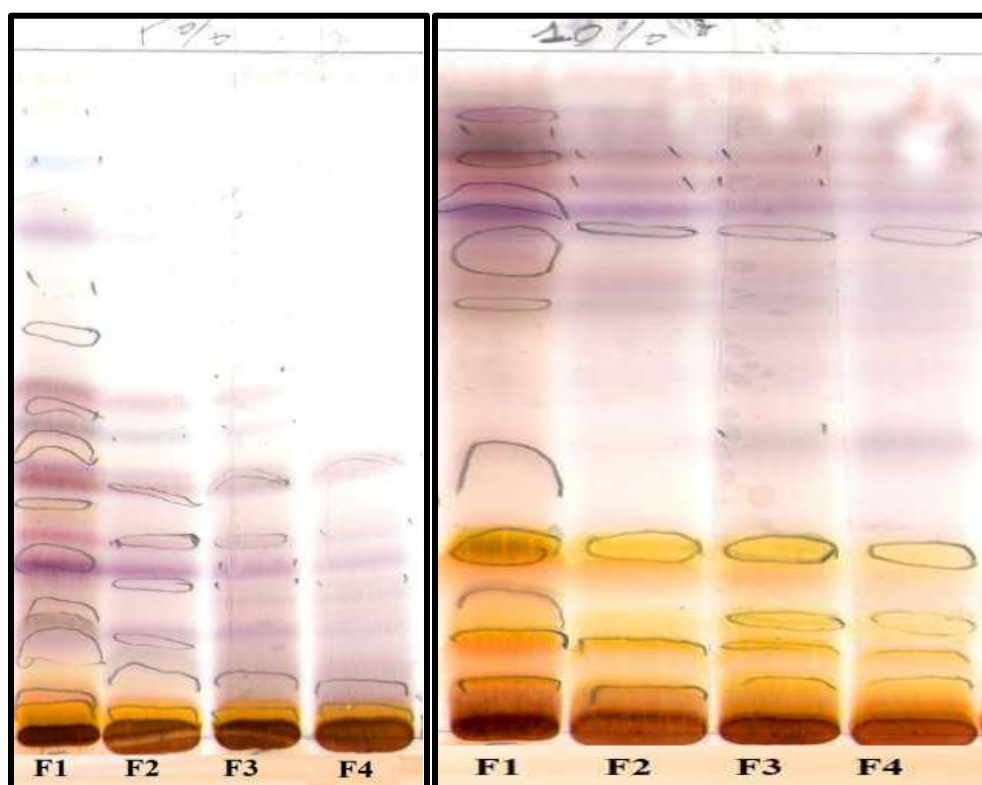


Figure III.8 : CCM des VLC des extraits

On remarque qu'il y a pas mal de taches qui ont le même Rf (la distance entre le point d'injection et la fin de l'élution), cela s'explique par la ressemblance de la composition chimique entre les deux extraits.

On constate probablement la présence d'une tache en Mauve et jaune dans les deux extraits, cette couleur indique la présence des terpènes et flavonoïdes.

III-6- Analyse phytochimique qualitative

➤ Screening phytochimique

Le screening phytochimique est un ensemble de méthodes qui permet de détecter, dans la plante, la présence des métabolites secondaires. Ce test permet donner une idée générale sur la composition chimique de nos extraits, **Tableau (III. 4)**.

Tableau III. 4 : Les résultats de Screening phytochimique

Métabolites secondaires	Résultats CHCl ₃	Résultats MeOH
Test des flavonoïdes	++	++
Test des alcaloïdes	++	++
Test des terpènes	+	++

+ : Présence de métabolites en concentration faible

++ : Présence de métabolites en concentration forte

Les résultats de screening qu'on a obtenus montrent que les deux extraits de la plante *Rhamnus alaternus L* sont riches en métabolites secondaires de différentes classes tel que : les flavonoïdes, les alcaloïdes, les terpènes, les stérols.

III-7- Activité antioxydante

Pour estimer l'activité antioxydante de nos deux extraits CHCl₃ et MeOH, on s'est basé sur le test DPPH, qui est un test très connu dans la détermination de cette activité.

III-7- 1-Principe du test du DPPH

L'essai au DPPH s'appuie sur le radical libre stable 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH), qui arbore une teinte violette distinctive avec un pic d'absorption maximal à 517 nm. En présence d'un antioxydant, le DPPH attrape un électron ou un atome d'hydrogène, ce qui provoque sa transformation en 2,2-diphényl-1-picrylhydrazine, qui est de couleur jaunâtre. Cette diminution se traduit par une baisse de l'absorbance, qui est proportionnelle à la capacité antioxydante de l'échantillon **Figure (III.11) [6]**.

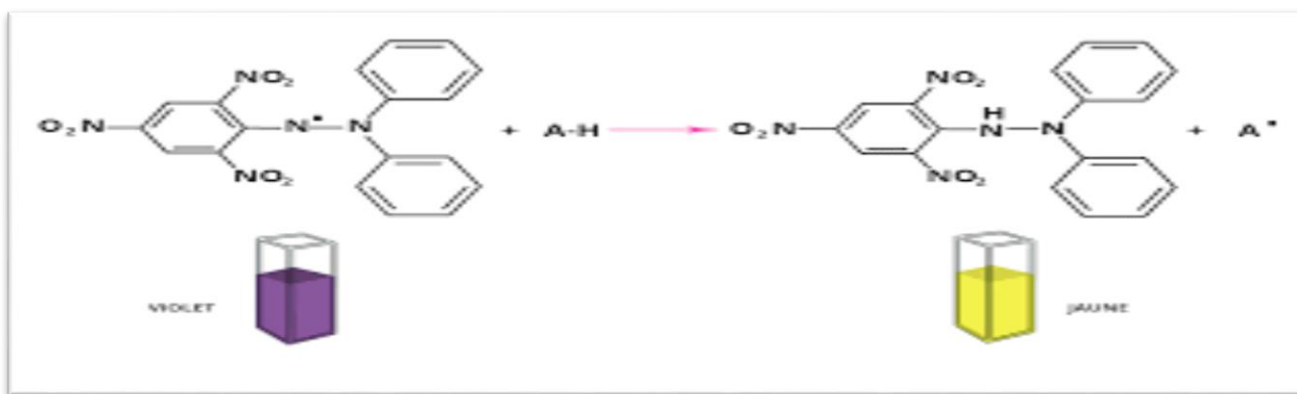


Figure III.9 : Réduction du radical DPPH

III-7-2-Evaluation de l'activité antioxydante des extraits méthanoïque et chloroformique bruts de *Rhamnus alaternus* par la méthode DPPH

Testés : un extrait au méthanol et un extrait au chloroforme. On a préparé une solution de DPPH en dissolvant 0,01 g de DPPH dans 50 ml de méthanol. Les solutions mères ont été créées en dissolvant 0,03 g de l'extrait sec dans 10 ml de méthanol pour chaque type d'extrait (méthanoïque et chloroformique), préparées séparément.

Une quantité de 1 mL de la solution mère de l'extrait (3 mg/mL) a été prélevée et introduite dans différents tubes à essai. Le premier tube contenait uniquement 1 mL de l'extrait et 1 mL de la solution de DPPH, sans ajout de méthanol. Les autres tubes contenaient chacun 1 mL de l'extrait, un volume défini de méthanol pur (1,2 ; 1,5 ; 3 ; 6 mL), et 1 mL de la solution de DPPH, ce qui a permis d'obtenir différentes dilutions de l'extrait pour l'analyse antioxydant.

III-7-3-Mode d opératoire

Un tube de contrôle a été élaboré en combinant 1 ml de méthanol pur avec 1 ml de solution DPPH. Tous les échantillons (méthanoïque, chloroformique et témoin) ont été placés en incubation pendant une demi-heure à température ambiante, en étant protégés de la lumière. On a mesuré l'absorbance de chaque mélange à 517 nm en utilisant un spectrophotomètre UV-Visible.

Cette technique permet d'évaluer la capacité antioxydante en quantifiant la diminution de l'absorbance provoquée par la neutralisation des radicaux libres DPPH, grâce aux composés antioxydants contenus dans les extraits.

Chaque valeur d'absorbance est associée à un pourcentage d'inhibition déterminé par l'équation ci-dessous :

$$I (\%) = \left(\frac{A_0 - A}{A_0} \right) \times 100$$

Où :

A₀ : est l'absorbance de la solution de DPPH sans extraits

A : est l'absorbance de la solution de DPPH en présence des extraits.

On confirme nos résultats par des travaux antérieurs portés sur le test antiradicalaire des espèces du genre *Rhamnus* de la famille des Rhamnaceae [11] ; leurs résultats montrent que les 2 l'extraits présentent également une activité antiradicalaire élevée, **Tableau (III 5)**, **Tableau (III.6)**

Figure III.10, Figure III.11.

Tableau (III. 5) : Résultats obtenus pour l'extrait de méthanol

Tube	Concentration (mg/ml)	Absorbance	Inhibition
Tube 1	1.500	0.146	94.98
Tube 2	0.9375	0.185	93.64
Tube 3	0.857	0.134	95.39
Tube 4	0.600	0.154	94.71
Tube 5	0.375	1.005	65.45

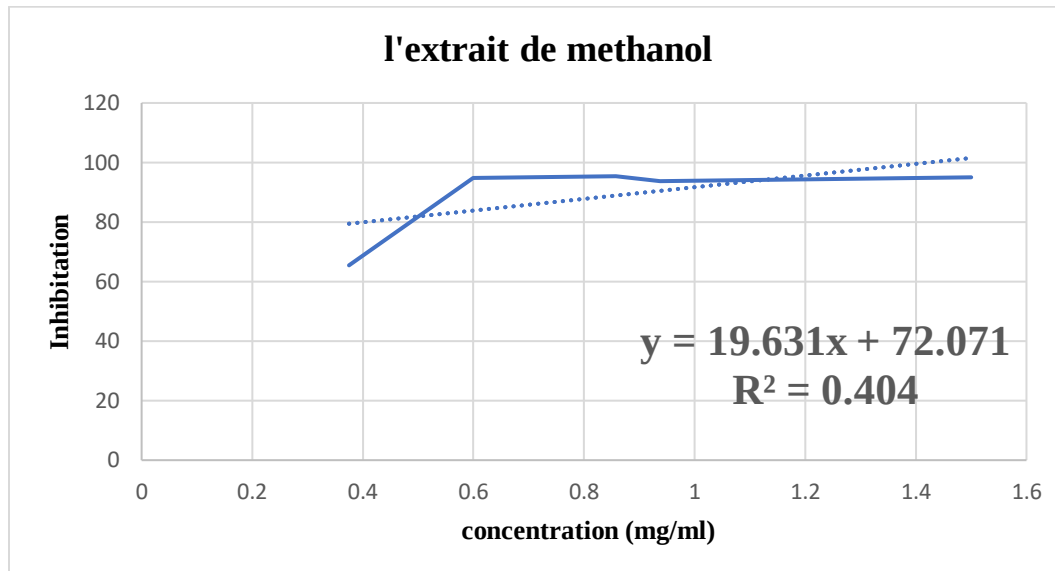


Figure III.10 : Courbe d'étalonnage pour l'extrait de méthanol

Dans cette expérience, l'activité antioxydante de l'extrait méthanoïque a été évaluée à différentes concentrations, en mesurant le pourcentage d'inhibition (%) du radical libre DPPH. La courbe montre que l'inhibition est élevée dès les faibles concentrations, puis se stabilise progressivement avec l'augmentation de la dose, suggérant une saturation précoce de l'activité.

Bien qu'il existe une relation globalement croissante entre la concentration et l'inhibition, cette relation n'est pas parfaitement linéaire. Cela est confirmé par la valeur du coefficient de détermination $R^2 = 0.404$, qui traduit une corrélation relativement faible entre les deux variables. La présence d'un fléchissement du tracé à fortes concentrations suggère que l'effet atteint un plateau autour de 100 %, traduisant une inhibition maximale déjà atteinte.

Ces résultats indiquent que l'extrait méthanolique possède une forte activité antioxydante même à faibles doses, ce qui suggère la présence de composés hydrophiles très actifs (tels que les polyphénols ou flavonoïdes) capables de neutraliser rapidement les radicaux libres. Toutefois, il est important de ne pas extrapoler ces données au-delà de l'intervalle testé, en raison de l'absence de linéarité complète.

En conclusion, cet extrait présente un potentiel prometteur pour des applications pharmaceutiques ou biologiques, en tant que source naturelle d'antioxydants.

Tableau (III. 6) : Résultats obtenus pour l'extrait de chloroforme

Tube	Concentration (mg/ml)	Absorbance	Inhibition
Tube 1	1.500	0.329	88.69
Tube 2	0.9375	0.986	66.11
Tube 3	0.857	1.703	41.46
Tube 4	0.600	2.119	27.16
Tube 5	0.375	2.518	13.44

Ce tableau illustre l'effet antioxydant de l'extrait de chloroforme de *Rhamnus alaternus* à différentes concentrations. On observe une relation inverse entre la concentration et l'absorbance, indiquant que l'activité antioxydante diminue avec la dilution.

L'analyse des données montre une relation inverse entre la concentration de l'extrait et l'absorbance : plus la concentration diminue, plus l'absorbance augmente. Cela indique que la capacité de l'extrait à neutraliser les radicaux libres DPPH diminue avec la dilution, ce qui se traduit par une quantité résiduelle plus importante de DPPH dans la solution, et donc une absorbance plus élevée. Ce phénomène est typique d'un extrait riche en composés antioxydants actifs à forte dose.

Le pourcentage d'inhibition augmente avec la concentration, atteignant 88.69 % à 1.5 mg/ml, ce qui révèle une activité antioxydante dose-dépendante. Ces résultats suggèrent que l'extrait contient des composés bioactifs capables de neutraliser efficacement les radicaux libres, et justifient son potentiel pour des applications thérapeutiques ou industrielle

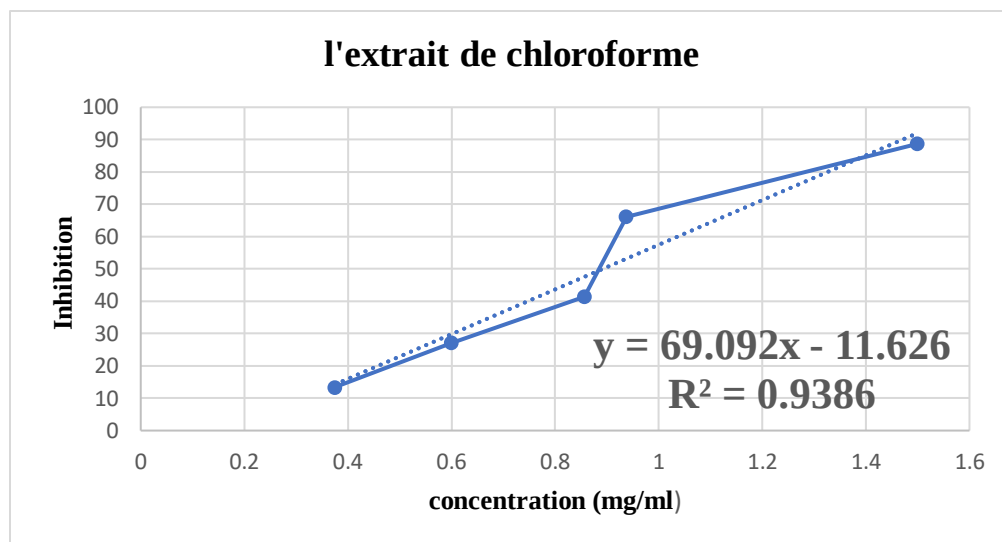
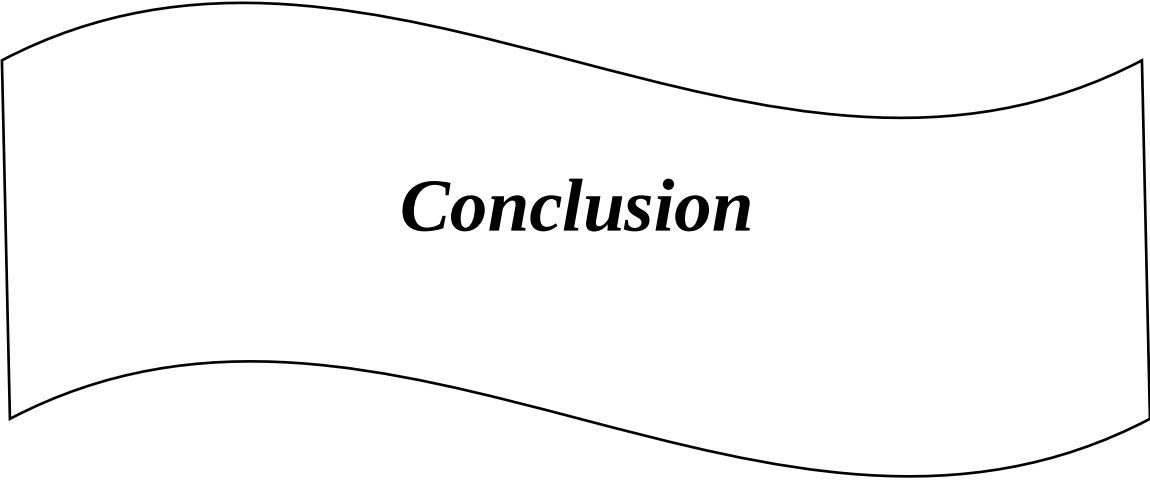


Figure III.11 : Courbe d'étalonnage pour l'extrait de chloroforme

Cette courbe illustre la relation entre la concentration de l'extrait de chloroforme et le pourcentage d'inhibition du radical DPPH. On observe que l'inhibition augmente avec la concentration, ce qui indique un effet antioxydant dose-dépendant.

La droite en pointillés correspond à la régression linéaire dont l'équation est : $y = 69.092x - 11.626$ avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0.9386$, traduisant une forte corrélation entre les deux paramètres.

Ainsi, l'extrait présente une bonne capacité antioxydante, en particulier à des concentrations élevées, ce qui confirme son intérêt potentiel comme source naturelle de composés antioxydant



Conclusion

Conclusion

L'étude des plantes médicinales a augmenté vue de leurs utilisations dans le traitement naturel d'une variété de maladies dans le monde, Preuve que les molécules isolées à partir de ces plantes sont certainement intéressantes pour être utilisées comme thérapie alternative ou comme modèle pour la synthèse de nouvelles substances bioactives. Ces plantes Elles contiennent des métabolites secondaires avec des effets biologiques différents.

L'espèce *Rhamnus alaternus* L. est une végétale d'un grand intérêt du point de vue phytochimique et pharmacologique. Notre travail consiste à réaliser une étude bibliographique d'une part sur la famille des *Rhamnaceae*, et d'autre part sur la composition chimique et les intérêts biologiques du genre *Rhamnus*.

Le rendement d'extraction le plus élevé a été observé avec le méthanol (22,29 %), indiquant une meilleure solubilité des composés polaires dans ce solvant, contre un rendement de 15,075 % pour l'extrait au chloroforme

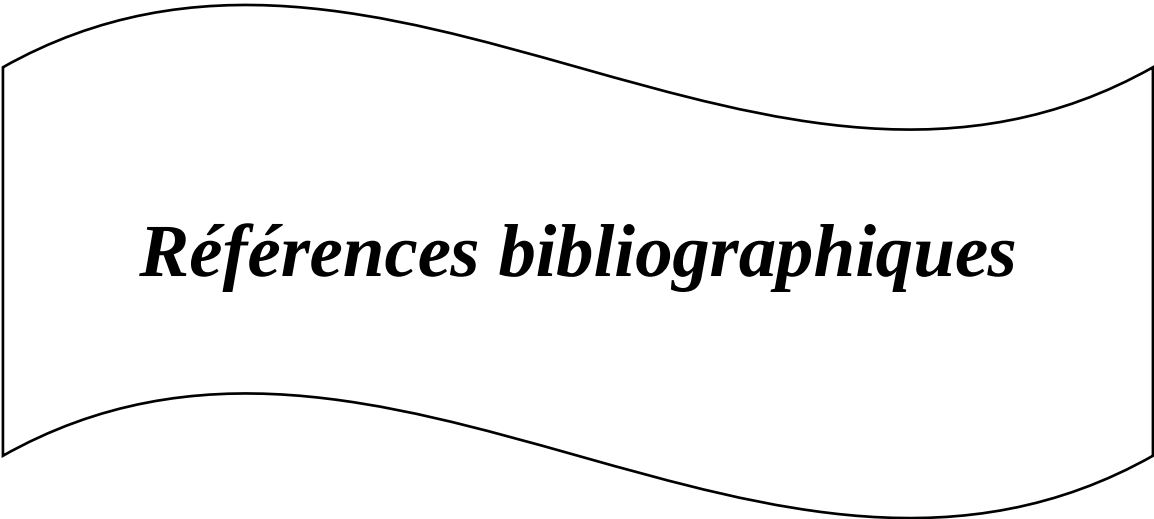
Sur les études phytochimiques réalisées sur les espèces du genre *Rhamnus* appartenant à la famille Rhamnaceae confirment bien sa richesse en métabolites secondaires tel que les composé phénolique notamment les flavonoïdes qui sont bien connues pour leur grande importance en activités biologiques, les terpènes, les stérols.

La capacité anti-radicalaire des extraits CHCl_3 et MeOH de la plante a été déterminée par la méthode DPPH. Les résultats indiquent que les deux extraits ont une activité significative, donc ces plantes contiennent des molécules appelées agents antioxydants.

Par ailleurs, l'analyse de l'activité antioxydante, menée à l'aide du test DPPH, a démontré une capacité notable de l'extrait méthanolique à neutraliser les radicaux libres, avec un pourcentage d'inhibition dépassant 94 %, ce qui atteste d'un pouvoir antioxydant élevé.

L'ensemble de ces résultats met en évidence les propriétés prometteuses de *Rhamnus alaternus* L. en tant que source naturelle de composés bioactifs. Ces données ouvrent la voie à des investigations plus poussées visant à identifier et caractériser les molécules responsables de ces effets, en vue d'une éventuelle valorisation pharmaceutique ou cosmétique. En somme, cette étude

confirme l'intérêt croissant accordé aux ressources végétales locales dans le développement de produits de santé innovants, efficaces et durables.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Fiaud, C. *Effets secondaires des médicaments chimiques*. Rev. Méd. Pharm. 1990, **46**, 112–118.
- [2] Bahorun, T.; Luximon-Ramma, A.; Crozier, A.; Aruoma, O. I. *Phenolic constituents and antioxidant capacities of Mauritian black teas*. Food Chem. 1996, **60** (1), 7–12.
- [3] Mai, L. P.; Guénard, D.; Sévenet, T.; Guéritte, F. I.; Dumontet, V.; Tri, M. V.; Hill, B.; Thoison, O. *Cytotoxicity of Rhamnosylanthraquinones and Rhamnosylanthrones from Rhamnus nepalensis*. J. Nat. Prod. 2001, **64**, 1162–1168.
- [4] Bas, J.; Oliveras, J.; Gómez, C. *Myrmecochory and Short-Term Seed Fate in Rhamnus alaternus: Ant Species and Seed Characteristics*. Acta Oecol. 2009, **35** (3), 380–384.
- [5] Ait Youssef, M. *Les Plantes Médicinales de Kabylie*; Ibis Press: Paris, 2006; pp 278–279.
- [6] BOUCHENAK, O.; YAHIAOUI, K.; BENHABYLES, N.; LAOUFI, R.; TOUBAL, S.; EL HADDAD, D.; OUSSAID, S.; BLIZAK, D.; ARAB, K. *Criblage phytochimique et évaluation du pouvoir antioxydant des feuilles de Myrtus communis L. et Rhamnus alaternus L.* Revue Agrobiologia, 2020, **10**(1), 1749–1761.
- [7] Ozenda, P. *Flore de Sahara*, 2nd ed.; CNRS: Paris, 1983.
- [8] Acevedo-Rodríguez P. *Rhamnaceae*. In: *Lianas and Climbing Plants of the Neotropics*. Washington, D.C.: Smithsonian Institution; 2005.
- [9] Quezel P., Santa S., 1963. *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Ed. Centre nationale de la recherche scientifique, Paris, Claude Hammer, 2018. Les Plantes Toxiques Vol 4. 1617-620.
- [10] Monde Végétal. Généralités sur les Rhamnacées. *Monde Végétal*, 2 octobre 2021
- [11] OUCHTATI, S. *Contribution à l'étude des activités biologiques de deux plantes médicinales algériennes à effet antidiabétique*; Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar - Annaba, Faculté des Sciences, Département de Biologie, 2020.
- [12] Simpson, M. G. *Diversity and Classification of Flowering Plants: Eudicots*. In *Plant Systematics*, 2nd ed.; Academic Press: San Diego, CA, 2010; pp. 275–448

- [13] Punt, W.; Marks, A.; Hoen, P. P. The Northwest European Pollen Flora, 63: Rhamnaceae. *Review of Palaeobotany and Palynology* 2003, 123(1–2).
- [14] Bhouri, W.; Boubaker, J.; Kilani, S.; Ghedira, K.; Chekir-Ghedira, L. Evaluation of Antioxidant and Antigenotoxic Activity of Two Flavonoids from *Rhamnus alaternus* L. (Rhamnaceae): Kampeferol 3-O- β -isorhamnnoside and Rhamnocitrin 3-O- β -isorhamnnoside. *S. Afr. J. Bot.* 2012, 80, 57–62.
- [15] Ben Ammar, R.; Sghaier, M. B.; Boubaker, J.; Bhouri, W.; Naffeti, A.; Skandrani, I.; Bouhlel, I.; Kilani, S.; Ghedira, K.; Chekir-Ghedira, L. Antiproliferative, Antioxidant, and Antimutagenic Activities of Flavonoid-Enriched Extracts from Tunisian *Rhamnus alaternus* L.: Combination with the Phytochemical Composition. *J. Chem. Toxicol.* 2008, 31, 61–80.
- [16] Ammar, R. B.; Sghaier, M. B.; Boubaker, J.; Bhouri, W.; Naffeti, A.; Skandrani, I.; Bouhlel, I.; Kilani, S.; Ghedira, K.; Chekir-Ghedira, L. Antioxidant and Free Radical-Scavenging Properties of Three Flavonoids Isolated from the Leaves of *Rhamnus alaternus* L. (Rhamnaceae): A Structure-Activity Relationship Study. *Food Chem.* 2009, 116, 258–264.
- [17] González-Tejero, M. R.; et al. Medicinal plants in the Mediterranean area: synthesis of a multidisciplinary study on their inventory and evaluation of their toxicity. *J. Ethnopharmacol.* 2008 , 117 (2), 223–235.
- [18] Benkhmaguif, A.; et al. Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le traitement des affections cutanées en Algérie. *Afr. J. Tradit. Complement. Altern. Med.* 2012 , 9 (3), 366–375.
- [19] Hafid, F.; et al. Activités antibactérienne et antifongique de quelques plantes médicinales algériennes. *Afr. J. Biotechnol.* 2010 , 9 (40), 6591–6596.
- [20] Touati, A.; Khelifi, D.; Khelifi-Slaoui, M. Ethnobotanical study of medicinal plants used in the treatment of skin diseases in the North-East of Algeria. *J. Intercult. Ethnobot.* 2016 , 5 (2), 138–144.
- [21] López-Muñoz, F. J.; et al. The use of medicinal plants in Navarre (Spain): A review based on historical and ethnobotanical sources. *Fitoterapia* 2007 , 78 (3), 197–203.
- [22] Ibn Tattou, M.; et al. Ethnobotanical survey of medicinal plants used in treating gastrointestinal disorders in central Morocco. *J. Ethnopharmacol.* 2018 , 224 , 149–162.

- [23] Jäger, A. K.; et al. Ethnobotanical survey of Herceg Novi (Montenegro, Southern Europe). *J. Ethnopharmacol.* 2007, *111* (3), 635–644.
- [24] Chancerel, L. *Flore Forestière du Globe*; Gauthier-Villars: Paris, 1920; pp 561–562.
- [25] Debeaux, J. O. *Flore de la Kabylie du Djurdjura, ou, Catalogue Méthodique et Raisonné de Toute la Plante Vasculaire et Spontanées Observées Jusqu'à ce Jour dans Cette Contrée*; Klincksieck: Paris, 1984; pp 81–82.
- [26] Nigussie, G.; Melak, H.; Endale, M. Traditional Medicinal Uses, Phytochemicals, and Pharmacological Activities of Genus *Rhamnus*: A Review. *J. Turk. Chem. Soc., Sect. A: Chem.* 2021, *8*(3), 899–932.
- [27] Cuoco, G.; Mathe, C.; Vieillescazes, C. Liquid Chromatographic Analysis of Flavonol Compounds in Green Fruits of Three *Rhamnus* Species Used in Stil de Grain. *Microchem. J.* 2014, *115*, 130–137.
- [28] Judd, W. S.; Campbell, C. S.; Kellogg, E. A.; Stevens, P. F.; Donoghue, M. J. *Plant Systematics: A Phylogenetic Approach*, 4th ed.; Sinauer Associates: Sunderland, MA, 2016.
- [29] Delormois, M. *L'art de faire l'indienne à l'instar d'Angleterre*; Librairie du Roi: Paris, 1770.
- [30] Romani, A.; Zuccaccia, C.; Clementi, C. An NMR and UV-visible spectroscopic study of the principal colored component of Stil de grain lake. *Dyes Pigm.* 2006, *71*, 218–223.
- [31] Cardon, D. *Le monde des teintures naturelles*; Belin: Paris, 2003.
- [32] Pérégo, F. *Dictionnaire des matériaux du peintre*; Belin: Paris, 2005.
- [33] Christensen, K. I. Taxonomy and Evolution of the Genus *Rhamnus*. *Willdenowia* 2002, *32* (1), 47–59.
- [34] Duke, J. A. *Handbook of Phytochemical Constituents of GRAS Herbs and Other Economic Plants*; CRC Press: Boca Raton, 1992.
- [35] Bruneton, J. *Pharmacognosy, Phytochemistry, Medicinal Plants*; Intercept: Hampshire, 1999.
- [36] Blumenthal, M.; Goldberg, A.; Brinckmann, J. *Herbal Medicine: Expanded Commission E Monographs*; American Botanical Council: Austin, TX, 2000.

- [37] Van Wyk, B. E.; Wink, M. *Medicinal Plants of the World*; Briza Publications: Pretoria, 2004.
- [38] Orhan, I.; Sener, B.; Choudhary, M. I. Antimicrobial Activity of Some Natural Products from the Genus *Rhamnus*. *Pharm. Biol.* **2006**, *44* (5), 344–348.
- [39] Grosso, C.; Valentão, P.; Ferreres, F.; Seabra, R. M.; Andrade, P. B. Phenolic Profile of Selected Wild Growing and Cultivated Plants from Portugal. *J. Agric. Food Chem.* **2007**, *55* (10), 3954–3962.
- [40] Houmani, Z.; Khelifi, D. Contribution à l'étude des plantes médicinales dans la région de Tizi Ouzou. *Larhyss J.* 2011, *10*, 17–32.
- [41] Bellil, S.; Benkhaled, M.; Khelifi, L. Activité Antibactérienne de Quelques Extraits de *Rhamnus alaternus* L. *Rev. Ressour. Nat.* 2012, *3* (2), 45–52.
- [42] Bouaziz, M.; Sayadi, S.; Belkacemi, K. Valorisation des Fruits de *Rhamnus lycioides* L. comme Source d'Antioxydants Naturels. *OCL – Oléagineux, Corps Gras, Lipides* 2008, *15* (5), 323–327.
- [43] Hamdi, H.; Benhouhou, S. Étude Phénologique de Quelques Espèces Ligneuses dans la Région de Mascara (Algérie Occidentale). *Acta Bot. Gallica* **2009**, *156* (4), 647–660.
- [44] Atlas du Sahara. *Rhamnus oleoides*. <https://atlas-sahara.org/>
- [45] Lafrit, D.; Aliouache, M.; Mennad, L. Étude ethnobotanique du risque lié à l'usage traditionnel de *Rhamnus alaternus* L.; Thèse de Doctorat en Pharmacie, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Faculté de Médecine, Tizi-Ouzou, Algérie, 2023.
- [46] Gubb, A. S. La Flore Algérienne, Naturelle et Acquisée; A. Jourdan: Alger, 1913; pp 16–17
- [47] Mobile Reference, Ed. The Illustrated Encyclopedia of Trees and Shrubs: An Essential Guide to Trees and Shrubs of the World; Mobile Reference: 1988; p 5205.
- [48] Eva, Alaterne *Rhamnus alaternus*. (Article), Octobre 2018, (<https://www.promessedefleurs.com/conseil-plantes-jardin/fichefamille/bourdaïne-nerprunalaterne-rhamnus-planter-tailler-entreteni>)
- [49] Hariri Y, Baaliouamer A, Ghezali R, Kabouche A. Phytochemical screening and antioxidant activity of *Rhamnus alaternus* L. from Algeria. *J. Appl. Pharm. Sci.* , 2017; *7*(12): 179–184.

- [50] Aichour, S.; Mouffouk, C.; Benkhaled, M.; Haba, H. Phytochemical Composition, Antioxidant, Cytotoxic, Haemolytic and Antibacterial Activities of the Aerial Parts of *Rhamnus alaternus*. *Herba Pol.* 2023, 69 (3), 15–28. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.8860>.
- [51] Elansary, H. O.; Szopa, A.; Kubica, P.; Ekiert, H.; Al-Mana, F. A.; El-Shafei, A. A. Polyphenols of *Frangula alnus* and *Peganum harmala* Leaves and Associated Biological Activities. *Plants* 2020, 9 (9), 1086.
- [52] Tiwari, R.; Rana, C. S. Plant Secondary Metabolites: A Review. *Int. J. Eng. Res. Gen. Sci.* 2015, 3(5), P 661-670.
- [53] Sun, S.; Wesolowski, S. S. Biologically Active Metabolites in Drug Discovery. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2021, 48, 128255.
- [54] Chaturvedi, S.; Gupta, P. Plant Secondary Metabolites for Preferential Targeting among Various Stressors of Metabolic Syndrome. In *Studies in Natural Products Chemistry*; Atta-ur-Rahman, Ed.; Elsevier: Amsterdam, 2021; Vol. 71, pp 221–226
- [55] Singh, N. K.; Baranwal, J.; Pati, S.; Barse, B.; Khan, R. H.; Kumar, A. Application of Plant Products in the Synthesis and Functionalisation of Biopolymers. *Int. J. Biol. Macromol.* 2023, 237, 124174.
- [56] Vijayakumar, R.; Raja, S. S. S., Eds. *Sources of Secondary Metabolites*; IntechOpen: London, 2018; pp 148.
- [57] Das, K.; Gezici, S. Secondary Plant Metabolites, Their Separation and Identification, and Role in Human Disease Prevention. *Ann. Phytomed.* 2018, 7(2), 13–24.
- [58] Krief, S. *Métabolites secondaires des plantes et comportement animal : Surveillance sanitaire et observations de l'alimentation de chimpanzés (*Pan troglodytes schweinfurthii*) en Ouganda. Activités biologiques et étude chimique de plantes consommées* ; Ph.D. Thesis, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, France, 2003.
- [59] Vijayakumar, R.; Raja, S. S. S., Eds. *Secondary Metabolites: Trends and Reviews*; IntechOpen: London, 2022; 310 pp.

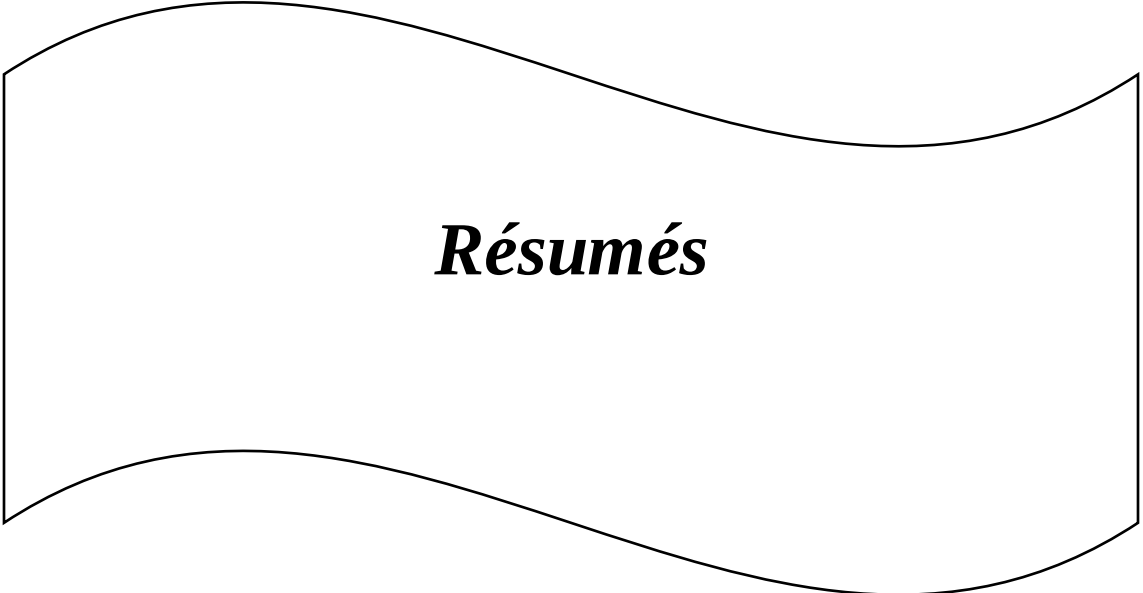
- [60] Vermerris, W.; Nicholson, R. *Phenolic Compound Biochemistry*; Physica-Verlag: Heidelberg, 2006.
- [61] Crizel, R. L.; Zandoná, G. P.; Rossi, R. C.; Ferreira, C. D.; Hoffmann, J. F. Solid-Phase Extraction for Determination of Phenolic Compounds in Food and Beverage. In Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering; Elsevier, 2023.
- [62] Lin, D.; Xiao, M.; Zhao, J.; Li, Z.; Xing, B.; Li, X.; Kong, M.; Li, L.; Zhang, Q.; Liu, Y.; Chen, H.; Qin, W.; Wu, H.; Chen, S. An Overview of Plant Phenolic Compounds and Their Importance in Human Nutrition and Management of Type 2 Diabetes. *Molecules* 2016, 21(10).
- [63] Watson, R. R. *Polyphenols in Plants : Isolation, Purification, and Extract Preparation*; Elsevier Science : 2014.
- [64] Balasundram, N.; Sundram, K.; Samman, S. *Phenolic Compounds in Plants and Agri-Industrial By-Products: Antioxidant Activity, Occurrence, and Potential Uses*. *Food Chem.* 2006, 99 (1), 191–203.
- [65] Al Mamari, H. H. *Phenolic Compounds: Classification, Chemistry, and Updated Techniques of Analysis and Synthesis*. In *Phenolic Compounds – Chemistry, Synthesis, Diversity, Non-Conventional Industrial, Pharmaceutical and Therapeutic Applications*; Badria, F. A., Ed.; IntechOpen: London, 2021.
- [66] Ayad, R.; Akkal, S. Phytochemistry and Biological Activities of Algerian *Centaurea* and Related Genera. In *Studies in Natural Products Chemistry*, 2019; Vol. 63, pp 357–414.
- [67] Li, Z.; Yang, Y.; Liu, M.; Zhang, C.; Shao, J.; Hou, X.; Tian, J.; Cui, Q. A Comprehensive Review on Phytochemistry, Bioactivities, Toxicity Studies, and Clinical Studies on *Ficus carica* Linn. Leaves. *Biomed. Pharmacother.* 2021, 137.
- [68] Erukainure, O. L.; Sanni, O.; Islam, Md. S. *Clerodendrum volubile*: Phenolics and Applications to Health. In *Polyphenols: Mechanisms of Action in Human Health and Disease*, 2nd ed.; Elsevier: 2018.
- [69] Santana, L.; Uriarte, E.; González-Díaz, H.; Zagotto, G.; Soto-Otero, R.; Méndez-Álvarez, E. *J. Med. Chem.* 2006, 49, 1118–1121.

- [70] Borges, F.; Roleira, F.; Milhazes, N.; Santana, L.; Uriarte, E. *Curr. Med. Chem.* 2005, 12, 887–916.
- [71] Tebakh, C.; Imerzoukene, F. *Synthèse et Caractérisation de Quelques Molécules Anticoagulantes Dérivées de la Coumarine*; Master's Thesis, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012.
- [72] Harkati, B. *Valorisation et Identification Structurale des Principes Actifs de la Plante de la Famille Asteraceae: Scorzonera undulata*; Doctoral Thesis, Université Mentouri Constantine, 2011; p 145.
- [73] Verma, C., Ed. *Science and Engineering of Polyphenols: Fundamentals and Industrial Scale Applications*; Wiley: Hoboken, NJ, 2024; p 489. ISBN 978-1-394-20392.
- [74] Sun, C. ; Zhao, C. ; Guven, E. C. ; et al. Dietary polyphenols as antidiabetic agents: Advances and opportunities. *Food Frontiers* 2020, 1 (2), 137–167.
- [75] Li, W.; Chen, H.; Xu, B.; Wang, Y.; Zhang, C.; Cao, Y.; Xing, X. Research Progress on Classification, Sources and Functions of Dietary Polyphenols for Prevention and Treatment of Chronic Diseases. *J. Future Foods* 2023, 3 (4),
- [76] Prabhu, S.; Molath, A.; Choksi, H.; Kumar, S.; Mehra, R. Classifications of Polyphenols and Their Potential Application in Human Health and Diseases. *Int. J. Physiol. Nutr. Phys. Educ.* 2021, 6 (1).
- [77] Roy, A.; Khan, A.; Ahmad, I.; Alghamdi, S.; Rajab, B. S.; Babalghith, A. O.; Alshahrani, M. Y.; Islam, S.; Islam, M. R. Flavonoids: A Bioactive Compound from Medicinal Plants and Its Therapeutic Applications. *BioMed Res. Int.* 2022.
- [78] Panche, A. N.; Diwan, A. D.; Chandra, S. R. Flavonoids: An Overview. *J. Nutr. Sci.* 2016, 5, e47.
- [79] Chen, S.; Wang, X.; Cheng, Y.; Gao, H.; Chen, X. A Review of Classification, Biosynthesis, Biological Activities and Potential Applications of Flavonoids. *Molecules* 2023, 28 (13).

- [80] Furlan, C. M.; Motta, L. B.; dos Santos, D. Y. A. C. Tannins: What Do They Represent in Plant Life? In *Tannins: Types, Foods Containing, and Nutrition*; Petridis, G. K., Ed.; Nova Science Publishers: New York, 2010; Chapter 10;
- [81] Sieniawska, E. ; Baj, T. Tannins. In *Pharmacognosy: Fundamentals, Applications and Strategies*; Elsevier: 2017.
- [82] Govindarajan, R. K. ; Revathi, S. ; Rameshkumar, N.; Krishnan, M.; Kayalvizhki, N. Microbial tannase: Current perspectives and biotechnological advances. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 2016, 6
- [83] Desam, N. R.; Al-Rajab, A. J. Herbal biomolecules: anticancer agents. In *Herbal Biomolecules in Healthcare Applications*; Elsevier, 2022.
- [84] Pizzi, A. Types, processing and properties of bioadhesives for wood and fibers. In *Advances in Biorefineries: Biomass and Waste Supply Chain Exploitation*; Elsevier, 2014.
- [85] Banik, B. K.; Sahoo, B. M.; Tiwari, A. *Terpenoids: Chemistry, Biochemistry, Medicinal Effects, Ethno-pharmacology*; CRC Press: Boca Raton, 2022;
- [86] Adedokun, K. A.; Imodoye, S. O.; Bello, I. O.; Lanahun, A.-A.; Bello, I. O. Therapeutic potentials of medicinal plants and significance of computational tools in anti-cancer drug discovery. In *Phytochemistry, Computational Tools and Databases in Drug Discovery; Drug Discovery Update*; 2023.
- [87] Abdallah, I. I.; Quax, W. J. A Glimpse into the Biosynthesis of Terpenoids. *NRLS Conf. Proc., Int. Conf. Nat. Resour. Life Sci.* 2017, Vol. 2017
- [88] Croteau, R.; Johnson, M. B. A. Biosynthesis of Terpenoid Wood Extractives. In *Biosynthesis and Biodegradation of Wood Components*; Higuchi, T., Ed.; Academic Press: Orlando, FL, 1985; pp 379–439.
- [89] Brielmann, H. L.; Setzer, W. N.; Kaufmann, P. B.; Kirakosyan, A.; Cseke, L. J. Phytochemicals: The Chemical Components of Plants. In *Natural Products from Plants*, 2nd ed.; Cseke, L. J.; Kirakosyan, A.; Kaufmann, P. B.; Weber, S.; Duke, J. A.; Brielmann, H., Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL, 2006; pp 1–50.

- [90] Singh, G. *Chemistry of Terpenoids and Carotenoids*; Discovery Publisher Pvt. Ltd.: New Delhi, 2007; pp 1–286.
- [91] Harborne, J. B. *Phytochemical Methods: A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis*, 3rd ed.; Chapman & Hall: London, 1998.
- [92] Bakkali, F.; Averbeck, S.; Averbeck, D.; Idaomar, M. Biological Effects of Essential Oils – A Review. *Food Chem. Toxicol.* 2008, 46 (2), 446–475
- [93] Awouafack, M. D.; Tane, P.; Kuete, V.; Eloff, N. J. Sesquiterpenes from the Medicinal Plants of Africa. In *Medicinal Plant Research in Africa*; Kuete, V., Ed.; Elsevier: Amsterdam, 2013; pp 33–103.
- [94] Antoine, G. *Biosynthèse et Rôle Biologique des Diterpènes dans les Graines de Caféiers*; Doctoral Thesis, Université de La Réunion, Faculté des Sciences et Technologies, École Doctorale Sciences, Technologies et Santé (ED STS-542), UMRs DIADE et PVBMT, La Réunion, France, 2015.
- [95] Hostettmann, K.; Marston, A. *Saponins*; Cambridge University Press: Cambridge, 1995.
- [96] Liu, J. Oleanolic Acid and Ursolic Acid: Research Perspectives. *J. Ethnopharmacol.* 2005, 100 (1–2), 92–94.
- [97] Huang, M.; Lu, J.-J.; Huang, M.-Q.; Bao, J.-L.; Chen, X.-P.; Wang, Y.-T. Terpenoids: Natural Products for Cancer Therapy. *Expert Opin. Investig. Drugs* 2012, 21 (12), 1801–1818
- [98] Krinsky, N. I.; Johnson, E. J. Carotenoid Actions and Their Relation to Health and Disease. *Mol. Aspects Med.* 2005, 26 (6), 459–516.
- [99] Grau, E.; Mecking, S. Polyterpenes by Ring-Opening Metathesis Polymerization of Caryophyllene and Humulene. *Green Chem.* 2013, 15 (5), 1112–1116
- [100] Saxena, P. B. *Chemistry of Alkaloids*; Discovery Publishing House Pvt. Limited: New Delhi, 2007; p. 1. ISBN 9788183563161
- [101] Singh, N. K.; Baranwal, J.; Pati, S.; Barse, B.; Khan, R. H.; Kumar, A. Application of plant products in the synthesis and functionalisation of biopolymers. *Int. J. Biol. Macromol.* 2023, 237, 124174.

- [102] Das, K.; Gezici, S. Secondary Plant Metabolites, Their Separation and Identification, and Role in Human Disease Prevention. *Ann. Phytomed.* 2018, 7 (2), 13–24
- [103] Pinjari, R. R.; Ahmed, N. A.; Siddiqui, A. *Concepts of Alkaloids from Natural Sources*; Cambridge Scholars Publishing: Newcastle upon Tyne, 2024; ISBN 9781036414047.
- [104] Ramli, A. A.; Iqhrammullah, M.; Nawawi, R. *Pharmacognosy: Basic Concepts, Applications and Future Perspectives*; Springer Nature: 2023;
- [105] Lecomte, M. Chromatographie sur papier ou en couche mince (CCM). Application à la mycologie; Association de Mycologie François-Bourdot (AMFB), 2010.
- [106] Azmir, J.; Zaidul, I. S. M.; Rahman, M. M.; Sharif, K. M.; Mohamed, A.; Sahena, F.; Jahurul, M. H. A.; Ghafoor, K.; Norulaini, N. A. N.; Omar, A. K. M. Techniques for Extraction of Bioactive Compounds from Plant Materials: A Review. *J. Food Eng.* 2013, 117 (4), 426–436
- [107] Blois M S. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*. 1958; 4617 (181): 1119-1200.



Résumés

Résumé

L'espèce *Rhamnus alaternus* L, connu localement sous le nom de « Mlilis », est une plante appartenant à la famille des Rhamnaceae. Elle est largement utilisée en Algérie dans le cadre de la médecine traditionnelle.

Ce travail vise à l'extraction des métabolites secondaires provenant de différentes parties de cette plante. Les présents travaux concernent une l'étude photochimie d'une plante du genre *Rhamnus* (Rhamnaceae). L'extraction et les séparations chromatographiques (VLC, CC et CCM) des deux extraits chloroformique, et méthanolique, et aussi une étude biologique (activité antioxydante).

Les tests de screening phytochimique ont révélé la présence de plusieurs métabolites secondaires dans la plante notamment les polyphénols de type flavonoïdes, les alcaloïdes, les terpènes et les stérols.

Les résultats de l'activité antioxydante par le test DPPH ont indiqué que les deux l'extraits présentent une la meilleure activité anti-radicalaire.

Mots-clés : Rhamnaceae, *Rhamnus*, métabolites secondaires, les flavonoïdes, activité antioxydante, métabolites secondaires.

الملخص

تُعدّ نبتة *Rhamnus alaternus* L ، المعروفة محلياً باسم "مُليّيس"، من النباتات التابعة لعائلة Rhamnaceae ، وتُستخدم على نطاق واسع في الطب التقليدي في الجزائر

. يهدف هذا العمل إلى استخلاص المركّبات الثانوية من أجزاء مختلفة من هذه النبتة، ويتناول دراسة كيميائية نباتية لنوع من جنس *Rhamnus* عائلة (Rhamnaceae)

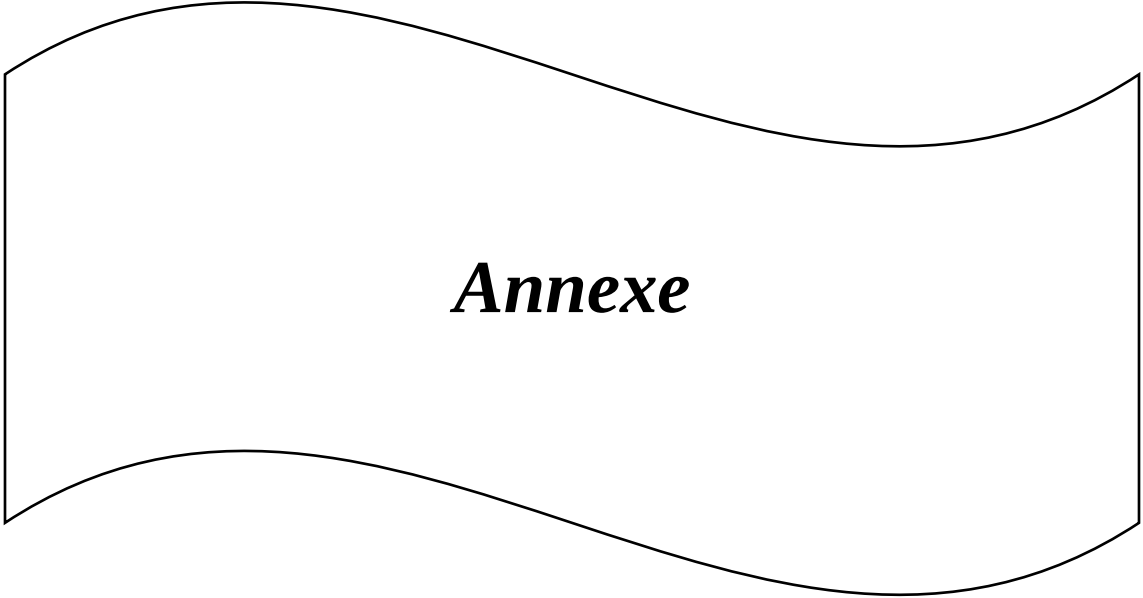
شملت الدراسة عمليات الاستخلاص والفصل الكروماتوغرافي (VLC ، CC و CCM) للمستخلصين الكلوروفورمي والميثانولي، بالإضافة إلى دراسة النشاط البيولوجي المتمثل في النشاط المضاد للأكسدة.

كشفت اختبارات التحري الكيميائي النباتي عن وجود عدد من المركّبات الثانوية في النبتة، وخاصة البوليفينولات من نوع الفلافونويدات، والقلويدات، والتربينات، والستيرولات.

أظهرت نتائج اختبار النشاط المضاد للأكسدة باستخدام اختبار DPPH أن كلا المستخلصين يُظهران نشاطاً عالياً في مقاومة الجذور الحرة.

الكلمات المفتاحية:

Rhamnus ، Rhamnaceae ، المركّبات الثانوية، الفلافونويدات، النشاط المضاد للأكسدة.



Annexe



Autorisation d'impression finale d'un mémoire de master

	Nom et prénom	Signature
Présidente de jury	Babaamer Zohra	
Examinatrice	Baba Arbi Ilyas	
Encadrante	Benchadi Wassila	

Je soussignée : Babaamer Zohra

Président de jury des étudiantes : Bitour Amani Meriem Naila

Filière : Chimie ; Spécialité : Chimie analytique

Thème :

Métabolites secondaires isolés d'une plante saharienne
«*Rhamnus alaternus* L»

J'autorise les étudiantes mentionnées ci-dessus à imprimer et déposer leur manuscrit final au niveau du département.

Ghardaia le : 02/07/2025

La présidente de jury

رئيس قسم التعليم المشترك
في العلوم والتكنولوجيا
شوية فيصل



