

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A.M. Oulhadj - Bouira
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie des Procédés
Laboratoire de Génie des Procédés



Mémoire

Présenté par

NOUARI Maïssa
TIR Chaima

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie Chimique

**Extraction des substances bioactives des plantes
médicinales locales**

Soutenu le 28/06/2026

Devant le jury :

M. MERZOUK A.	MCA	U. AMO - Bouira	Président
M. BOUCELKHA A.	MCB	U. AMO - Bouira	Examineur
M. ABDERRAHIM A.	MCB	U. AMO - Bouira	Encadrant

Année Universitaire : 2025/2026



Faculté SNV Université Bouira



RAPPORT D'ANALYSE

NOM DU DOCUMENT

Mémoire NOUARI Maïssa et TIR Chaima.pdf

SOU MIS PAR

Département Génie des Procédés FSSA Enseignant

TYPE D'ANALYSE

Usage universitaire

DATE DE SOUMISSION

2026-06-23

ÉTUDIANT CONCERNÉ

Mémoire NOUARI Maïssa et TIR Chaima

10.4 %

TAUX GLOBAL DE SIMILARITÉ

● Similarité Forte (10.4%) ● Texte Original (89.6)

SOURCES IDENTIFIÉES

183

Internet

171

Base Detectia

12

Dépôt Institutionnel

0

CITATIONS & RÉFÉRENCES

2.21%

Juridique (Lois)

0.0%

Religieux (Textes sacrés)

0%

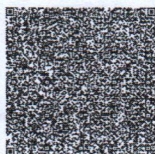
Autres

2.2%

AVIS LÉGAL

Ce document est un rapport technique généré automatiquement par la plateforme Detectia. Il ne constitue pas à lui seul une preuve de plagiat. L'interprétation des résultats incombe aux instances académiques compétentes, conformément à l'arrêté N° 1082 du 27 Décembre 2020 fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Signature Numérique



REF: wg3pr-347443

Cachet et Signature





نموذج التصريح الشرفي الخاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية
لإنجاز بحث.

انا الممضي اسفله،

السيد(ة) حسن شديما الصفة: طالب (ة)

الحامل(ة) لبطاقة التعريف الوطنية: ٥7.000.593.30.30.100 والصادرة بتاريخ: ٢٠٢٤ / ٠٨ / ٠٤

المسجل(ة)/ بكلية العلوم التطبيقية قسم هندسة الطرائق

والمكلف(ة) بإنجاز أعمال بحث(مذكرة، التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، أطروحة دكتورا).

Extraction des substance bioactives des plantes
médicinales locales. :عنوانها:

تحت إشراف الأستاذ(ة): A. Abdelrahman

أصرح بشرفي اني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية الاخلاقيات المهنية والنزاهة الأكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 2026/06/23

توقيع المعني (ة)

رأي هيئة مراقبة السرقة العلمية:

النسبة

10.4%





نموذج التصريح الشرفي الخاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لإنجاز بحث.

انا الممضي اسفله،

السيد(ة).....فوزة رجا سايست.....الصفة: طالب (ة)

الحامل(ة) لبطاقة التعريف الوطنية.....11003101702280005.....والصادرة بتاريخ.....2023/03/11

المسجل(ة)/ بكلية العلوم التطبيقية قسم هندسة الطرائق

والمكلف(ة) بإنجاز اعمال بحث(مذكرة، التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، اطروحة دكتوراه).

عنوانها:.....Extraction des substances bioactives des plantes
médicinales locales.....

تحت إشراف الأستاذ(ة):.....M. ABDERRAHIM.....

أصرح بشرفي اني ألترم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية الاخلاقيات المهنية والنزاهة الاكاديمية المطلوبة في
انجاز البحث المذكور أعلاه.

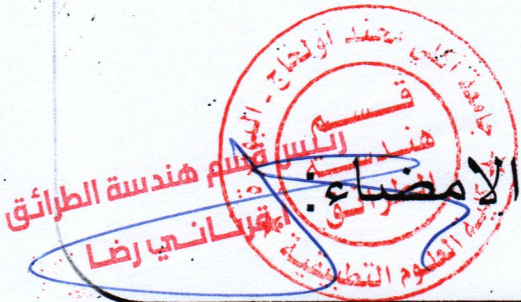
التاريخ:.....2023-06-20.....

توقيع المعني(ة)

رأي هيئة مراقبة السرقة العلمية:

10.4 %

النسبة:



Remerciements

Nous remercions tout d'abord Allah Tout-Puissant de nous avoir donné la force, la patience et le courage afin de mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à l'ensemble du personnel du Laboratoire de Génie des Procédés pour les conditions de travail et le cadre scientifique mis à notre disposition durant la préparation de notre mémoire de fin d'études.

Nous remercions vivement notre encadrant, M. ABDERRAHIM A., pour son aide précieuse, ses conseils, sa disponibilité et son accompagnement tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous exprimons également notre gratitude à M. MERZOUK A., président du jury, ainsi qu'à M. BOUCELKHA A., examinateur, pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Nous n'oublions pas les ingénieurs et techniciens du laboratoire pour leur soutien, leur aide et leur disponibilité durant les manipulations.

Nous adressons aussi nos remerciements à l'ensemble des enseignants du département de Génie des Procédés pour la qualité de la formation reçue.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidées de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Avant tout, je remercie **Allah le Tout-Puissant** de m'avoir donné la force, la patience et le courage d'accomplir ce modeste travail.

Je dédie ce manuscrit à

A ma petite famille, les piliers de ma vie : à ma très chère maman et mon cher papa, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices et leurs prières quotidiennes. Que Dieu les préserve.

A mon cher frère, pour son soutien constant et sa présence à mes côtés.

A toute ma grande famille, oncles, cousins pour leurs encouragements à chaque étape de mon parcours.

A mes fidèles amis, qui ont partagé mes moments de doute et de joie, et avec qui j'ai avancé pas à pas.

À tous ceux qui me sont chers.

Chaima

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents, en témoignage de leur amour, de leurs sacrifices, de leurs encouragements et de leur soutien inconditionnel tout au long de mon parcours.

À mes chers frères, pour leur affection et leurs encouragements constants.

Une pensée toute particulière à mon frère Ismaïl, pour sa présence permanente et son soutien indéfectible durant la réalisation de ce mémoire.

À tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail, j'exprime ma profonde gratitude et mes sincères remerciements.

Maissa

Remerciements

Dédicaces

Dédicaces

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Lexique

Introduction 1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1. Généralités sur les plantes médicinales..... 3

I.1.1. Définition 3

I.1.2. Historique..... 3

I.2. Classification des plantes médicinales 4

I.2.1. Classification thérapeutique 4

I.2.2. Classification botanique 8

I.3. Métabolites primaires des plantes 8

I.3.1. Définition 8

I.3.2. Classification des métabolites primaires 8

I.4. Métabolites secondaires des plantes médicinales 9

I.4.1. Composés phénoliques..... 10

I.4.2. Alcaloïdes 13

I.4.3. Terpènes 14

I.4.4. Saponines 15

I.5. Activité biologique..... 16

I.5.1. Activité antimicrobienne 16

I.5.2. Activité antioxydante 16

I.5.3. Anti-inflammatoire 17

I.6.Huiles essentielles	17
I.6.1.Définition	17
I.6.2.Différence entre les huiles essentielles et les huiles végétales.....	17
I.6.3.Localisation et rendement en huiles essentielles	18
I.6.4.Activité biologique des huiles essentielles	18
I.7.Méthodes d'extraction	18
I.7.1.Macération à froid.....	18
I.7.2.Extraction Soxhlet.....	18
I.7.3.Hydrodistillation	19
I. 7.4.Extraction Ultrasonore	20
I.7.5.Extraction par micro-ondes.....	21
I.7.6.Extraction par dioxyde de carbone supercritique.....	22
I.8.Matériel végétal	22
I.8.1. <i>Ruta chalepensis</i>	22
I.8.1.1. <i>Rhamnus alaternus</i>	25
I.9.Travaux antérieurs.....	28

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.1.Introduction	30
II.2.Préparation du matériel végétal	30
II.2.1.Récolte	30
II.2.2.Séchage.....	32
II.2.3.Broyage.....	32
II.2.4.Stockage.....	32
II.3.Méthodes d'extraction.....	32
II.3.1.Extraction par macération.....	32
II.3.2.Extraction par Soxhlet	32
II.3.3.Extraction des huiles essentielles	33

II.3.4.Extraction liquide-liquide	34
II.3.5.Évaluation de l'activité antioxydante	35

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1.Résultats des rendements du fractionnement d'extraction liquide-liquide	38
III.1.1.Taux d'humidité du matériel végétal	38
III.2.Rendement en huile essentielle	40
III.3.Activité antioxydante par le test DPPH.....	41
III.3.1.Etude de la variation de l'absorbance en fonction de la concentration :	42
III.3.2.Analyse des courbes d'inhibitions (%) en fonction de la concentration des fractions (mg/ml).....	46
III.4.Interprétation des valeurs des IC ₅₀ des différentes fractions.....	53
III.4.1.Comparaison des méthodes d'extraction : Macération et Soxhlet.....	54
III.4.2.Comparaison entre les fractions (Acétate d'éthyle et n-Butanol).....	54
III.4.3. Evaluation de la variabilité géographique : <i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Turk et Lakhdaria)	55
III.4.4.Comparaison entre les espèces (<i>Rhamnus alaternus</i> et <i>Ruta chalepensis</i>)	55
III.5....Interprétation des valeurs des IC ₅₀ en huile essentielle de <i>Ruta chalepensis</i> et de l'acide ascorbique.....	56
III.5.1.Comparaison générale avec le témoin positif (Vitamine C).....	56
III.6.Explication physico-chimique.....	57
III.7.Comparaison avec les travaux antérieurs	57
III.8.Analyse UV-visible des extraits	58
III.8.1.Analyse UV-visible des fractions de <i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Türk) obtenues par macération	58
III.8.2.Analyse UV-visible des fractions de <i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Türk) obtenues par Soxhlet.....	60
III.8.3.Analyse UV-visible des fractions de <i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria) obtenues par macération	62

III.8.4. Analyse UV-visible des fractions de <i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria) obtenues par Soxhlet.....	64
III.8.5. Analyse UV-visible des fractions de <i>Ruta chalepensis</i> obtenues par macération.....	66
III.8.6. Analyse UV-visible des fractions de <i>Ruta chalepensis</i> obtenues par Soxhlet	68
III.8.7. Analyse comparative entre les régions.....	70
III.8.8. Comparaison des méthodes d'extraction (macération et Soxhlet)	70
Conclusion.....	71
Références bibliographiques.....	73
Résumés	

Liste des tableaux

Tableau I. 1: Exemples des plantes anti-inflammatoires	4
Tableau I. 2: Exemples des plantes antioxydants	5
Tableau I. 3: Exemples des plantes antimicrobienne	6
Tableau I. 4: Exemples des plantes digestives	6
Tableau I. 5: Exemples des plantes sédatives	7
Tableau I. 6: Exemples des plantes diurétiques	7
Tableau I. 7: Exemples d'acides phénoliques et leur structure de base	11
Tableau I. 8: Distribution des principales classes de flavonoïdes.....	12
Tableau I. 9: Distribution des principales classes des terpènes	15
Tableau I. 10: Appellation du <i>Ruta chalepensis</i> en différentes langues	23
Tableau I. 11: Appellation de <i>Rhamnus alaternus</i> en différentes langues	26
Tableau I. 12: Activité antioxydante (IC ₅₀) en huile essentielle du <i>Ruta chalepensis</i>	28
Tableau I. 13: Activité antioxydante (IC ₅₀) des extraits et des fractions de <i>Rhamnus alaternus</i> et <i>Ruta chalepensis</i> réalisés au Maghreb.....	29
Tableau II. 1: Localisation des sites de récolte des plantes étudiées	31
Tableau III. 1: Taux d'humidité des échantillons étudiés (%).	38
Tableau III. 2: Rendements (%) des fractions obtenues par l'extraction liquide-liquide.....	39
Tableau III. 3: Rendement en huile essentielle (%).	40
Tableau III. 4: Valeurs des IC ₅₀ des différentes fractions de <i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Turk et Lakhdaria) et de <i>Ruta chalepensis</i> obtenus par macération et Soxhlet.	54
Tableau III. 5: Valeurs des IC ₅₀ de l'acide ascorbique et l'huile essentielle de <i>Ruta chalepensis</i> obtenus par macération et Soxhlet.....	56
Tableau III. 6: Valeurs de $\lambda_{\max}$ des fractions hexane et chloroforme de <i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Türk) obtenues par macération.	59
Tableau III. 7: Valeurs de $\lambda_{\max}$ des fractions acétate d'éthyle et n-butanol de <i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Türk) obtenues par macération.	60
Tableau III. 8: Valeurs de $\lambda_{\max}$ des fractions hexane et chloroforme de <i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Türk) obtenues par Soxhlet.	61
Tableau III. 9: Valeurs de $\lambda_{\max}$ des fractions acétate d'éthyle et n-butanol de <i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Türk) obtenues par Soxhlet.	62
Tableau III. 10: Valeurs de $\lambda_{\max}$ des fractions hexane et chloroforme de <i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria) obtenues par macération.	63

Tableau III. 11: Valeurs de $\lambda_{\max}$ des fractions acétate d'éthyle et n-butanol de <i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria) obtenues par macération.	64
Tableau III. 12: Valeurs de $\lambda_{\max}$ des fractions hexane et chloroforme de <i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria) obtenues par Soxhlet.	65
Tableau III. 13: Valeurs de $\lambda_{\max}$ des fractions acétate d'éthyle et n-butanol de <i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria) obtenues par Soxhlet.	66
Tableau III. 14: Valeurs de $\lambda_{\max}$ des fractions hexane et chloroforme de <i>Ruta chalepensis</i> obtenues par macération.	67
Tableau III. 15: Valeurs de $\lambda_{\max}$ des fractions acétate d'éthyle et n-butanol de <i>Ruta chalepensis</i> obtenues par macération.	68
Tableau III. 16: Valeurs de $\lambda_{\max}$ des fractions hexane et chloroforme de <i>Ruta chalepensis</i> obtenues par macération.	69
Tableau III. 17: Valeurs de $\lambda_{\max}$ des fractions acétate d'éthyle et n-butanol de <i>Ruta chalepensis</i> obtenues par Soxhlet.	70

Liste des figures

Figure I. 1: Structure de base des flavonoïdes	12
Figure I. 2: Structure chimique des tanins (a) hydrolysables (b) condensés.....	13
Figure I. 3: Structure d'un alcaloïde (la caféine de la famille des méthyl xanthines)	14
Figure I. 4: Basic skeletons of saponins. (A) Triterpenoid saponins and (B) steroid saponins	16
Figure I. 5: Appareil d'extraction Soxhlet	19
Figure I. 6: Appareil d'hydrodistillation de type Clevenger.....	20
Figure I. 7: Dispositif utilisé pour la technique d'extraction assistée par ultrasons (UAE)	21
Figure I. 8: Système d'extraction assistée par micro-ondes	21
Figure I. 9: Système type d'extraction par fluide supercritique	22
Figure I. 10: Exemples d'espèces du genre <i>Ruta</i> (a) <i>Ruta graveolens</i> , (b) <i>Ruta montana</i> ...	24
Figure I. 11: Différentes parties de <i>Rhamnus alaternus</i> feuilles (a), fleurs (b) et fruits (c)....	27
Figure II. 1: Photos des plantes étudiées :(a) <i>Ruta chalepensis</i> (b) <i>Rhamnus alaternus</i>	31
Figure II. 2: Montage expérimental de l'appareil de Soxhlet utilisé pour l'extraction des composés végétaux.....	33
Figure II. 3: Montage expérimental de l'appareil de Clevenger utilisé pour l'extraction des huiles essentielles par hydrodistillation.....	34
Figure III. 1: Couleur des différentes fraction obtenues après extraction liquide-liquide.....	39
Figure III. 2: Mélange réactionnels DPPH-fractions avant (a) et après (b) 30 minutes d'incubation à l'obscurité.	41
Figure III. 3: Évolution de l'absorbance en fonction de la concentration des différentes fractions de <i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Turk) obtenus par macération et Soxhlet, comparée à l'acide ascorbique.	42
Figure III. 4: Évolution de l'absorbance en fonction de la concentration des différentes fractions de <i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria) obtenus par macération et Soxhlet, comparée à l'acide ascorbique.	43
Figure III. 5: Évolution de l'absorbance en fonction de la concentration des différentes fractions de <i>Ruta chalepensis</i> (Taguedit) obtenus par macération et Soxhlet, comparée à l'acide ascorbique.	44
Figure III. 6: Évolution de l'absorbance en fonction de la concentration de l'huile essentielle de <i>Ruta chalepensis</i> , comparée à l'acide ascorbique.	45

Figure III. 7: Activité inhibitrice de la fraction acétate d'éthyle de <i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Turk) obtenu par macération.....	46
Figure III. 8: Activité inhibitrice de la fraction d'acétate d'éthyle de <i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Turk) obtenu Soxhlet.	46
Figure III. 9: Activité inhibitrice de la fraction n-butanol de <i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Turk) obtenu par macération.	47
Figure III. 10: Activité inhibitrice de la fraction n-butanol de <i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn Turk) obtenu par Soxhlet.....	47
Figure III. 11: Activité inhibitrice de la fraction acétate d'éthyle de <i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria) obtenu par macération.	48
Figure III. 12: Activité inhibitrice de la fraction acétate d'éthyle de <i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria) obtenu par Soxhlet.....	48
Figure III. 13: Activité inhibitrice de la fraction n-butanol de <i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria) obtenu par macération.	49
Figure III. 14: Activité inhibitrice de la fraction n-butanol de <i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria) obtenu par Soxhlet.....	49
Figure III. 15: Activité inhibitrice de la fraction acétate d'éthyle de <i>Ruta chalepensis</i> (Taguedit) obtenu par macération.....	50
Figure III. 16: Activité inhibitrice de la fraction acétate d'éthyle de <i>Ruta chalepensis</i> (Taguedit) obtenu par Soxhlet.	50
Figure III. 17: Activité inhibitrice de fraction n-butanol de <i>Ruta chalepensis</i> (Taguedit) obtenu par macération.	51
Figure III. 18: Activité inhibitrice de la fraction n-butanol de <i>Ruta chalepensis</i> (Taguedit) obtenu par Soxhlet.....	51
Figure III. 19: Activité inhibitrice en huile essentielle de <i>Ruta chalepensis</i> obtenu par hydrodistillation.	52
Figure III. 20: Activité inhibitrice de l'acide ascorbique (vitamine C).	53
Figure III. 21: Spectre UV-visible des fractions hexane (a) et chloroforme (b) de <i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Türk) obtenues par macération.....	58
Figure III. 22: Spectre UV-visible des fractions acétate d'éthyle (a) et n-butanol (b) de <i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Türk) obtenues par macération.	59
Figure III. 23: Spectre UV-visible des fractions hexane (a) et chloroforme (b) de <i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Türk) obtenues par Soxhlet.	60

Figure III. 24: Spectre UV-visible des fractions acétate d'éthyle (a) et n-butanol (b) de <i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Türk) obtenues par Soxhlet.	61
Figure III. 25: Spectre UV-visible des fractions hexane (a) et chloroforme (b) de <i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria) obtenues par macération.	62
Figure III. 26: Spectre UV-visible des fractions acétate d'éthyle (a) et n-butanol (b) de <i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria) obtenues par macération.	63
Figure III. 27: Spectre UV-visible des fractions hexane (a) et chloroforme (b) de <i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria) obtenues par Soxhlet.	64
Figure III. 28: Spectre UV-visible de la fraction acétate d'éthyle (a) et n-butanol (b) de <i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria) obtenues par Soxhlet.	65
Figure III. 29: Spectre UV-visible des fractions hexane (a) et chloroforme (b) de <i>Ruta chalepensis</i> obtenues par macération.	66
Figure III. 30: Spectre UV-visible des fractions acétate d'éthyle (a) et n-butanol (b) de <i>Ruta chalepensis</i> obtenues par macération.	67
Figure III. 31: Spectre UV-visible des fractions hexane (a) et chloroforme (b) de <i>Ruta chalepensis</i> Obtenues par Soxhlet.	68
Figure III. 32: Spectre UV-visible des fractions acétate d'éthyle (a) et n-butanol (b) de <i>Ruta chalepensis</i> obtenues par Soxhlet.	69

Liste des abréviations

ANSM : Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé.

DPPH : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl, utilisé pour mesurer l'activité antioxydante.

FTIR : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.

GC-MS : Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse, utilisée pour l'analyse des composés volatils.

HE : Huile essentielle.

HPLC : Chromatographie liquide à haute performance, technique de séparation et d'analyse des composés chimiques.

HV : Huile végétale.

IC₅₀ : Concentration inhibitrice 50%, correspondant à la concentration nécessaire pour inhiber 50% du produit étudié.

LC-MS : Chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse, utilisée pour l'identification et l'analyse des composés non volatils.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

SC-CO₂ : Extraction par dioxyde de carbone supercritique.

UAE : Extraction ultrasonore.

UV : Ultra-Violet.

Lexique

- **Abiotique** : Relatif aux facteurs non vivants de l'environnement, tels que la température, l'eau, la lumière ou les minéraux.
 - **Agent pathogène** : Organisme ou agent biologique (bactérie, virus, champignon ou parasite) capable de provoquer une maladie.
 - **Anesthésique** : Substance provoquant une diminution ou une suppression temporaire de la sensibilité, notamment à la douleur.
 - **Angiospermes** : Plantes à fleurs dont les graines sont enfermées dans un fruit.
 - **Anthelminthique (Vermifuge)** : Substance utilisée pour éliminer ou détruire les vers parasites présents dans l'organisme.
 - **Antiasthmatique** : Substance utilisée pour prévenir ou soulager les symptômes de l'asthme.
 - **Anticancéreux** : Substance capable de prévenir, ralentir ou inhiber le développement des cellules cancéreuses.
 - **Antidiabétique** : Substance contribuant à la prévention ou au contrôle du diabète en aidant à réguler la glycémie.
 - **Antifongique** : Substance qui inhibe la croissance ou détruit les champignons microscopiques responsables d'infections.
 - **Antihémorragique** : Substance qui aide à arrêter ou à réduire les saignements.
 - **Anti-inflammatoire** : Substance qui réduit ou inhibe les réactions inflammatoires de l'organisme.
 - **Antimicrobien** : Substance qui inhibe la croissance ou détruit les micro-organismes tels que les bactéries, les champignons et certains virus.
 - **Anti-ophidien** : Substance utilisée pour prévenir ou traiter les effets des morsures de serpents venimeux.
 - **Antioxydant** : Substance capable de neutraliser les radicaux libres et de protéger les cellules contre le stress oxydatif.
 - **Antiparasitaire** : Substance utilisée pour prévenir ou traiter les infections causées par des parasites.
 - **Antipyrétique** : Substance capable de réduire ou de faire disparaître la fièvre.
 - **Antiseptique** : Substance qui détruit ou inhibe le développement des micro-organismes sur les tissus vivants.
 - **Antiviral** : Substance qui inhibe la multiplication ou détruit les virus.
-

- **Anxiolytique léger** : Substance réduisant l'anxiété et l'état de tension nerveuse sans provoquer une forte sédation.
 - **Apéritif** : Substance qui stimule l'appétit et favorise la sécrétion des sucs digestifs.
 - **Ballonnements** : Sensation de gonflement abdominal due à une accumulation excessive de gaz dans le tube digestif.
 - **Biotique** : Relatif aux êtres vivants et aux interactions biologiques dans un écosystème.
 - **Bronchite** : Inflammation des bronches provoquant une toux, une production excessive de mucus et parfois des difficultés respiratoires.
 - **Bryophytes** : Groupe de plantes non vasculaires comprenant principalement les mousses, dépourvues de véritables racines, tiges et feuilles.
 - **Calculs urinaires** : Concrétions minérales formées dans les reins ou les voies urinaires.
 - **Cancer colorectal** : Cancer qui se développe au niveau du côlon ou du rectum.
 - **Cancer de la prostate** : Tumeur maligne se développant dans la prostate, glande de l'appareil reproducteur masculin.
 - **Carminatif** : Substance favorisant l'élimination des gaz intestinaux et réduisant les ballonnements.
 - **Cicatrisant** : Substance favorisant la réparation et la guérison des tissus lésés.
 - **Coliques** : Douleurs abdominales spasmodiques causées par des contractions des organes digestifs.
 - **Dicotylédones** : Angiospermes dont la graine possède deux cotylédons.
 - **Diurétique** : Substance qui augmente la production et l'élimination de l'urine, favorisant l'évacuation de l'eau et des sels minéraux.
 - **Expectorant** : Substance qui facilite l'élimination des sécrétions bronchiques et du mucus des voies respiratoires.
 - **Flatulences** : Émission de gaz intestinaux produits lors de la digestion.
 - **Glycolipides** : Lipides associés à un ou plusieurs glucides, jouant un rôle dans la reconnaissance cellulaire.
 - **Gymnospermes** : Plantes à graines nues dont les ovules ne sont pas enfermés dans un ovaire, comme les conifères.
 - **Hypocholestérolémiant** : Substance capable de diminuer le taux de cholestérol dans le sang.
 - **Hypoglycémique** : Substance qui contribue à réduire le taux de glucose dans le sang.
-

- **Immunomodulateur** : Substance qui stimule ou régule les réponses du système immunitaire.
 - **Inflammation** : Réaction de défense de l'organisme face à une agression (infection, blessure ou irritation), caractérisée par une rougeur, une chaleur, une douleur et un gonflement.
 - **Molluscicide** : Substance destinée à détruire ou contrôler les mollusques nuisibles, tels que certains escargots ou limaces.
 - **Monocotylédones** : Angiospermes dont la graine possède un seul cotylédon.
 - **Monosaccharides** : Glucides simples constitués d'une seule unité de sucre, comme le glucose et le fructose.
 - **Nausées** : Sensation désagréable précédant souvent le besoin de vomir.
 - **Oligosaccharides** : Glucides composés de deux à dix unités de monosaccharides liées entre elles.
 - **Phospholipides** : Lipides contenant un groupement phosphate, constituants majeurs des membranes cellulaires.
 - **Polyhydroxyaldéhydes** : Composés organiques possédant plusieurs groupes hydroxyles (-OH) et une fonction aldéhyde ; ils constituent une catégorie de glucides.
 - **Polyhydroxycétones** : Composés organiques possédant plusieurs groupes hydroxyles et une fonction cétone ; ils constituent également une catégorie de glucides.
 - **Polysaccharides** : Macromolécules glucidiques formées d'un grand nombre de monosaccharides, comme l'amidon et la cellulose.
 - **Protection cardiovasculaire** : Effet contribuant à la prévention ou à la réduction des maladies du cœur et des vaisseaux sanguins.
 - **Ptéridophytes** : Plantes vasculaires sans fleurs ni graines, comprenant notamment les fougères.
 - **Relaxation** : État de détente physique et mentale caractérisé par une diminution des tensions musculaires et nerveuses.
 - **Sédatif** : Substance qui calme l'activité du système nerveux et favorise la détente.
 - **Sommeil** : État physiologique naturel de repos permettant la récupération physique et mentale de l'organisme.
 - **Spasmes digestifs** : Contractions involontaires et douloureuses des muscles du tube digestif.
 - **Spermatophytes** : Ensemble des plantes à graines, regroupant les Gymnospermes et les Angiospermes.
-

- **Sphingolipides** : Lipides complexes contenant une base sphingoïde, impliqués dans la structure et le fonctionnement des membranes cellulaires.
 - **Stimulant digestif** : Substance qui favorise le fonctionnement du système digestif et améliore la digestion.
 - **Structures en catéchol** : Structures chimiques comportant un noyau benzénique portant deux groupes hydroxyles adjacents, souvent impliquées dans les propriétés antioxydantes des composés phénoliques.
 - **Syndrome de l'intestin irritable** : Trouble fonctionnel chronique de l'intestin caractérisé par des douleurs abdominales, des ballonnements et des troubles du transit.
 - **Tonique** : Substance qui renforce l'organisme, améliore sa vitalité et aide à combattre la fatigue.
 - **Troubles dyspeptiques (Dyspepsie)** : Ensemble de symptômes digestifs tels que douleurs gastriques, lourdeurs après les repas, nausées ou inconfort abdominal.
 - **Troubles neurodégénératifs** : Ensemble de maladies caractérisées par la dégénérescence progressive des neurones, comme la maladie d'Alzheimer ou la maladie de Parkinson.
 - **Vasoprotecteur** : Substance qui protège les vaisseaux sanguins et contribue à maintenir leur intégrité et leur fonctionnement.
-

Introduction

INTRODUCTION

Les plantes médicinales constituent un élément essentiel de la médecine traditionnelle et complémentaire, et leur utilisation est en constante augmentation à l'échelle mondiale en raison de leur importance dans l'offre de traitements sûrs et efficaces. La stratégie de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour la médecine traditionnelle a affirmé le rôle vital des plantes médicinales en pharmacie moderne, soulignant l'importance d'associer le patrimoine médical traditionnel aux normes scientifiques contemporaines [1].

Des études récentes démontrent également que les extraits de plantes et les techniques analytiques avancées jouent un rôle crucial dans le développement de nouveaux traitements, tout en notant que de nombreuses espèces nécessitent encore des recherches approfondies, confirmant ainsi leur avenir prometteur dans la recherche pharmaceutique et médicale [2].

En Algérie, l'utilisation des plantes médicinales est courante, non seulement en raison de leur disponibilité, mais aussi à cause de croyances et de pratiques culturelles durables. Ces plantes sont majoritairement utilisées pour le traitement des maladies digestives et respiratoires [3].

Parmi les nombreuses substances bioactives présentes dans les plantes médicinales, on compte notamment des alcaloïdes, des flavonoïdes, des terpénoïdes, des composés phénoliques et des huiles essentielles. Les propriétés pharmacologiques de ces substances, notamment leurs actions antibactériennes, antioxydantes, anti-inflammatoires, anticancéreuses et immunomodulatrices, ont été étudiées en profondeur. L'utilisation de ces substances bioactive provenant des plantes médicinales a montré un potentiel prometteur pour la prévention et le traitement de différentes maladies [4].

L'objectif de ce mémoire vise à valoriser deux plantes médicinales locales, *Rhamnus alaternus* et *Ruta chalepensis*, à travers :

- L'extraction des substances bioactives par différentes méthodes ;
- Déterminer le rendement des extraits ainsi que celui de l'huile essentielle obtenue à partir de *Ruta chalepensis* ;
- Evaluer l'activité antioxydante des extraits et de l'huile essentielle à travers le test au DPPH, exprimé en IC₅₀.

Ce mémoire est composé de trois chapitres répartis comme suit :

Le chapitre I concerne une synthèse bibliographique portant sur les plantes médicinales, leur classification ainsi que les métabolites primaires et secondaires. Il aborde également les activités biologiques des plantes, les huiles essentielles, les principales méthodes d'extraction ainsi qu'une présentation des espèces étudiées, *Ruta chalepensis* et *Rhamnus alaternus*.

Le chapitre II présente le matériel végétal utilisé ainsi que les différentes méthodes expérimentales et analyses réalisées au cours de cette étude.

Le chapitre III est consacré à la présentation, l'analyse et la discussion des résultats obtenus, notamment les rendements d'extraction, les résultats du test DPPH ainsi que les analyses spectrophotométries UV-visible des différents extraits étudiés.

On termine par une conclusion présentent les principaux résultats obtenus et quelques perspectives en vue de continuer ce travail.

Chapitre I :

Synthèse bibliographique

CHAPITRE I :

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Généralités sur les plantes médicinales

I.1.1. Définition

Le terme « *plantes médicinales* » désigne les plantes utilisées dans le domaine de la médecine ainsi que pour la prévention et le traitement des maladies [5]. Elles occupent une place prépondérante parmi les plantes sauvages en raison du rôle important qu'elles jouent dans le soutien des économies agricoles [6].

I.1.2. Historique

Les connaissances pharmacologiques proviennent des expériences. Cependant, dans leur recherche de plantes aux vertus thérapeutiques, les anciens ont sans doute découvert par hasard des plantes mortelles. Parfois, les cultures préhistoriques se fiaient à la ressemblance d'une plante pour en déterminer l'usage et la fonction [7].

Dans ce contexte, Les premières traces connues de l'utilisation de plantes médicinales pour la préparation de remèdes ont été découvertes sur une tablette sumérienne provenant de Nagpur et datant de 5 000 ans. Elle comportait 12 recettes de remèdes faisant appel à plus de 250 plantes, dont certaines contenaient des alcaloïdes, notamment le pavot, le jusquiame et la mandragore [8].

Parmi les premiers textes évoquant les plantes médicinales, on trouve le livre chinois « *Ben Cao* », associé à l'empereur Shen Nong vers 2500 avant J.-C., qui répertorie environ 365 remèdes à base de plantes sous forme de parties végétales déshydratées. De nombreuses plantes de ce type sont encore reconnues et employées de nos jours, telles que la rhubarbe, l'eucalyptus, les feuilles de thé, le podophyllum, la gentiane jaune, le ginseng, le datura, l'écorce de cannelle et l'éphédra [9].

Dans l'ancienne civilisation indienne, les textes sacrés appelés *Vedas* font état de la phytothérapie, soulignant ainsi le rôle prépondérant des plantes médicinales dans les pratiques

Traditionnelles de soins. De même, plusieurs épices encore utilisées aujourd'hui proviennent d'Inde, notamment la muscade, le poivre et le girofle [10].

Concernant l'Égypte ancienne, le papyrus *Ebers*, qui date d'environ 1550 avant J.-C., est considéré comme l'un des documents médicaux les plus significatifs de l'Antiquité, car il

renfermait près de 800 formules thérapeutiques et mentionne l'utilisation d'environ 700 variétés de plantes et de substances médicinales à des fins curatives, telles que la grenade, le ricin, l'aloès, le séné, l'ail, l'oignon, la figue, le saule, la coriandre, le genévrier et le clou de girofle [11].

I.2. Classification des plantes médicinales

Les plantes médicinales peuvent être classées selon plusieurs critères :

I.2.1. Classification thérapeutique

Selon leurs effets biologiques sur l'organisme, on distingue :

a. Plantes anti-inflammatoires

L'utilisation de plantes, de certaines de leurs parties ou de leurs extraits comme agents anti-inflammatoires est une pratique connue depuis des années. Par exemple, l'extrait aqueux concentré et visqueux de caroube mûre (*Ceratonia siliqua*) est utilisé depuis des décennies en médecine traditionnelle arabe, surtout pour traiter les inflammations buccales [12].

Il existe divers métabolites extraits de plantes qui agissent comme anti-inflammatoires. Ces traitements visent les enzymes cyclooxygénases 1 et 2, qui sont essentielles pour l'acide arachidonique en médiateurs lipidiques, réduisent ainsi la réponse inflammatoire aux stimuli [13].

L'inflammation représente un défi majeur ; bien qu'il existe des médicaments anti-inflammatoires, leur efficacité est limitée et ils présentent des inconvénients tels que la toxicité et la réapparition des symptômes. D'autres effets secondaires doivent également être pris en compte. C'est pourquoi les plantes médicinales, qui contiennent divers composés utiles pour réduire l'inflammation tout en présentant moins d'effets secondaires, constituent une option importante [14].

Tableau I.1 : Exemples des plantes anti-inflammatoires [14].

Nom botanique	Famille	Utilisations
<i>Abutilon indicum</i> (Mauve indienne)	Malvacées	Anthelminthique, diurétique, Antipyrétique, expectorant.
<i>Acacia catechu</i> (Cachou)	Mimosacées	Anthelminthique, antipyrétique, inflammation, bronchite
<i>Allium sativum</i> (Ail)	Liliacées	Anti-inflammatoire, vermifuge, diurétique carminatif, antiseptique

b. Plantes antioxydantes

Les antioxydants phytochimiques aident à préserver la santé en réduisant les dommages oxydatifs et les maladies chroniques. Les régimes riches en antioxydants, tels que les polyphénols et flavonoïdes, diminuent le risque cardiaque, tandis que le resvératrol protège contre des maladies comme Alzheimer. Ils ralentissent également le vieillissement en limitant les dommages à la peau et aux tissus [15,16].

Il existe aussi les caroténoïdes (xanthophylles et carotènes) et les vitamines (E et C). En résumé, ces antioxydants naturels, notamment les polyphénols et les carotènes, offrent un large éventail de bienfaits, notamment des propriétés anti-inflammatoires, antibactériennes, antivirales et anticancéreuses [17].

Tableau I.2 : Exemples des plantes antioxydantes [17].

Nom botanique	Famille	Utilisations
<i>Camellia sinensis</i> (Théier)	Théacées	Antioxydant, anti-inflammatoire, protection cardiovasculaire
<i>Curcuma longa</i> (Curcuma)	Zingibéracées	Antioxydant, anti-inflammatoire, anticancéreux
<i>Rosmarinus officinalis</i> (Romarin)	Lamiacées	Antioxydant, antimicrobien, stimulant digestif

c. Plantes antimicrobiennes

Il a été reconnu que la thérapie par les plantes médicinales a fait ses preuves, notamment comme traitements anti-infectieux, mais aussi comme proposent de nouveaux traitements contre d'autres pathologies microbiennes. La diversité chimique engendrée par les plantes est, en effet, bien plus vaste que celle des microbes [18,19]. Les composants antimicrobiens d'origine végétale ciblent les agents pathogènes microbien par divers mécanismes d'actions, étant dépendants de la structure chimique et de la nature des composés bioactifs. Les mécanismes sont à l'origine de la conception de thérapies antimicrobiennes nouvelles qui permettent de contrer le problème de résistance antimicrobienne [20].

Tableau I.3 : Exemples des plantes antimicrobiennes [21].

Nom botanique	Famille	Utilisation
<i>Mikania glomerata</i> (Guaco)	Asteraceae	Antihémorragique, Anti ophidien, Antiviral et antimicrobien.
<i>Saraca asoca</i> (Arbre Ashoka)	Fabaceae	Antimicrobien, Anti-inflammatoire, Antioxydant et anticancéreux.
<i>Cassia fistula</i> (Cassier fistule)	Fabaceae	Antimicrobien, Anti-inflammatoire, maladies de la peau, problèmes de foie et fièvre.

d. Plantes digestives

Une digestion laborieuse peut, effectivement, mettre à mal ce simple geste quotidien qu'est l'acte de se nourrir, souvent accompagné de ballonnements, lourdeurs et sensations d'oppressions. En effet, quand le transit digestif s'apparente à l'escargot, les aliments stagnent dans l'estomac et l'intestin au détriment d'une assimilation des nutriments efficace et d'une fatigue généralisée. Parmi les remèdes naturels prisés depuis la nuit des temps, les plantes médicinales s'illustrent par leur capacité à accompagner en douceur la santé digestive [22].

Des études indiquent que l'utilisation de plantes médicinales pour le traitement des troubles digestifs est fréquente. Ces préparations contribuent à la guérison, à la stimulation de la digestion et au transit [23].

Tableau I.4 : Exemples des plantes digestives [24].

Nom botanique	Famille	Utilisation
<i>Cynara scolymus</i> (Artichaut)	Asteraceae	Traitement des troubles dyspeptiques (sensation de lourdeur après le repas).
<i>Foeniculum vulgare</i> (Fenouil)	Apiaceae	Traitement des ballonnements, des flatulences et des coliques
<i>Mentha x piperita</i> (Menthe poivrée)	Lamiaceae	Soulagement des spasmes digestifs, des nausées et des syndromes de l'intestin irritable

e. Plantes sédatives

La médecine des plantes, qui fait référence à l'utilisation de plantes ou de matériaux dérivés des plantes à des fins thérapeutiques, a longtemps été utilisée par les herboristes et les communautés autochtones pour traiter une variété de troubles du sommeil. Les plantes peuvent aider à gérer l'insomnie en réduisant le temps d'endormissement et en améliorant la durée du sommeil [25].

Tableau I.5 : Exemples des plantes sédatives [26].

Nom botanique	Famille	Utilisation
<i>Valeriana officinalis</i> (Valériane officinale)	Caprifoliaceae	Sédatif, améliore le sommeil et réduit l'anxiété
<i>Passiflora incarnata</i> (Passiflore)	Passifloraceae	Anxiolytique léger, favorise la relaxation et le sommeil
<i>Melissa officinalis</i> (Mélisse officinale)	Lamiaceae	Calmante, réduit le stress et les troubles nerveux légers

f. Plantes diurétiques

Les diurétiques naturels englobent de nombreuses herbes et suppléments alimentaires, tels que les extraits de thé à base de plantes utilisées pour le drainage du surplus d'eau. Ils peuvent également être éventuellement intéressants dans la quasi-totalité des pathologies : œdème, néphrite, hypertension... [27].

Les plantes médicinales sont de bonnes alternatives aux diurétiques synthétiques, affichant une activité diurétique notable. Cette efficacité vient de composés bioactifs comme les flavonoïdes et les saponines. Des recherches récentes valent leur potentiel, même si des défis persistent pour identifier les composants actifs et standardiser les extraits [28].

Tableau I.6 : Exemples des plantes diurétiques [29].

Nom botanique	Famille	Utilisations
<i>Mangifera indica</i> (Manguier)	Anacardiaceae	Diurétique, antioxydant, anti-inflammatoire et antidiabétique.
<i>Mimosa pudica</i> (Mimosa pudique)	Fabaceae	Diurétique, cicatrisant, antiasthmatique et utilisé contre les calculs urinaires.
<i>Lepidium sativum</i> (Cresson alénois)	Brassicaceae	Diurétique, apéritif, tonique, et très utilisé pour traiter les infections respiratoires.

1.2.2. Classification botanique

La classification botanique des plantes médicinales repose sur la taxonomie moderne qui retient les caractères morphologiques et génétiques [30]. Elles relèvent du règne Plante, dont les membres sont classés en Bryophytes, Ptéridophytes et Spermatophytes, qui incluent les Gymnospermes et principalement les Angiospermes, eux-mêmes subdivisés notamment en Monocotylédones et Dicotylédones [31]. Les plantes sont organisées en ordres, familles, genres et espèces, telles que les Lamiacées ou encore les Fabacées, qui témoignent d'une grande richesse en espèces médicinales, permettant ainsi d'identifier facilement les plantes et leurs propriétés [32,33].

1.3. Métabolites primaires des plantes

1.3.1. Définition

Les métabolites primaires sont des composés produits universellement par la plupart des organismes vivants. Ils sont essentiels à leur croissance, leur développement et leur survie. Ces molécules participent directement aux fonctions métaboliques fondamentales de la cellule, notamment la production d'énergie et la biosynthèse des éléments de base tels que les glucides, les acides aminés, les nucléotides et les lipides. Ils proviennent de voies métaboliques conservées, similaires chez les plantes, les animaux, les bactéries et les champignons [33].

1.3.2. Classification des métabolites primaires

On les classe généralement selon leur nature chimique et leur fonction. On distingue principalement quatre grandes classes de métabolites primaires :

a. Glucides (hydrates de carbone)

Les glucides (carbohydrates) sont des composés organiques composés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Ils sont généralement décrits comme des polyhydroxyaldéhydes, des polyhydroxycétones, ou leurs dérivés. Ces molécules peuvent être simples ou s'assembler pour former des structures plus complexes. Les glucides se classent en monosaccharides, oligosaccharides et polysaccharides [34].

b. Lipides

Les lipides sont des composés organiques naturels, majoritairement apolaires, caractérisés par une faible solubilité dans l'eau. Ils comprennent principalement les acides gras et leurs dérivés, tels que les triglycérides, les phospholipides, les sphingolipides et les glycolipides. Les lipides jouent des rôles essentiels dans les organismes vivants, notamment en tant que composants des membranes cellulaires, réserves d'énergie et molécules de signalisation. Leur nature amphiphile, particulièrement pour certains lipides comme les phospholipides, permet la formation spontanée de bicouches lipidiques, base des membranes biologiques. Plus largement, les lipides englobent aussi divers métabolites primaires et secondaires issus de différentes voies biosynthétiques [35,36].

c. Protéines

Les protéines sont des biopolymères essentiels, formés de chaînes d'acides aminés liés par des liaisons peptidiques. Elles remplissent de nombreuses fonctions vitales dans la cellule, notamment en tant qu'enzymes, hormones peptidiques, anticorps, et molécules de transport comme l'hémoglobine. Elles participent aussi à la structure cellulaire et à la paroi cellulaire, ainsi qu'à l'expression génétique et à la régulation des mécanismes biologiques. Leur synthèse s'effectue par la traduction [34].

d. Acides nucléiques

Les acides nucléiques sont de grandes molécules biologiques renfermant l'information génétique des organismes. Ils jouent un rôle crucial dans la conservation et la transmission du code génétique. L'acide désoxyribonucléique (ADN) constitue la base du matériel génétique, tandis que l'acide ribonucléique (ARN) intervient dans l'expression et la traduction de cette information au sein de la cellule [38,39].

I.4. Métabolites secondaires des plantes médicinales

Contrairement au métabolisme primaire, le métabolisme secondaire fait référence aux voies métaboliques et aux produits moléculaires qui ne sont pas indispensables à la croissance et à la reproduction de l'organisme [39]. Les métabolites secondaires contribuent aux relations entre les plantes et leur environnement, tandis que les hormones gèrent les processus et le métabolisme de l'organisme [40].

Les principales classes de métabolites secondaires sont :

I.4.1. Composés phénoliques

Les composés phénoliques est un groupe divers de métabolites secondaires des plantes, participent activement à la survie de ces derniers tous en contribuant à la meilleure santé des êtres humains en soutenant et en protégeant les plantes dans leur environnement [41].

Les ligands phénoliques comprennent plus de 8000 molécules naturelles et des ligands synthétiques, présents dans des fruits, les raisins et les feuilles des arbres. Ils sont utilisés en médecine, vinification, protection des canalisations et traitement de l'eau [42].

On peut distinguer deux catégories : les composés phénoliques simples et les composés phénoliques complexes.

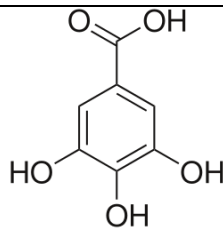
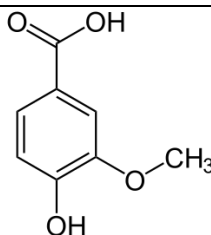
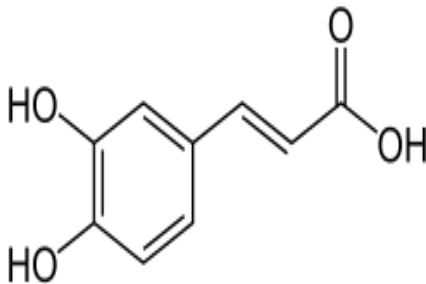
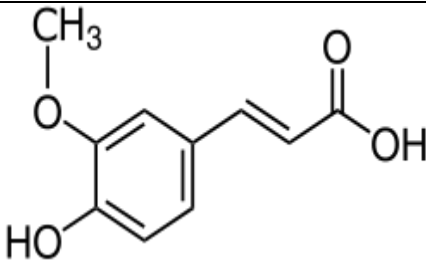
a. Polyphénols simples

❖ Acides phénoliques

Le terme "acides phénoliques" désigne en règle générale les composés phénoliques ayant dans leur structure un groupe hydroxyle et un groupe carboxyle [43].

Les acides phénoliques constituent l'une des principales familles de composés phénoliques d'origine végétale. On les trouve dans une vaste gamme d'aliments d'origine végétale, notamment les graines, les pelures de fruits, et les feuilles de légumes, où ils sont présents en plus forte concentration. Ils sont souvent liés, sous forme de glycosides, d'esters, ou d'amides, plutôt que sous leur forme libre [44].

Tableau I.7 : Exemples d'acides phénoliques et leur structure de base [45].

Acide phénolique	Type / Famille	Structure de base
Acide gallique	Hydroxybenzoïque	
Acide vanillique	Hydroxybenzoïque	
Acide caféique	Hydroxycinnamique	
Acide férulique	Hydroxycinnamique	

❖ Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont plus de 4.000 composés naturels trouvés dans les fruits, les légumes et les boissons comme le thé et le café. Ils ont une structure de 15 carbones (C6-C3-C6) avec deux anneaux benzéniques reliés par un pont de trois carbones [46,47].

Les flavonoïdes jouent un rôle dans différents types de cancer, tels que le cancer du sein, colorectal et de la prostate. Pour le cancer de la prostate, ils peuvent inhiber les récepteurs aux androgènes et inhiber la progression cellulaire, l'invasion et l'angiogenèse. Des études récentes montrent une interaction synergique possible entre certains flavonoïdes [48].

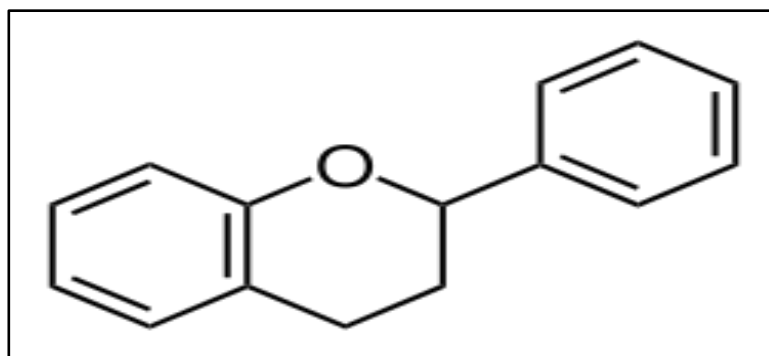


Figure I.1 : Structure de base des flavonoïdes [49].

Tableau I.8 : Distribution des principales classes de flavonoïdes [50].

Classe de flavonoïdes	Structure générale (caractéristiques)
Flavones	
Flavonols	
Flavanones	
Flavan3-ols	
Anthocyanidines	

b. Polyphénols complexes (tanins)

Les tanins sont des polyphénols que les plantes produisent pour se défendre contre les insectes herbivores. Ils sont nommés d'après leur utilisation dans le tannage du cuir [51].

On les trouve dans diverses parties des plantes comme l'écorce des arbres, le bois, les feuilles, les bourgeons, les tiges, les fruits, les graines, les racines et les galles de plantes. Les tanins aident à protéger les plantes contre les infections bactériennes et fongiques [52].

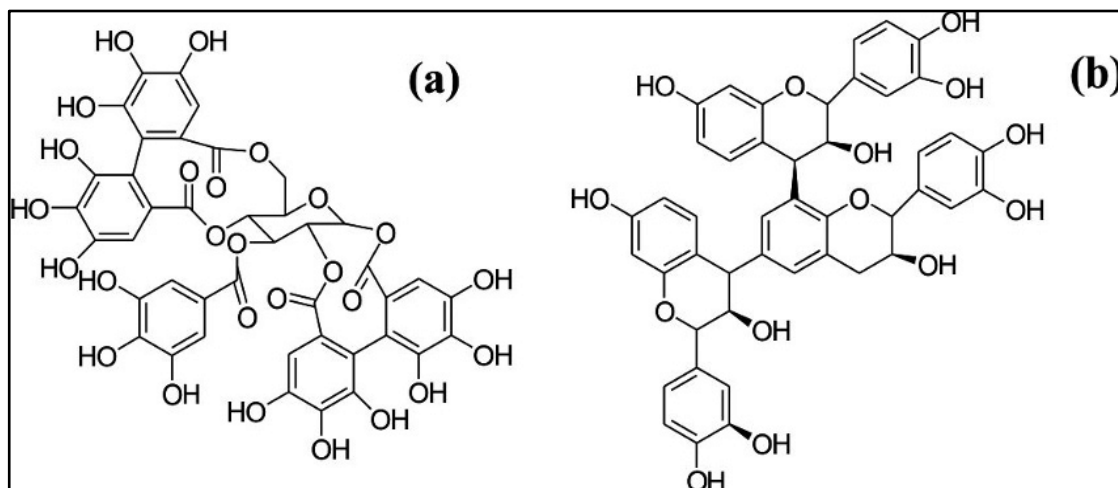


Figure I.2 : Structure chimique des tanins (a) hydrolysables (b) condensés [53].

I.4.2. *Alcaloïdes*

Les alcaloïdes sont des composés naturels qui ont plusieurs effets médicaux. Ils viennent des plantes et peuvent aider à combattre les troubles neurodégénératifs et les inflammations chroniques. Bien que de nombreux médicaments soient prescrits, ceux-ci peuvent avoir des effets secondaires [54].

Les alcaloïdes constituent environ 20 % des métabolites secondaires des plantes et jouent un rôle clé dans la médecine ainsi que dans notre défense naturelle. Ils ont des propriétés anesthésiques, cardioprotectrices et anti-inflammatoires, comme on le voit avec la morphine et la quinine [55].

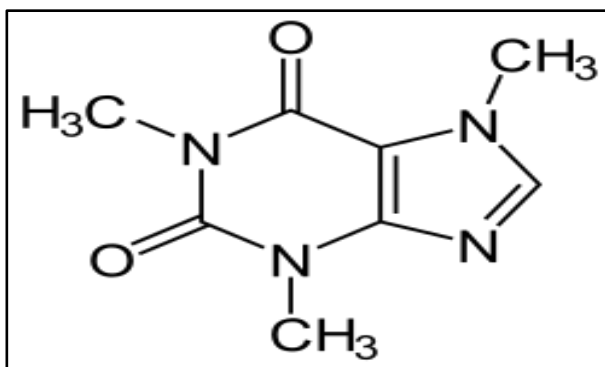
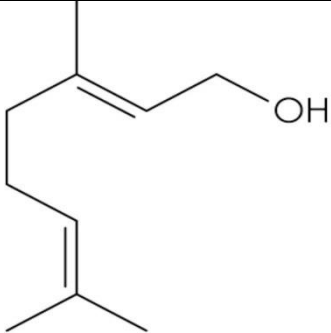
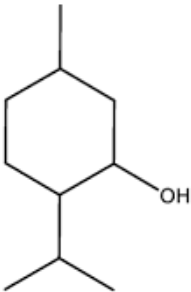
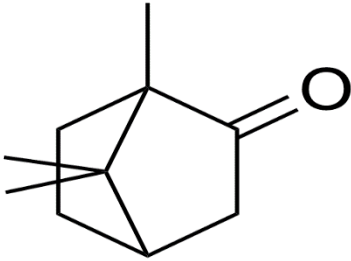
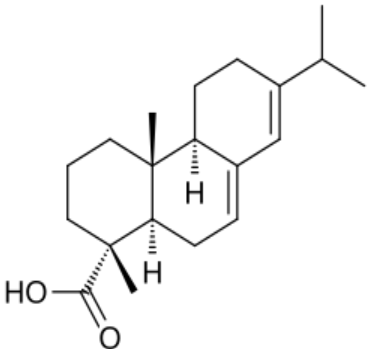


Figure I.3 : Structure d'un alcaloïde (la caféine de la famille des méthyl xanthines) [56].

I.4.3. Terpènes

Les terpènes, ou isoprènes, constituent un regroupement riche et varié d'entités moléculaires naturelles, et sont majoritairement repérables dans les plantes bien que quelques-uns se trouvent chez certains animaux. Ils sont notamment responsables de l'odeur, du goût et de la couleur des végétaux qui les synthétisent. Ils se classifient selon le nombre d'unités d'isoprène qu'ils contiennent [57]. Cela leur confère différentes propriétés et leur ouvre la voie à de nombreux rôles : protection thermique, communication. Bien que les terpénoïdes aient des structures et des fonctions variées, leur domaine d'application comprend souvent le secteur de la santé [58].

Tableau I.9 : Distribution des principales classes des terpènes [59].

Terpènes	Nom	Structures du basse
Acyclic monoterpenoid	Geraniol	
Monocyclic monoterpenoid	Menthol	
Bicyclic monoterpenoid	Camphor	
Tetracyclic diterpenoids	Steviol	

I.4.4. Saponines

Les saponines, composés secondaires glycosidiques extrêmement présents dans le règne végétal bien que minoritaires dans certaines sources animales comme les invertébrés

marins, malgré leur variété structurelle, conservent des propriétés biologiques, telles que leur capacité à provoquer la lyse des hématies ou la production de mousse [60]. Les saponines présentent une large gamme d'activités pharmacologiques : expectorantes, anti-inflammatoires, vasoprotectrices, hypocholestérolémiantes, immunomodulatrices, hypoglycémiques, molluscicides, antifongiques, antiparasitaires, etc [61].

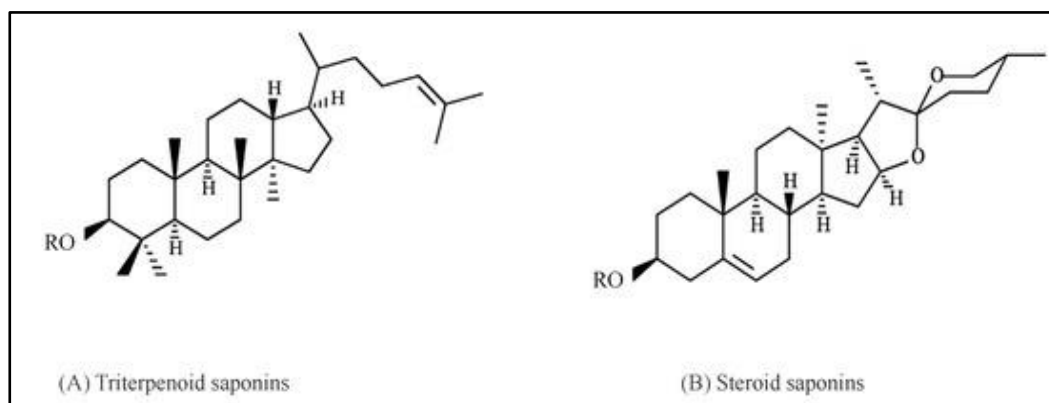


Figure I.4 : Basic skeletons of saponins. (A) Triterpenoid saponins and (B) steroid saponins [62].

I.5. Activité biologique

L'activité biologique correspond à la capacité d'une molécule à provoquer un effet spécifique ou une modification chez un organisme cible. Son efficacité est évaluée en mesurant les réponses à différentes concentrations, via des méthodes expérimentales réalisées soit *in vivo* (sur organismes vivants), soit *in vitro* (en laboratoire sous conditions contrôlées) [63].

I.5.1. Activité antimicrobienne

L'activité antimicrobienne se rapporte à la faculté d'une substance à freiner le développement des micro-organismes ou à les éliminer, en particulier les bactéries nuisibles. Elle opère essentiellement en perturbant des fonctions vitales dans la cellule bactérienne, comme la synthèse protéique, la construction de la paroi cellulaire, le maintien de l'intégrité membranaire, ou encore la duplication de l'ADN. En outre, certaines molécules, notamment les composés naturels, ont la capacité de déjouer les mécanismes de résistance des bactéries, ce qui améliore l'efficacité des thérapies antimicrobiennes [64].

I.5.2. Activité antioxydante

Les antioxydants sont des composés qui empêchent l'oxydation, un processus chimique générant des radicaux libres. Ces derniers peuvent provoquer des réactions en chaîne susceptibles d'endommager les cellules. En inhibant l'oxydation, les antioxydants

aident à préserver la qualité et prolonger la durée de conservation des aliments transformés, limitant ainsi leur altération [65]. Les métabolites secondaires végétaux (MS) présentant une activité antioxydante potentielle peuvent constituer des alternatives naturelles à de nombreux produits chimiques synthétiques, permettant ainsi d'améliorer la qualité des aliments et d'en prolonger la durée de conservation [66]. Plusieurs familles végétales, telles que les Asteraceae, Rosaceae et Punicaceae, produisent divers composés bioactifs, notamment les flavonoïdes, lignanes, vitamines, caroténoïdes et terpénoïdes, reconnus pour leur forte capacité antioxydante. Parmi les principaux antioxydants naturels d'origine végétale, on trouve essentiellement les polyphénols, les caroténoïdes ainsi que les vitamines E et C [67].

1.5.3. Anti-inflammatoire

L'inflammation est une réponse biologique complexe à des infections ou lésions [68]. Plusieurs plantes médicinales, telles que *Curcuma longa*, *Zingiber officinale*, *Rosmarinus officinalis* et *Borago officinalis*, possèdent des propriétés anti-inflammatoires [69]. Des métabolites secondaires tels que les polyphénols, terpènes et acides gras se sont révélés efficaces pour développer de nouveaux agents anti-inflammatoires [70].

1.6. Huiles essentielles

1.6.1. Définition

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de composés organiques volatils, principalement des terpènes et leurs dérivés, provenant de différentes parties de plantes aromatiques. Ce qui les rend uniques, c'est leur odeur très forte et leur capacité à s'évaporer à température ambiante. Ces substances représentent le « métabolisme secondaire » des plantes et jouent un rôle clé dans leur défense et leur communication biologique [71,72].

1.6.2. Différence entre les huiles essentielles et les huiles végétales

Les huiles essentielles (HE) sont définies par l'ANSM comme des « produits complexes contenant essentiellement des molécules volatiles » et sont obtenues selon des méthodes d'extraction dans une matière végétale, telles que la distillation. Les huiles végétales (HV) quant à elles, désignent les graisses issues d'un certain nombre de plantes considérées comme oléagineuses. Alors que les (HV) sont des huiles riches en acides gras, les (HE) sont constitués de petites molécules volatiles. L'huile de nigelle, est une huile végétale, qui ne contient qu'une très faible proportion d'HE [73].

1.6.3. Localisation et rendement en huiles essentielles

A priori, toutes les plantes peuvent produire des composés volatils, mais souvent en quantités très faibles. Seules 10 % des espèces végétales sont concernées par les plantes « aromatiques ». Certaines familles de plantes peuvent être accumulées sous forme d'huiles essentielles (HE) dans différentes parties, fleurs, feuilles, écorces et racines. Ces parties contenant le plus d'HE sont récoltées durant des périodes spécifiques. Les quantités d'HE produites sont généralement très faibles, volontiers inférieures à 2 % [74].

1.6.4. Activité biologique des huiles essentielles

On sait que les huiles essentielles possèdent des propriétés antiseptiques et antimicrobiennes. Beaucoup d'entre elles possèdent encore des propriétés anti-toxiques, anti-venimeuses, anti-virales, anti-oxydantes, et antiparasitaires. Plus récemment, elles acquièrent des propriétés anti-cancéreuses. L'activité biologique d'une huile essentielle, très liée à sa composition chimique et aux possibles effets synergiques entre ses composants, c'est-à-dire l'ensemble de ses composants et non pas seulement par les molécules qui dominent la composition chimique [75].

1.7. Méthodes d'extraction

1.7.1. Macération à froid

La macération est une technique essentielle en phytothérapie. Elle implique de faire macérer des éléments végétaux (qu'ils soient frais ou hachés) dans un solvant à température ambiante pendant une à deux journées, en agitant fréquemment. Cette méthode conduit à la suppression des éléments cellulaires et à la libération des composés végétaux solubles. Après la phase d'extraction, un filtrage est effectué sur le mélange afin de recueillir l'extrait. La nature du solvant a une grande influence sur la composition de l'extrait, ce qui fait de cette technique une méthode simple et adaptable à diverses molécules biologiquement actives [76].

1.7.2. Extraction Soxhlet

L'extraction par la méthode de Soxhlet, grâce à sa simplicité et son efficacité, est fréquemment employée pour l'extraction des métabolites végétaux. Cette méthode implique de déposer la poudre végétale dans une cartouche en cellulose (thimble) qui est insérée dans un dispositif Soxhlet, où le solvant est porté à ébullition par reflux. Le cycle d'extraction continue est assuré par le passage du solvant condensé à travers l'échantillon, la dissolution des composés ciblés et le siphonnage vers le ballon. Cette méthode facilite une extraction efficace tout en minimisant l'utilisation de solvant comparée à la macération. Toutefois, l'un

de ses principaux désavantages est que les extraits sont exposés à des températures hautes pendant une longue période, ce qui peut provoquer la détérioration de composés sensibles à la chaleur [77].

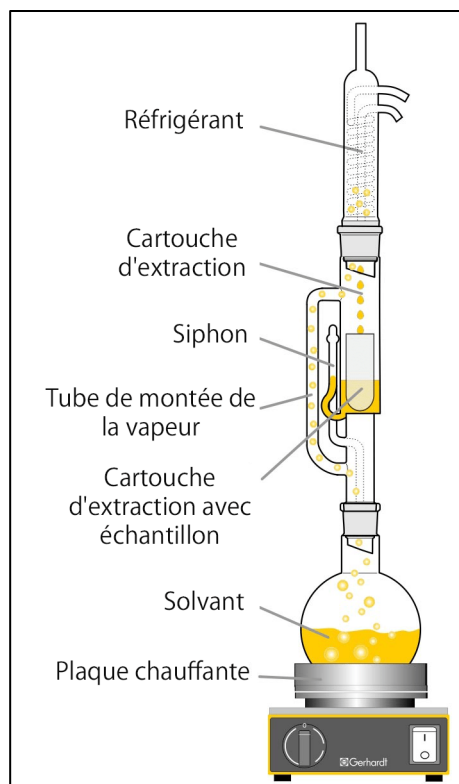


Figure I. 5: Appareil d'extraction Soxhlet [78].

I.7.3. Hydrodistillation

L'hydrodistillation est une technique couramment employée pour la séparation des huiles essentielles à partir de végétaux aromatiques. Elle implique l'échauffement du matériel végétal en présence d'eau ou de vapeur d'eau, ce qui favorise la vaporisation des composés volatils. Ces vapeurs sont par la suite condensées pour produire un distillat formé d'eau et d'huile essentielle, qui sont séparées par le processus de décantation. Cette méthode convient particulièrement aux composés volatils, cependant, elle peut causer une détérioration partielle des substances sensibles à la chaleur en raison des températures élevées employées [79].

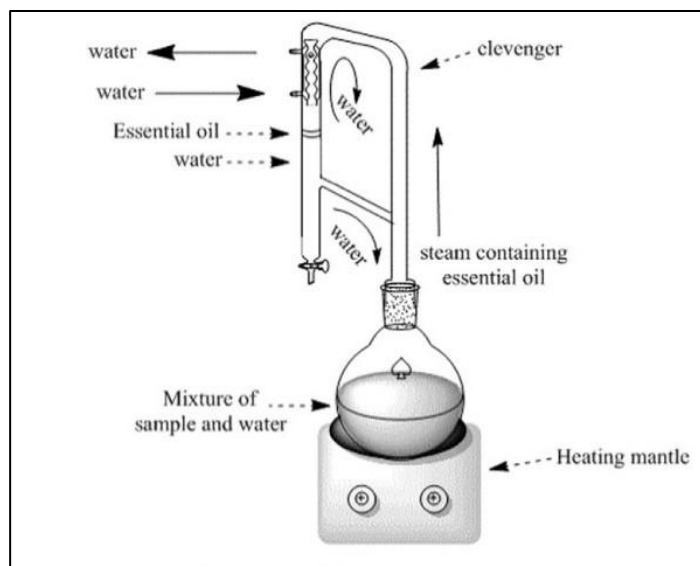


Figure I.6 : Appareil d'hydrodistillation de type Clevenger [80].

I. 7.4 Extraction Ultrasonore

L'extraction ultrasonore (UAE) est une méthode contemporaine qui repose sur l'emploi d'ondes ultrasoniques (habituellement au-delà de 20 kHz). Ces ondes se diffusent dans un environnement aqueux en entraînant des phases de compression et d'expansion. Ce processus conduit à la création et à l'éclatement de microbulles, un phénomène connu sous le nom de cavitation, qui produit des conditions extrêmes en termes de température et de pression. Ces effets favorisent la dégradation des parois cellulaires et optimisent le transfert de substances, facilitant ainsi une diffusion rapide et efficace des composés bioactifs depuis la matrice végétale. L'efficacité de cette approche est conditionnée par divers facteurs comme la dimension des particules, le type de solvant, la température et le niveau d'humidité de l'échantillon [81].

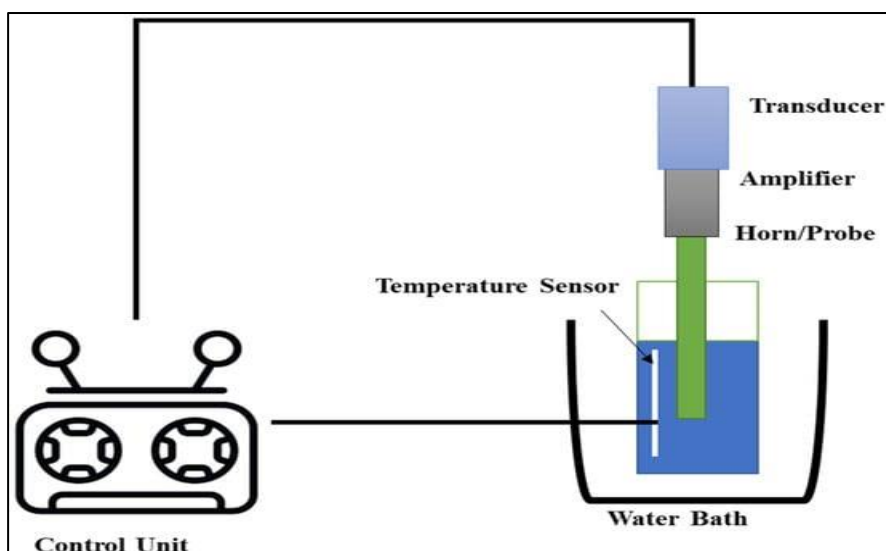


Figure I.7 : Dispositif utilisé pour la technique d'extraction assistée par ultrasons (UAE) [82].

I. 7.5. Extraction par micro-ondes

La technique moderne d'extraction assistée par micro-ondes est couramment employée pour l'obtention de composés bioactifs à partir de matrices végétales. Elle se base sur l'emploi d'ondes électromagnétiques pour provoquer un réchauffement rapide et uniforme du milieu, ce qui facilite la rupture des membranes cellulaires et la libération des composants recherchés. Cette approche offre de nombreux bénéfices, y compris une réduction notable du temps d'extraction, une baisse de l'utilisation des solvants et un accroissement de l'efficacité. En outre, la d'extraction assistée par micro-ondes facilite la distribution du solvant au sein de la matrice végétale, ce qui améliore l'efficacité générale du processus [83].

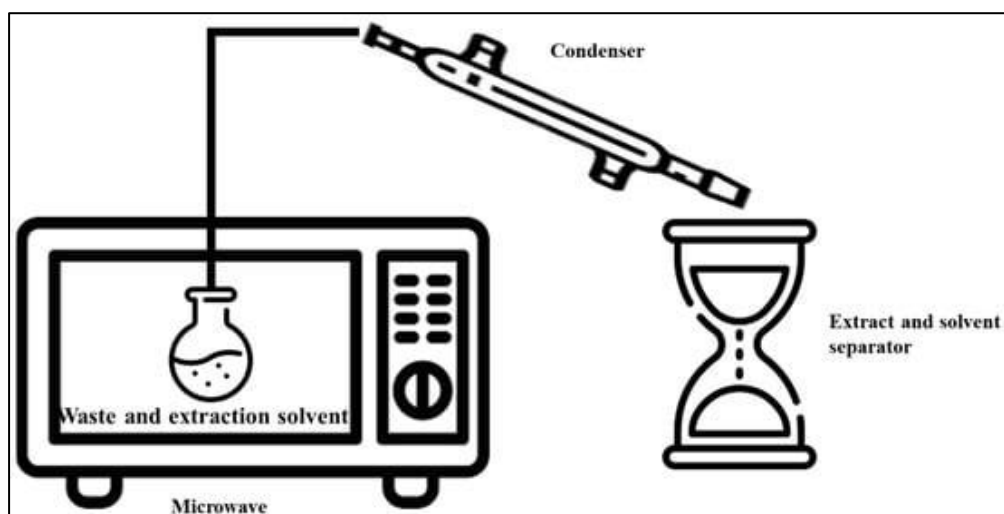


Figure I. 8: Système d'extraction assistée par micro-ondes [82].

I. 7.6. Extraction par dioxyde de carbone supercritique

L'extraction par dioxyde de carbone supercritique (SC-CO₂) est une technique moderne et respectueuse de l'environnement, utilisée pour isoler des composés bioactifs à partir de matrices naturelles. Elle repose sur l'utilisation du CO₂ dans des conditions de température et de pression supérieures à son point critique, où il présente des propriétés intermédiaires entre celles d'un liquide et d'un gaz. Dans cet état, le CO₂ possède une forte capacité de diffusion, une faible viscosité et une densité ajustable, ce qui lui confère un excellent pouvoir de pénétration et de solubilisation des composés ciblés. Cette technique est particulièrement appréciée dans les industries alimentaire, pharmaceutique et cosmétique en raison de sa sélectivité, de sa rapidité et de son caractère non toxique. De plus, le CO₂ est facilement éliminé du produit final par simple dépressurisation, ne laissant aucun résidu de solvant, ce qui permet d'obtenir des extraits purs et de haute qualité [84].

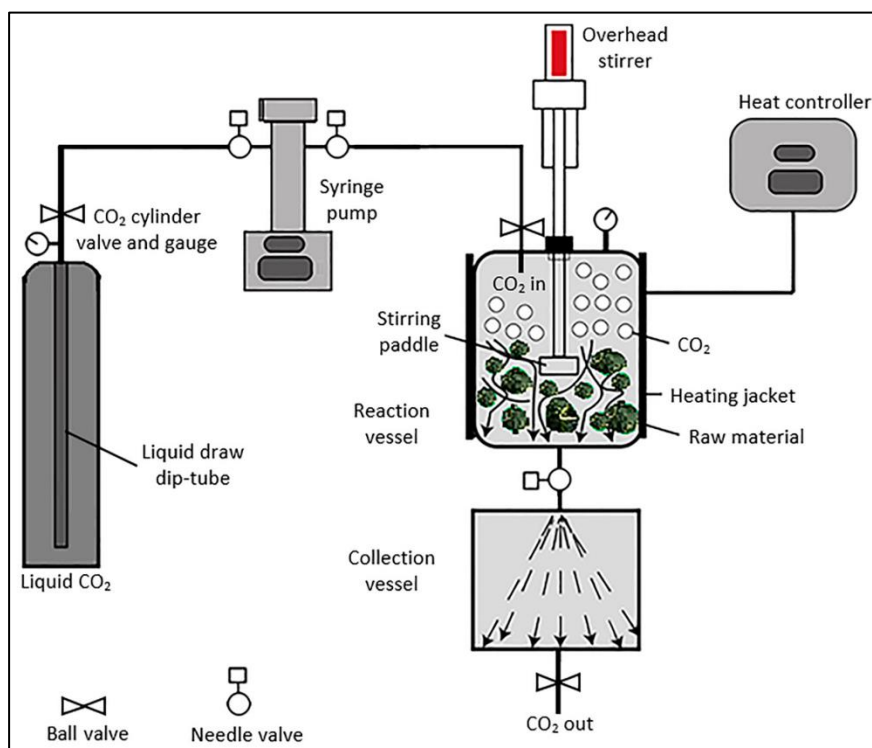


Figure I.9 : Système type d'extraction par fluide supercritique [85].

I.8. Matériel végétal

I.8.1. *Ruta chalepensis*

a. Dénomination

Ruta chalepensis., également appelée « rue » ou « ruda », est une plante aromatique qui fait partie de la famille des Rutaceae. Il est couramment utilisé dans les régions tropicales et tempérées et a longtemps été employé en médecine traditionnelle grâce à ses multiples

vertus thérapeutiques. Cette plante se caractérise par son odeur intense et par des feuilles chargées en substances bioactives, comme les alcaloïdes, les flavonoïdes et les composés phénoliques. [86].

Tableau I.10 : Appellation de Ruta chalepensis en différentes langues [87,88].

Nom scientifique	<i>Ruta chalepensis</i> L.
Nom vernaculaire en Français	Rue de chalep
Nom vernaculaire en anglais	Fringed rue
Nom vernaculaire en Arab	سذاب fidjel
Nom vernaculaire en kabyle	aourmi

b. Classification botanique de *Ruta chalepensis*

- **Règne :** Plantae
- **Embranchement :** Magnoliophyta
- **Classe :** Angiospermae
- **Catégorie :** Malvales
- **Ordre :** Sapindales
- **Famille :** Rutaceae
- **Sous-famille :** Rutoideae
- **Genre :** Ruta
- **Espèce :** *Ruta chalepensis* [89].

c. Description morphologique de la plante

Ruta chalepensis est une herbe médicinale pérenne de la famille des Rutaceae, originaire de l'Eurasie et de l'Afrique du Nord. Cette plante herbacée peut mesurer entre 30 et 80 cm de hauteur. Elle se distingue par des tiges lisses et des feuilles larges, disposées en alternance et profondément découpées en plusieurs segments formés de petites folioles ovales ou allongées. Les fleurs, d'un jaune éclatant, se rassemblent en inflorescences terminales et ont généralement quatre à cinq pétales aux bords légèrement dentelés. Les fruits sont des capsules membranes séparées en segments acérés comprenant de multiples graines. La plante est célèbre pour son parfum puissant résultant de la présence d'huiles essentielles dans ses différentes parties. En Algérie, on trouve différentes espèces et sous-espèces du genre *Ruta*,

comme *Ruta montana*, *Ruta chalepensis* subsp. *angustifolia*, *Ruta chalepensis* subsp. *latifolia* et *Ruta tubercula* [90].



(a)



(b)

Figure I.10 : Exemples d'espèces du genre *Ruta* (a) *Ruta graveolens* [91], (b) *Ruta montana* [92].

d. Répartition géographique

Ruta chalepensis est une plante provenant de la région méditerranéenne et des îles Canaries. Elle est désormais largement diffusée au-delà de son lieu d'origine grâce à son introduction et à sa culture dans de nombreuses régions du globe, en particulier pour ses applications médicinales et aromatiques. On l'observe dans plusieurs régions tropicales et subtropicales où elle s'est parfaitement adaptée. En Afrique, elle a été amenée dans divers pays comme les îles du Cap-Vert, le Soudan, l'Éthiopie, la Somalie et l'Afrique australe, notamment en Afrique du Sud, où elle est fréquemment cultivée dans les jardins traditionnels. L'espèce s'est adaptée à plusieurs zones en Asie, en particulier dans la péninsule Arabique, en Inde, en Malaisie, au Vietnam et à Java, et sur le continent américain, y compris les États-Unis, le Mexique, Cuba et le Chili. Cette vaste répartition illustre sa forte aptitude à s'adapter à divers climats et environnements [87].

e. Composition chimique

La plante *Ruta chalepensis* L. se caractérise par une composition phytochimique riche comprenant principalement des coumarines, en particulier les composés chalépine et chalépensine, qui appartiennent à la classe des furanocoumarines méthylées, ainsi que des alcaloïdes tels que la skimmianine, la kokusaginine et l'arborinine. Elle contient également des composés phénoliques et des flavonoïdes qui contribuent à son activité biologique, ainsi qu'une huile essentielle riche en composés volatils, dont les principaux sont des cétones aliphatiques telles que le 2-undécanone et le 2-décanone. Cette composition varie en fonction des conditions de croissance, de la partie de la plante et de son état (fraîche ou séchée) [94,95].

f. Utilisations traditionnelles de la plante *Ruta chalepensis*

- Utilisée en médecine traditionnelle depuis l'Antiquité ;
- Possède des propriétés analgésiques ;
- Présente une action anti-inflammatoire ;
- Utilisée comme antiseptique ;
- Possède des effets antispasmodiques ;
- Utilisée comme sédatif ;
- Il agit comme un agent vermifuge ;
- Il est utilisé comme tonique cardiaque ;
- Les extraits aqueux sont utilisés pour abaisser la tension artérielle ;
- Il agit sur le système cardiovasculaire ;
- Il est utilisé en cuisine pour assaisonner les sauces et est ajouté aux plats de gibier comme ingrédient aromatique [95].

I.8.1.1. Rhamnus alaternus

a. Dénomination

Cette plante est connue sous le nom scientifique *Rhamnus alaternus*, ou nom commun : nerprun alaternus, et elle est appelée « Immelis ou Safir » dans le nord de l'Algérie.

Tableau I.11 : Appellation de *Rhamnus alaternus* en différentes langues [96].

Nom scientifique	<i>Rhamnus alaternus</i> L.
Nom vernaculaire en kabyle	Amliles
Nom vernaculaire en arabes	Meliles الملبلس
Nom vernaculaire en français	Alaterne, Nerprun méditerranéen
Nom vernaculaire en anglais	Buckthorn

b. Classification botanique

- **Règne :** Plantae (Plantes)
- **Sous-règne :** Tracheobionta (Plantes vasculaires)
- **Division :** Magnoliophyta (Plantes à fleurs / Angiospermes)
- **Classe :** Magnoliopsida (Dicotylédones)
- **Ordre :** Rosales (ou Rhamnales selon les classifications anciennes)
- **Famille :** Rhamnaceae (Rhamnacées)
- **Genre :** *Rhamnus*
- **Espèce :** *Rhamnus alaternus* L.
- **Nom binominal :** *Rhamnus alaternus* [97].

c. Description morphologique de la plante

Le nerprun alaterne, aussi appelé « Imlils » en Algérie, appartient à la famille des Rhamnacées. En médecine naturelle, on utilise cette plante qui peut mesurer entre 1 et 5 mètres et forme un arbuste dense au feuillage d'un vert assez vif. Bien qu'elle pousse lentement, cette plante peut vivre jusqu'à 100 ans. Ses feuilles sont disposées de manière alterne, ont une forme ovale, un court pétiole, et sont épaisses et rigides. Les fleurs, petites et de couleur jaunâtre, sont séparées mâles et femelles et se rassemblent en grappes. Elles comportent cinq sépales qui sont droits chez les fleurs femelles et penchés chez les fleurs mâles, sans pétales. Le fruit est une baie ressemblant à une drupe. Il est petit, rond, et de la taille d'un petit pois. Sa couleur passe du rouge à maturité au noir. Ce fruit a une chair brune et contient 2 à 4 noyaux. Il ne dégage aucune odeur mais a un goût sucré et légèrement acide. On ramasse ces fruits à l'automne [98,99].



(a)



(b)



(c)

Figure I.11 : Différentes parties de *Rhamnus alaternus* feuilles (a), fleurs (b) et fruits (c) [98].

d. Répartition géographique

Rhamnus alaternus est une plante souvent rencontrée dans la nature, parmi les buissons persistants de la région méditerranéenne, où les pluies d'hiver sont parfois irrégulières. Ses caractéristiques en font une espèce importante, adaptée à la luminosité. Elle se trouve surtout dans le sud de la France et en Bretagne, ainsi qu'en Corse, en Algérie et au nord de la Tunisie [96].

L'Algérie possède une flore variée et unique avec 3139 espèces dans près de 150 familles, dont 653 endémiques (12,6 %). Une étude ethnobotanique des régions de Dellys, Bordj Menaiel et Boudouaou montre que les plantes médicinales courantes proviennent des myrtacées et rhamnacées : *Myrtus communis* et *Rhamnus alaternus* [100].

e. Composition chimique

Rhamnus alaternus est reconnu pour sa richesse en substances phénoliques, en particulier les tannins et les anthraquinones telles que l'émodyne, le chrysophanol, l'alaternine et le physcion, qui sont les quatre anthraquinones aglycones extraites des parties aériennes de cette plante [101]. Les composés phénoliques naturels les plus importants qu'on y trouve sont les flavonoïdes en raison de leur large spectre d'activités chimiques et biologiques, notamment leurs propriétés antioxydantes et leurs propriétés anti-radicaux libres [102].

f. Usage traditionnelle

En médecine traditionnelle, *Rhamnus alaternus* a été utilisé pour traiter plusieurs maladies telles que :

- Les maladies dermatologiques
- Le traitement du diabète
- Le traitement de la jaunisse et de l'anémie (décoction)
- Le traitement des affections hépatiques (décoction)
- Le traitement des affections dermatologiques (décoction)
- Les gargarismes frais astringents contre les maux de gorge [99].

I.9. Travaux antérieurs

Tableau I.12 : Activité antioxydante (IC_{50}) en huile essentielle de *Ruta chalepensis*.

Référence	Pays	Partie utilisée	Méthode d'extraction	Rendement (%)	IC_{50} DPPH (mg/mL)
Boughendjioua, 2019 [103]	Algérie	Parties aériennes	Hydrodistillation	0,65	—
Mejri et al., 2010 [104]	Tunisie	Parties aériennes	Hydrodistillation	5, 51	—
Jaradat et al., 2017 [105]	Palestine	Feuilles	Hydrodistillation	—	0,0069
Jaradat et al., 2017 [107]	Palestine	Feuilles	Hydrodistillation	—	0,0078
Jaradat et al., 2017 [107]	Palestine	Feuilles	Hydrodistillation	—	0,0199
Perwaiz et al., 2021 [106]	Jordanie	Parties aériennes	Hydrodistillation	—	0.0350

Tableau I.13 : *Activité antioxydante (IC₅₀) des extraits et des fractions de Rhamnus alaternus et Ruta chalepensis réalisés au Maghreb.*

Référence	Pays	Partie utilisé	Méthode d'extraction	Fraction / Solvant	IC ₅₀ DPPH (mg/mL)
Ben Ammar et al., 2008 [107]	Tunisie	Feuilles / Parties aériennes	Macération / Extraction séquentielle	• Extrait aqueux (A) • Fraction chloroforme (B) • Acétate d'éthyle	0,208 mg/mL (A) 0,137 mg/mL (B) Forte activité pour la fraction acétate d'éthyle.
Ben Ammar et al., 2009 [108]	Tunisie	Feuilles	Macération méthanolique et vrac aqueux	• Flavonoïdes isolés • Fraction Acétate d'éthyle	(Piégeage DPPH) : Très faible pour les flavonoïdes purifiés (≈1,2 à 0,0045 mg/ml).
Gali & Bedjou, 2018 [110]	Algérie	Parties aériennes (cultivées)	Extraction éthanolique et fractionnement	• Extrait Éthanolique • Fraction Acétate d'éthyle • Fraction n-Butanol	0,05118 µg/mL 0,05498µg/ml, 0.03018mg/ml
EL-Kadi et	Algérie	Feuilles /	Extraction aqueuse	• Extrait	0, 206 mg/ml

al., 2021 [111]		Tiges	(Décoction / Infusion)	Aqueux	
Ouerghemmi et al., 2017 [112]	Tunisie	Feuilles, Fleurs et Tiges	Macération dans solvants organiques (Methanol/Éth anl)	• Extraits organiques bruts	0,03069 mg/ml 0,02889 mg/ml

Chapitre II :

Matériels et méthodes

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

II .1. Introduction

Ce chapitre présente l'ensemble des méthodes expérimentales utilisées au cours de cette étude. Il comprend la préparation du matériel végétal, les différentes méthodes d'extraction appliquées, notamment la macération, l'extraction par Soxhlet et l'extraction des huiles essentielles par entraînement à la vapeur d'eau à l'aide d'un appareil de type Clevenger, ainsi que le fractionnement liquide-liquide des extraits obtenus.

Ce chapitre aborde aussi l'évaluation de l'activité antioxydante des fractions choisies à l'aide de la méthode DPPH, ainsi que l'étude spectrophotométrique UV-visible (UV-Vis) des extraits, fondée sur un balayage spectral qui permet de déterminer les maximums d'absorption principaux (λ_{max}).

II.1. Préparation du matériel végétal

Cette étude a porté sur deux plantes médicinales locales. La première plante a été récoltée dans de deux régions différentes afin d'évaluer l'influence de l'origine géographique sur la composition chimique et l'activité biologique des extraits. La deuxième plante a également été étudiée pour ses propriétés phytochimiques et biologiques.

II.1.1. Récolte

Les feuilles de *Rhamnus alaternus* ont été récoltées en février 2026 dans la forêt de Thaâchirth, située au village de Merqeb, dans la commune d'Aïn El Turk, wilaya de Bouira. Un second échantillon a également été récolté au cours du même mois dans la localité de Bour Abderrahmane, à Tazrout, relevant de la daïra de Lakhdaria, dans la wilaya de Bouira. Quant à *Ruta chalepensis*, elle a été récoltée durant les mois de février et de mars dans la région de Taguedite, relevant de la daïra de Bordj Okhriss, dans la wilaya de Bouira.

Afin d'optimiser la teneur en métabolites secondaires et de limiter la dégradation enzymatique liée à l'humidité, les récoltes ont été effectuées par temps sec et ensoleillé, entre le lever et le coucher du soleil, afin de garantir un métabolisme tissulaire optimal.

Tableau II.1 : Localisation des sites de récolte des plantes étudiées.

Genre	<i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Türk)	<i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria)	<i>Ruta chalepensis</i> (Taguedit)
Lieu	Merqeb (Aïn El Türk, Bouira)	Bour Abderrahmane (Tazrout, Lakhdaria, Bouira)	Taguedit (Bordj Okhriss, Bouira)
Partie utilisée	Feuilles	Feuilles	Feuilles + tiges
Latitude (°N)	36,4216111	36,331716	36,023721
Longitude (°E)	3,7839722	3,294130	3,981855
Altitude (m)	494,2	558	1090



(a)



(b)

Figure II.1 : Photos des plantes étudiées : (a) *Ruta chalepensis* (b) *Rhamnus alaternus*.

II.1.2. Séchage

Après la récolte, on sèche le matériel végétal pour réduire l'humidité et empêcher la croissance des microorganismes. On peut le faire à l'air libre à l'ombre dans un endroit bien aéré, ou dans une étuve à température modérée pour protéger les éléments sensibles à la chaleur [113].

II.1.3. Broyage

Quand la matière végétale est complètement sèche, elle est broyée à l'aide d'un broyeur jusqu'à obtenir une poudre homogène. Ce processus augmente la surface de contact, ce qui favorise l'extraction des composés actifs pendant les extractions qui suivront [114].

II.1.4. Stockage

La poudre végétale obtenue est conservée dans des conteneurs hermétiques, propres et secs, à l'abri de la lumière, de l'humidité et de la chaleur. En général, on la stocke à température ambiante ou au réfrigérateur, selon les composés étudiés, pour garantir la stabilité et la qualité des substances bioactives.

II.2. Méthodes d'extraction

II.2.1. Extraction par macération

Une quantité de 15 g de matière végétale séchée et réduite en poudre a été soumise à une extraction par macération à l'aide d'un mélange hydroalcoolique (éthanol (70%) / eau (30%)) dans un volume de 150 ml. La poudre végétale a été placée dans un récipient hermétiquement fermé puis recouverte du solvant d'extraction. Le mélange a été maintenu à température ambiante pendant 24 heures, avec agitation périodique afin de favoriser l'extraction des métabolites secondaires présents dans la matière végétale. Après macération, le mélange a été filtré sur papier filtre afin de séparer l'extrait liquide des résidus végétaux. Le filtrat obtenu a ensuite été utilisé directement pour l'étape d'extraction liquide-liquide [115].

II.2.2. Extraction par Soxhlet

L'extraction a été réalisée à l'aide d'un appareil de Soxhlet. Une masse de 15 g de matière végétale séchée et finement pulvérisée a été placée dans une cartouche d'extraction en cellulose, puis introduite dans la chambre d'extraction de l'appareil. Le ballon a été rempli avec un mélange hydroalcoolique (éthanol 70% /eau 30%) utilisé comme solvant d'extraction dans un volume de 160 ml. L'ensemble a été monté avec un réfrigérant à reflux puis chauffé jusqu'à l'ébullition du solvant. L'extraction a été poursuivie pendant plusieurs cycles successifs de siphonage, permettant le renouvellement continu du solvant au contact de la

matière végétale et favorisant ainsi l'extraction des composés bioactifs. Le filtrat obtenu a ensuite été utilisé directement pour l'étape d'extraction liquide-liquide [115].



Figure II.2 : Montage expérimental de l'appareil de Soxhlet utilisé pour l'extraction des composés végétaux.

II.2.3. Extraction des huiles essentielles

L'huile essentielle a été extraite des parties aériennes séchées et broyées de la plante *Ruta chalepensis* par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger. Une quantité de poudre végétale a été placée dans un ballon, à laquelle on a ajouté de l'eau distillée ; le mélange a ensuite été chauffé jusqu'à ébullition et le processus de distillation s'est poursuivi pendant 3 à 4 heures. La couche d'huile essentielle séparée a été recueillie dans le tube de Clevenger et une petite quantité d'hexane a été ajoutée dans le tube de l'appareil afin de faciliter la séparation de l'huile et de l'eau, l'hexane formant une phase organique distincte de l'eau, ce qui limite la perte d'huile. L'huile a ensuite été conservée dans un flacon en verre jusqu'à la réalisation des analyses [116].



Figure II.3 : Montage expérimental de l'appareil de Clevenger utilisé pour l'extraction des huiles essentielles par hydrodistillation.

II.2.4. Extraction liquide-liquide

Après filtration de l'extrait éthanolique, le filtrat a été soumis à un fractionnement afin de séparer les composés chimiques en fonction de leur polarité.

Le filtrat a été transféré dans un flacon de séparation, puis l'extraction a été effectuée progressivement à l'aide de solvants de polarité croissante, à savoir : le n-hexane (Merck/95%), le chloroforme (Honeywell/(99,0-99,4%)), l'acétate d'éthyle (BIOCHEM/99,5%), puis le n-butanol (BIOCHEM/99,5%). Après l'ajout de chaque solvant, le mélange a été bien agité puis laissé au repos jusqu'à la séparation complète entre la phase organique et la phase aqueuse.

La couche organique résultant de chaque solvant a été recueillie séparément, et l'opération a été répétée successivement avec les différents solvants afin d'obtenir des fractions riches en composés de polarité variable. Ensuite, les fractions extraites ont été concentrées par évaporation des solvants, puis conservées dans des conditions appropriées jusqu'à leur utilisation dans les analyses ultérieures [115].

❖ **Calcul du rendement des fractions**• **Taux d'humidité**

Environ 5 g de matière végétale ont été prélevés et pesés avec précision. L'échantillon a ensuite été placé dans une étuve réglée à 105 °C pendant 20 minutes. Après refroidissement à température ambiante, il a été repesé afin de déterminer la perte de masse due à l'évaporation de l'eau. La teneur en eau a été calculée à partir de la différence entre la masse initiale et la masse finale de l'échantillon [117].

Le taux d'humidité a été déterminé selon la formule suivante :

$$\text{Taux d'humidité (\%)} = \frac{\text{Poids humide} - \text{Poids sec}}{\text{Poids humide}} * 100$$

❖ **Calcul du rendement des différentes fractions :**

$$R \% = \frac{\text{masse de l'extrait}}{\text{masse initiale de la plante sèche}(1 - \text{Taux d'humidité})} * 100$$

II.2.5. Évaluation de l'activité antioxydante

L'activité antioxydante des fractions a été déterminée par la méthode du radical libre DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle).

Les fractions d'acétate d'éthyle et de n-butanol ont été préparés à une concentration initiale de 1 mg/ml, puis soumis à une série de dilutions successives afin d'obtenir différentes concentrations. La solution de DPPH a été préparée en dissolvant 4 mg de DPPH (Tokyo Chemical/97%) dans 100 ml d'éthanol (SPECLAB/96%). La solution obtenue a été agitée jusqu'à dissolution complète puis conservée à l'abri de la lumière. Pour chaque concentration, un volume déterminé de la fraction a été mélangé avec un volume égal de la solution de DPPH. Les mélanges ont été incubés pendant 30 minutes à température ambiante et à l'obscurité afin d'éviter toute dégradation du radical.

Après incubation, l'absorbance a été mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible (SHIMADZU/ UV-1800). Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH a ensuite été calculé pour évaluer l'activité antioxydante des extraits. Toutes les manipulations ont été réalisées à l'abri de la lumière afin de préserver la stabilité du DPPH [118].

Lors de la réaction avec un composé antioxydant donneur d'hydrogène (AH), le radical libre DPPH• est réduit en sa forme stable DPPH-H, tandis que l'antioxydant est converti en radical A•, selon l'équation suivante :



Violet foncé

Jaune pâle

❖ **Formule de calcul du pourcentage d'inhibition du radical DPPH:**

$$\% \text{Inhibition} = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{échantillon}}}{A_{\text{control}}} * 100$$

Chapitre III :

Résultats et discussion

Chapitre III :

Résultats et discussion

Ce chapitre présente les résultats obtenus au cours des différentes étapes expérimentales. Les rendements d'extraction, les rendements en huile essentielle ainsi que l'activité antioxydante des fractions sélectionnées sont présentés et discutés en le comparant aux données de la littérature.

III.1. Résultats des rendements du fractionnement d'extraction liquide-liquide

III.1.1. Taux d'humidité du matériel végétal

Tableau III.1 : Taux d'humidité des échantillons étudiés (%).

Échantillon	Taux d'humidité (%)
<i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Türk)	7,12
<i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria)	6,90
<i>Ruta chalepensis</i> (Taguedit)	7,32

Les résultats présentés dans le (tableau III .1) montrent que le taux d'humidité des échantillons étudiés varie entre 6,90 % et 7,32 %. La valeur la plus faible a été enregistrée pour l'échantillon de Lakhdaria de *Rhamnus alaternus* (6,90 %), tandis que la valeur la plus élevée a été observée chez *Ruta chalepensis* (Taguedit) (7,32 %).

Les faibles taux d'humidité obtenus indiquent que le matériel végétal a été correctement séché avant son utilisation, ce qui limite les risques de prolifération microbienne et de dégradation des composés bioactifs.

Les différences observées entre les échantillons peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, notamment l'origine géographique, les conditions environnementales, les caractéristiques physiologiques des plantes ainsi que les conditions de récolte et de séchage [120].

D'une manière générale, les valeurs obtenues restent relativement proches, suggérant une bonne homogénéité des échantillons étudiés. Cette faible teneur en eau constitue un facteur favorable pour la conservation du matériel végétal et pour l'obtention de rendements d'extraction exprimés sur une base de matière sèche.

Tableau III. 2: Rendements (%) des fractions obtenues par l'extraction liquide-liquide.

Méthodes Plantes	Solvants	Rendement Macération (%)	Rendement Soxhlet (%)	Couleurs des fractions
<i>Rhamnus alaternus</i> (Aïn El Türk)	Hexane	1,18	1,19	Vert
	Chloroforme	9,42	2,10	Vert
	Acétate d'éthyle	2,56	0,91	Jaune
	n-butanol	6,52	2,83	Orange
<i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria)	Hexane	1,11	0,72	Vert
	Chloroforme	7,82	4,18	Vert
	Acétate d'éthyle	2,16	0,97	Jaune
	n-butanol	4,93	4,18	Orange
<i>Ruta chalepensis</i> (Taguedit)	Hexane	1,76	1,22	Vert
	Chloroforme	5,74	3,29	Vert
	Acétate d'éthyle	1,79	3,75	Jaune
	n-butanol	4,03	4,64	Orange

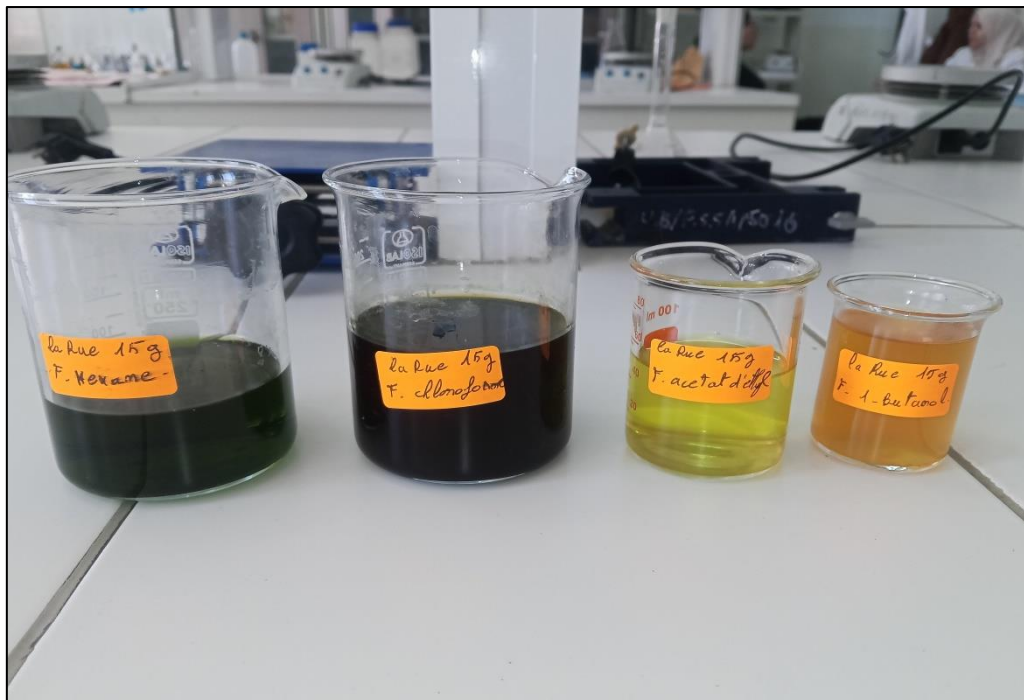


Figure III.1 : Couleurs des différentes fraction obtenues après extraction liquide-liquide.

Les rendements des différentes fractions obtenues après extraction liquide-liquide des extraits de *Rhamnus alaternus* et *Ruta chalepensis* sont présentés dans le (tableau III.2). Les

résultats mettent en évidence une variation des rendements en fonction de l'espèce végétale, de la méthode d'extraction employée et de la polarité des solvants utilisés.

Pour les deux échantillons de *Rhamnus alaternus*, les rendements les plus élevés ont été obtenus avec les fractions chloroformiques et n-butanoliques, notamment après extraction par macération. La fraction chloroformique de l'échantillon récolté dans la région d'Aïn El Türk a présenté le rendement le plus élevé (9,42 %), suivie de la fraction n-butanolique (6,52 %). Des résultats similaires ont été observés pour l'échantillon provenant de Lakhdaria, ce qui suggère une forte présence de composés de polarité intermédiaire au sein de cette espèce.

Concernant *Ruta chalepensis*, les rendements obtenus sont globalement inférieurs à ceux de *Rhamnus alaternus*. Cependant, les fractions à l'acétate d'éthyle et au n-butanol issues de l'extraction par Soxhlet ont présenté des rendements supérieurs à ceux obtenus par macération. Cette observation suggère que certains métabolites de cette espèce sont plus efficacement extraits sous l'effet du chauffage et de l'extraction continue caractéristiques de la méthode Soxhlet.

Il convient de préciser que les extractions par macération et par Soxhlet ont été réalisées avec le même solvant hydroalcoolique (éthanol à 70 %). Ainsi, les différences observées entre les rendements peuvent être principalement attribuées à la méthode d'extraction. Dans la majorité des cas, la macération a conduit à des rendements plus élevés que l'extraction Soxhlet. Cette différence pourrait s'expliquer par une éventuelle sensibilité thermique de certains composés bioactifs, susceptibles de subir une dégradation partielle lors du chauffage prolongé.

III.2. Rendement en huile essentielle

Tableau III.3 : Rendement en huile essentielle (%).

Plante	Rendement en huile essentielle (%)
<i>Ruta chalepensis</i> (Taguedit)	1,22

Le rendement en huile essentielle obtenu à partir de *Ruta chalepensis* par hydrodistillation est de 1,22 % (Tableau III.3). Cette valeur indique que la plante étudiée constitue une source relativement intéressante en composés volatils.

Le rendement des huiles essentielles peut varier considérablement en fonction de plusieurs facteurs, notamment l'origine géographique de la plante, les conditions climatiques, la nature du sol, le stade de développement au moment de la récolte, ainsi que les conditions de séchage et d'extraction. La composition chimique et la teneur en métabolites secondaires volatils sont également influencées par des facteurs génétiques et environnementaux [121].

Le rendement obtenu dans cette étude se situe dans l'intervalle généralement rapporté pour l'espèce *Ruta chalepensis*. Les variations observées entre les différentes études peuvent être attribuées aux différences des conditions expérimentales et des caractéristiques écologiques des zones de récolte [122].

Remarque : Malgré les essais d'extraction réalisés sur *Rhamnus alaternus* (alaterne), aucun rendement quantitatif en huile essentielle n'a été obtenu. Cette faible production peut s'expliquer par la faible teneur naturelle de cette espèce en composés volatils, contrairement aux plantes aromatiques riches en huiles essentielles.

Ainsi, les résultats obtenus confirment la capacité de *Ruta chalepensis* à produire une quantité appréciable en huile essentielle, ce qui justifie l'intérêt porté à cette espèce dans les études phytochimiques et biologiques.

III.3. Activité antioxydante par le test DPPH

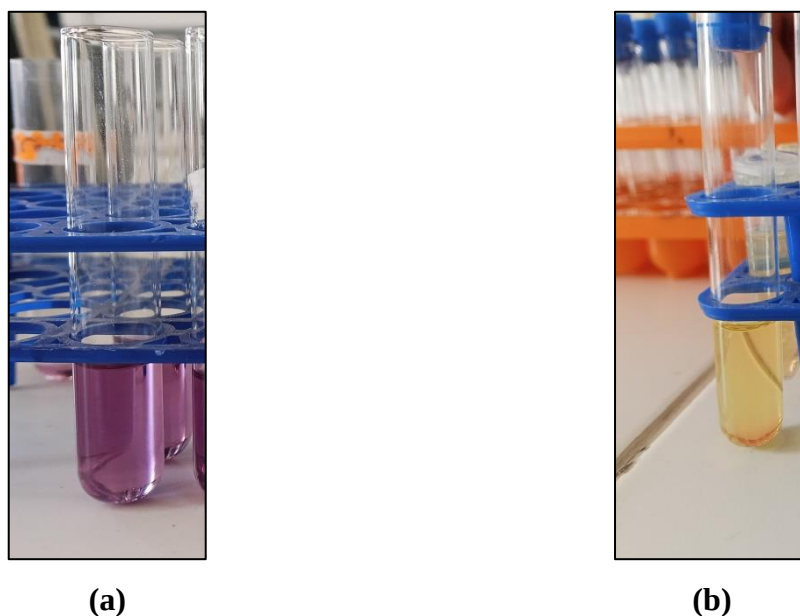


Figure III.2 : Mélange réactionnels DPPH-fractions avant (a) et après (b) 30 minutes d'incubation à l'obscurité.

Le test DPPH a révélé un changement de couleur net de la solution après l'ajout de chaque fraction, la couleur violette caractéristique du radical DPPH libre virant

progressivement au jaune. Ce changement de couleur indique que les composés présents dans la fraction sont capables de céder un électron ou un atome d'hydrogène au radical libre DPPH, ce qui entraîne sa réduction et une diminution de sa concentration. Ce résultat suggère que la fraction possède une activité antioxydante susceptible de contribuer à l'inhibition des radicaux libres.

III.3.1. Etude de la variation de l'absorbance en fonction de la concentration :

a. *Rhamnus alaternus* (Ain El Turk)

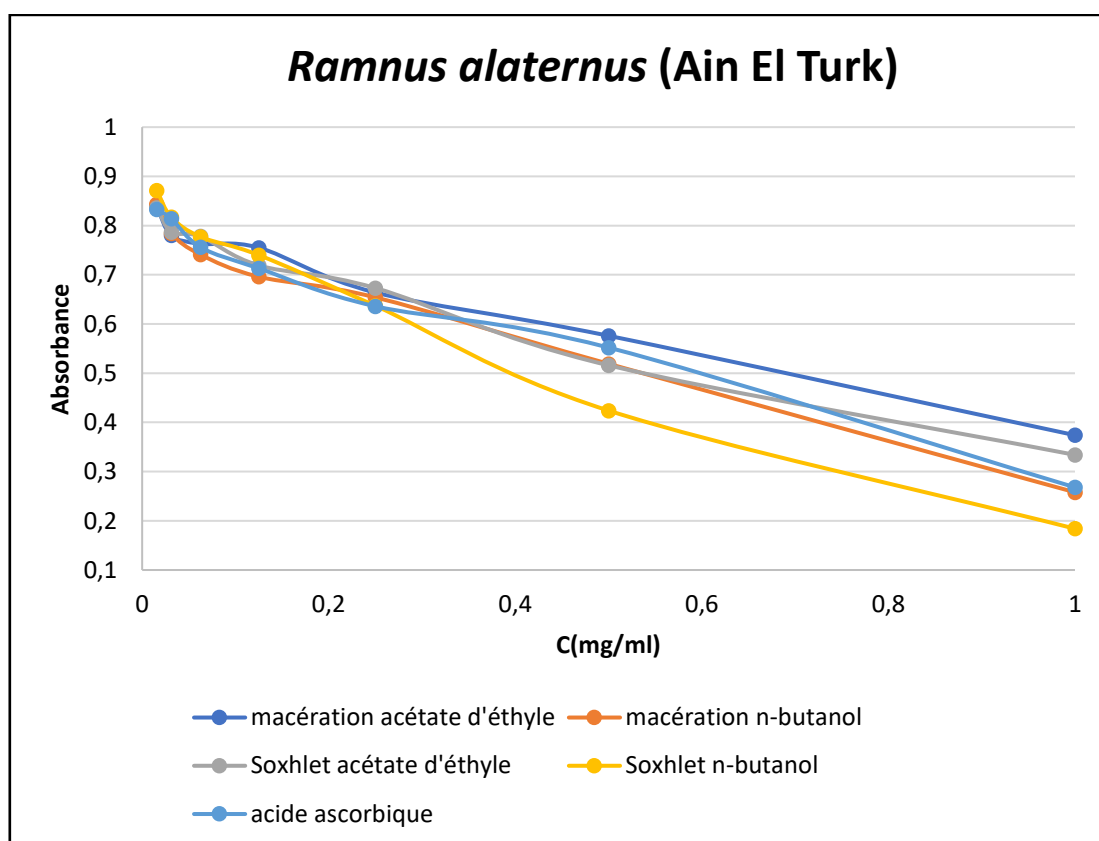


Figure III.3 : Évolution de l'absorbance en fonction de la concentration des différentes fractions de *Rhamnus alaternus* (Ain El Turk) obtenus par macération et Soxhlet, comparée à l'acide ascorbique.

L'analyse des profils d'absorbance des extraits de *Rhamnus alaternus* révèle que la densité optique diminue avec la dose, ce qui prouve que les métabolites ont un bon pouvoir réducteur. L'extraction à chaud avec Soxhlet est plus performante que la macération à froid. La fraction Soxhlet 1-butanol a montré une activité antioxydante plus élevée.

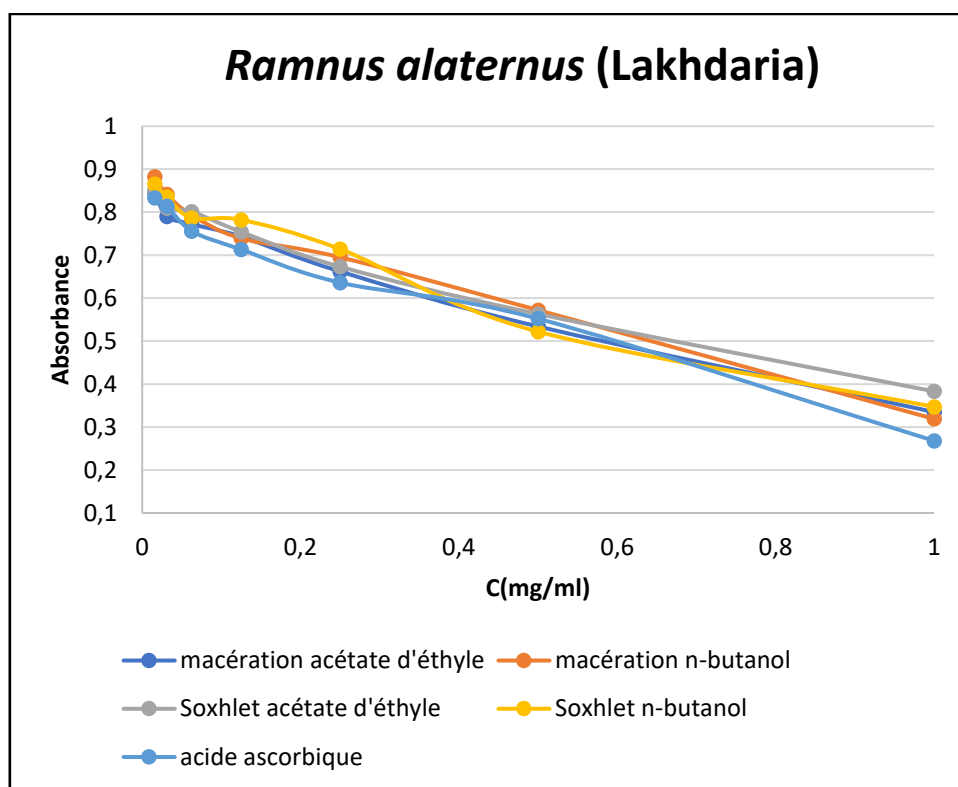
b. *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria)

Figure III.4 : Évolution de l'absorbance en fonction de la concentration des différentes fractions de *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria) obtenus par macération et Soxhlet, comparée à l'acide ascorbique.

Dans les échantillons de *Rhamnus alaternus* de la Région de (Lakhdaria), l'efficacité de la capture des radicaux libres varie en fonction de la dose. À 1 mg/ml, la macération à froid génère les extraits les plus actifs, avec une absorbance de 0,319 pour le 1-butanol et 0,335 pour l'acétate d'éthyle. La méthode Soxhlet semble moins efficace, ce qui indique que les molécules antioxydantes peuvent être sensibles à la chaleur.

❖ **Comparaison entre les régions de *Rhamnus alaternus***

La comparaison des deux régions montre que la Région de (Ain Turk) possède un meilleur potentiel antioxydant. Avec une concentration de 1 mg/ml, l'extrait butanolique de la Région de Ain Turk ($A = 0,184$) est plus performant que celui de la Région de Lakhdaria ($A = 0,319$).

Les différences se tiennent à des facteurs environnementaux et climatiques, comme la température, le stress hydrique, l'exposition au soleil et la nature du sol, qui favorisent la production de polyphénols très réducteurs dans la Région de Ain Turk [49].

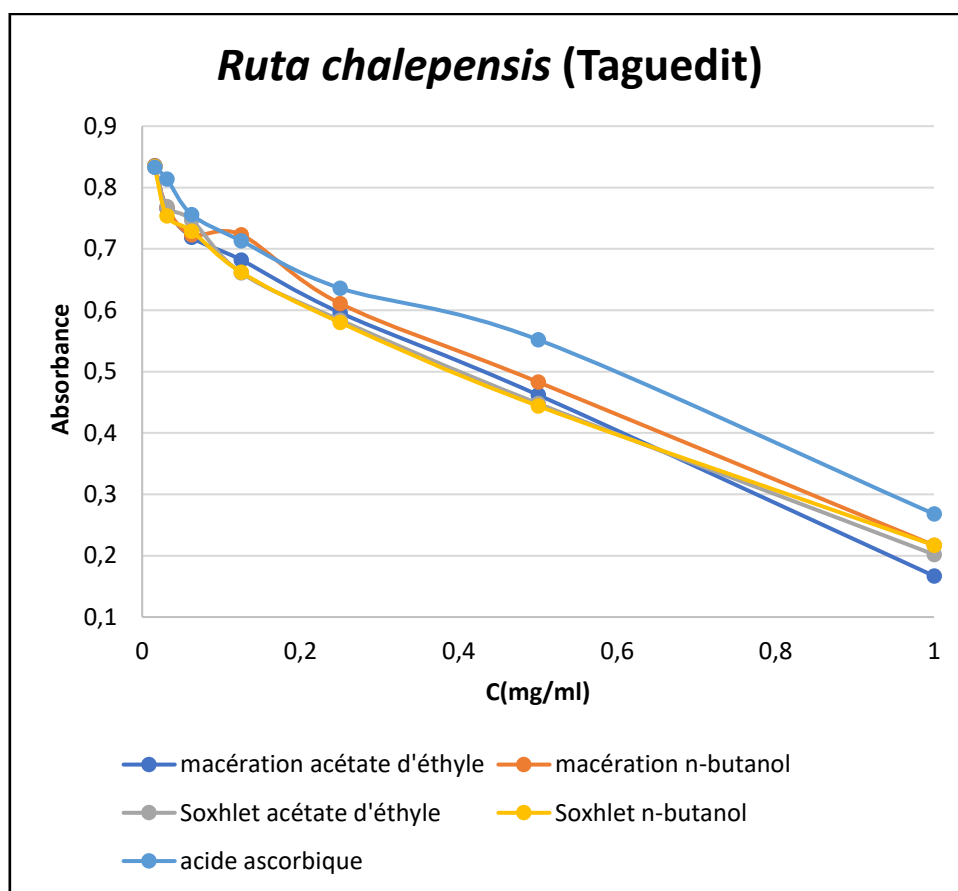
c. *Ruta chalepensis* (Taguedit)

Figure III.5 : Évolution de l'absorbance en fonction de la concentration des différentes fractions de *Ruta chalepensis* (Taguedit) obtenus par macération et Soxhlet, comparée à l'acide ascorbique.

Les résultats du test d'activité antioxydante de la Rue (*Ruta chalepensis*) révèlent une capacité de piégeage très importante. À une concentration de 1 mg/ml, tous les extraits végétaux présentent de faibles absorbances, entre 0,167 et 0,217, dépassant celle de l'acide ascorbique (contrôle positif). L'extrait obtenu par macération avec de l'acétate d'éthyle est le plus efficace, suivi par celui obtenu par Soxhlet avec de l'acétate d'éthyle. Les fractions butanoliques montrent également de bons résultats, suggérant une bonne concentration en agents antioxydants réactifs.

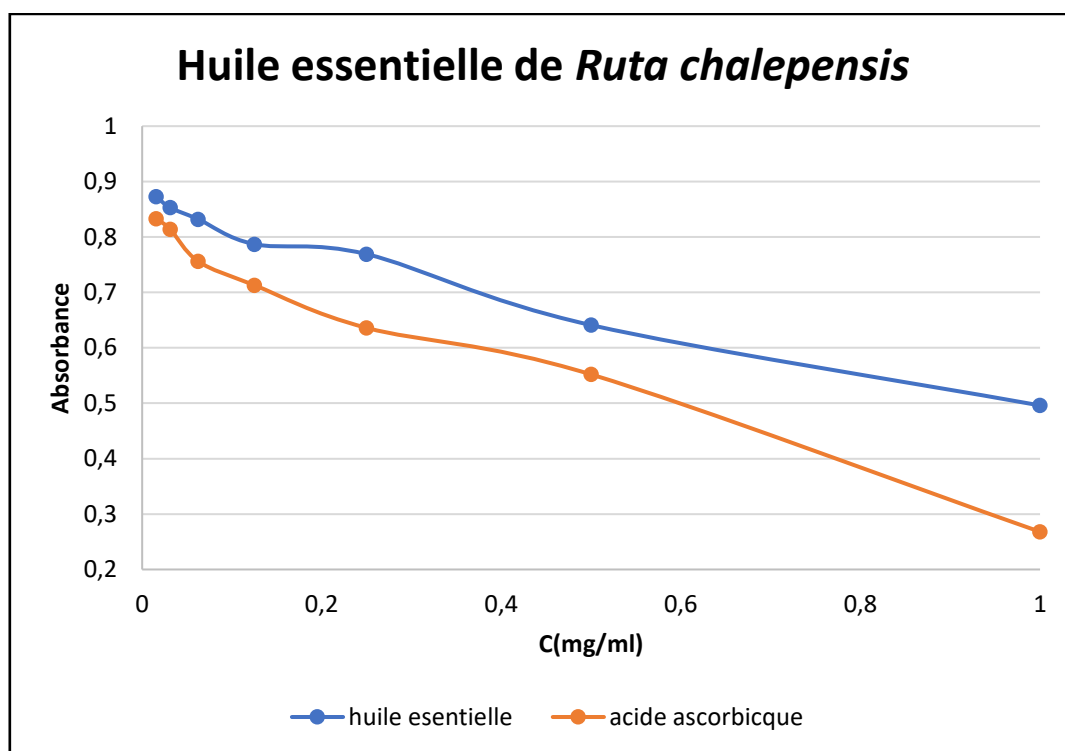
d. Huile essentielle de *Ruta chalepensis*

Figure III.6 : Évolution de l'absorbance en fonction de la concentration de l'huile essentielle de *Ruta chalepensis*, comparée à l'acide ascorbique.

L'analyse de l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* a montré une activité antioxydante qui dépend de la dose contre le radical libre DPPH•. En effet, quand la concentration de l'huile essentielle augmente l'absorbance diminue progressivement, ce qui indique une meilleure capacité à piéger les radicaux libres. Cette activité pourrait venir de la présence de composés volatils bioactifs, surtout des cétones aliphatiques principales et quelques terpènes oxygénés, qui prouvent aider à neutraliser les radicaux libres [123].

❖ **Comparaison entre l'huile essentielle et l'acide ascorbique (contrôle positif)**

D'après l'analyse on constate que l'huile essentielle de la rue a une activité antioxydante inférieure à celle de l'acide ascorbique, utilisé comme contrôle positif. À la concentration de 1 mg/ml, l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* a une absorbance de (0,496), tandis que l'acide ascorbique montre une densité optique de (0,268). Cette différence s'explique par la chimie de l'acide ascorbique, qui est un agent réducteur très efficace. Malgré cela, l'huile essentielle affiche une activité antioxydante significative à 1 mg/ml, soulignant son potentiel pour piéger les radicaux libres.

III.3.2. Analyse des courbes d'inhibitions (%) en fonction de la concentration des fractions (mg/ml)

a. *Rhamnus alaternus* (Ain El Turk)

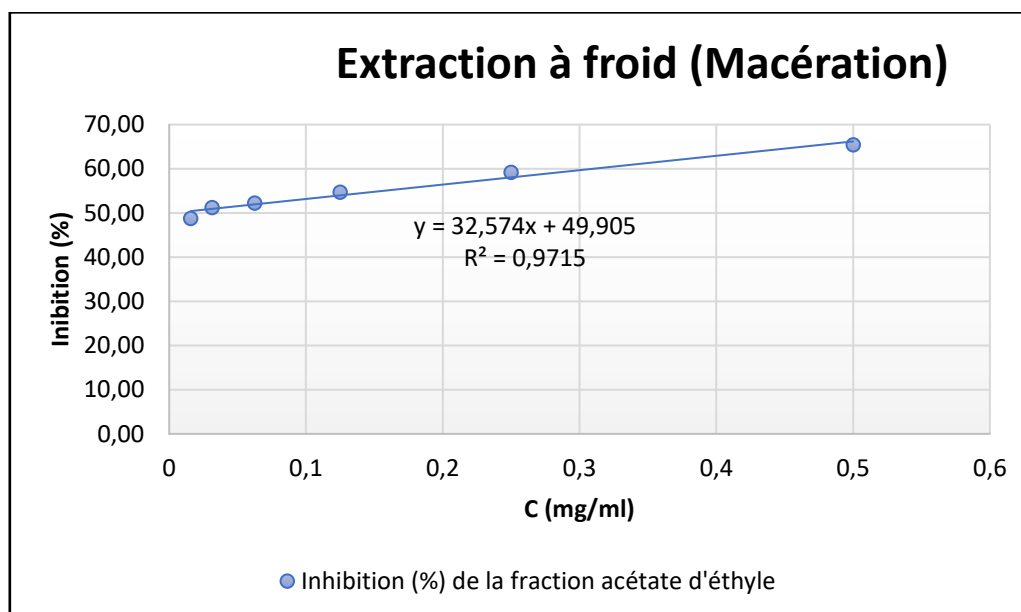


Figure III.7 : Activité inhibitrice de la fraction acétate d'éthyle de *Rhamnus alaternus* (Ain El Turk) obtenue par macération.

On observe sur le graphique qu'il existe une dépendance linéaire positive entre la concentration et le pourcentage d'inhibition. La droite modélisatrice est un bon modèle des données expérimentales car la valeur de R^2 est élevée (0,9715).

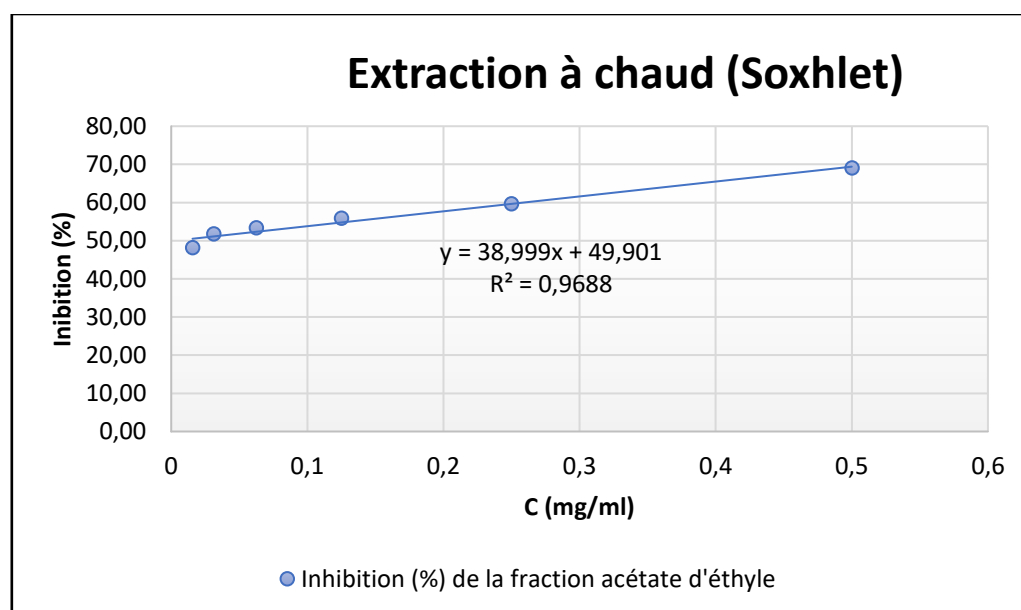


Figure III.8 : Activité inhibitrice de la fraction d'acétate d'éthyle de *Rhamnus alaternus* (Ain El Turk) obtenue Soxhlet.

Le tracé représente une ligne croissante traduisant une activité fonction de la concentration. Le R^2 (0,9688) met en évidence le bon ajustement du modèle linéaire.

Quand on utilise la méthode de Soxhlet, on observe une inhibition un peu plus forte qu'avec la macération, surtout quand la dose est élevée. Cela veut dire qu'on extrait mieux les substances actives à chaud.

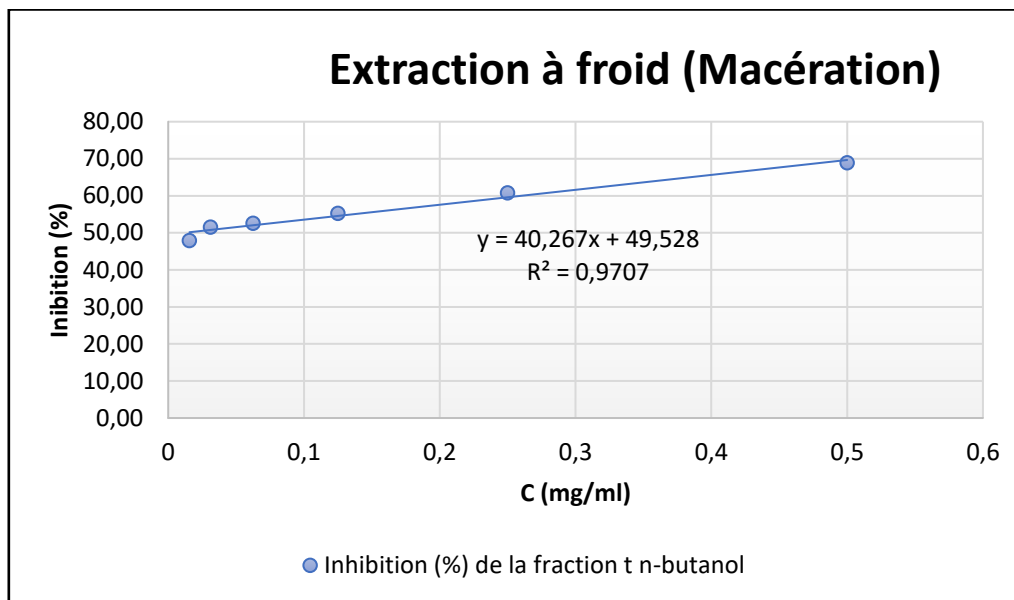


Figure III.9 : Activité inhibitrice de la fraction n-butanol de *Rhamnus alaternus* (Aïn El Turk) obtenu par macération.

Le graphique présente une droite croissante, indiquant que le pourcentage d'inhibition augmente avec la concentration. La valeur élevée de R^2 (0,9707) montre une très bonne corrélation entre les données expérimentales et le modèle linéaire.

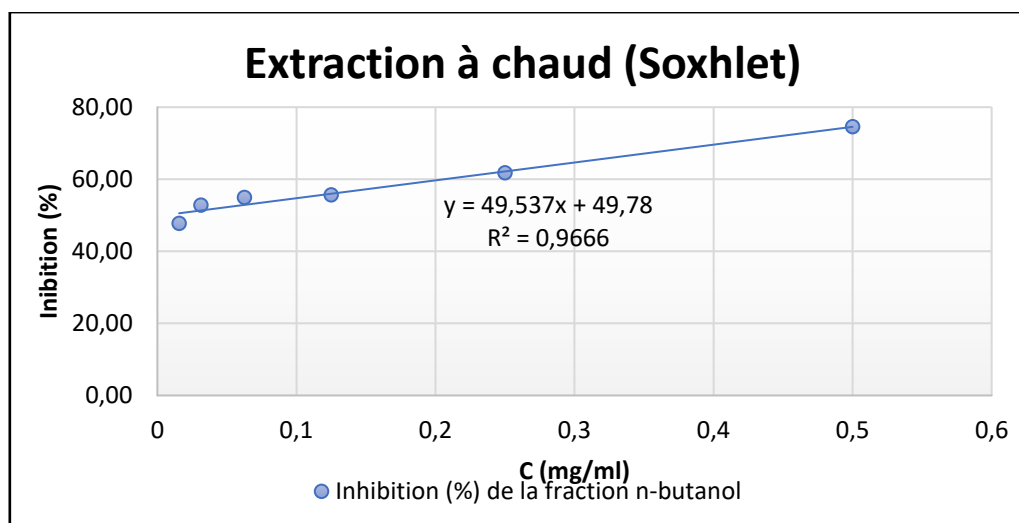


Figure III.10 : Activité inhibitrice de la fraction n-butanol de *Rhamnus alaternus* (Aïn El Turk) obtenu par Soxhlet.

On obtient un lien linéaire et croissant entre la concentration et l'inhibition. Avec R^2 (0,9666), l'observation est en bon accord avec les résultats.

C'est avec l'extraction Soxhlet qu'on a obtenu les taux d'inhibition les plus importants. La chaleur semble aider à extraire les molécules qui luttent contre l'oxydation

b. *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria)

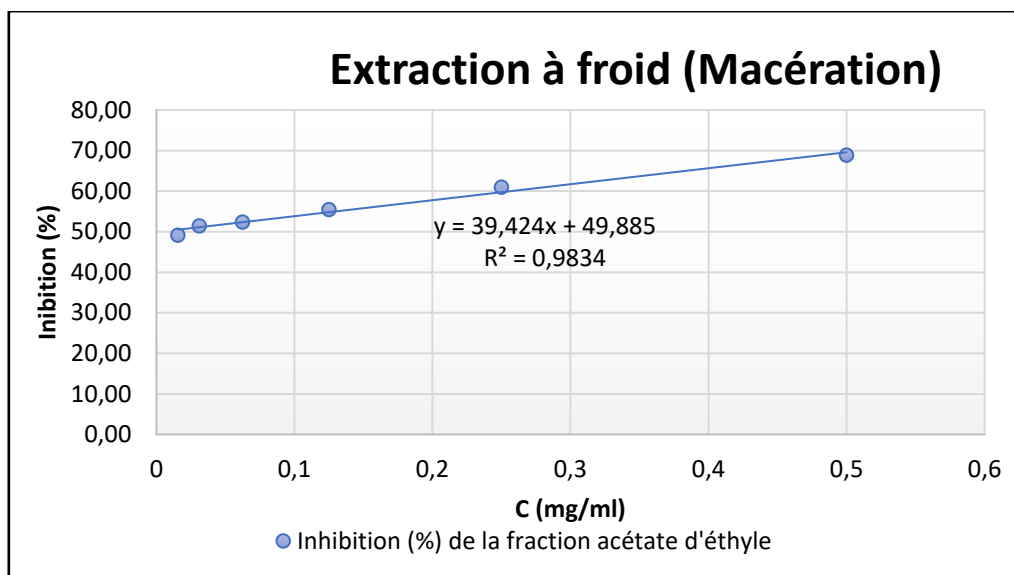


Figure III.11 : Activité inhibitrice de la fraction acétate d'éthyle de *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria) obtenu par macération.

Le pourcentage d'inhibition augmente linéairement avec la concentration. Le R^2 (0,9834) témoigne d'une très forte corrélation des données.

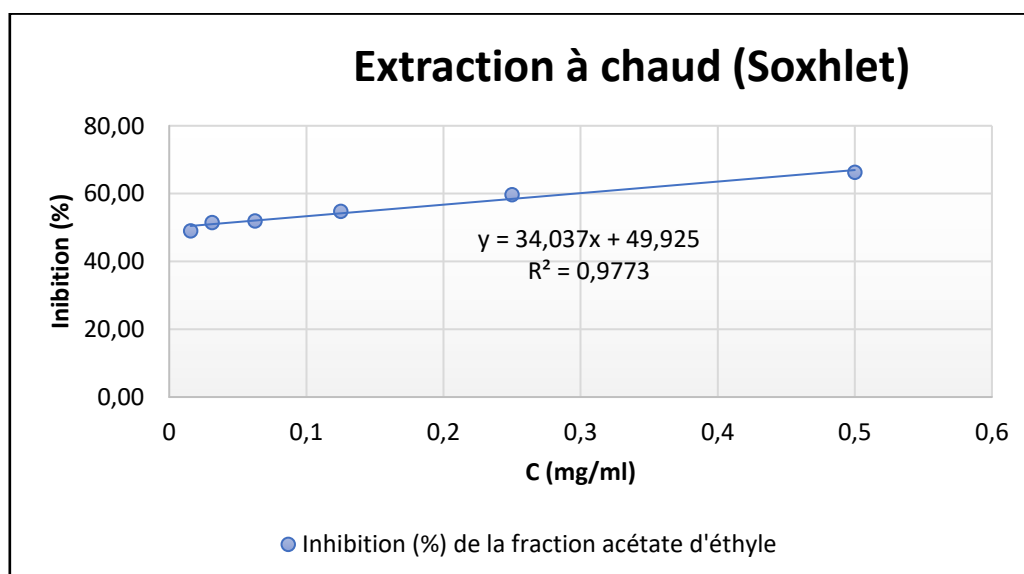


Figure III.12 : Activité inhibitrice de la fraction acétate d'éthyle de *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria) obtenu par Soxhlet.

Les deux variables sont liées par une relation linéaire positive. Le R^2 élevé (0,9773) indique un excellent ajustement linéaire.

Avec la macération, l'activité est légèrement plus élevée qu'en utilisant la méthode Soxhlet. Les deux techniques sont quand même assez similaires en termes d'efficacité.

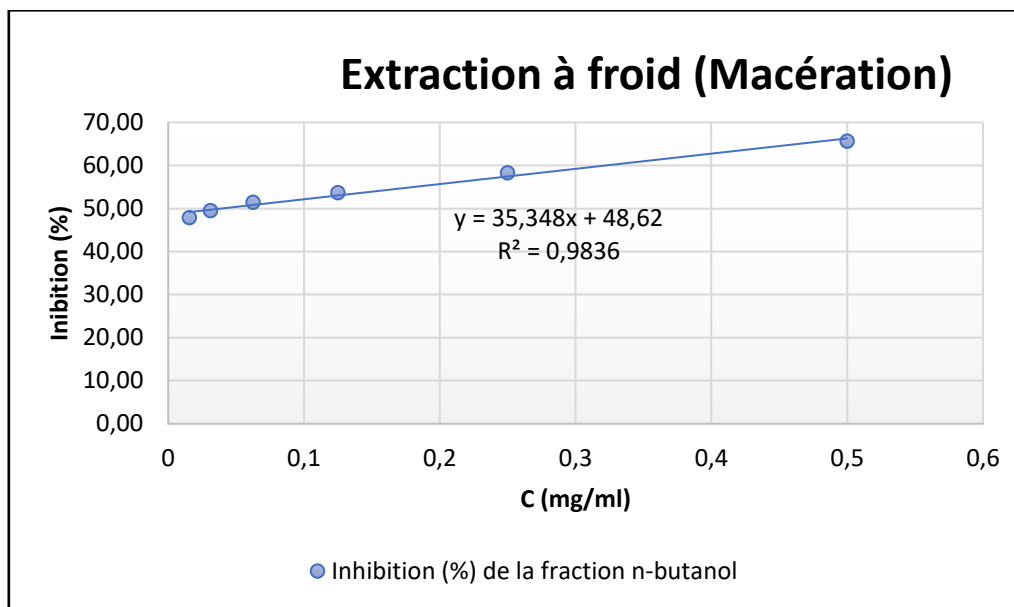


Figure III.13 : Activité inhibitrice de la fraction n-butanol de *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria) obtenu par macération.

Le tracé est une droite croissante assez bien définie. Le coefficient R^2 (0,9836) montre que la droite représente fidèlement les résultats expérimentaux.

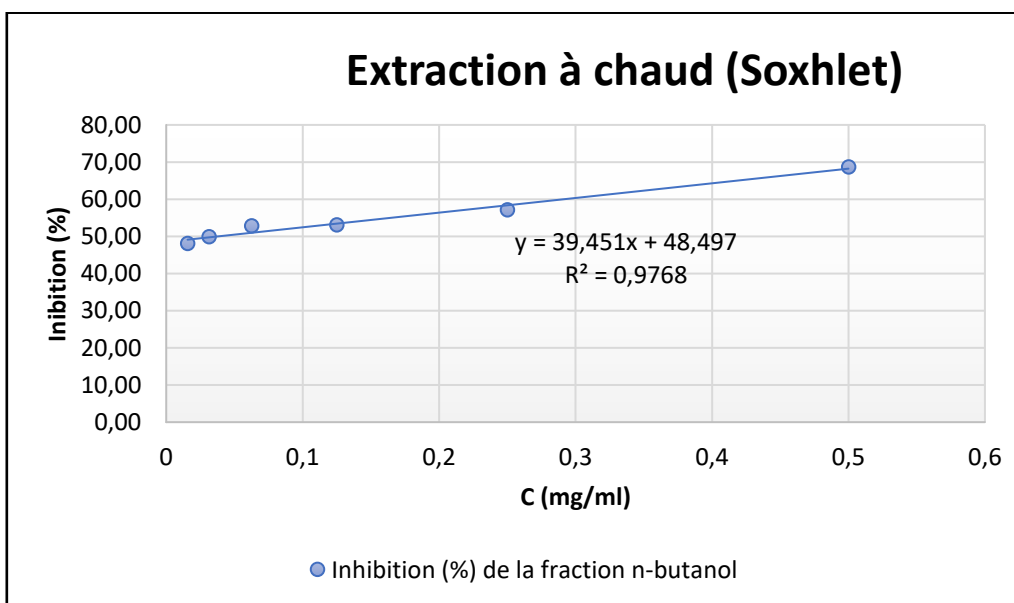


Figure III.14 : Activité inhibitrice de la fraction n-butanol de *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria) obtenu par Soxhlet.

La figure présente bien une augmentation de l'inhibition en fonction de la concentration. Le coefficient R^2 (0,9768) indique une bonne corrélation.

La fraction de Soxhlet n-butanol montre une inhibition plus marquée que celle obtenus par macération. Cette différence est d'autant plus perceptible que les concentrations sont plus élevées.

c. *Ruta chalpensis* (Taguedit)

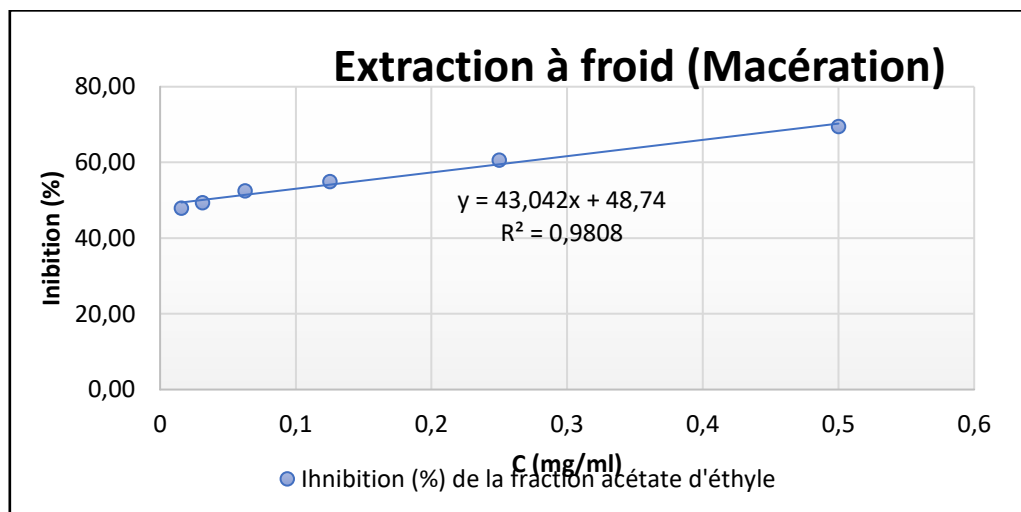


Figure III.15 : Activité inhibitrice de la fraction acétate d'éthyle de *Ruta chalpensis* (Taguedit) obtenu par macération.

Les résultats sont révélés par une relation directe croissante, traduisant bien une activité antioxydante concentration-dépendance. La valeur de R^2 (0,9808) montre du bon ajustement du modèle.

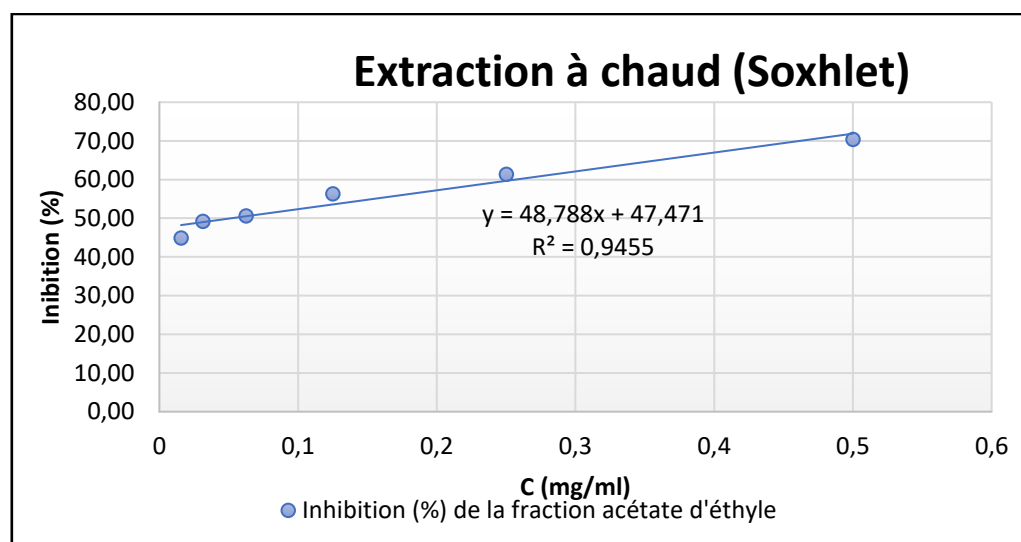


Figure III.16 : Activité inhibitrice de la fraction acétate d'éthyle de *Ruta chalpensis* (Taguedit) obtenu par Soxhlet.

On observe bien par la droite que l'activité semble croître avec la concentration. Le R^2 (0,9455) reste très satisfaisant et illustre bien cette adéquation.

La technique Soxhlet est plus efficace que la macération pour obtenir cet extrait. Les taux d'inhibition sont généralement supérieurs avec la méthode de Soxhlet.

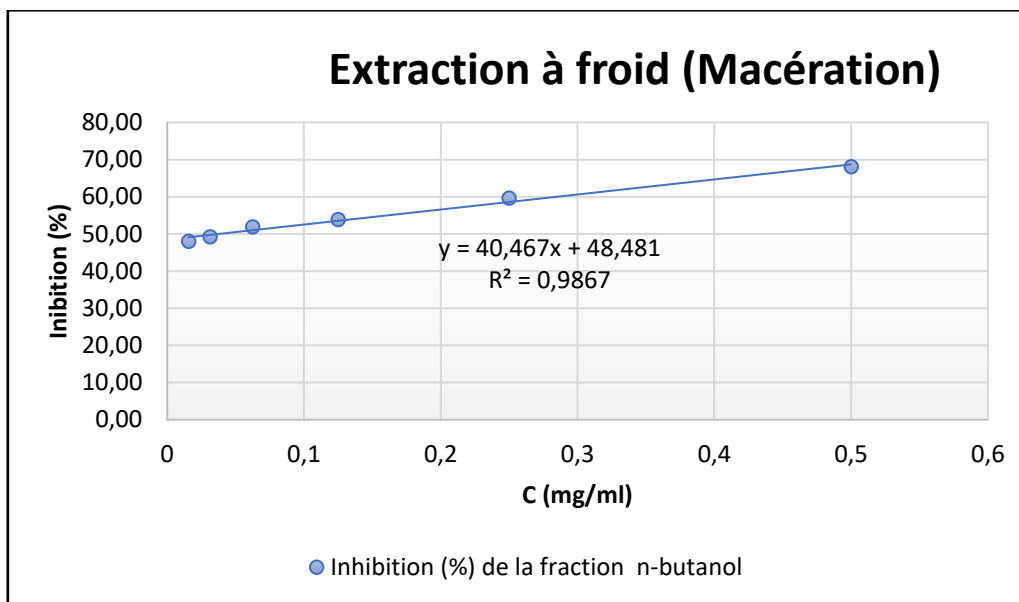


Figure III.17 : Activité inhibitrice de fraction n-butanol de *Ruta chalepensis* (Taguedit) obtenu par macération.

Le graphique présente une relation linéaire positive entre la concentration et l'inhibition. Le coefficient R^2 (0,9867) confirme une excellente cohérence des données.

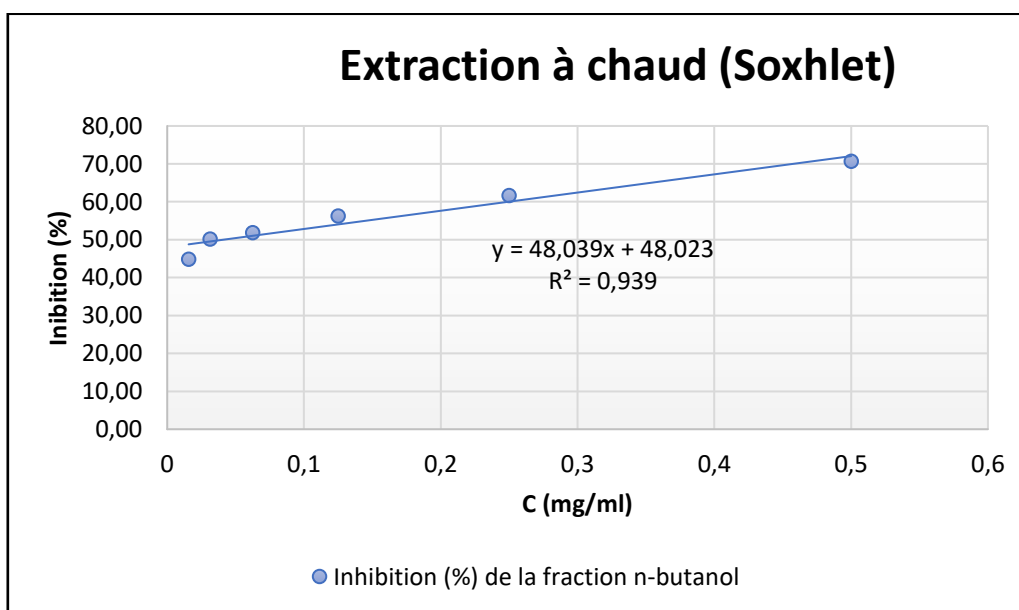


Figure III.18 : Activité inhibitrice de la fraction n-butanol de *Ruta chalepensis* (Taguedit) obtenu par Soxhlet.

La relation linéaire présente est positive. Le coefficient R^2 (0,9390) permet d'affirmer que l'ajustement est encore relativement acceptable, malgré une dispersion des points.

L'extrait obtenu par Soxhlet révèle aussi une activité antioxydante supérieure à celle de l'extrait par macération. Ceci indique que les composants actifs ont été extraits plus efficacement.

d. Huile essentielle

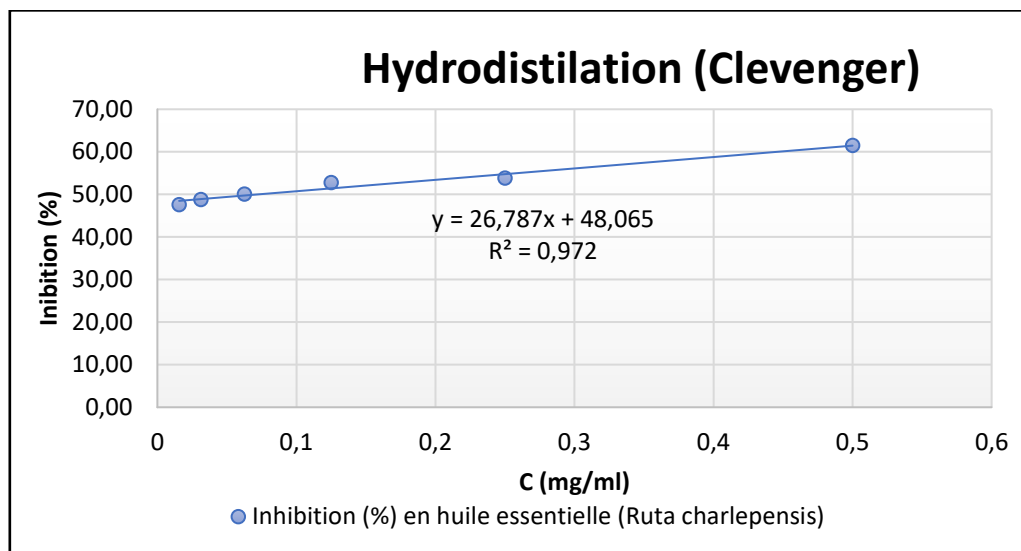


Figure III. 19: *Activité inhibitrice en huile essentielle de Ruta chalepensis obtenu par hydrodistillation.*

L'huile essentielle de la rue montre une efficacité inhibitrice linéaire en fonction de la concentration. Un R^2 élevé confirme une bonne relation entre les résultats et le modèle.

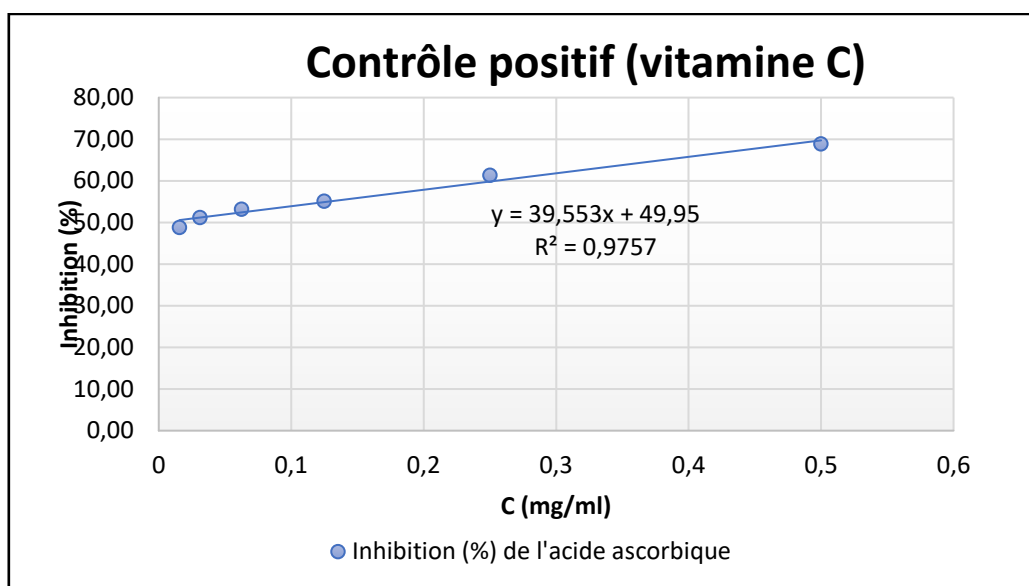
e. Acide ascorbique (vitamine C)

Figure III.20 : Activité inhibitrice de l'acide ascorbique (vitamine C).

L'acide ascorbique, utilisé comme référence, a montré une excellente corrélation linéaire entre la concentration et l'effet inhibiteur. La vitamine C est plus efficace comme antioxydant que l'huile essentielle, indépendamment de la quantité utilisée. Elle est donc le plus puissant des inhibiteurs de radicaux DPPH.

La plupart des extraits ont une capacité antioxydante similaire à celle de la vitamine C. Cependant, la vitamine C reste légèrement meilleure.

L'huile essentielle est moins efficace comme antioxydant comparée aux fractions à l'acétate d'éthyle et au n-butanol. Il semble donc que les extraits obtenus par solvants contiennent plus de composants antioxydants actifs.

III.4. Interprétation des valeurs des IC₅₀ des différentes fractions

L'évaluation de l'activité antioxydante des divers extraits de *Rhamnus alaternus* (Nerprun) et de *Ruta chalepensis* (Rue) a été effectuée à l'aide du test de capture du radical libre DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle). L'efficacité antioxydante est quantifiée par le biais de la valeur de l'IC₅₀ (la concentration requise pour inhiber 50 % des radicaux DPPH). Selon les principes de la biochimie des plantes, une valeur d'IC₅₀ faible indique une forte activité antioxydante.

Tableau III.4 : Valeurs des IC_{50} des différentes fractions de *Rhamnus alaternus* (Ain El Turk et Lakhdaria) et de *Ruta chalepensis* obtenus par macération et Soxhlet.

Plante Extrait	<i>Rhamnus alaternus</i> (Ain El Turk) (mg/ml)	<i>Rhamnus alaternus</i> (Lakhdaria) (mg/ml)	<i>Ruta chalepensis</i> (Taquedit) (mg/ml)
Macération Acétate d'éthyle	0,003	0,003	0,029
Macération 1-butanol	0,012	0,039	0,037
Soxhlet Acétate d'éthyle	0,003	0,002	0,052
Soxhlet n-butanol	0,004	0,038	0,041

III.4.1. Comparaison des méthodes d'extraction : Macération et Soxhlet

L'évaluation indique que la méthode d'extraction a un impact significatif sur l'action biologique, et on voit une nette préférence pour l'extraction à haute température (Soxhlet) par rapport à l'extraction à basse température (Macération) concernant la plante *Rhamnus alaternus*.

Pour *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria), l'extraction avec de l'acétate d'éthyle en utilisant le Soxhlet montre une IC_{50} plus basse (0,002 mg/ml) que celle obtenue par macération (0,003 mg/ml). La chaleur élevée pendant l'extraction Soxhlet aide à mieux dissoudre et transférer les métabolites secondaires, ce qui facilite l'extraction des polyphénols et des flavonoïdes présents dans les plantes [124].

Cependant, une exception intéressante se remarque avec *Ruta chalepensis* pour l'acétate d'éthyle, la macération fonctionne mieux (0,029 mg/ml) que la méthode Soxhlet (0,052 mg/ml). Cela prouve clairement que *Ruta chalepensis* a des composés antioxydants sensibles à la chaleur, qui se dégradent ou s'oxydent quand ils sont chauffés trop longtemps avec la méthode Soxhlet [125].

III.4.2. Comparaison entre les fractions (Acétate d'éthyle et n-Butanol)

Pour qu'un solvant puisse extraire une substance, c'est surtout sa polarité qui compte. Les solvants qui sont polaires aident à extraire les molécules chargées en groupes hydroxyles,

tels que les polyphénols et les flavonoïdes. Par contre, les solvants moins polaires sont mieux pour obtenir des substances qui se mélangent aux graisses [126] .

Pour *Rhamnus alaternus* (Aïn Turk et Lakhdaria), les extraits obtenus avec de l'acétate d'éthyle sont toujours meilleurs que ceux faits avec du 1-butanol. Par exemple, pour Lakhdaria (Soxhlet), l'acétate d'éthyle a une valeur très faible de 0,002 mg/ml, alors que celle du 1-butanol est seulement de 0,038 mg/ml.

Le solvant acétate d'éthyle, avec sa polarité intermédiaire, est utile pour extraire des flavonoïdes aglycones, des monomères phénoliques ainsi que des acides phénoliques capables de donner beaucoup de protons. Pour le n-butanol, qui est plus polaire, il parvient à extraire des molécules plus grandes, comme des polyphénols glycosylés ou des tanins lourds, qui, en raison de leur encombrement stérique, réagissent moins rapidement avec les radicaux libres [126].

III.4.3. Evaluation de la variabilité géographique : Rhamnus alaternus (Aïn El Turk et Lakhdaria)

Les différences géographiques mettent en avant comment les facteurs environnementaux et le stress climatique affectent les plantes, les conduisant à s'adapter grâce au métabolisme secondaire. Pour les fractions de l'acétate d'éthyle produites par macération, les résultats restent identiques (0,003 mg/ml). Cependant, on remarque une grande différence avec les extraits de n-butanol, l'écotype d'Aïn El Turk est significativement plus efficace (Macération : 0,012 mg/ml pour Aïn Turk et 0,039 mg/ml pour Lakhdaria).

Cette variabilité s'explique par le fait qu'Aïn El Turk fait face à des stress biotiques et abiotiques spécifiques, comme la salinité, l'humidité côtière, et des niveaux de rayonnement solaire différents, par rapport à Lakhdaria qui est plus à l'intérieur. Ces contraintes environnementales semblent influencer différemment les gènes liés aux phénylpropanoïdes, entraînant une accumulation de molécules antioxydantes plus efficaces dans les fractions de n-butanol de l'échantillon d'Aïn El Turk.

III.4.4. Comparaison entre les espèces (Rhamnus alaternus et Ruta chalepensis)

Rhamnus alaternus a clairement une capacité antioxydante bien plus élevée que celle de *Ruta chalepensis*.

Les études ont montré que *Rhamnus alaternus* renferme beaucoup de composés phénoliques, particulièrement des flavonoïdes tels que la quercétine et le kaempférol, sans oublier les anthraquinones, ce qui pourrait expliquer sa grande capacité antioxydante [127].

Par ailleurs, la *Ruta chalepensis*, génère surtout des alcaloïdes, en plus de coumarines et furanocoumarines (telles que la Xanthotoxine et le Bergapten). Ces derniers possèdent des effets pharmacologiques certains, mais leur aptitude à neutraliser les radicaux est nettement moindre [128].

III.5. Interprétation des valeurs des IC₅₀ en huile essentielle de *Ruta chalepensis* et de l'acide ascorbique

Tableau III.5 : Valeurs des IC₅₀ de l'acide ascorbique et l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* obtenus par macération et Soxhlet.

Echantillon	IC ₅₀ (mg/ml)
Acide ascorbique	0,001
Huile essentielle (<i>Ruta chalepensis</i>)	0,072

L'estimation des données démontre que l'acide ascorbique (Vitamine C), considéré comme le témoin positif, affiche l'IC₅₀ le plus bas parmi tous les échantillons examinés, avec une valeur impressionnante de 0,001 mg/ml. Ce constat est en totale adéquation avec les publications scientifiques, confirmant ainsi la précision des essais, la sensibilité de l'appareil de spectrophotométrie et la stabilité du radical DPPH employé.

À l'inverse, l'huile essentielle se trouve de l'autre côté du spectre d'activité avec un IC₅₀ de 0,072 mg/ml. Ce résultat, bien qu'il suggère une activité antioxydante modérée comparé aux extraits obtenus avec des solvants, reste tout à fait normal pour les huiles volatiles. Celles-ci, composées majoritairement de terpènes, n'ont pas de groupes hydroxyles phénoliques libres (-OH) qui pourraient facilement donner des électrons ou des protons pour stabiliser le DPPH, contrairement aux fractions polyphénoliques.

III.5.1. Comparaison générale avec le témoin positif (Vitamine C)

L'Acide Ascorbique, également connu sous le nom de vitamine C, est un des meilleurs antioxydants, avec une IC₅₀ très faible de 0,001 (mg/ml). Fait intéressant, l'extrait préparé avec de l'Acétate d'éthyle de *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria) avec Soxhlet affiche une valeur proche de 0,002 (mg/ml), comparable à celle de la vitamine C. Cela montre que même un extrait brut, qui est un mélange peu raffiné, peut être aussi puissant, ce qui prouve la grande richesse et pureté des principes actifs antioxydants de cette plante.

III.6. Explication physico-chimique

D'un point de vue organisationnel et fonctionnel, l'efficacité de l'action antioxydante d'un extrait dépend vraiment de la façon dont les groupes hydroxyles (-OH) sont disposés, de leur niveau de conjugaison et de leur concentration sur les structures aromatiques des molécules [129].

Les polyphénols et l'acide ascorbique neutralisent les radicaux libres (comme le DPPH) en leur cédant un atome d'hydrogène ou un électron [130].

La molécule antioxydante se transforme elle-même en un radical phénoxy. Ce dernier, loin d'être réactif, est stabilisé de manière optimale par délocalisation électronique (effet mésomère) surtout le système conjugué hautement stable du cycle benzénique [131].

L'acétate d'éthyle sépare efficacement les structures possédant un ratio idéal entre groupements lipophiles et hydrophiles (comme les flavonoïdes aglycones). Cette caractéristique physico-chimique favorise une cinétique de transfert rapide. À l'inverse, les alcaloïdes de la Rue ou les hydrocarbures terpéniques des huiles essentielles ne possèdent pas cette configuration structurale favorable (absence de groupements phénoliques poly-hydroxylés ou structures en catéchol), ce qui limite leur capacité thermodynamique pour casse les réactions radicalaires en chaîne [131].

III.7. Comparaison avec les travaux antérieurs

Les fractions de *Ruta chalepensis* ont présenté des valeurs d'IC₅₀ comprises entre 0,029 et 0,052 mg/ml, avec une activité antioxydante plus élevée pour la fraction acétate d'éthyle obtenu par macération (0,029 mg/ml), suivi de la fraction n-butanolique (0,037 mg/ml). Ces résultats sont globalement comparables à ceux rapportés [110,112]. L'huile essentielle a montré une activité antioxydante plus faible avec une IC₅₀ de 0,072 mg/ml, restant toutefois dans un ordre de grandeur proche de certaines études, bien qu'inférieure aux valeurs rapportées [105,106]. Ces différences peuvent être attribuées à la variabilité de la composition chimique des extraits et des huiles essentielles selon les conditions environnementales et les méthodes d'extraction.

Par ailleurs, les fractions de *Rhamnus alaternus* ont également présenté une activité antioxydante notable, avec des valeurs d'IC₅₀ indiquant une efficacité importante, notamment pour les fractions polaires telles que l'acétate d'éthyle. Cette activité est attribuée à la richesse de cette espèce en composés phénoliques et flavonoïdes. De manière générale, l'activité

de *Rhamnus alaternus* est proche de celle de *Ruta chalepensis*, avec une légère supériorité de certaines fractions organiques dans les deux espèces.

Enfin, l'acide ascorbique utilisé comme référence a présenté une IC_{50} de 0,001 mg/ml, confirmant une activité antioxydante nettement supérieure à celle de tous les extraits testés. Globalement, l'acide ascorbique a montré l'activité antioxydante la plus élevée, suivi des extraits de *Ruta chalepensis* et de *Rhamnus alaternus*, dont les activités sont comparables, puis de l'huile essentielle de *Ruta charlepensis*.

III.8. Analyse UV-visible des extraits

III.8.1. Analyse UV-visible des fractions de *Rhamnus alaternus* (Aïn El Türk) obtenues par macération

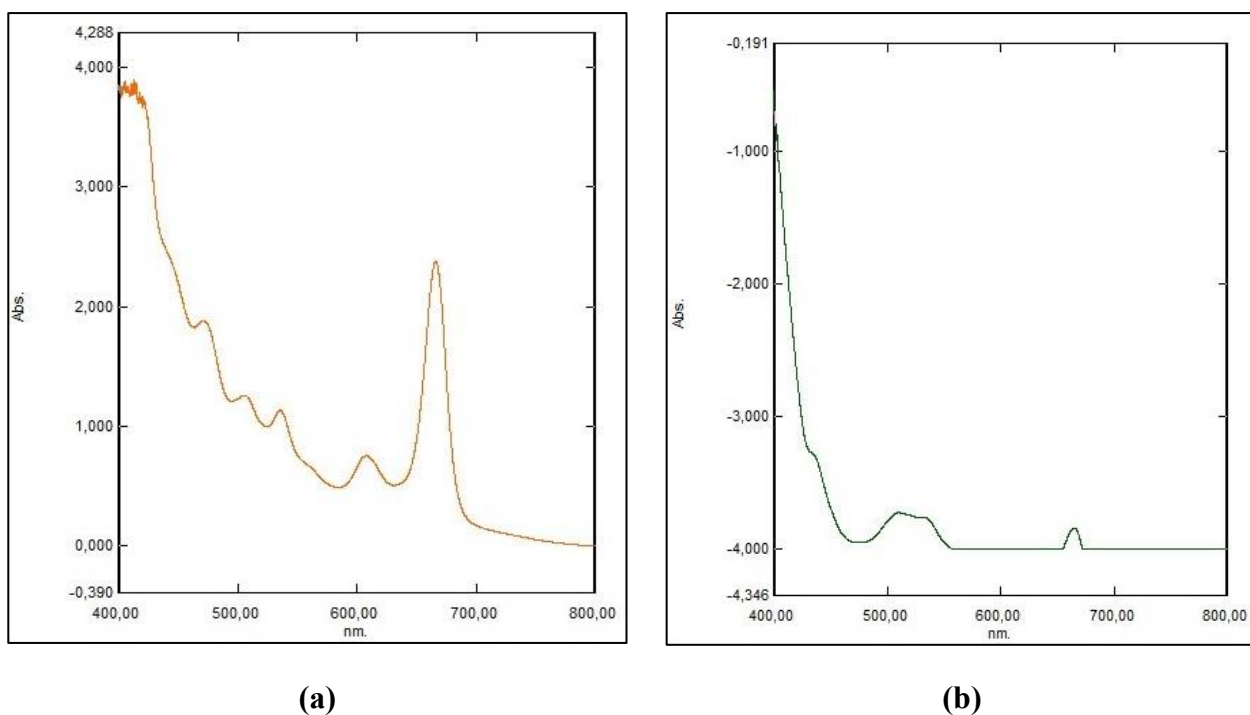
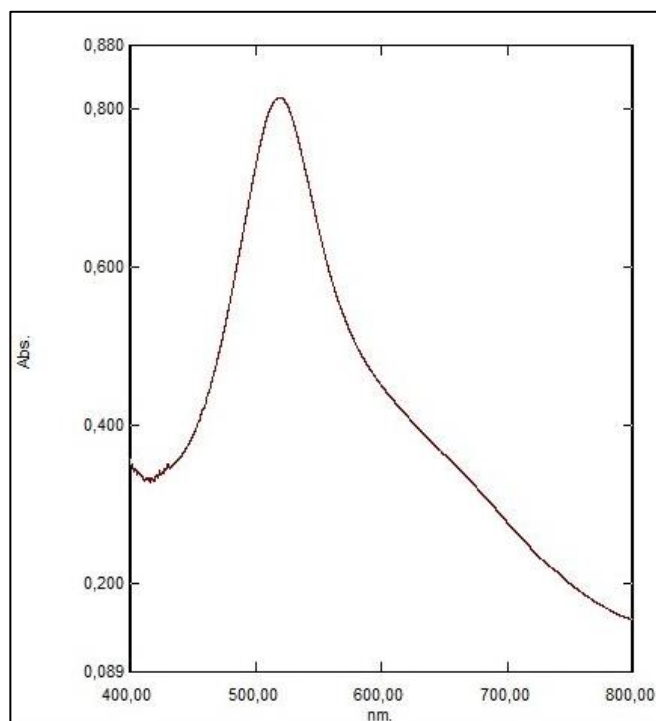


Figure III.21 : Spectre UV-visible des fractions hexane (a) et chloroforme (b) de *Rhamnus alaternus* (Aïn El Türk) obtenues par macération.

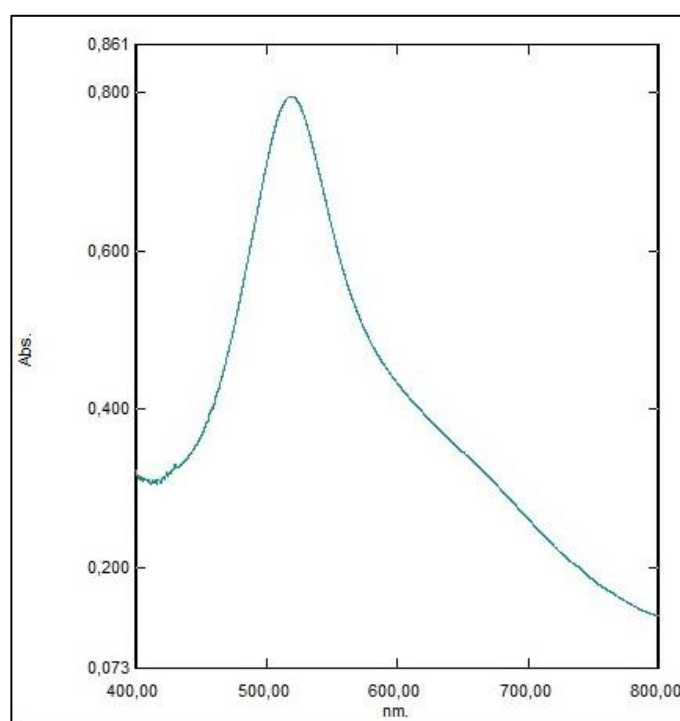
Tableau III.6 : Valeurs de λ_{max} des fractions hexane et chloroforme de *Rhamnus alaternus* (Aïn El Türk) obtenues par macération.

Fraction	λ_{max} (nm)
Hexane	471,8
	506,5
	536,5
	608,3
	665,8
Chloroforme	511,3
	665,2

Le spectre UV-visible de l'extrait à l'hexane de *Rhamnus alaternus* (Aïn El Türk) présente cinq maximums d'absorption à 471,8 ; 506,5 ; 536,5 ; 608,3 et 665,8 nm, indiquant la présence de plusieurs composés absorbant dans le domaine visible. Le pic observé à 665,8 nm pourrait être associé à des pigments de type chlorophyllien, notamment la chlorophylle a, dont les maximums d'absorption se situent généralement dans l'intervalle de [660–670] nm [15, 16].



(a)



(b)

Figure III.22 : Spectre UV-visible des fractions acétate d'éthyle (a) et n-butanol (b) de *Rhamnus alaternus* (Aïn El Türk) obtenues par macération.

Tableau III.7 : Valeurs de λ_{max} des fractions acétate d'éthyle et n-butanol de *Rhamnus alaternus* (Aïn El Türk) obtenues par macération.

Fraction	λ_{max} (nm)
Acétate d'éthyle	518,5
n-butanol	518,5

La présence d'un seul pic d'absorption à $\lambda_{max} = 518,5$ nm dans les deux fractions indique la présence d'un composé ou d'un groupe de composés absorbant à la même longueur d'onde. Cette observation suggère que ces constituants présentent des propriétés spectrales similaires et témoigne d'une bonne séparation des principales familles de composés au cours du fractionnement.

III.8.2. Analyse UV-visible des fractions de *Rhamnus alaternus* (Aïn El Türk) obtenues par Soxhlet

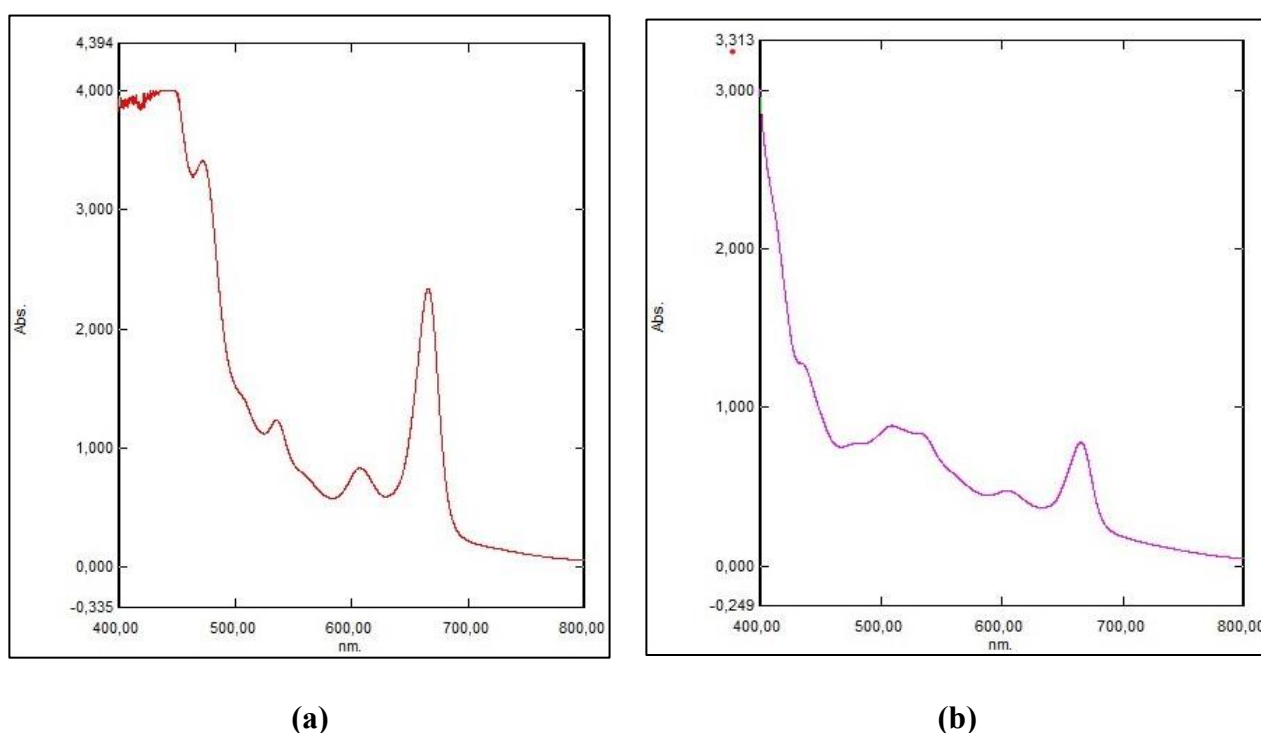
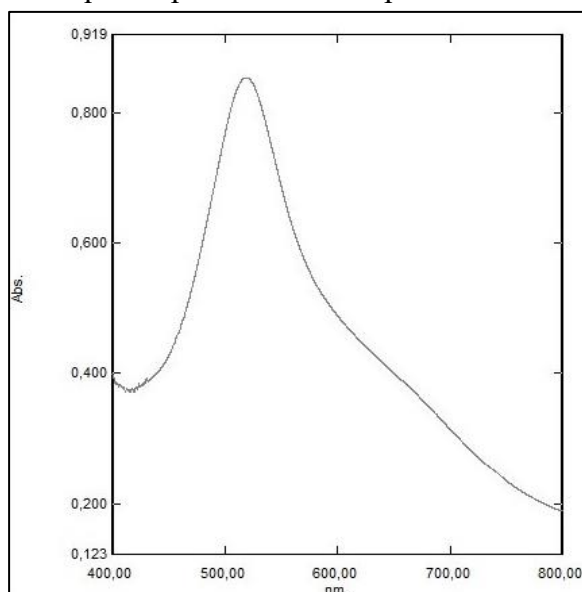


Figure III.23 : Spectre UV-visible des fractions hexane (a) et chloroforme (b) de *Rhamnus alaternus* (Aïn El Türk) obtenues par Soxhlet.

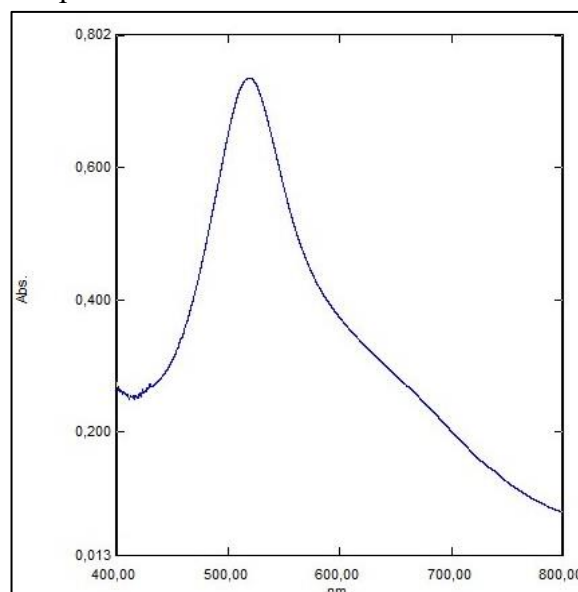
Tableau III.8 : Valeurs de λ_{max} des fractions hexane et chloroforme de *Rhamnus alaternus* (Aïn El Türk) obtenues par soxhlet.

Fraction	λ_{max} (nm)
Hexane	473,0
	536,5
	607,1
	665,8
Chloroforme	437,0
	508,9
	607,1
	665,8

Le spectre UV-visible de l'extrait à l'hexane obtenu par Soxhlet présente quatre maximums d'absorption à 473,0 ; 536,5 ; 607,1 et 665,8 nm, indiquant la présence de plusieurs composés absorbant dans le domaine visible. Le pic observé à 665,8 nm pourrait être associé à des pigments de type chlorophyllien, notamment la chlorophylle (a), dont l'absorption maximum se situe généralement dans l'intervalle [660–670] nm [15,16]. L'extrait au chloroforme présente quatre maximums d'absorption à 437,0 ; 508,9 ; 607,1 et 665,8 nm. La présence de pics communs à 607,1 et 665,8 nm dans les deux extraits pourrait indiquer la présence de composés similaires séparés par les deux solvants.



(a)



(b)

Figure III.24 : Spectre UV-visible des fractions acétate d'éthyle (a) et n-butanol (b) de *Rhamnus alaternus* (Aïn El Türk) obtenues par Soxhlet.

Tableau III.9 : Valeurs de λ_{max} des fractions acétate d'éthyle et n-butanol de *Rhamnus alaternus* (Aïn El Türk) obtenues par soxhlet.

Fraction	λ_{max} (nm)
Acétate d'éthyle	517,9
n-butanol	517,9

Les valeurs de λ_{max} obtenues pour *Rhamnus alaternus* sont très proches entre la macération (518,5 nm) et le Soxhlet (517,9 nm), ce qui indique une faible variation entre les deux méthodes d'extraction et suggère la présence de composés similaires.

III.8.3. Analyse UV-visible des fractions de *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria) obtenues par macération

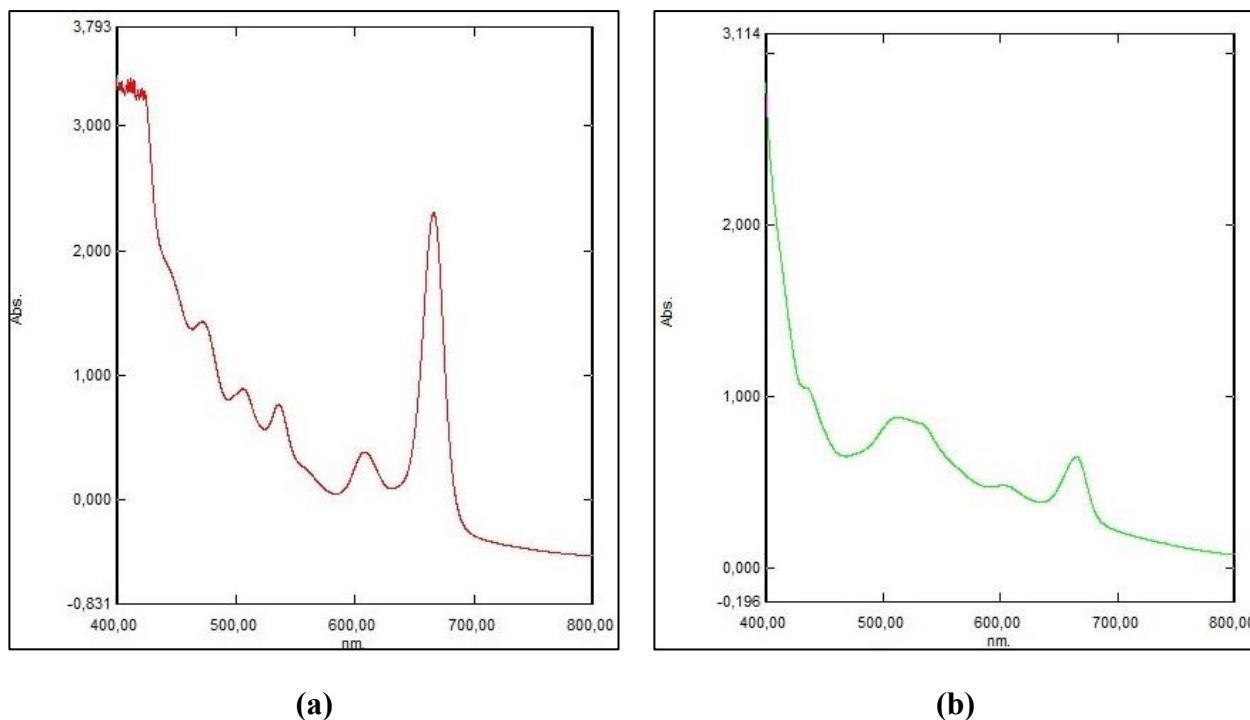


Figure III.25 : Spectre UV-visible des fractions hexane (a) et chloroforme (b) de *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria) obtenues par macération.

Tableau III.10 : Valeurs de λ_{max} des fractions hexane et chloroforme de *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria) obtenues par macération.

Fraction	λ_{max} (nm)
Hexane	473,0
	506,5
	536,5
	608,3
	665,8
Chloroforme	437,0
	511,3
	605,9
	665,8

Les spectres UV-visible de la macération de *Rhamnus alaternus* provenant de la région de Lakhdaria présentent plusieurs maximums d'absorption, notamment à 473 ; 506,5 ; 536,5 ; 608,3 et 665,8 nm pour la fraction d'hexane, et à 437 ; 511,3 ; 605,9 et 665,8 nm pour la fraction de chloroforme. La présence de bandes d'absorption dans le domaine visible suggère la présence de composés chromophoriques, tels que des pigments naturels et d'autres métabolites secondaires [133]. Les pics communs observés entre les deux fractions indiquent également la présence de composés similaires séparés par les solvants utilisés.

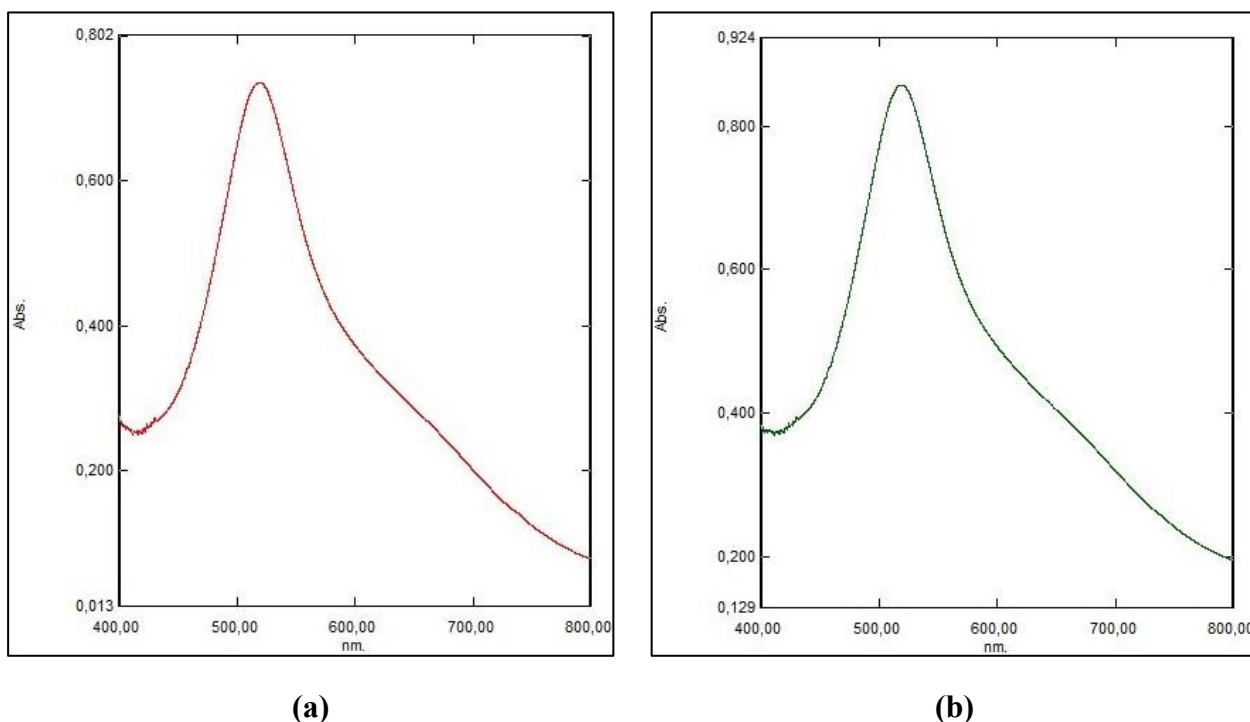


Figure III.26 : Spectre UV-visible des fractions acétate d'éthyle (a) et n-butanol (b) de *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria) obtenues par macération.

Tableau III.11 : Valeurs de λ_{max} des fractions acétate d'éthyle et n-butanol de *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria) obtenues par macération.

Fraction	λ_{max} (nm)
Acétate d'éthyle	519,7
n-butanol	519,7

Les fractions d'acétate d'éthyle et de butanol présentent la même valeur de λ_{max} (519,7 nm), ce qui suggère la présence de composés absorbant à la même longueur d'onde dans les deux fractions. Cette similitude peut indiquer la séparation de composés de nature proche ou appartenant à la même famille chimique. Elle suggère également que ces constituants possèdent des propriétés spectrales similaires et témoigne d'une bonne séparation des principales familles de composés au cours du fractionnement.

III.8.4. Analyse UV-visible des fractions de *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria) obtenues par Soxhlet

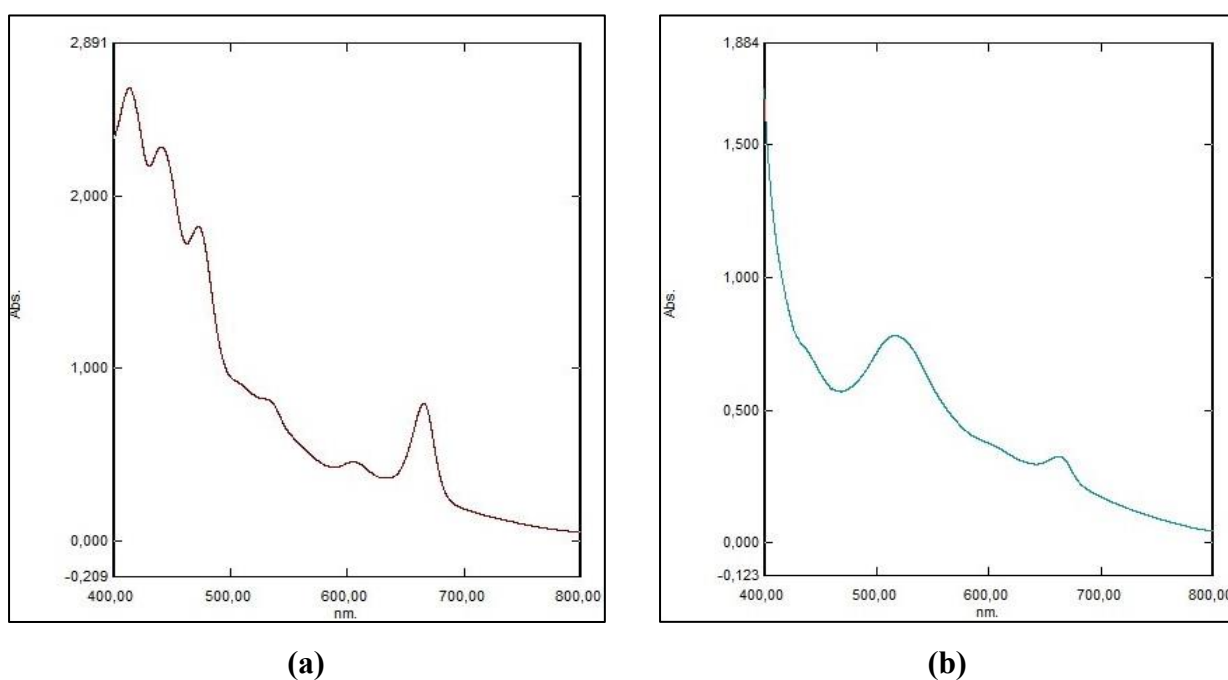
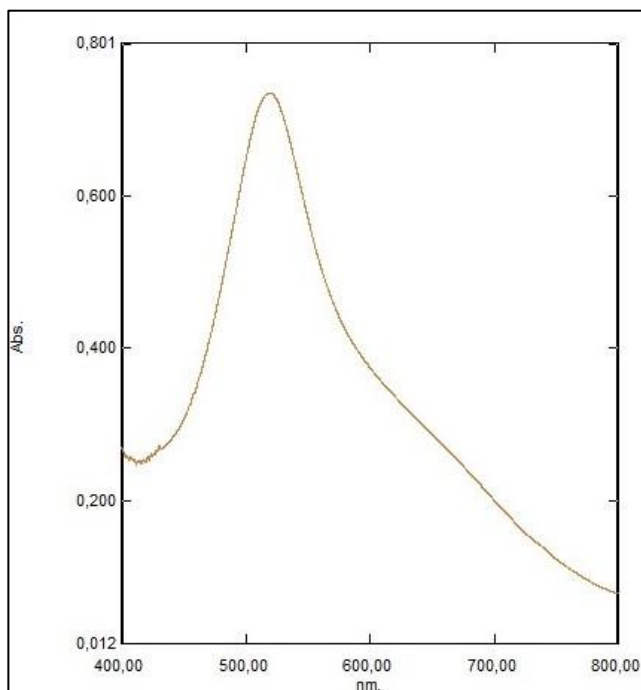


Figure III.27 : Spectre UV-visible des fractions hexane (a) et chloroforme (b) de *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria) obtenues par Soxhlet.

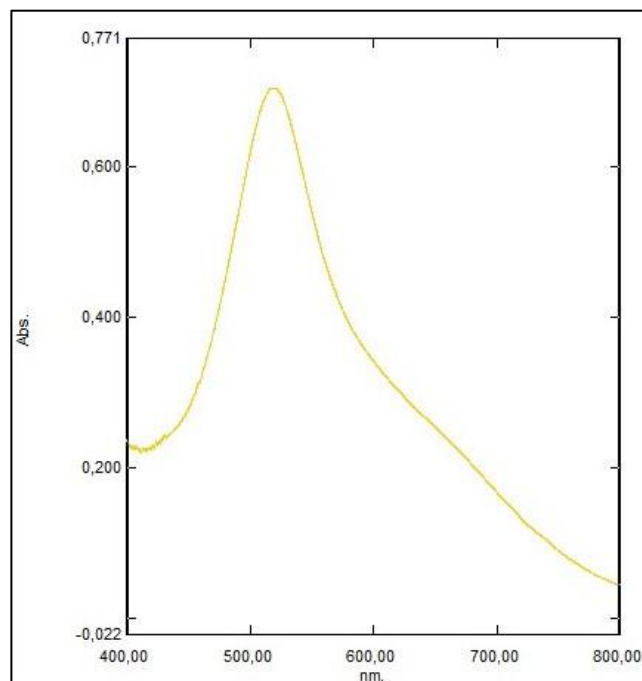
Tableau III.12 : Valeurs de λ_{max} des fractions hexane et chloroforme de *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria) obtenues par Soxhlet.

Fraction	λ_{max} (nm)
Hexane	414,3
	441,8
	473,0
	608,3
	665,8
Chloroforme	517,3
	665,8

Les spectres UV-visible de l'extrait obtenu par Soxhlet de *Rhamnus alaternus* montrent plusieurs maximums d'absorption. La fraction d'hexane présente des pics à 414,3 ; 441,8 ; 473,0 ; 608,3 et 665,8 nm, tandis que la fraction de chloroforme présente des maximums à 517,3 et 665,8 nm. La présence de plusieurs bandes d'absorption dans le domaine visible indique l'existence de différents composés absorbants. Les pics observés à 665,8 nm dans les deux fractions suggèrent la présence de composés communs sont séparés par les solvants utilisés



(a)



(b)

Figure III.28 : Spectre UV-visible de la fraction acétate d'éthyle (a) et n-butanol (b) de *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria) obtenues par Soxhlet.

Tableau III.13 : Valeurs de λ_{max} des fractions acétate d'éthyle et n-butanol de *Rhamnus alaternus* (Lakhdaria) obtenues par Soxhlet.

Fraction	λ_{max} (nm)
Acétate d'éthyle	519,7
n-butanol	519,7

L'analyse spectrophotométrique des fractions d'acétate d'éthyle et de n-butanol révèle un profil spectral homogène, caractérisé par un pic d'absorption unique et bien défini à 519,7 nm. Cette convergence spectrale suggère la présence d'un ou de plusieurs composés absorbant à cette même longueur d'onde, probablement des métabolites secondaires présentant des chromophores ou des caractéristiques structurales similaires. Elle témoigne également d'une homogénéité relative des propriétés spectrales des fractions obtenues après le fractionnement.

III.8.5. Analyse UV-visible des fractions de *Ruta chalepensis* obtenues par macération

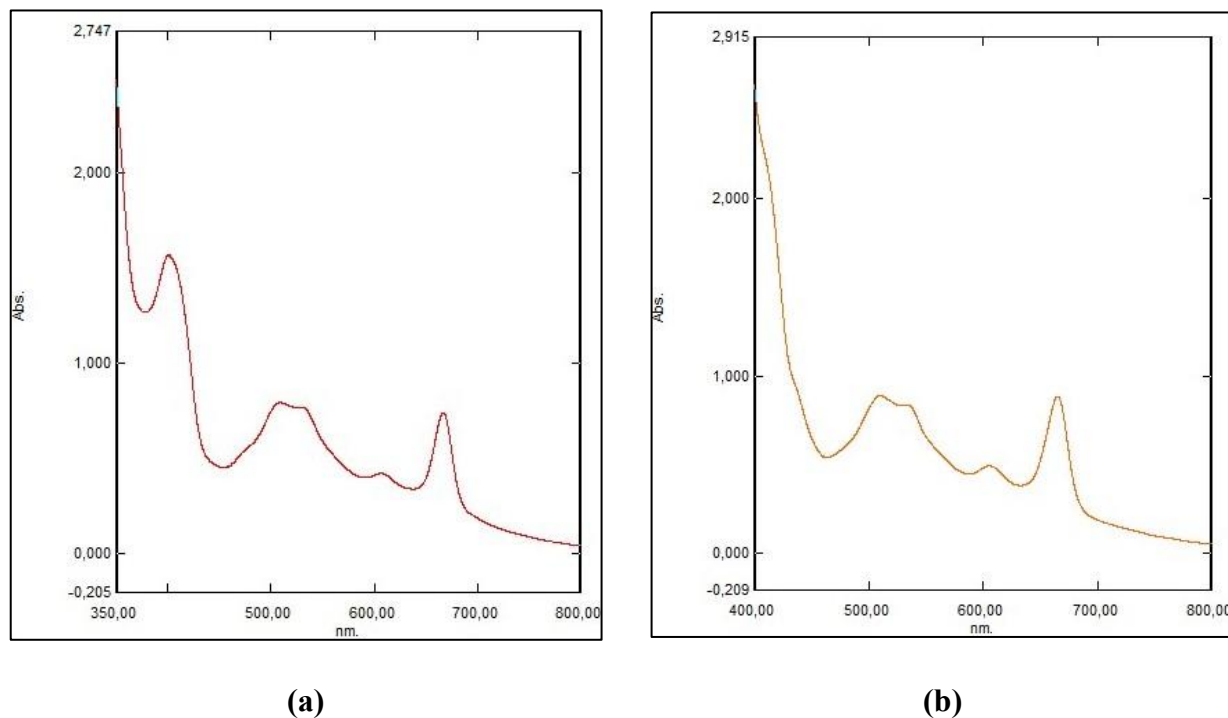


Figure III.29 : Spectre UV-visible des fractions hexane (a) et chloroforme (b) *Ruta chalepensis* obtenues par macération.

Tableau III.14 : Valeurs de λ_{max} des fractions hexane et chloroforme de *Ruta chalepensis* obtenues par macération.

Fraction	λ_{max} (nm)
Hexane	411,9
	441,8
	476,6
	511,3
	605,9
	665,8
Chloroforme	509,8
	535,8
	605,9
	665,8

Les spectres UV-visible de la macération de *Ruta chalepensis* montrent plusieurs maximums d'absorption. La fraction d'hexane présente des pics à 411,9 ; 441,8 ; 476,6 ; 511,3 ; 605,9 et 665,8 nm, tandis que la fraction de chloroforme présente des maximums à 509,8 ; 535,8 ; 605,9 et 665,8 nm. La présence de plusieurs bandes d'absorption dans le domaine visible indique l'existence de différents composés absorbants. Les pics communs à 605,9 et 665,8 nm dans les deux fractions suggèrent la présence de composés similaires extraits par les solvants utilisés.

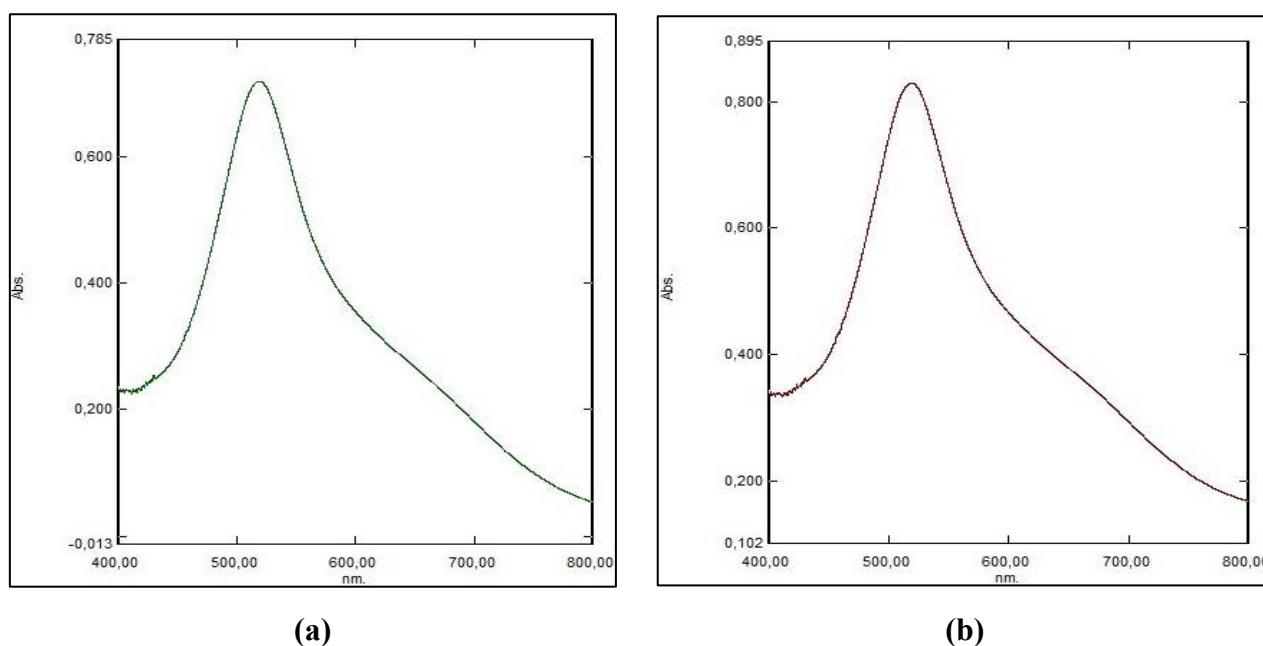


Figure III.30 : Spectre UV-visible des fractions acétate d'éthyle (a) et n-butanol (b) de *Ruta chalepensis* obtenues par macération.

Tableau III.15 : Valeurs de λ_{max} des fractions acétate d'éthyle et n-butanol de *Ruta chalepensis* obtenues par macération.

Fraction	λ_{max} (nm)
Acétate d'éthyle	519,7
n-butanol	519,7

Les fractions d'acétate d'éthyle et de butanol obtenues par macération de *Ruta chalepensis* présentent la même valeur de λ_{max} (519,7 nm). Cette similitude indique que les deux solvants extraient un ou plusieurs composés absorbant à la même longueur d'onde dans le domaine UV-visible. Elle suggère la présence de composés de nature proche ou appartenant à la même famille chimique, possédant des chromophores similaires responsables de cette absorption caractéristique.

III.8.6. Analyse UV-visible des fractions de *Ruta chalepensis* obtenues par Soxhlet

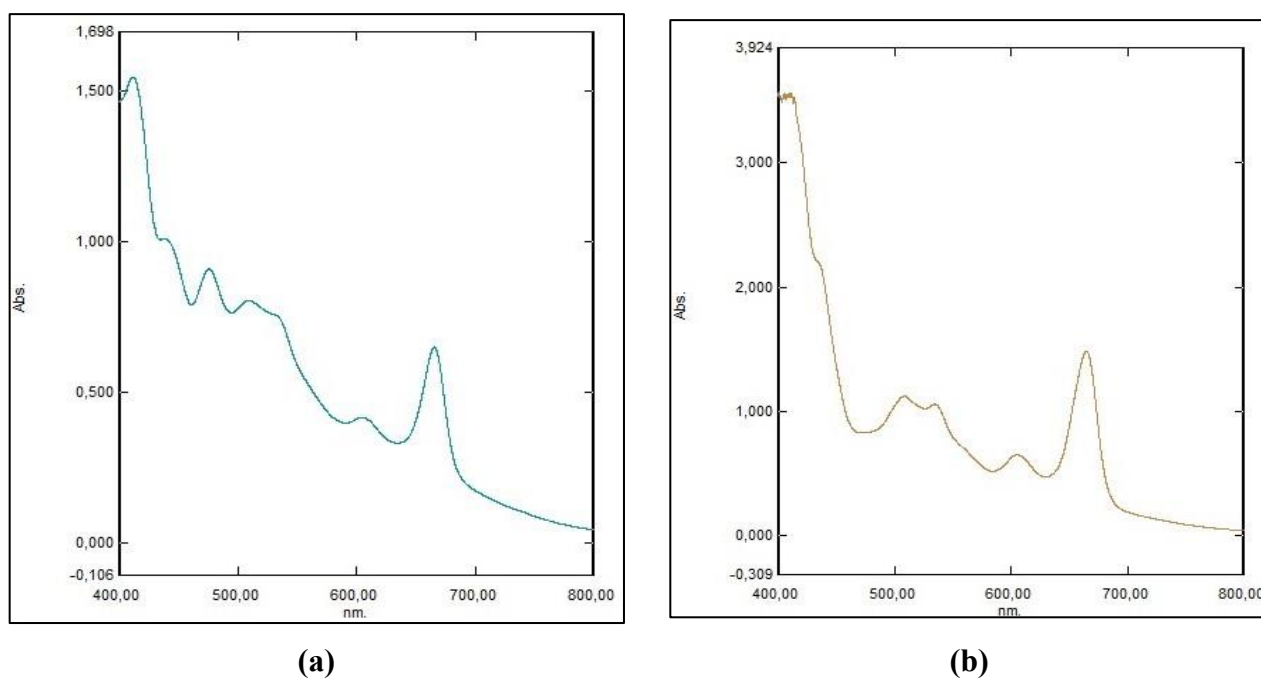


Figure III. 31 : Spectre UV-visible des fractions hexane (a) et chloroforme (b) *Ruta chalepensis* obtenues par Soxhlet.

Tableau III.16 : Valeurs de λ_{max} des fractions hexane et chloroforme de *Ruta chalepensis* obtenues par macération.

Fraction	λ_{max} (nm)
Hexane	411,9
	440,6
	476,6
	510,1
	607,1
	665,8
Chloroforme	508,9
	536,5
	605,9
	665,8

Les spectres UV-Visible des fractions obtenues par Soxhlet de *Ruta chalepensis* montrent plusieurs maximums d'absorption. La fraction d'hexane présente des pics à 411,9 ; 440,6 ; 476,6 ; 510,1 ; 607,1 et 665,8 nm, tandis que la fraction de chloroforme présente des maximums à 508,9 ; 536,5 ; 605,9 et 665,8 nm. La présence de plusieurs bandes d'absorption dans le domaine visible indique l'existence de différents composés absorbants. Les pics communs à 605,9 et 665,8 nm dans les deux fractions suggèrent la présence de composés similaires séparés par les solvants utilisés.

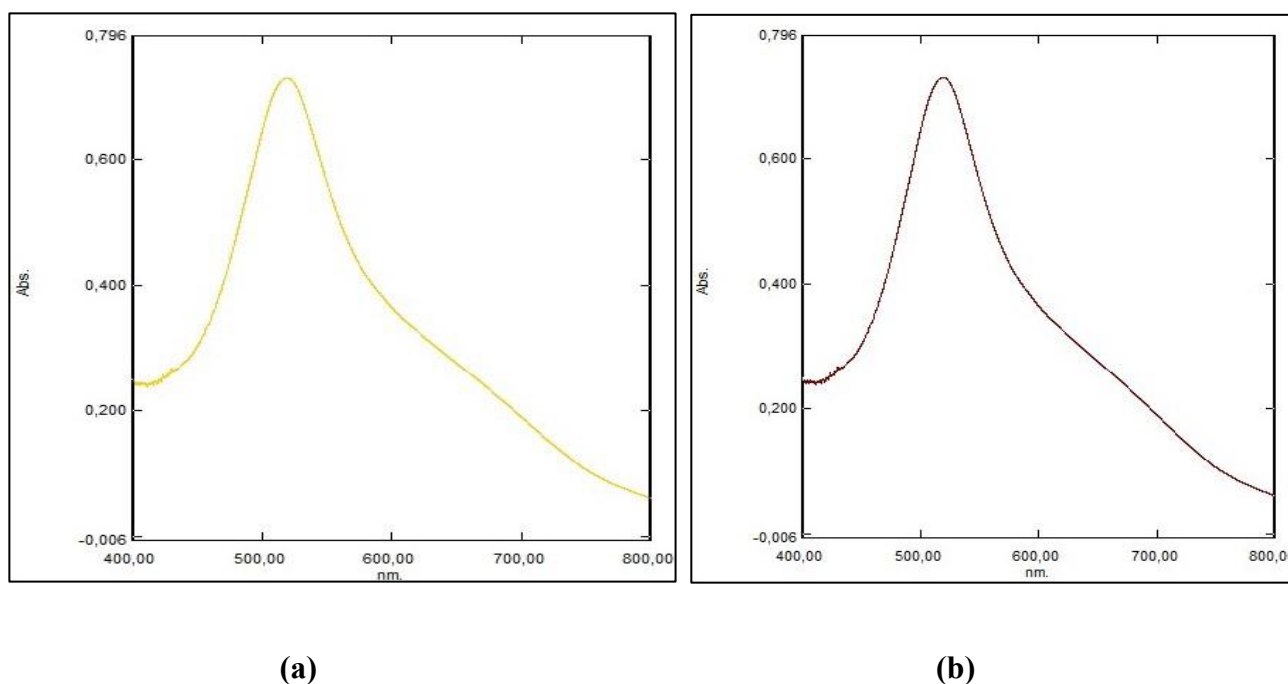


Figure III.32 : Spectre UV-visible des fractions acétate d'éthyle (a) et n-butanol (b) de *Ruta chalepensis* obtenues par Soxhlet.

Tableau III.17 : Valeurs de λ_{max} des fractions acétate d'éthyle et n-butanol de *Ruta chalepensis* obtenues par Soxhlet.

Fraction	λ_{max} (nm)
Acétate d'éthyle	519,7
n-butanol	519,7

Les fractions d'acétate d'éthyle et de butanol obtenues par la méthode Soxhlet présentent la même valeur de λ_{max} (519,7 nm) dans les différents échantillons de *Ruta chalepensis*. Cette similitude suggère la présence d'un composé ou de plusieurs composés absorbant à la même longueur d'onde dans le domaine UV-Visible. Elle indique également que ces constituants sont de nature proche ou appartiennent à la même famille chimique et possèdent des chromophores similaires responsables de cette absorption caractéristique.

III.8.7. Analyse comparative entre les régions

La comparaison des profils spectraux entre les échantillons de *Rhamnus alaternus* récoltés à Aïn El Türk et à Lakhdaria révèle des variations notables dans le nombre et la position des maximums d'absorption (notamment pour la fraction hexanique). Bien qu'il s'agisse de la même espèce végétale, ces divergences reflètent l'influence directe de l'origine géographique et des facteurs édaphoclimatiques (climat littoral d'Aïn El Türk vs climat d'intérieur de Lakhdaria). Ces conditions environnementales distinctes induisent un stress adaptatif chez la plante, modifiant ainsi la biosynthèse, la régulation et la répartition de ses métabolites secondaires [134].

III.8.8. Comparaison des méthodes d'extraction (macération et Soxhlet)

D'après les résultats présentés dans les tableaux, la comparaison des longueurs d'onde maximales λ_{max} révèle une forte similitude entre la macération et l'extraction par Soxhlet pour les fractions polaires, notamment l'acétate d'éthyle et le n-butanol. Pour ces deux solvants, les valeurs de λ_{max} sont rigoureusement identiques ou très proches (par exemple 519,7 nm ou 517,9 nm) dans les différents échantillons étudiés, ce qui suggère que les deux méthodes extraient des composés majoritaires de nature similaire dans ces fractions.

En revanche, des divergences notables sont observées pour les fractions moins polaires, à savoir l'hexane et le chloroforme. Pour ces solvants, la méthode Soxhlet met en évidence un profil spectral plus riche, avec un plus grand nombre de bandes ou des décalages légers par rapport à la macération. À titre d'exemple, pour la fraction chloroformique de

Rhamnus alaternus (Aïn El Turk), le Soxhlet permet d'identifier quatre pics (λ_{max} =437,0; 508,9; 607,1; 665,8 nm), contre seulement deux pour la macération (511,3 et 665,2 nm).

En conclusion, bien que les deux méthodes présentent une efficacité comparable pour les solvants polaires, l'extraction par Soxhlet apparaît plus exhaustive pour les composés apolaires à moyennement polaires, tels que certains pigments et lipides, probablement en raison de l'effet combiné de la chaleur et du recyclage continu du solvant [135].

Conclusion

Conclusion

Les feuilles de *Rhamnus alaternus* et *Ruta chalepensis* ont été étudiées pour leur capacité à fournir des substances naturelles riches en antioxydants.

Les rendements d'extraction ont fortement varié selon la méthode utilisée, la nature du solvant et la région de collecte. Pour *Rhamnus alaternus* d'Aïn El Türk, le chloroforme a donné le meilleur rendement avec 9,42 % en macération et 2,10 % en Soxhlet, suivi du n-butanol (6,52 % et 2,83 %). À Lakhdaria, les rendements les plus élevés ont également été observés avec le chloroforme (7,82 % en macération et 4,18 % en Soxhlet) et le n-butanol (4,93 % et 4,18 %). Concernant *Ruta chalepensis*, les valeurs ont atteint 5,74 % pour le chloroforme, 1,79 à 3,75 % pour l'acétate d'éthyle et 4,03 à 4,64 % pour le n-butanol. Par ailleurs, le rendement de l'huile essentielle de *Ruta chalepensis* a été estimé à 1,22 %, confirmant une production relativement faible mais biologiquement significative.

L'évaluation de l'activité antioxydante par le test DPPH a montré une efficacité globale de tous les extraits testés. Les fractions d'acétate d'éthyle et de n-butanol se sont distinguées par leurs performances. Les valeurs d'IC₅₀ ont révélé une activité particulièrement élevée chez *Rhamnus alaternus*, avec des valeurs très faibles comprises entre 0,002 et 0,004 mg/ml pour certains extraits obtenus par Soxhlet. *Ruta chalepensis* a également présenté une activité notable avec des IC₅₀ comprises entre 0,029 et 0,052 mg/ml. À titre de comparaison, l'acide ascorbique a montré une IC₅₀ de 0,001 mg/ml, confirmant la validité du test et servant de référence.

L'analyse par spectroscopie UV-visible a mis en évidence un pic d'absorption principal, suggérant la présence d'un composé ou de plusieurs composés présentant des propriétés d'absorption similaires à la même longueur d'onde. On peut ainsi considérer que le processus de fractionnement a permis d'isoler ces constituants, qui pourraient être responsables de l'activité antioxydante.

Enfin, les différences observées entre les lieux de collecte montrent que l'environnement et la géographie influencent la composition chimique des plantes et, par conséquent, leurs propriétés.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus confirment que les feuilles de *Rhamnus alaternus* et de *Ruta chalepensis* représentent une source prometteuse de substances

bioactives naturelles. Ces espèces pourraient constituer une alternative intéressante aux antioxydants de synthèse et méritent des investigations complémentaires visant l'identification des composés responsables de l'activité observée ainsi que l'étude de leurs éventuelles applications thérapeutiques et industrielles.

Une perspective essentielle de ce travail serait d'approfondir la caractérisation des extraits obtenus par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR), par HPLC-UV et LC-MS pour les fractions séparées par solvants, ainsi que par GC-MS pour l'huile essentielle de *Ruta chalepensis*. Ces analyses permettraient de caractériser les groupes fonctionnels, d'identifier et de quantifier avec précision les principaux composés bioactifs présents dans les différents extraits. Par ailleurs, il serait intéressant d'évaluer d'autres activités biologiques de ces extraits et de leurs composés majoritaires, notamment les activités anti-inflammatoire, antimicrobienne, antifongique et éventuellement anticancéreuse, afin de mieux valoriser leur potentiel thérapeutique et d'envisager leur application dans les domaines pharmaceutique, agroalimentaire et cosmétique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] World Health Organization, Éd., *WHO traditional medicine strategy. 2014-2023*. Geneva: World Health Organization, 2013.
- [2] « Medicinal Plants ». Consulté le : 5 avril 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/7/1355>
- [3] J. Ramírez, G. Gilardoni, M. Radice, et V. Morocho, « Phytochemistry, Bioactivity, and Ethnopharmacology of the Genus *Lepechinia* Willd. (Lamiaceae): A Review », *Plants*, vol. 13, n° 4, p. 481, janv. 2024.
- [4] R. A. Dar, M. Shahnawaz, M. A. Ahanger, et I. U. Majid, « Exploring the Diverse Bioactive Compounds from Medicinal Plants: A Review », *J Phytopharmacol*, vol. 12, n° 3, p. 189-195, juin 2023.
- [5] N. Mahmood, R.Nazir, M. Khan, R. Iqbal, M. Adnan, M. Ullah and H. Yang, « Phytochemical Screening, Antibacterial Activity and Heavy Metal Analysis of Ethnomedicinal Recipes and Their Sources Used Against Infectious Diseases », *Plants*, vol. 8, n° 11, p. 454, 2019.
- [6] B. Petrovska, « Historical review of medicinal plants' usage », *Pharmacogn. Rev.*, vol. 6, n° 11, p. 1-5, 2012.
- [7] K. Kelly, *Early Civilizations: Prehistoric Times to 500 C.E.* Infobase Publishing, 2009.
- [8] S. Al-Majmaie, R. H. Naser, S. H. Hadi, A. M. Ismail, et S. Nath, « Investigation Utilization of Medicinal Plants: From Historical Practices to Contemporary Medicine », *Nat Prod Anal*, vol. 1, n° 1, p. 100004, sept. 2025.
- [9] A. Sharma, G. Malik, et S. Kumar, Éd., « Classical uses of Medicinal Plants », in *Medicinal Plants: Ethnomedicine, Pharmacognosy and Therapeutic Values*, 1^{re} éd., Anu Books, Meerut, p. 13-19, 2022.
- [10] B. B. Petrovska, « Historical review of medicinal plants' usage », *Pharmacogn Rev*, vol. 6, n° 11, p. 3-5, 2013.
- [11] k. Ritner « Innovations and Adaptations in Ancient Egyptian Medicine » *Journal of Near Eastern Studies*: Vol 59, n° 2, 2000.
- [12] A. Azab, A. Nassar, et A. N. Azab, « Anti-Inflammatory Activity of Natural Products », *Molecules*, vol. 21, n° 10, p. 1321, oct. 2016.
- [13] A. Khan, R. Hussain, S. Tahir, et N. Ghafoor, Éd., « Medicinal Plants as Anti-inflammatory Agents », in *Medicinal Plants and Aromatics: A Holistic Health Perspective*, Unique Scientific Publishers, 2025

- [14] SJ Virshette, MK Patil and AP Somkuwar, « A review on medicinal plants used as anti- inflammatory agents » *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, vol. 8, n° 3, p. 1641-1646, 2019.
- [15] Md. S. Hossain, M. A. Wazed, S. Asha, Md. R. Amin, et I. M. Shimul, « Dietary Phytochemicals in Health and Disease: Mechanisms, Clinical Evidence, and Applications—A Comprehensive Review », *Food Sci Nutr*, vol. 13, n° 3, p. e70101, mars 2025.
- [16] A. Muscolo, O. Mariateresa, T. Giulio, et R. Mariateresa, « Oxidative Stress: The Role of Antioxidant Phytochemicals in the Prevention and Treatment of Diseases », *Int J Mol Sci*, vol. 25, n° 6, p. 3264, mars 2024.
- [17] D. Xu, Y. Li, X. Meng, T. Zhou, Y. Zhou. Zheng, J,J.Zhang and L. Hua-Bin, « Natural Antioxidants in Foods and Medicinal Plants: Extraction, Assessment and Resources », *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 18, n° 1, p. 96, Janvier. 2017.
- [18] Md. T. El-Saadony, T. Yang, M.d S. Imam, S. Alghamdi, H. M. Salem, S. A. Korma, S. M. Soliman, T. A. Abd El-Mageed, S. Selim, S. K. Al Jaouni, Y. Mahmmoud, N. A. El-Wafai, R. A. Zaghloul, M. E. Abd El-Hack, A. F. Khafaga, Kh. El-Tarabily and Ah. M. Saad « Medicinal plants as alternative antimicrobial agents to combating the multi-drug-resistant human pathogens: A comprehensive review » *Front. Microbiol.* vol. 13, n° 998425, 2022.
- [19] S. M. Ali, R. Siddiqui, et N. A. Khan, « Antimicrobial discovery from natural and unusual sources », *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, vol. 70, n° 10, p. 1287-1300, 2018.
- [20] S. Banerjee, « ADDRESSING INTEROPERABILITY OBSTACLES IN IOT: EFFECTIVE APPROACHES FOR CONNECTIVITY HARMONY », *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, vol.5, n°11, nov. 2023
- [21] Y. Rumale, S. Sawarkar, et D. Devnani, « Herbal Plants as Natural Antimicrobial Agents: “A Comprehensive Review” », vol. 13, n° 4, 2025.
- [22] J. PHLEBO-ONLINE « Plantes pour la digestion lente : artichaut, fenouil, menthe... comment les utiliser au quotidien ? » Consulté le : 13 avril 2026. [En ligne]. Disponible sur : https://www.phlebo-online.org/article/plantes-pour-la-digestion-lente-artichaut-fenouil-menthe-comment-les-utiliser-au-quotidien/?utm_source=chatgpt.com
- [23] College of Agriculture Sciences, Teerthanker Mahaveer University, Moradabad, Uttar Pradesh, India, « The Use of Medicinal Plants in Digestive System Related Disorders- A Systematic Review », *J. Ayu. Her. Med.*, vol. 7, n° 3, p. 182-187, sept. 2021.

- [24] R. Teterovska, R. E. Skotele, B. Maurina, et I. Sile, « Medicinal Plants in Food Supplements for Gastrointestinal Disorders: Critical Assessment of Health Claims on Gastric Acid Regulation », *Nutrients*, vol. 17, n° 23, p. 3674, nov. 2025.
- [25] M. J. Leach et A. T. Page, « Herbal medicine for insomnia: A systematic review and meta-analysis », *Sleep Medicine Reviews*, vol. 24, p. 1-12, déc. 2015.
- [26] F. Feizi, N. Namazi, R. Rahimi, et M. H. Ayati, « Medicinal Plants for Management of Insomnia: A Systematic Review of Animal and Human Studies », *Galen Med J*, vol. 8, p. e1085, janv. 2019.
- [27] M.Ed. Khan, B. J. Akhtar, M. Ahmad, Z. Siddiqui, et F. Gayyur, « Role of Plant Bioactive as Diuretics: General Considerations and Mechanism of Diuresis », Consulté le: 11 avril 2026. [En ligne]. Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/371538358_Role_of_plant_bioactive_as_diuretics_General_considerations_and_mechanism_of_diuresis
- [28] G. M. Nivrutti, A. Chandekar, et A. Tripathi, « Phytochemical and pharmacological evaluation of medicinal plants with diuretic activity: A systematic review of experimental evidence », *J. Med. Plants Stud.*, vol. 13, n° 3, p. 359-370, Mai 2025.
- [29] N.Koushik, CH. Purbajit, Sunita, D.Sumit, « Herbal Plants Used as Diuretics: A comprehensive Review », *Journal of Pharmaceutical, Chemical and Biological Sciences (JPCBS)*, vol.2, n°1, p.27-32,may 2014.
- [30] N. Chaffey, « Raven biology of plants, 8th edn », *Ann Bot*, vol. 113, n° 7, p. vii, juin 2014.
- [31] R. Olmstead, « Plant Systematics: A Phylogenetic Approach, 2nd ed.—W. S. Judd, C. S. Campbell, E. A. Kellogg, P. F. Stevens, and M. J. Donoghue. 2002. Sinauer Associates, Sunderland, MA. 576 pp. ISBN 0–87893–403–0. \$89.95 hardcover. », *Systematic Biology*, vol. 53, n° 3, p. 517-518, juin 2004.
- [32] N. DAIRA, Mo. Ch. MAAZ, A. CHEFROUR, « Contribution à l'étude phytochimique d'une plante médicinale (*Ammoides verticillata* Desf. Briq.) de l'Est Algérien » *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, Vol. 85, p. 276 - 290, 2016.
- [33] R. A. Dixon, « Plant natural products: the molecular genetic basis of biosynthetic diversity », *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 10, n° 2, p. 192-197, avr. 1999.
- [34] K. Trehan, *Biochemistry*. New Age International, 1990.

- [35] « Lipids: fatty acids and derivatives, polyketides and - Beilstein ». Consulté le : 13 avril 2026. [En ligne]. Disponible sur : <https://paperzz.com/doc/6767278/lipids--fatty-acids-and-derivatives--polyketides>.
- [36] G. A. Petsko et D. Ringe, *Structure et fonction des protéines*. De Boeck Supérieur, 2008.
- [37] M. P. de Garilhe, *Les nucléases : Application à l'étude des acides nucléiques*. FeniXX, 1964.
- [38] « Définition | Acides nucléiques : qu'est-ce que c'est ? | Futura santé ». Consulté le : 13 avril 2026. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/genetique-acides-nucleiques-627/>
- [39] Z. Pang, Jia Chen, T. Wang, Ch. Gao, Z. Li, L. Guo, J. Xu and Y. Cheng, « Linking Plant Secondary Metabolites and Plant Microbiomes: A Review », *Front. Plant Sci.*, vol. 12, p. 621276, mars 2021.
- [40] M. Erb et D. J. Kliebenstein, « Plant Secondary Metabolites as Defenses, Regulators, and Primary Metabolites: The Blurred Functional Trichotomy [OPEN] », *Plant Physiol.*, vol. 184, n° 1, p. 39-52, sept. 2020.
- [41] L. Lucija Galić, Zdenko Lončarić and Miroslav Lisjak, Z. Lončarić, et M. Lisjak, « A Review of Phenolic Compounds: From Biosynthesis and Ecological Roles to Human Health and Nutrition », *PHYTON*, vol. 94, n° 11, p. 3297-3318, 2025.
- [42] Z. Lin, H. Liu, J. Richardson, c. Wanjun Xu, a Jingqu Chen, a. Z.F. Caruso, « Metal-phenolic network composites: from fundamentals to applications », *Chem. Soc. Rev.*, vol. 53, n° 22, p. 10800-10826, nov. 2024.
- [43] N. farm K. Kimel, « Propriétés et applications des acides phénoliques », NATURAL POLAND - Distributeur de matières premières en gros. Consulté le : 12 avril 2026. [En ligne]. Disponible sur : <https://naturalpoland.com/fr/artykuly/produits-natuerls/proprietes-et-applications-des-acides-phenoliques/>
- [44] N. Kumar et N. Goel, « Phenolic acids : Natural versatile molecules with promising therapeutic applications », *Biotechnology Reports*, vol. 24, p. e00370, déc. 2019.
- [45] « Phenolic Acids | Encyclopedia MDPI ». Consulté le : 12 avril 2026. [En ligne]. Disponible sur : <https://encyclopedia.pub/entry/14567>
- [46] R. Bachir et B. Mohamed, « Phenolic compounds : structures and activities », vol. 2, p. 6-24, juin 2021.

- [47] Xi. Zheng, X. Zhang, F. Zeng, « Biological Functions and Health Benefits of Flavonoids in Fruits and Vegetables: A Contemporary Review », *Foods*, vol. 14, n° 2, p. 155, 2025.
- [48] M. Galván-Portillo, R. A. Vázquez-Salas, J. G. Hernández-Pérez, J. Blanco-Muñoz, L. López-Carrillo, et L. Torres-Sánchez, « Dietary flavonoid patterns and prostate cancer: evidence from a Mexican population-based case–control study », *British Journal of Nutrition*, vol. 127, n° 11, p. 1695-1703, juin 2022.
- [49] N. V. Zagoskina, Y. Zubova, L. Nechaeva, V. Kazantseva, A. Goncharuk, M. Katanskaya, N. Baranova and A. Aksenova, « Polyphenols in Plants: Structure, Biosynthesis, Abiotic Stress Regulation, and Practical Applications (Review) », *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 24, n° 18, p. 13874, sept. 2023.
- [50] A. N. Panche, A. D. Diwan, et S. R. Chandra, « Flavonoids: an overview », *Journal of Nutritional Science*, vol. 5, p. e47, janv. 2016.
- [51] C. Santulli, S. Gabrielli, G. Roselli « Use and Roles of Tannins in Polysaccharide-Based Bioplastics and Biocomposites » *Organics*, vol. 6, n° 2, 2025.
- [52] A. Pizzi, M. Pierre, Z. Candan « A Review on Sources, Extractions and Analysis Methods of a Sustainable Biomaterial: Tannins », *JRM*, vol. 12, n° 3, p. 397-425, 2024.
- [53] « Tannins : Classification and Definition », studylib.net. Consulté le : 24 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://studylib.net/doc/25825227/tannins-type>
- [54] B. Bhattarai, S. Bhandari, P. Tandan, K. Gyawali, K. Sh. Ranabhat, R. Thapa, Di. Devkota and N. Parajuli, « Potential Therapeutic Applications of Plant-Derived Alkaloids against Inflammatory and Neurodegenerative Diseases », *Evid. Based Complement. Alternat. Med.*, vol. 2022, n° 1, p. 7299778, 2022.
- [55] M. Heinrich, J. Mah, V. Amirkia, « Alkaloids Used as Medicines: Structural Phytochemistry Meets Biodiversity—An Update and Forward Look », *Molecules*, vol. 26, n° 7, p. 1836, janv. 2021.
- [56] G. Pereira, Lucia Cassani, P. Garcia-Oliveira, P. Otero, Sepidar S. Mansoor, J. Echave, J. Xiao, J. Simal-Gandara, M.A. Prieto, « Plant Alkaloids: Production, Extraction, and Potential Therapeutic Properties », p. 157-200, 2023.
- [57] D. Cox-Georgian, N. Ramadoss, C. Dona, et C. Basu, « Therapeutic and Medicinal Uses of Terpenes », in *Medicinal Plants: From Farm to Pharmacy*, N. Joshee, S. A. Dhekney, et P. Parajuli, Éd., Cham: Springer International Publishing, p. 333-359, 2019.

- [58] W. Yang, Kedong Xu, Q. Liu, Q. Luo, L. Li and X. Xiang, « A Comprehensive Review of Plant Volatile Terpenoids, Elucidating Interactions with Surroundings, Systematic Synthesis, Regulation, and Targeted Engineering Production », *Biology*, vol. 14, n° 5, p. 466, mai 2025.
- [59] B. K. Banik, B. M. Sahoo, et A. Tiwari, *Terpenoids: Chemistry, Biochemistry, Medicinal Effects, Ethno-pharmacology*, 1^{re} éd. Boca Raton: CRC Press, 2022. d
- [60] D. Sobolewska, A. Galanty, K. Grabowska, J. Makowska-Wąs, D. Wróbel-Biedrawa, et I. Podolak, « Saponins as cytotoxic agents: an update (2010–2018). Part I—steroidal saponins », *Phytochem Rev*, vol. 19, n° 1, p. 139-189, févr. 2020.
- [61] I. Podolak, A. Galanty, et D. Sobolewska, « Saponins as cytotoxic agents: a review », *Phytochem Rev*, vol. 9, n° 3, p. 425-474, sept. 2010.
- [62] Ö. Güçlü Üstündağ et G. Mazza, « Saponins: Properties, Applications and Processing », *Critical reviews in food science and nutrition*, vol. 47, p. 231-58, févr. 2007.
- [63] « Biological activities, definition, types and measurements », in *Multiple Biological Activities of Unconventional Seed Oils*, Academic Press, 2022, p. 17-28.
- [64] B. Khameneh, M. Iranshahy, V. Soheili, et B. S. Fazly Bazzaz, « Review on plant antimicrobials: a mechanistic viewpoint », *Antimicrob Resist Infect Control*, vol. 8, n° 1, p. 118, juill. 2019.
- [65] « Antioxidants, Food Processing and Health ». Consulté le: 13 avril 2026. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.mdpi.com/2076-3921/10/3/433>
- [66] B. Dimitrios, « Sources of natural phenolic antioxidants », *Trends in Food Science & Technology*, vol. 17, n° 9, p. 505-512, sept. 2006.
- [67] H. S. Elshafie, I. Camele, et A. A. Mohamed, « A Comprehensive Review on the Biological, Agricultural and Pharmaceutical Properties of Secondary Metabolites Based-Plant Origin », *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 24, n° 4, p. 3266, janv. 2023.
- [68] S. Kumar and A. K. Pandey, « Chemistry and Biological Activities of Flavonoids: An Overview », *The Scientific World Journal*, vol. 2013, n° 1, p. 162750, 2013.
- [69] M. Ghasemian, S. Owlia, et M. B. Owlia, « Review of Anti-Inflammatory Herbal Medicines », *Adv Pharmacol Sci*, vol. 2016, p. 9130979, 2016.
- [70] M. Aswad, M. Rayan, S. Abu-Lafi, M. Falah, J. Raiyn, Z. Abdallah, A. Rayan, « Nature is the best source of anti-inflammatory drugs: indexing natural products for their anti-inflammatory bioactivity », *Inflamm. Res.*, vol. 67, n° 1, p. 67-75, janv. 2018.

- [71] D. Alimi, A. Hajri, S. Selmi, et H. Sebai, « Essential Oils from Medicinal Plants: Extraction Techniques, Biochemical Characterization, and Technical Analysis », in *Medicinal Plants - Chemical, Biochemical, and Pharmacological Approaches*, IntechOpen, 2023.
- [72] C. Pezantes-Orellana, F. German Bermúdez, C. Matías De la Cruz, J. L. Montalvo, et A. Orellana-Manzano, « Essential oils: a systematic review on revolutionizing health, nutrition, and omics for optimal well-being », *Front. Med.*, vol. 11, févr. 2024.
- [73] F. Kurihara, « Dermatoses induites par les huiles essentielles ou végétales », *Revue Française d'Allergologie*, vol. 62, n° 3, p. 279-281, avr. 2022.
- [74] B. M. Nadjib et F. Amine, « MÉTHODES D'EXTRACTION ET DE DISTILLATION DES HUILES ESSENTIELLES : REVUE DE LITTÉRATURE », vol.9, n°2, p. 1653-1659, 2019.
- [75] F. Haddouchi et A. Benmansour, « Huiles essentielles, obtentions, utilisations et activités biologiques. Application à deux plantes aromatiques », *Les technologies de laboratoire*, vol. 3, n° 8, 2008.
- [76] Azwanida NN « A Review on the Extraction Methods Use in Medicinal Plants, Principle, Strength and Limitation », *Med Aromat Plants*, vol. 04, n° 03, 2015.
- [77] S. D. Sarker, *Natural Products Isolation*. Springer Science & Business Media, 2008.
- [78] « Méthodes d'extraction dans l'analyse des graisses ». Consulté le : 28 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.gerhardt.de/fr/know-how/methodes-danalyse/methodes-dextraction-dans-lanalyse-des-graisses/>
- [79] N. K. Sinha, *Handbook of Food Products Manufacturing, 2 Volume Set*. John Wiley and Sons, 2007.
- [80] M. Samadi, Z. Z. Abidin, R. Yunus, D. R. Awang Biak, H. Yoshida, et E. H. Lok, « Assessing the kinetic model of hydro-distillation and chemical composition of *Aquilaria malaccensis* leaves essential oil », *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 25, n° 2, p. 216-222, févr. 2017.
- [81] J. Azmir a, I.S.M. Zaidul a, M.M. Rahman a, K.M. Sharif a, A. Mohamed a, F. Sahena b, M.H.A. Jahurul b, K. Ghafoor c, N.A.N. Norulaini d, A.K.M. Omar, « Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review », *Journal of Food Engineering*, vol. 117, n° 4, p. 426-436, août 2013.
- [82] M. Usman, M. Nakagawa, et S. Cheng, « Emerging Trends in Green Extraction Techniques for Bioactive Natural Products », *Processes*, vol. 11, n° 12, p. 3444, déc. 2023.

- [83] M. Ghouli, *Mise en oeuvre des procédés enzymatiques et des bactéries lactiques dans les industries agro-alimentaires*. ISTE Group, 2023.
- [84] A. Masoodi, A. Rather, M. Wani & A. Gull « Supercritical Fluid Extraction: A Review », *J. Biol. Chem. Chron*, vol. 5, n° 1, p.114-122 ,2019,
- [85] K.-Y. Khaw, M.-O. Parat, P. N. Shaw, et J. R. Falconer, « Solvent Supercritical Fluid Technologies to Extract Bioactive Compounds from Natural Sources: A Review », *Molecules*, vol. 22, n° 7, p. 1186, juill. 2017.
- [86] R. Zeichen De Sa, A. Rey, E. Argañaraz, et E. Bindstein, « Perinatal toxicology of *Ruta chalepensis* (Rutaceae) in mice », *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 69, n° 2, p. 93-98, févr. 2000.
- [87] S. A G. H. & Gurib-Fakim, *Plantes médicinales 2*. PROTA, 2013.
- [88] « *Ruta chalepensis* L., Rutaceae, Prelude », Société Française d’Ethnopharmacologie. Consulté le : 12 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur : https://www.ethnopharmacologia.org/recherche-dans-prelude/?plant_id=5139
- [89] « *Ruta chalepensis* (RUACH)[Overview] EPPO Global Database ». Consulté le : 18 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur : <https://gd.eppo.int/taxon/RUACH>
- [90] H. Boughendjioua, « Yield, chemical composition and antibacterial activity of *Ruta chalepensis* L. essential oil growing spontaneously in Algeria », *PPIJ*, vol. 7, n° 1, févr. 2019.
- [91] « *Ruta graveolens* L. | Plants of the World Online | Kew Science », Plants of the World Online. Consulté le : 12 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur : <http://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:775099-1>
- [92] « *Ruta montana* ». Consulté le : 12 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur : https://www.florandalucia.es/index.php/ruta-montana?utm_source=chatgpt.com
- [93] S. Merghache, M. Hamza, M. Bendahou, et T. Boufeldja, « Chemical composition and antimicrobial activity of *Ruta Chalepensis* L. Essential oil from Algeria », *Asian Journal of Chemistry*, vol. 20, p. 2989-2996, avr. 2008.
- [94] A. R. Althaher, S. A. Oran, et Y. Jarrar, « Phytochemical Investigation and Biological Activities of *Ruta chalepensis* Methanolic Extract: Antioxidant, Anti-Inflammatory, Anticollagenase, and Anti-elastase Properties », *Journal of Food Biochemistry*, vol. 2024, n° 1, p. 9921218, 2024.
- [95] A. Mendez-Vilas, *Multidisciplinary Approaches for Studying and Combating Microbial Pathogens*. Universal-Publishers, 2015.

- [96] A. Nekkaa, A. Benaissa, F. Mutelet, et L. Canabady-Rochelle, « Rhamnus alaternus Plant: Extraction of Bioactive Fractions and Evaluation of Their Pharmacological and Phytochemical Properties », *Antioxidants*, vol. 10, n° 2, p. 300, févr. 2021.
- [97] W. Benchiha · S. Mahroug · L. Aoued · K. Bouterfas, « Antihepatotoxic activity of Rhamnus alaternus L. (Rhamnaceae) leaves extracts », *Phytotherapie*, vol.15, n° 1, p.1-6, 2015.
- [98] J. Badia « Evergreen buckthorn – El medi natural del Bages i del Moianès ». Consulté le : 15 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur : <https://elmedinaturaldelbages.cat/en/species/evergreen-buckthorn-rhamnus-alaternus-en/>
- [99] A. Benaissa, F. Mutelet, et L. Canabady-Rochelle, « Rhamnus alaternus Plant: Extraction of Bioactive Fractions and Evaluation of Their Pharmacological and Phytochemical Properties », *Antioxidants*, vol. 10, p. 300, 2021.
- [100] O. BOUCHENAK, K. YAHIAOUI, N. BENHABYLES, R. LAOUFI, S. TOUBAL, D. EL HADDAD, S. OUSSAID, DJ. BLIZAK et K. ARAB, « CRIBLAGE PHYTOCHIMIQUE ET ÉVALUATION DU POUVOIR ANTIOXYDANT DES FEUILLES DE MYRTUS COMMUNIS L. ET RHAMNUS ALATERNUS L. », *Revue Agrobiologia*, vol.10, n° .1, p. 1749-61, 2020.
- [101] j. Izhaki, E. Tsahar, I. Paluy and J. Friedman, « Rhamnus alaternus Fruit Variation Study | PDF | Principal Component Analysis | Coefficient of Variation », Scribd. Consulté le : 4 mai 2026. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.scribd.com/document/934815309/New-Phytologist-2002-Izhaki-Within-Population-Variation-and-Interrelationships-Between-Morphology-Nutritional>
- [102] R. Ben Ammara, W. Bhouria, M. Ben Sghaiera, J. Boubakera, I. Skandrania, A. N.I. Bouhlela, S. Kilania, A. Mariotteb, L. Chekir-Ghediraa, M. Dijoux-Francac, K. Ghediraa, « 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.*, vol. 116, n° 1, p. 258-264, sept. 2009.
- [103] H. Boughendjioua, « Yield, chemical composition and antibacterial activity of Ruta chalepensis L. essential oil growing spontaneously in Algeria », *PPIJ*, vol. 7, n° 1, févr. 2019, Consulté le : 4 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur : <https://medcraveonline.com/PPIJ/yield-chemical-composition-and-antibacterial-activity-of-ruta-chalepensis-l-essential-oil-growing-spontaneously-in-algeria.html>

- [104] J. Mejri, M. Abderrabba, et M. Mejri, « Chemical composition of the essential oil of *Ruta chalepensis* L: Influence of drying, hydro-distillation duration and plant parts », *Industrial Crops and Products*, vol. 32, n° 3, p. 671-673, nov. 2010.
- [105] N. Jaradat , L. Adwan , S. K'aibni , AN. Zaid , M. Shtaya , N. Shraim , M.Assali, « Variability of Chemical Compositions and Antimicrobial and Antioxidant Activities of *Ruta chalepensis* Leaf Essential Oils from Three Palestinian Regions », *Biomed Res Int*, vol. 2017, p. 2672689, 2017.
- [106] L. Nahar, H. R. El-Seedi, S. A. M. Khalifa, M. Mohammadhosseini, et S. D. Sarker, « *Ruta* Essential Oils: Composition and Bioactivities », *Molecules*, vol. 26, n° 16, p. 4766, janv. 2021.
- [107] A.Rebai Ben,S. Kilani,I. Bouhlel,L. Ezzi, I. Skandrani, J.Boubaker, M. Ben Sghaier,A.Naffeti,A. Mahmoud,L. Chekir-Ghedira &K.l Ghedira, « Antiproliferative, Antioxidant, and Antimutagenic Activities of Flavonoid-Enriched Extracts from (Tunisian) *Rhamnus alaternus* L.: Combination with the Phytochemical Composition », *Drug and Chemical Toxicology*, vol. 31, n° 1, p. 61-80, janv. 2008.
- [108] R. Ben Ammar, W. Bhouri, M. Ben Sghaier, J. Boubaker, I. Skandrani, A.Neffati, I. Bouhlel, S. Kilani, M .Anne-Marie, L. Chekir-Ghedira « Antioxidant and free radical-scavenging properties of three flavonoids isolated from the leaves of *Rhamnus alaternus* L. (Rhamnaceae) : A structure-activity relationship study », *Food Chemistry*, vol. 116, n° 1, p. 258-264, sept. 2009, doi: 10.1016/j.foodchem.2009.
- [109] K. Moussi, B. Nayak, L. B. Perkins, F. Dahmoune, K. Madani, et M. Chibane, « HPLC-DAD profile of phenolic compounds and antioxidant activity of leaves extract of *Rhamnus alaternus* L. », *Industrial Crops and Products*, vol. 74, p. 858-866, nov. 2015.
- [110] L. Gali et F. Bedjou, « Antioxidant and anticholinesterase effects of the ethanol extract, ethanol extract fractions and total alkaloids from the cultivated *Ruta chalepensis* », *South African Journal of Botany*, vol. 120, p. 163-169, janv. 2019.
- [111] F. EL-Kadi, KH. Kanoun, A. Trouzine, W. Tehami, H. Lebga, N. Boumaza, N. Harir « Phenolic compound profiles and antioxidant activity of *Ruta chalepensis* L. leaves, a spontaneous medicinal herb: influence of harvest zone (Western Algeria) », *ResearchGate*, vol 7, n° 1, p. 26- 35, juin 2026.
- [112] I. Ouerghemmi, I. Bettaieb Rebey, F. Z. Rahali, S. Bourgou, L. Pistelli, R. Ksouri, M. Saidani Tounsi. « Antioxidant and antimicrobial phenolic compounds from extracts of

cultivated and wild-grown Tunisian *Ruta chalepensis* », *Journal of Food and Drug Analysis*, vol. 25, n° 2, p. 350-359, avr. 2017.

[113] D. Evans, « William Charles Evans □ BPharm BSc PhD DSc FIBiol FLS FRPharmS ».

[114] S. F. Sulaiman, A. A. B. Sajak, K. L. Ooi, Supriatno, et E. M. Seow, « Effect of solvents in extracting polyphenols and antioxidants of selected raw vegetables », *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 24, n° 4, p. 506-515, juin 2011.

[115] A. R. Abubakar et M. Haque, « Preparation of Medicinal Plants: Basic Extraction and Fractionation Procedures for Experimental Purposes », *J Pharm Bioallied Sci*, vol. 12, n° 1, p. 1-10, 2020.

[116] K. O. Fagbemi, D. A. Aina, et O. O. Olajuyigbe, « Soxhlet Extraction versus Hydrodistillation Using the Clevenger Apparatus: A Comparative Study on the Extraction of a Volatile Compound from Tamarindus indica Seeds », *The Scientific World Journal*, vol. 2021, n° 1, p. 5961586, 2021.

[117] Weltgesundheitsorganisation, Éd., *Quality control methods for herbal materials*, Updated edition of Quality control methods for medicinal plant materials, 1998. Geneva: World Health Organization, 2011.

[118] İ. Gulcin et S. H. Alwasel, « DPPH Radical Scavenging Assay », *Processes*, vol. 11, n° 8, p. 2248, août 2023.

[119] « DPPH, capacité antioxydante | LIBIOS ». Consulté le : 15 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur : <https://libios.fr/solutions-analytiques/stress-oxydatif-capacite-antioxydante/kits-dosage-stress-oxydatif-brcapacite-antioxydante/dpph-capacite-antioxydante>

[120] « The Versatility of Antioxidant Assays in Food Science and Safety—Chemistry, Applications, Strengths, and Limitations ». Consulté le : 16 juin 2026. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.mdpi.com/2076-3921/9/8/709>

[121] I. Eseberri, J. Trepiana, A. Léniz, I. Gómez-García, H. Carr-Ugarte, M. González, M. P. Portillo « Variability in the Beneficial Effects of Phenolic Compounds: A Review », *Nutrients*, vol. 14, n° 9, p. 1925, mai 2022.

[122] A. C. Figueiredo, J. G. Barroso, L. G. Pedro, et J. J. C. Scheffer, « Factors affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils », *Flavour and Fragrance Journal*, vol. 23, n° 4, p. 213-226, 2008.

[123] M. Stankovic, S. Ćurčić, N. M. Zlatić, B. Bojović « Ecological variability of the phenolic compounds of *Olea europaea* L. leaves from natural habitats and cultivated

conditions », BIOTECHNOLOGY&BIOTECHNOLOGICALEQUIPMENT, vol. 31, n° 3, p. 1-6, January 2017

[124] L. Nahar, H. R. El-Seedi, S. A. M. Khalifa, M. Mohammadhosseini, et S. D. Sarker, « Ruta Essential Oils: Composition and Bioactivities », *Molecules*, vol. 26, n° 16, p. 4766, janv. 2021.

[125] A. Antony et M. Farid, « Effect of Temperatures on Polyphenols during Extraction », *Applied Sciences*, vol. 12, n° 4, p. 2107, janv. 2022.

[126] M. Naczek et F. Shahidi, « Extraction and analysis of phenolics in food », *Journal of Chromatography A*, vol. 1054, n° 1, p. 95-111, oct. 2004.

[127] F. Mutelet, et L. Canabady-Rochelle, A. Nekkaa, A. Benaissa, « Rhamnus alaternus Plant: Extraction of Bioactive Fractions and Evaluation of Their Pharmacological and Phytochemical Properties », *Antioxidants*, vol. 10, n° 2, févr. 2021.

[128] M. Kacem, I. Kacem, G. Simon c, A. Ben Mansour d, S. Chaabouni b, A. Elfeki a, Mo. Bouaziz dShow more « Phytochemicals and biological activities of *Ruta chalepensis* L. growing in Tunisia », *Food Bioscience*, vol. 12, p. 73-83, déc. 2015.

[129] C. A. Rice-Evans, N. J. Miller, et G. Paganga, « Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids », *Free Radical Biology and Medicine*, vol. 20, n° 7, p. 933-956, janv. 1996.

[130] J. S. Wright, E. R. Johnson, et G. A. DiLabio, « Predicting the activity of phenolic antioxidants: theoretical method, analysis of substituent effects, and application to major families of antioxidants », *J Am Chem Soc*, vol. 123, n° 6, p. 1173-1183, févr. 2001.

[131] M. Leopoldini, N. Russo, et M. Toscano, « The molecular basis of working mechanism of natural polyphenolic antioxidants », *Food Chemistry*, vol. 125, n° 2, p. 288-306, mars 2011.

[132] J. B. Harborne, *Phytochemical Methods: A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis*. Springer Science & Business Media, 2012.

[133] H. Lichtenthaler, « Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes », *Methods in enzymology*, vol. 148C, p. 350-382, déc. 1987.

[134] L. Gobbo-Neto et N. P. Lopes, « Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários », *Quím. Nova*, vol. 30, n° 2, p. 374-381, avr. 2007.

[135] M. D. Luque De Castro et L. E. García-Ayuso, « Soxhlet extraction of solid materials: an outdated technique with a promising innovative future », *Analytica Chimica Acta*, vol. 369, n° 1-2, p. 1-10, août 1998.

Résumé : La présente étude porte sur l'extraction des substances bioactives et l'évaluation de l'activité antioxydante des feuilles de *Rhamnus alaternus* et *Ruta chalepensis*. Les extraits, obtenus par macération et Soxhlet avec un mélange éthanol/eau, ont été fractionnés. Les rendements varient selon l'espèce et la méthode, notamment pour la fraction n-butanolique (jusqu'à 6,52 %). L'activité antioxydante, mesurée par le test DPPH, révèle des IC₅₀ très faibles pour les fractions de *Rhamnus alaternus*, surtout celles obtenues par Soxhlet (0,002 à 0,004 mg/ml), indiquant une forte capacité de piégeage des radicaux libres. L'analyse UV-visible montre un pic d'absorption autour de 518 nm, suggérant la présence d'un composé ou de plusieurs composés présentant des propriétés d'absorption similaires à cette même longueur d'onde.

Mots-clés: *Rhamnus alaternus*, *Ruta chalepensis*, macération, Soxhlet, activité antioxydante, DPPH.

ملخص: تهدف هذه الدراسة إلى استخلاص المواد الفعالة حيويًا وتقييم النشاط المضاد للأكسدة لأوراق المليس والسذاب. تم الحصول على المستخلصات باستعمال طريقتي النقع والاستخلاص بجهاز سوكسليت باستخدام مزيج الإيثانول والماء، ثم أُجريت عملية تجزئة باستعمال مذيبات مختلفة. تختلف مردودات الاستخلاص حسب النوع النباتي وطريقة الاستخلاص، خاصة في الجزء الن-بيوتانولي الذي بلغ حتى 6.52 بالمائة. أظهر النشاط المضاد للأكسدة باستعمال اختبار دي بي بي إتش أن أجزاء المليس، خصوصًا تلك المستخلصة بطريقة سوكسليت، تمتلك قيم تركيز نصف التثبيط منخفضة جدًا تراوحت بين 0.002 و0.004 ملغ/مل، مما يدل على قدرة عالية على اقتناص الجذور الحرة. كما أظهر التحليل بالأشعة فوق البنفسجية والمرئية وجود قمة امتصاص عند حوالي 518 نانومتر، مما يشير إلى وجود مركب واحد أو عدة مركبات تمتلك خصائص امتصاص متشابهة عند نفس الطول الموجي.

الكلمات المفتاحية: المليس، السذاب، النقع، استخلاص سوكسليت، النشاط المضاد للأكسدة، اختبار 2,2-ثنائي فينيل-1-بيكريل هيدرازيد.

Abstract: This study focuses on the extraction of bioactive compounds and the evaluation of the antioxidant activity of the leaves of *Rhamnus alaternus* and *Ruta chalepensis*. The extracts were obtained using maceration and Soxhlet extraction with an ethanol/water mixture, then subjected to fractionation using different solvents. Extraction yields varied according to plant species and extraction method, particularly in the n-butanol fraction, which reached up to 6.52%. The antioxidant activity, evaluated using the DPPH assay, showed very low IC₅₀ values for *Rhamnus alaternus* fractions, especially those obtained by Soxhlet extraction (0.002–0.004 mg/mL), indicating a strong free radical scavenging capacity. UV-Visible analysis revealed an absorption peak around 518 nm, suggesting the presence of one compound or several compounds exhibiting similar absorption properties at the same wavelength.

Keywords: *Rhamnus alaternus*, *Ruta chalepensis*, maceration, Soxhlet extraction, antioxidant activity, DPPH.