

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI Mokhtar Annaba University
Université BADJI Mokhtar – Annaba

جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté des sciences

كلية العلوم

Département de chimie

قسم الكيمياء



Thèse

Présentée pour obtenir le diplôme de

Doctorat En-Sciences

Spécialité : Chimie organique

Par :

BELAID Soraya

Thème :

**Etude phytochimique et activités biologiques
de quelques plantes de l'Est Algérien**

Thèse soutenue le date de soutenance devant le jury composé de :

N°	Nom et prénom	Grade	Etablissement	Qualité
01	DADDA Nouredine	MCA	Université Badji Mokhtar -Annaba	Président
02	DJILANI Salah Eddine	Prof.	Université Badji Mokhtar -Annaba	Directeur de thèse
03	BOUGHRARA Boudjema	MCA	Université Chadli Bendjedid-El Tarf	Co-directeur de thèse
04	MESSAI Amel	Prof.	Université Abbes Laghrour- Khenchela	Examineur
05	DRAIAIA Radia	MCA	Université Cherif Messaadia-Souk Ahras	Examineur
06	BOUZATA Chouhaira	MCA	Université Chadli Bendjedid-El Tarf	Examineur
07	HAMEL Tarek	Prof.	Université Badji Mokhtar -Annaba	Membre invité

SOMMAIRE

	Page
Dédicace.....	
Remerciements.....	
المخلص.....	i
Abstract.....	ii
Résumé.....	iii
Liste des tableaux.....	iv
Liste des figures.....	v
Liste des photos.....	v
Symboles et Abréviations.....	vi
INTRODUCTION.....	1
Références bibliographiques.....	3

PREMIERE PARTIE SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : LA PHYTOTHERAPIE ET LES PLANTES

I.1. La phytothérapie.....	4
I.1.1 Principe de la phytothérapie.....	4
I.1.2. Avantages de la phytothérapie.....	4
I.1.3. Les plantes médicinales.....	5
I.2. Historique (les plantes et l'environnement).....	5
I.2.1. Premières apparition des plantes Terrestres.....	5
I.2.2. Apparition des plantes à fleurs.....	5
I.3. Les plantes aromatiques et médicinales et leurs différentes formes d'utilisation.....	5
I.3.1.Plantes médicinales utilisées en phytothérapie.....	5
I.3.2.Plantes médicinales utilisées en médecine traditionnelle.....	5
I.4. interaction entre plantes et médicaments.....	6
I.4.1.Interaction médicamenteuse des plantes.....	6
I.4.2.Évaluation de l'interaction plante-médicament.....	6
I.5. Les principes actifs.....	6
I.5.1. Alcaloïdes.....	6
I.5.2. Flavonoïdes.....	7
I.5.3. Terpénoïdes.....	7
I.5.4. Glycosides.....	7
I.5.5. Saponines.....	8
I.5.6. Acides phénoliques.....	9
I.5.7. Coumarines.....	9
I.5.8. Anthocyanes.....	9
I.5.9. Tanins.....	10
I.5.10. Lignanes.....	10
I.5.11. Stéroïdes végétaux.....	10
I.6. Tests phytochimiques.....	10
I.6.1. Test de Dragendorff (pour les alcaloïdes).....	10
I.6.2. Test de Folin-Ciocalteu (pour les polyphénols).....	11
I.6.3. Test de coloration à la vanilline (pour les flavonoïdes).....	11
I.6.4. Test de la gelée de plomb (pour les tanins).....	11
I.6.5. Test de Molisch (pour les glucides).....	11
I.6.6. Test de Liebermann-Burchard (pour les stéroïdes).....	11
Références bibliographiques.....	12

CHAPITRE II : PRESENTATION DES PLANTES ETUDIEES

II.1. <i>Sideritis incana</i>	14
II.1.1. Description.....	14
II.1.2. Classification botanique.....	15
II.1.3. Utilisation médicinale.....	16
II.1.4. Composition, activités biologiques.....	16
II.2. <i>Sideritis romana</i>	16
II.2.1. Description.....	16
II.2.2. Classification botanique.....	17
II.2.3. Morphologie et habitat.....	17
II.2.4. Utilisation médicinale.....	17
II.2.5. Composition, activités biologiques.....	18
Références bibliographiques.....	19

CHAPITRE III : MATIERE GRASSE

III.1. Définition.....	20
III.2. Classification.....	21
III.2.1. Les triglycérides.....	21
III.2.2. Les acides gras.....	21
III.2.2.1. Les acides gras saturés.....	22
III.2.2.2. Les acides gras mono-insaturés.....	22
III.2.2.3. Les acides gras polyinsaturés (AGPI).....	22
III.2.3. Les phospholipides.....	22
III.2.4. Les stérols.....	23
III.3. Biosynthèse.....	23
III.3.1. Définition.....	23
III.3.2. Voie de biosynthèse des acides gras.....	23
III.3.3. Régulation de la biosynthèse des matières grasses.....	23
III.3.4. Origine des précurseurs de la matière grasse.....	24
III.3.5. Localisation de la biosynthèse des matières grasses.....	24
III.4. Rôles des matières grasses dans l'organisme.....	24
Références bibliographiques.....	25

CHAPITRE IV : DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES D'UNE HUILE VEGETALE

IV .1. Caractères physiques.....	26
IV.1.1. Indice de réfraction.....	26
IV.1.2. Le potentiel d'hydrogène (pH).....	27
IV.1.3 Absorbance dans l'ultraviolet.....	27
IV .2. Caractères Chimiques.....	28
IV.2.1. Indice d'acide.....	28
IV.2.2. Acidité.....	28
IV.2.3. Indice de peroxyde.....	29
Références bibliographiques.....	30

CHAPITRE V : LES COMPOSES PHENOLIQUES

V.1. Métabolites primaires.....	31
V.1.1. Glucides.....	31
V.1.2. Protéines.....	31
V.1.3. Acides aminés.....	31
V.1.4. Lipides.....	32
V.1.5. Acides nucléiques.....	32
V.2. Les métabolites secondaires.....	32
V.2.1. Alcaloïdes.....	32

V.2.2. Terpènes.....	33
V.2.3. Composés phénoliques.....	33
V.2.3.1. Structure et classification.....	34
V.2.3.1.1. Acides phénoliques.....	34
V.2.3.1.2. Flavonoïdes.....	35
V.2.3.1.3. Saponines.....	36
V.2.3.1.4. Coumarines.....	36
V.2.3.1.5. Tanins.....	36
V.2.3.1.6. Anthocyanes.....	37
V.2.3.1.7. Terpénoïdes.....	37
V.2.3.1.8. Stilbènes.....	38
V.2.3.2. Rôle des composés phénoliques.....	38
V.2.3.3. Biosynthèse des polyphénols.....	39
Références bibliographiques	40

CHAPITRE VI : RAPPELS SUR LES QUELQUES ACTIVITES BIOLOGIQUES

VI. Activités biologiques.....	42
VI.1. Activité antioxydante.....	42
VI.1.1. Stress oxydant.....	42
VI.1.1.1. Définition du stress.....	42
VI.1.1.2. Les espèces oxygénées activées.....	42
VI.1.1.3. Stress oxydant et maladies.....	43
VI.1.1.4. Mesure du stress oxydant.....	43
VI.1.2. Les radicaux libres.....	43
VI.1.2.1. Formation des radicaux libres.....	44
VI.1.2.2. Rôles physiologiques des radicaux libres.....	44
VI.1.3. Antioxydants.....	44
VI.1.3.1. Antioxydants et santé.....	45
VI.1.3.2. Rôle des antioxydants.....	45
VI.1.3.3. Types d'antioxydants.....	45
VI.1.4. Utilisation des plantes médicinales.....	47
VI.1.5. Méthode de détermination de l'activité antioxydante.....	48
VI.2. Activité Anti inflammatoire.....	49
VI.2.1. Les médiateurs d'inflammation.....	50
VI.2.2. Les pathologies inflammatoires.....	50
VI.2.3. Les anti-inflammatoires.....	50
VI.2.3.1. Anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS).....	50
VI.2.3.2. Anti-inflammatoires stéroïdiens (les corticostéroïdes).....	51
VI.2.3.3. Les anti-inflammatoires d'origine naturelle.....	51
VI.2.3.4. Les anti-inflammatoires médicamenteux.....	52
VI.2.3.5. Utilisation des plantes.....	53
Références bibliographiques	54

DEUXIEME PARTIE PARTIE EXPERIMENTALE

I. Objectifs	56
I.1. Objectif général.....	56
I.2. Objectifs spécifiques.....	56
II : Matériel et Méthodes	56
II.1. Présentation des régions d'étude.....	56
II.1.1. El Ouanza.....	56
II.1.2. Parc national d'El kala.....	57
II.2. Matériel végétal.....	58
II.2.1. Récolte du matériel végétal.....	58

II.2.2. Séchage et conservation du matériel végétal.....	58
II.2.3. Broyage.....	59
II.3. Screening phytochimiques.....	59
II.3.1. Saponines (Test de la mousse).....	59
II.3.2. Huiles volatiles.....	59
II.3.3. Flavonoïdes.....	60
II.3.4. Alcaloïdes.....	60
II.3.5. Leuco-Anthocyanes.....	60
II.3.6. Tanins.....	60
II.3.7. Cardénolides.....	60
II.3.8. Anthocyanes.....	60
II.4. Procédé d'extraction des huiles fixes.....	60
II.4.1. Extraction par Soxhlet.....	60
II.4.2. Rendement d'extraction.....	61
II.5. Détermination des caractéristiques physico-chimiques de l'huile étudiée.....	62
II.5.1. Caractères physiques.....	62
II.5.1.1. Indice de réfraction.....	62
II.5.1.2. Absorbance dans l'ultraviolet.....	62
II.5.1.3. Le potentiel d'hydrogène (pH).....	63
II.5.2. Caractères chimiques.....	63
II.5.2.1. Indice d'acide.....	63
II.5.2.2. Acidité.....	64
II.5.2.3. Indice de peroxyde.....	64
II.6. Dosage des composés phénoliques.....	65
II.6.1. Dosage polyphénols totaux (PPT).....	65
II.6.2. Dosage de Flavonoïdes.....	66
II.6.3. Dosage des tanins.....	67
II.7. Activités biologiques.....	68
II.7.1. Evaluation de l'activité antioxydante.....	68
II.7.1.1. Test de piégeage de radical libre DPPH.....	68
II.7.1.2. Méthode du pouvoir réducteur ferrique (FRAP).....	70
II.7.1.3. Activité de piégeage du peroxyde d'hydrogène (H ₂ O ₂).....	71
II.7.2. Evaluation de l'activité anti-inflammatoire.....	71
II.8. Analyse des composés phénoliques par HPLC.....	72
III : Résultats et discussions.....	73
III.1. Screening Phytochimiques.....	73
III.2. Extraction des huiles végétales.....	74
III.2.1. Caractéristiques physico-chimiques.....	74
III.2.1.1. Caractères physiques.....	74
III.2.1.2. Caractères chimique.....	76
III.3. Dosage des composés phénoliques.....	77
III.3.1. Dosage des polyphénols totaux.....	78
III.3.2. Dosage des flavonoïdes.....	79
III.3.3. Dosage des tanins.....	80
III.4. Activités biologiques.....	81
III.4.1. Activité antioxydante.....	81
III.4.2. Activité anti Inflammatoire.....	82
III.5. Analyse par HPLC.....	83
Références bibliographiques.....	87
CONCLUSION.....	91
ANNEXES.....	93

DEDICACE

À la mémoire de mes très chers parents : Yasmina et Abdelmadjid.

A mon fils Mohamed Ramy

A mes frères Djamel, Mourad, Nabil, Yassine, et Mounir

Cette dédicace est une expression de l'amour éternel que je vous porte. Que notre lien familial continue de s'épanouir dans l'amour, le respect et la complicité.

Soraya

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir donné la santé, la patience, la force et la volonté de faire ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude spéciale envers le Pr DJILANI Salah Eddine qui m'a accompagné tout au long de mes cinq années de thèse. Il a toujours été à mes côtés, attentif à mes multiples interrogations, et toujours intéressé par l'avancement de mes travaux. Les multiples échanges que nous avons eus ainsi que ses recommandations jouent un rôle essentiel dans le résultat final de cette tâche. J'ai pu constater grâce à sa capacité d'analyse et à son enthousiasme que le domaine de la recherche pouvait être un monde captivant. Finalement, ses multiples révisions et corrections de cette thèse ont été extrêmement appréciées. Il exprime sa grande gratitude envers cette thèse. Je suis extrêmement reconnaissant pour tout cela.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au Docteur BOUJARRA Boudjema pour avoir co-encadré ce travail de thèse. Je lui suis vraiment reconnaissant pour le temps qu'il m'a accordé avec générosité.

Je suis profondément reconnaissante envers le Dr DADDA Noureddine pour sa disponibilité et son engagement à présider le jury.

J'adresse mes remerciements les plus chaleureux au Professeur MESSAI Amel, le Docteur BOUZATA Chouhaira, au Docteur DRANA Radia ainsi qu'au Professeur HAMEL Tarek pour leur présence bienveillante et leur intérêt pour mon travail.

الملخص:

يؤكد التقييم الأولي للتركيب الكيميائي النباتي لنباتين من عائلة *Lamiaceae*: *Sideritis incana* و *Sideritis romana*، وجود بعض العائلات الكيميائية مثل الصابونين والزيوت الطيارة والقلويدات والفلافونويد والكاردينوليدات والعفص والأنثوسيانين وغيرها. وقد أعطى استخلاص الزيوت الثابتة بطريقة سوكلبي عائداً قدره 0.46% لـ *Sideritis incana* و 0.79% لـ *Sideritis romana*. إن الجودة الفيزيائية والكيميائية لهذه الزيوت تتوافق مع معايير Codex Alimentarius (1983). تشير نتائج التحديد الطيفي للمركبات الفينولية إلى أن المستخلص الميثانولي يحتوي على أعلى محتوى. كما كشف النشاط المضاد للأكسدة (الذي تم تقييمه بثلاث تقنيات مختلفة: اختبار DPPH، اختبار H₂O₂، واختبار اختزال الحديد)، أن هذا المستخلص يتمتع، بقوة مضادة للأكسدة ممتازة مقارنة بالمستخلصات الأخرى التي تم اختبارها. وباستخدام HPLC، تمكنا من تحديد 12 مركباً في المستخلص الميثانولي لـ *Sideritis incana* و 10 مركبات في المستخلص الميثانولي لـ *Sideritis romana*، ومن بينها -7 Luteolin، Rutine و glucoside و Naringine.

الكلمات الدالة: *Sideritis incana*، *Sideritis romana*، الفحص الكيميائي النباتي، المعايير الفيزيائية والكيميائية، FRAP، DPPH، HPLC.

Abstract:

The preliminary evaluation of the phytochemical composition of two plants of the Lamiaceae family: *Sideritis incana* and *Sideritis romana*, confirms the presence of certain chemical families such as saponins, volatile oils, alkaloids, flavonoids, cardenolides, tannins, anthocyanins, ...etc. The extraction of fixed oils by Soxhlet gave a yield of 0.46% for *Sideritis incana* and 0.79% for *Sideritis romana*. The physicochemical quality of these oils is in accordance with the standards of the Codex Alimentarius (1983). The spectrophotometric results of phenolic compounds indicate that the methanolic extract has the highest content. The antioxidant activity (evaluated by three different techniques: DPPH test, H₂O₂ test and iron reduction test), also revealed that this extract has, overall, an excellent antioxidant power compared to other extracts tested. Using HPLC, we were able to identify 12 compounds in the methanolic extract of *Sideritis Incana* and 10 compounds in the methanolic extract of *Sideritis romana*, among which Luteolin 7-glucoside, Rutin and Naringinine are distinguished.

Keywords: *Sideritis incana*, *Sideritis romana*, phytochemical screening, physicochemical parameters, FRAP, DPPH, HPLC.

Résumé :

L'évaluation préliminaire de la composition phytochimique de deux plantes de la famille des Lamiacées : *Sideritis incana* et *Sideritis romana*, confirme la présence de certaines familles chimiques telles que les saponines, les huiles volatiles, les alcaloïdes, les flavonoïdes, les cardénolides, les tanins, les anthocyanes, ...etc. L'extraction des huiles fixes par Soxhlet a donné un rendement de 0,46% pour *Sideritis incana* et 0,79% pour *Sideritis romana*. La qualité physicochimique de ces huiles est en accord avec les normes du Codex alimentaire (1983). Les résultats du dosage spectrophotométrique des composés phénoliques indiquent que l'extrait méthanolique présente la teneur la plus élevée. L'activité antioxydante (évaluée par trois techniques différentes : test DPPH, test H₂O₂ et test de réduction du fer), a révélé aussi que cet extrait possède, globalement, un excellent pouvoir antioxydant par rapport aux autres extraits testés. En utilisant l'HPLC, nous avons pu identifier 12 composés dans l'extrait méthanolique de *Sideritis Incana* et 10 composés dans l'extrait méthanolique de *Sideritis romana*, parmi lesquels se distinguent la Luteolin 7-glucoside, la Rutin et la Naringinine.

Mots-clés : *Sideritis incana*, *Sideritis romana*, screening phytochimique, paramètres physicochimiques, FRAP, DPPH, HPLC.

LISTE DES TABLEAUX

N°	Titres	Pages
Tableau 1	Exemple de quelques classes et leurs intérêts pharmacologiques	8
Tableau 2	Classification botanique de <i>Sideritis incana</i>	15
Tableau 3	Classification botanique de <i>Sideriti romana</i>	17
Tableau 4	Quelques plantes riches en antioxydants.	47
Tableau 5	Quelques exemples d'anti-inflammatoires naturels	52
Tableau 6	Exemple de plantes médicinales ayant des propriétés anti-inflammatoires	53
Tableau 7	Screening phytochimiques des deux plantes étudiées.	73
Tableau 8	Indice de réfraction de l'huile végétale des plantes étudiées	74
Tableau 9	Absorbance de l'huile végétale de <i>Sideritis incana</i> et <i>Sideritis romana</i> .	75
Tableau 10	Indice d'acide de l'huile végétale de <i>Sideritis incana</i> et <i>Sideritis romana</i>	76
Tableau 11	Acidité de l'huile végétale de <i>Sideritis incana</i> et <i>Sideritis romana</i> .	76
Tableau 12	Indice de peroxyde de l'huile végétale de <i>Sideritis incana</i> et <i>Sidérítis romana</i>	77
Tableau 13	Teneur polyphénols totaux (EAG mg/100 g MS).	78
Tableau 14	Teneurs en Flavonoïdes (mg EQ/100g MS).	79
Tableau 15	Teneurs en tanins (mg EC/100g MS).	80
Tableau 16	Activité antioxydante de différents extraits de <i>Sideritis romana</i> et <i>Sideritis incana</i> .	81
Tableau 17	Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de la BSA par le Diclofénac sodique et les extraits méthanoliques de <i>Sideriti sromana</i> et <i>Sideritis incana</i> .	82
Tableau 18	Efficacité anti-inflammatoire (IC ₅₀) du diclofénac et des extraits méthanoliques de <i>Sideritis romana</i> et <i>Sideritis incana</i>	83
Tableau 19	Résultats d'analyse par HPLC de l'extrait méthanolique de <i>Sideritis romana</i>	84
Tableau 20	Résultats d'analyse HPLC de l'extrait méthanolique de <i>Sideritis Incana</i>	85

LISTE DES FIGURES

N°	Titres	Pages
Figure1	Structure de Quinine et Morphine	7
Figure 2	Structure de base des flavonoïdes	7
Figure 3	Structure de l'Isoprène et Limonène	7
Figure 4	Structure de Glycyrrhizine	9
Figure 5	Structure d'Acide rosmarinique	9
Figure 6	Structure de base des Coumarines	9
Figure7	Structure de Cyanidine	9
Figure 8	Structure de lignane Sécoisolariciresinol	10
Figure 9	Structure de Bêta-sitostérol	10
Figure 10	<i>Sideritis incana</i>	15
Figure 11	<i>Sideritis romana</i>	17
Figure 12	Structure d'un triglycéride	21
Figure 13	Schéma de l'acide stéarique (C ₁₈ H ₃₆ O ₂)	22
Figure 14	Noyau de base des stérols	23
Figure15	Structures de quelques Glucides	31
Figure 16	Structures de quelques Alcaloïdes	33
Figure 17	Structures de quelques Terpènes	33
Figure 18	Structures de quelques Flavonoïdes	36
Figure 19	Structures de quelques Tanins	37
Figure 20	Réaction du test DPPH	48
Figure 21	Schéma de la réaction de test FRAP	49
Figure 22	Situation géographique de la région El Ouansa	57
Figure 23	Situation géographique du Park national d'El Kala	58
Figure 24	<i>Sideritis incana</i> sèche	59
Figure 25	<i>Sideritis romana</i> sèche	59
Figure26	Extraction de l'huile fixe	61
Figure 27	Structure de l'acide gallique (Acide 3, 4,5-trihydroxybenzouique)	66
Figure 28	Structure de la catéchine	67
Figure29	Réaction de piégeage du radical DPPH par le phénol	69
Figure 30	Teneur en composés phénoliques totaux (EAG mg/100 g MS) de <i>S. Romana</i> et de <i>S. incana</i>	78
Figure 31	Teneur en flavonoïdes totaux (EQ mg/100 g MS) de <i>S. Romana</i> et de <i>S. incana</i> .	79
Figure 32	Teneur en tanins (EQ mg/100 g MS) de <i>S. Romana</i> et <i>S. incana</i>	80
Figure 33	Activité anti-inflammatoire du diclofénac et des extraits méthanoliques de <i>Sideritis romana</i> et <i>Sideritis incana</i> .	83
Figure 34	Structures chimiques des principaux produits identifiés	86

LISTE DES PHOTOS

Photo1	Réfractomètre d'Abbe	26
Photo2	PH mètre	27
Photo3	Spectrophotomètre UV	28

SYMBOLES ET ABREVIATIONS

A	Absorbance
ADN	Acide désoxyribonucléique
AG	Acide gras
AFNOR	Association Française de Normalisation
AINS	Anti-inflammatoires non stéroïdiens
AGPI	Acides gras polyinsaturés
AGL	Les acides gras libres
AGI	Acides gras insaturés
ARN	Acide ribonucléique
°C	Degré Celsius
DPPH	2, 2-diphényl-1 picrylhydrazyle
Fe²⁺	Ions ferreux
Fe³⁺	Ions ferriques
FCR	Réactif de Folin–Ciocalteu
FRAP	Ferric reducing antioxidant power
FeCl₃	Chlorure ferrique
HPLC	Chromatographie liquide à haute performance
H₂O₂	Peroxyde d'hydrogène
HV	Huile végétale
IC50	Concentration inhibitrice
IR	Indice de réfraction
IA	Indice d'acide
IP	Indice de peroxyde
KI	Iodure de potassium
Na₂S₂O₃	Thiosulfate de sodium
P.N.E.K	Parc National d'El Kala
PPT	Polyphénols totaux
PI	Pourcentage d'inhibition
pH	Potentiel d'hydrogène
Rd (%)	Rendement en pourcentage
RL	Radical libre
SR	<i>Sideritis Romana</i>
SI	<i>Sideritis Incana</i>
TC	Tanins condensés
UV	Ultra-violet
λ	longueur d'onde

INTRODUCTION

Différentes traditions médicales font appel à des plantes, appartenant à plusieurs familles botaniques, pour soigner diverses pathologies. Les labiées, connues aussi sous le nom de lamiacées, font partie de ces familles [1]. Ce sont des plantes herbacées et des sous-arbustes répandus à travers le monde [2] et s'intègrent très bien à la flore algérienne [3].

Au total, 6700 espèces de lamiacées sont identifiées, regroupées en 250 genres [4]. Il est important de noter que c'est l'une des familles d'épices et d'extraits les plus utilisées au monde qui se distingue par la présence d'huiles essentielles [5]. Plusieurs espèces de lamiacées constituent des sources riches en terpénoïdes, flavonoïdes, irioïdes glycolysés, ainsi qu'en composés phénoliques, entre autres [6,7].

Toutefois, Il est important de noter que les recherches sur ces plantes sont toujours en cours et qu'il est nécessaire de mener des études supplémentaires pour approfondir notre compréhension de leur efficacité et de leur sécurité [2].

Parmi les végétaux appartenant à cette famille, on trouve *Sideritis incana* et *Sideritis romana*, également connue sous le nom de "sideritis" ou "sauge des montagnes". Ces herbes aromatiques qui poussent principalement dans la région méditerranéenne, sont utilisées depuis des siècles dans la médecine traditionnelle pour leurs propriétés bénéfiques, notamment dans le traitement des troubles respiratoires, des problèmes digestifs, des inflammations et autres. La partie aérienne des plantes, y compris les feuilles et les fleurs, est couramment employée dans la préparation d'infusions et de décoctions aux vertus médicinales.

L'objectif principal de la présente étude consiste à l'étude phytochimique de *Sideritis incana* et de *Sideritis romana* par l'évaluation de l'activité antioxydante et l'activité anti-inflammatoire tout en identifiant les principaux composés bioactifs responsables de ces activités.

Ce travail est divisé en deux grandes parties :

La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique sur les plantes utilisées.

La seconde est une partie expérimentale, comprenant :

- **Matériels et méthodes** : Screening phytochimique - Quantification des polyphénols et des flavonoïdes totaux - Evaluation de quelques activités biologiques - Identification et caractérisation de quelques composés bioactifs par HPLC.
- **Présentation des résultats et discussion.**

Et on termine par une conclusion.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Purba, E. C., Silalahi, M. *J. of Ethn. Foods.*, 5, 114-120., **2018**.
- [2] Kloukina, C.; Tomou, Krigas, N.; E. M.; Madesis, P.; Sarropoulou, V.; Maloupa, E.; Skaltsa, H. *Ind. Crop. Prod.*, 158, 112957-112976, **2020**.
- [3] González-Burgos, E.; Gómez-Serranillos, M. P.; Carretero, M. E.; A review. *J. ethnopharmacol.*, 135, 209-225, **2011**.
- [4] Abe, G. A. B. Nutritional value, Anti-nutrient level and effect of processing on HyptisspicigeraLamiaceae seed (Black beniseed) as Human Food. Doctoral dissertation, Jkuat-Agriculture, **2019**.
- [5] Bojović, D., Janković, S., Potpara, Z., & Tadić, V. *Serb.J. Exp. Clin. Res.*, 12, 109-122, **2011**.
- [6] Liang, Z., Currais, A., Soriano-Castell, D., Schubert, D., Maher, P. *Pharmacol. Ther.*, 221, 107749, **2021**.
- [7] Loğoğlu, E., Arslan, S., Öktemer, A., Şakōyan, İ. *Phytother Res.*, 20, 294-297, **2006**.

LA PHYTOTHERAPIE ET LES PLANTES MEDICINALES

L'efficacité et la sécurité de la phytothérapie et des plantes médicinales est la cible de plusieurs études scientifiques. Ce qui rend la recherche de ce domaine crucial est que de nombreux médicaments modernes sont dérivés de composés issus de plantes [1-5].

La phytothérapie traite divers problèmes de santé en utilisant une variété de plantes médicinales

Voici quelques exemples de plantes utilisées dans la phytothérapie :

Échinacée (*Echinacea purpurea*) : utilisée pour traiter les infections respiratoires et stimuler le système immunitaire [6].

Ginkgo biloba : utilisé dans le but d'améliorer la circulation sanguine, la mémoire et les fonctions cognitives [7].

Millepertuis (*Hypericum perforatum*) : utilisé pour traiter la dépression légère à modérée [8].

Camomille (*Matricaria chamomilla*) : utilisée pour calmer les troubles digestifs, l'anxiété et favoriser le sommeil [9].

Menthe poivrée (*Mentha x piperita*) : utilisée pour soulager les troubles digestifs, le syndrome du côlon irritable et les maux de tête [10].

I.1. La phytothérapie

La phytothérapie, également appelée herboristerie, est un traitement médical qui utilise des extraits de plantes tels que les feuilles, les fleurs, les racines, les écorces ou les graines employés pour l'amélioration de la santé et le traitement des maladies. Elle utilise des composés phyto-complexes, des huiles essentielles, des tanins, des flavonoïdes et d'autres principes actifs des plantes [11-13].

I.1.1. Principe de la phytothérapie

La phytothérapie consiste à utiliser des composés actifs dans différentes parties des plantes, comme les feuilles, les fleurs, les racines, les écorces ou les graines. Les propriétés médicales de ces composés peuvent inclure des effets anti-inflammatoires, antioxydants, antimicrobiens et analgésiques. La phytothérapie peut être utilisée de manière isolée ou en collaboration avec d'autres types de soins médicaux.

I.1.2. Avantages de la phytothérapie

L'utilisation médicale d'extraits de plantes est connue sous le nom de phytothérapie, peut avoir plusieurs avantages, tels que la camomille [14], la valériane [15], la réduction de l'anxiété et le saule blanc [16].

I.1.3. Les plantes médicinales

Les plantes utilisées comme médicaments sont appelées plantes médicinales. En raison de leurs propriétés curatives. Ils contiennent des éléments chimiques naturels qui peuvent être bénéfiques pour la santé humaine.

Les plantes médicinales ont été employées depuis des millénaires par diverses cultures à travers le monde dans le but de traiter et soulager divers troubles de santé, comme les symptômes courants (les maux de tête et les troubles digestifs), ainsi que les problèmes de santé plus complexes (l'hypertension, le diabète et les maladies infectieuses) [17-20].

I.2. Historique (les plantes et l'environnement)

Les plantes et leur relation avec l'environnement ont une histoire qui remonte à plusieurs millions d'années.

I.2.1. Premières apparition des plantes Terrestres : Ces plantes sont apparues depuis environ 500 millions d'années. L'évolution des plantes terrestres a été un processus graduel, marqué par des adaptations pour résister à la gravité, à la dessiccation et à l'absence de nutriments [21].

I.2.2. Apparition des plantes à fleurs : Les plantes à fleurs, également appelées angiospermes, sont apparues il y a environ 130 millions d'années. Elles ont connu une radiation évolutive rapide et sont devenues le groupe de plantes dominant sur terre. Les fleurs ont joué un rôle clé dans leur succès, en permettant une reproduction plus efficace grâce à la pollinisation par les insectes, les oiseaux et d'autres animaux [22].

I.3. Les plantes aromatiques et médicinales et leurs différentes formes d'utilisation

Les plantes médicinales et aromatiques ont été utilisées dans différentes cultures à travers le monde depuis des milliers d'années. Leurs différentes formes d'utilisation incluent l'usage interne et externe, ainsi que la préparation de produits dérivés tels que les huiles essentielles, les infusions, les décoctions et les teintures.

I.3.1. Plantes médicinales utilisées en phytothérapie : La phytothérapie utilise les plantes médicinales pour traiter ou prévenir différentes affections. Les plantes peuvent être consommées sous forme de tisanes, de capsules, de comprimés ou de teintures. Par exemple, l'échinacée (*Echinacea purpurea*) est utilisée pour stimuler le système immunitaire, tandis que la camomille (*Matricaria chamomilla*) est connue pour ses propriétés apaisantes et anti-inflammatoires [23].

I.3.2. Plantes médicinales utilisées en médecine traditionnelle : De nombreuses cultures ont développé des systèmes de médecine traditionnelle basés sur l'utilisation de plantes médicinales. Par exemple, la médecine traditionnelle chinoise utilise des herbes telles que le

ginseng (*Panax ginseng*) et le ginkgo (*Ginkgo biloba*) depuis des siècles pour traiter diverses affections et promouvoir la santé [24].

I.4. interaction entre plantes et médicaments

L'interaction entre les plantes et les médicaments est un sujet important à prendre en compte car certaines plantes thérapeutiques peuvent interagir avec certains médicaments sur ordonnance. Ces interactions peuvent influencer l'efficacité des médicaments ou entraîner des effets indésirables.

I.4.1. Interaction médicamenteuse des plantes : Certaines plantes médicinales contiennent des composés actifs qui peuvent interagir avec les enzymes du foie qui métabolisent les médicaments. Cela affecte l'absorption, la distribution, le métabolisme ou l'élimination des médicaments.

- Par exemple, l'herbe de Saint-Jean (*Hypericum perforatum*) peut induire l'enzyme CYP3A4, responsable du métabolisme de nombreux médicaments, entraînant une diminution de leur concentration dans le corps [25].

I.4.2. Évaluation de l'interaction plante-médicament : L'évaluation des interactions entre les plantes et les médicaments peut être complexe en raison de la variété des composés présents dans les plantes et des différentes voies métaboliques des médicaments. Les composés actifs des plantes sont également identifiés et quantifiés à l'aide de techniques analytiques telles que la chromatographie liquide à haute performance (HPLC) [26].

I.5. Les principes actifs

Les composés chimiques qui sont responsables des effets thérapeutiques ou pharmacologiques des plantes médicinales sont appelés principes actifs des plantes. Ces composés diffèrent d'une plante à l'autre et ont un impact significatif sur la façon dont ils interagissent avec les médicaments.

I.5.1. Alcaloïdes : Les alcaloïdes sont des composés azotés organiques avec des effets pharmacologiques considérables. La quinine, qui est présente dans l'écorce du quinquina (*Cinchona* spp.), est par exemple utilisée pour traiter le paludisme. Les alcaloïdes de la morphine, qui sont trouvés dans le pavot à opium (*Papaver somniferum*), sont utilisés comme médicaments pour l'analgésique [27].

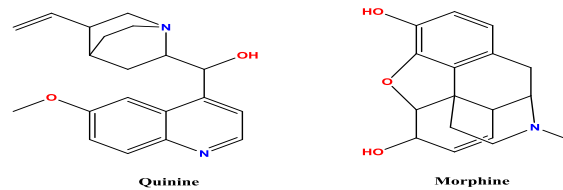


Figure 1 : Structure de la quinine et la morphine.

I.5.2. Flavonoïdes : De nombreuses plantes contiennent des composés phénoliques appelés flavonoïdes. Ces derniers présentent des activités antioxydants et anti-inflammatoires puissantes. La structure de base des flavonoïdes est présentée dans la figure.2

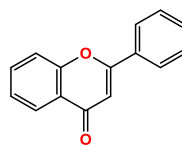


Figure 2 : Structure de base des Flavonoïdes

I.5.3. Terpénoïdes : Les terpénoïdes, appelés terpènes, sont une classe de substances chimiques fréquemment trouvées dans les huiles essentielles des plantes. Ils ont des effets pharmacologiques variés, y compris antiseptiques, anti-inflammatoires et analgésiques. Par exemple, le limonène des agrumes a des effets antioxydants et anticancéreux [28].

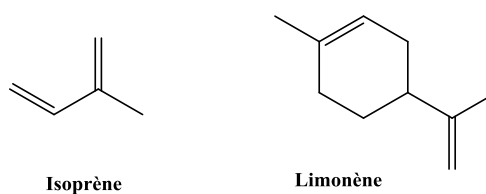
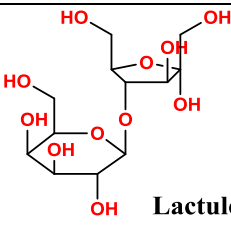
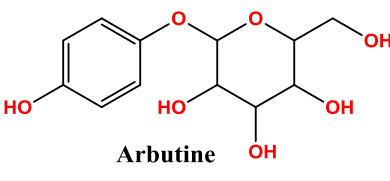
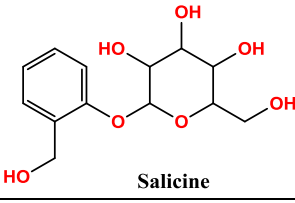
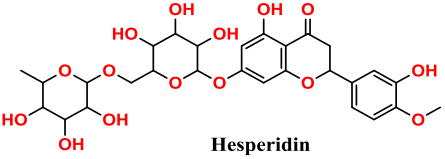
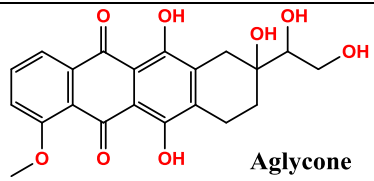
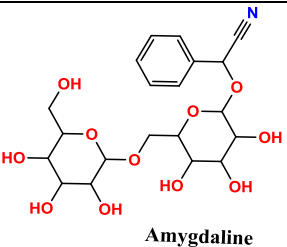


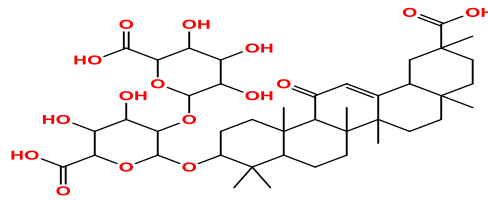
Figure 3 : Structure de l'Isoprène et Limonène.

I.5.4. Glycosides : Les glycosides sont des composés où un sucre est lié à un autre composé chimique, comme un alcaloïde ou un flavonoïde. Il existe plusieurs classes de glycosides qui sont classés selon la structure de la glycine et de l'aglycone. **Le tableau 1** collecte un exemple de quelques classes et leurs intérêts pharmacologiques.

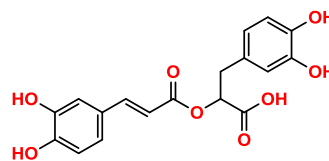
Tableau 1 : Exemple de quelques classes et leurs intérêts pharmacologiques

Classe	Structure	Intérêt pharmacologique
Glycosides Anthraquinonique	 <p style="text-align: center;">Lactulose</p>	Effets Laxatif
Glycosides phénoliques simples (arbutosides)	 <p style="text-align: center;">Arbutine</p>	Antipyrétique, Analgésique et Antirhumatismale
Glycosides alcooliques	 <p style="text-align: center;">Salicine</p>	Antipyrétique, Analgésique et Antirhumatismale
Glycosides flavonoïdes	 <p style="text-align: center;">Hesperidin</p>	- Effet antioxydant. - Réduit la fragilité capillaire
Glycosides cardiaques	 <p style="text-align: center;">Aglycone</p>	Traitement des maladies cardiaques
Glycosides cyanogéniques	 <p style="text-align: center;">Amygdaline</p>	Antibiotique, Anti-inflammatoire, Anti-hypertrophique cardiaque, Antiulcéreux, Hypoglycémique, et Anti tumoral

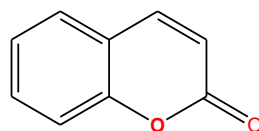
I.5.5. Saponines : Les saponines sont des glycosides qui sont à la fois tensioactifs et astringents. Ils sont fréquemment trouvés dans les plantes médicinales et ont des effets antimicrobiens, anti-inflammatoires et anticancéreux. Par exemple, la réglisse (*Glycyrrhiza glabra*) contient une saponine triterpénoïde appelée glycyrrhizine, qui est utilisée pour ses propriétés antiulcéreuses et anti-inflammatoires [30].

**Figure 4** : Structure de Glycyrrhizine

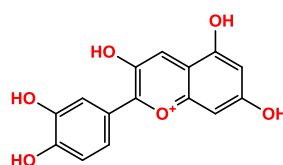
I.5.6. Acides phénoliques : De nombreuses plantes contiennent des composés chimiques appelés acides phénoliques. Ils sont antioxydants, anti-inflammatoires et antimicrobiens. Par exemple, le romarin (*Rosmarinus officinalis*) contient de l'acide rosmarinique, qui a des propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires [31].

**Figure 5** : Structure d'Acide rosmarinique

I.5.7. Coumarines : De nombreuses plantes contiennent des composés chimiques appelés coumarines, qui ont souvent un parfum doux et agréable. En raison de leurs propriétés anticoagulantes, anti-inflammatoires et antitumorales, ils sont également anticoagulants. L'herniarine, qui se trouve dans la prêle des champs (*Equisetum arvense*), a des effets antispasmodiques et diurétiques [32].

**Figure 6** : Structure de base des Coumarines

I.5.8. Anthocyanes : Les couleurs vives des fruits, des légumes et des fleurs sont causées par des pigments naturels appelés anthocyanes. Ils sont antioxydants et anti-inflammatoires. Par exemple, la cyanidine, qui se trouve dans les baies comme les myrtilles (*Vaccinium* spp.), a des propriétés anti-inflammatoires et neuro protectrices [33].

**Figure 7** : Structure de Cyanidine

I.5.9. Tanins : Ce sont des composés chimiques qui se trouvent dans de nombreuses plantes, principalement dans les fruits, les écorces et les feuilles. Ils sont astringents et antioxydants. Les tanins de la grenade (*Punica granatum*), par exemple, ont démontré des propriétés anticancéreuses et anti-inflammatoires. [34].

I.5.10. Lignanes : De nombreuses plantes contiennent des composés phytochimiques appelés lignanes, en particulier les graines de lin (*Linum usitatissimum*) et du sésame (*Sesamum indicum*). Ils sont antioxydants et peuvent améliorer la santé hormonale. Par exemple, la lignane sécoisolariciresinol des graines de lin a un effet positif sur la santé cardiovasculaire. [35].

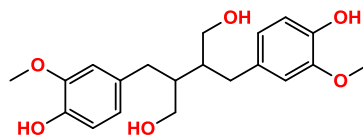


Figure 8 : Structure de lignane Sécoisolariciresinol

I.5.11. Stéroïdes végétaux : Les stéroïdes végétaux sont des composés chimiques présents dans les plantes, en particulier dans les graines, les fruits et les racines. Certains stéroïdes végétaux, tels que les stérols sont bénéfiques pour la santé cardiovasculaire et peuvent aider à réguler le taux de cholestérol. Par exemple, le bêta-sitostérol, présent dans plusieurs plantes comme le son de riz (*Oryza sativa*), a montré des effets hypocholestérolémiant [36].

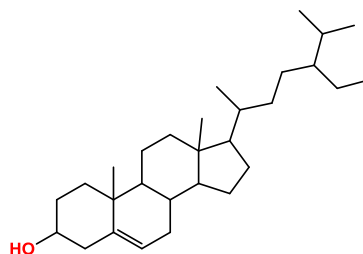


Figure 9 : Structure de Bêta-sitostérol

I.6. Tests phytochimiques

Ces tests sont des techniques utilisées pour trouver et identifier les divers composés bioactifs présents dans les plantes. En phytochimie, ces tests sont largement utilisés pour évaluer la composition chimique des extraits végétaux et identifier des groupes de composés tels que les tanins, les alcaloïdes, les flavonoïdes, etc.

I.6.1. Test de Dragendorff (pour les alcaloïdes) : La présence d'alcaloïdes dans les extraits de plantes peut être détectée à l'aide du test de Dragendorff. Il est basé sur la réaction des

alcoïdes et des ions bismuth du réactif de Dragendorff, ce qui produit un précipité de couleur orange à rouge [37].

I.6.2. Test de Folin-Ciocalteu (pour les polyphénols) : Le test de Folin-Ciocalteu est utilisé pour déterminer la quantité totale de polyphénols présents dans les extraits végétaux. Il repose sur la réaction des polyphénols avec le réactif de Folin-Ciocalteu, qui produit un complexe bleu qui peut être quantifié par spectrophotométrie [38].

I.6.3. Test de coloration à la vanilline (pour les flavonoïdes) : La présence de flavonoïdes dans les extraits végétaux peut être déterminée à l'aide d'un test de coloration à la vanilline. Il repose sur la réaction des flavonoïdes avec la solution de vanilline et l'acide sulfurique pour créer un complexe coloré [39].

I.6.4. Test de la gelée de plomb (pour les tanins) : La présence de tanins dans les extraits de plantes peut être déterminée par un test de gelée de plomb. Il repose sur la formation d'un précipité noir-bleuâtre en présence de tanins en raison d'une réaction entre les tanins et le réactif à base de plomb [40].

I.6.5. Test de Molisch (pour les glucides) : Le test de Molisch est utilisé pour déterminer si des glucides sont présents dans les extraits végétaux. Il est basé sur la façon dont les glucides réagissent avec le réactif Molisch et créent un complexe violet à rouge foncé [41].

I.6.6. Test de Liebermann-Burchard (pour les stéroïdes) : La présence de stéroïdes dans les extraits végétaux est confirmée à l'aide du test de Liebermann-Burchard. Il repose sur la réaction des stéroïdes avec l'acide sulfurique et l'acide acétique glacial, ce qui crée des composés colorés visibles [37].

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Desfontaines, V., Morel, J. M. *Phytothérapie : la santé par les plantes.*
- [2] Thévenin, T. *Le grand livre de la phytothérapie.*
- [3] Dufour, A., Minker, C. *Plantes médicinales : Mode d'emploi.*
- [4] Fleurentin, J. *Le guide des plantes qui soignent.*
- [5] Newman, D. J., Cragg, G. M. *J. nat. prod.*, 83, 770-803, **2020.**
- [6] Sharma, M., Anderson, S. A. *J. Clin. Pharm. Ther.*, 36, 414-422, **2011.**
- [7] Mix, J. A., Crews, W. J. D. *Altern. Complement. Med.*, 8, 811-817, **2002.**
- [8] Linde, K., Kriston, L., Berner, M. M. *Syst. Rev.*, 4, CD000448, **2008.**
- [9] Amsterdam, J. D., Shults, J., Mao, J. J., et al. *Altern. Ther. Health Med.*, 15, 38-44, **2009.**
- [10] Pittler, M. H., Ernst, E. *Am. J. Gastroenterol.*, 93, 1131-1135, **1998.**
- [11] Mills, S., Bone, K. *Phytotherapy: A Quick Reference to Herbal Medicine.* **2010.**
- [12] Mills, S., Bone, K. *Principles and Practice of Phytotherapy: Modern Herbal Medicine.* **2013.**
- [13] Bone, K., Mills, S. *Textbook of Phytotherapy.* **2013.**
- [14] McKay, D. L., Blumberg, J. B. *Phytother. Res.*, 20, 519-530, **2006.**
- [15] Sarris, J., Kavanagh, D. J. *J. Altern. Complement. Med.*, 13, 577-594, **2007.**
- [16] Chrubasik, S., Balan, E., Eisenberg, E. et al. *Am. J. Med.*, 109, 9-14, **2000.**
- [17] World Health Organization. *monographs on selected medicinal plants.* 1-4, Genève, Suisse, **2002.**
- [18] Farnsworth, N. R., Akerele, O., Bingel, A. S., Soejarto, D. D., Guo, Z. *Bull. World Health Organ.*, 63, 965-981, **1985.**
- [19] Ernst, E., Schmidt, K. *Phytotherapy: Evidence-based complementary and alternative medicine.* 2nd Ed. CRC press, **2010.**
- [20] Barnes, J., Anderson, L. A., Phillipson, J. D. *Herbal Medicines.* 3rd Ed. Pharmaceutical press, **2007.**
- [21] Kenrick, P., Crane, P. R. *Nature.*, 389, 33-39, **1997.**
- [22] Friedman, W. E. *Am. J. Botan.*, 96, 5-21, **2009.**
- [23] Mills, S., Bone, K. *The essential guide to herbal safety.* Elsevier Health Sciences, **2005.**
- [24] Bensky, D., Clavey, S. *Chinese herbal medicine: materia medica.* Eastland press, **2015.**
- [25] Zhou, S., Lim, L. Y., Chowbay, B., Herbal drug interactions expert committee. *Drug Metab. Rev.*, 40, 623-636, **2008.**

- [26] Zhou, S. F., Xue, C. C., Yu, X. Q., Li, C., Wang, G. *Therap. Drug Monit.*, 27, 702-724; **2007**.
- [27] Cordell, G. A. Alkaloids: An overview. In *The Alkaloids: chemistry and biology*, 74, 1-19, Elsevier, **2015**.
- [28] Zhang, Y., Xu, M. *Expert Opin. Inv. Drug.*, 29, 1445-1466, **2020**.
- [29] Veitch, N. C., Grayer, R. J. *Phytochem.*, 72, 1629-1637, **2011**.
- [30] Hostettmann, K., Marston, A., Hostettmann, M. Saponins. In *modern natural products chemistry and drug discovery*. Wiley, **2015**.
- [31] Alañón, M. E., Castro-Vázquez, L., Díaz-Maroto, M. C., Hermosín-Gutiérrez, I., Gordon, M. H. *Food Chem.*, 119, 946-951, **2010**.
- [32] Andrzejewska, A. M., Ekiert, H. *Postępy Fitoterapii.*, 12, 226-233, **2011**.
- [33] Wallace, T. C., Giusti, M. M. *Adv. Nutr.*, 10, 476-478, **2019**.
- [34] Li, Y., Guo, C., Yang, J., Wei, J., Xu, J., Cheng, S. *Food Chem.*, 96, 254-260, **2006**.
- [35] Brooks, J. D., Thompson, L. U., Wu, X. *J. Steroid Biochem. Mol. Biol.*, 118, 259-266, **2010**.
- [36] Demonty, I., Lin, Y., Zebregs, Y. E., Vermeer, M. A., van der Knaap, H. C. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 62, 377-385, **2008**.
- [37] Harborne, J. B. *Phytochemical methods: A guide to modern techniques of plant analysis*. Springer, **1998**.
- [38] Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Raventos, R. M. *Method. Enzymo.*, 299, 152-178, **1999**.
- [39] Markham, K. R. *Techniques of flavonoid identification*. Academic press, **1982**.
- [40] Evans, W. C. *Trease and Evans' pharmacognosy*. Elsevier health sciences, **2009**.
- [41] Wallis, T. E. *Textbook of pharmacognosy*. J. and A. Churchill Ltd, **1985**.

PRESENTATION DES PLANTES ETUDIEES

Depuis des siècles, les plantes médicinales *Sideritis incana* et *Sideritis romana* et, aussi appelées « thé des montagnes », sont employées pour leurs vertus curatives. On connaît leurs extraits pour leurs avantages pour la santé, en particulier pour les systèmes respiratoire, digestif et immunitaire. Les propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires de leurs composés actifs, comme les polyphénols et les flavonoïdes, ont été démontrées par de nombreuses recherches scientifiques. Traditionnellement, ces plantes ont été employées pour soigner des maladies comme les maux de gorge, les infections respiratoires et les troubles gastro-intestinaux [1].

II.1. MONOGRAPHIE de la première plante (*Sideritis incana*)

Malgré l'enquête approfondie de la littérature, peu de références ont été trouvées sur les plantes étudiées *sideritis incana* et *sideritis romana* :

II.1.1. Description

Sideritis incana appartient à la famille des Lamiacées (ou Labiées) et au genre *Sideritis* [2]. C'est une plante vivace arbustive qui pousse généralement jusqu'à 50 centimètres de hauteur. Elle possède des feuilles duveteuses et argentées, d'où son nom commun "incana" qui signifie "grise" en latin. Ses fleurs sont petites, jaunes ou blanches, regroupées en épis.

Tiges : Les tiges de *Sideritis incana* sont dressées, ramifiées et couvertes d'une pilosité dense.

Feuilles : Les feuilles sont opposées, simples, sessiles (sans pétiole) et de forme ovale à lancéolée. Elles ont une texture duveteuse et une couleur gris-vert argentée en raison de leur revêtement de poils.

Fleurs : Les fleurs sont petites et regroupées en inflorescences en forme d'épis terminaux. Elles peuvent être de couleur jaune pâle à blanche. Les fleurs de *Sideritis incana* sont hermaphrodites, ce qui signifie qu'elles contiennent à la fois des organes mâles et femelles.

Habitat : *Sideritis incana* est principalement présente dans les régions méditerranéennes, notamment en Grèce, en Turquie et en Espagne. Elle pousse souvent dans des zones montagneuses et rocailleuses.

Nom commun : En français : sauge des montagnes ou thé des montagnes. Ces noms font référence à la plante médicinale en raison de son utilisation traditionnelle pour préparer des infusions ou des tisanes aux propriétés bénéfiques pour la santé.

Le nom vernaculaire de *Sideritis incana* peut varier en fonction des régions et des langues, Saugé des montagnes-Thé des montagnes-Siderite incané-Herbe aux abeilles-Thé des Alpes.

Ces noms vernaculaires peuvent varier d'une région à l'autre et ne sont pas universellement utilisés. Ils peuvent être influencés par les traditions locales, les usages traditionnels et les régions géographiques où la plante est présente.

II.1.2. Classification botanique [3] :

Tableau 2 : Classification botanique de *Sideritis incana*

Règne	Plantae (Plantes)
Division	Magnoliophyta (Magnoliophytes)
Classe	Magnoliopsida (Dicotylédones)
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae (Lamiacées)
Genre	<i>Sideritis</i>
Espèce	<i>Sideritis incana</i>



Figure 10 : *Siderites incana* (Photo prise par S.E. Djilani - avril 2020)

II.1.3. Utilisation médicinale : Traditionnellement, la *Sideritis incana* est employée comme traitement pour atténuer les symptômes du rhume, de la grippe, des maux de tête et des problèmes digestifs. On lui reconnaît aussi ses vertus antioxydantes, antibactériennes et anti-inflammatoires [4,5].

II.1.4. Composition, activités biologiques :

Le genre *Sideritis* renferme différents composés phénoliques : acides caféique, chlorogénique et rosmarinique, ainsi que des flavonoïdes tels que la lutéoline et l'apigénine [6] et l'acide rosmarinique, les flavonoïdes et les tanins [7]. Et l'acide rosmarinique, les flavonoïdes et les tanins condensés [8].

Ce genre de *Sideritis* a toujours été perçu comme un remède traditionnel efficace en raison de ses nombreuses propriétés thérapeutiques : Les propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires : D'après cette recherche, il a été prouvé que les composés phénoliques provenant de diverses espèces de *Sideritis* ont des propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires, ce qui permet de préserver les globules rouges contre le stress oxydatif [9].

II.2. MONOGRAPHIE de la deuxième plante (*Sideritis romana*)

II.2.1. Description

La Sideritis romana est une plante vivace qui pousse jusqu'à 40 centimètres de hauteur. Ses feuilles sont ovales et vert foncé, et ses fleurs sont de couleur jaune pâle à blanche. Elle dégage une agréable odeur aromatique.

Sideritis romana ou *Sideritis raeseri* subsp. *raeseri* est une espèce de plantes herbacées d'une de plantes à fleurs qui s'appelle Lamiacées (ou Labiées), elle très répandue dans le monde.

Sideritis est un genre de plantes vivaces qui se rencontre principalement en Europe, en Afrique du Nord et en Asie occidentale. Les propriétés aromatiques et médicinales de ces plantes les rendent souvent connues sous le nom de "thés des montagnes". *Sideritis* est un genre de plantes qui compte environ 150 espèces.

II.2.2. Classification botanique**Tableau 3** : Classification botanique de *Sideritis romana*

Règne	Plantae (Plantes)
Division	Magnoliophyta (Magnoliophytes)
Classe	Magnoliopsida (Dicotylédones)
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae (Lamiacées)
Genre	Sideritis
Espèce	Sideritis romana

**Figure 11** : *Sideritis romana* (Photo prise par S.E. Djilani - avril 2020)**II.2.3. Morphologie et habitat:**

La *Sideritis romana* est une plante vivace originaire des montagnes d'Europe du Sud-Est, en Grèce, en Bulgarie et en Albanie.

Tiges : Les tiges dressées peuvent atteindre une hauteur de 30 à 60 centimètres.

Feuilles : Les feuilles sont ovales ou lancéolées, avec de petits poils.

Fleurs : Les fleurs de la *Sideritis romana* sont habituellement de couleur jaune et sont rassemblées en inflorescences compactes. La plante s'épanouit dans les zones rocailleuses et les prairies montagneuses [10,11].

II.2.4. Utilisation médicinale : La *Sideritis romana* est traditionnellement utilisée comme tonique et stimulant. Elle est connue pour ses effets bénéfiques sur la digestion, les maux de tête et la fatigue. Elle possède également des propriétés antiseptiques et expectorantes [12].

Dans la médecine traditionnelle, la *Sideritis romana* est employée depuis des siècles pour soigner différentes affections, telles que les problèmes gastro-intestinaux, les problèmes respiratoires, les infections et les troubles du système nerveux. La plante est aussi de plus en plus intéressée par le commerce pour la fabrication de compléments alimentaires, de produits de phytothérapie et de cosmétiques en raison de ses propriétés médicinales [13].

II.2.5.Composition chimique et activités biologiques :

La *Sideritis romana* est réputée pour sa composition chimique complexe, comprenant des composés tels que des flavonoïdes, des diterpènes, des triterpènes, des acides phénoliques et des huiles essentielles. Ces composés sont responsables des propriétés médicinales attribuées à la plante, notamment ses effets antioxydants, anti-inflammatoires, antimicrobiens et antiviraux [14,15].

Différentes études ont analysé la composition chimique spécifique de la *Sideritis romana*, révélant la présence de divers composés actifs. D'autres métabolites ont été identifiés dans la plante. Ces composés contribuent à ses propriétés médicinales et à son arôme caractéristique [16,17].

La *Sideritis romana* a été étudiée pour ses nombreuses activités biologiques et pharmacologiques. Des études ont démontré ses effets antioxydants, anti-inflammatoires, antimicrobiens, antitumoraux, immunomodulateurs, antidiabétiques, antiallergiques et neuro-protecteurs. Certains composés isolés de la plante ont montré des activités intéressantes, tels que les flavonoïdes et les terpènes [18,19].

Activité antioxydante : La plante *Sideritis romana* est connue pour son pouvoir antioxydant. En raison de leur concentration en composés phénoliques et flavonoïdes, des recherches ont suggéré que les extraits de cette plante possèdent des propriétés antioxydantes. Selon une recherche, il a été démontré que les extraits de *Sideritis romana* possédaient une activité antioxydante puissante, ce qui protège les cellules des dommages oxydatifs [20, 21].

Effets anti-inflammatoires : Selon des recherches, il a été démontré que les extraits de *Sideritis romana* ont la capacité d'inhiber l'expression de cytokines pro-inflammatoires et de diminuer l'inflammation dans des modèles cellulaires et animaux [21].

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] González-Burgos, E., Gómez-Serranillos M. P. *J. Ethnopharmacol.*; 135, 209-225, **2011**.
- [2] Bagni, N. *Sideritis L.* In: Tutin, T.G. Ed. *Flora Europaea*, 3, Diapensiaceae to myoporaceae, Cambridge university press; Cambridge, 266-268, **1973**.
- [3] Harley, R. M, Lamiaceae, In: Kubitzki, K. Ed. *The families and genera of vascular plants*, 7, Flowering plants - dicotyledons: Lamiales (except Acanthaceae including Avicenniaceae), Berlin: Springer-Verlag, 167-275, **2004**.
- [4] Şahin, F. *Indian J. Pharm. Sci.*, 73, 270-275, **2011**.
- [5] Karamenderes C, *J. Ethnopharmacol.*, 110, S1-S6. **2007**.
- [6] Stefanou, E. M. *Food Chem.*, 130, 844-852, **2012**.
- [7] Tadić, V. M. *Ind. Crop. Prod.*, 60, 318-327, **2014**.
- [8] Silici, S. *Food Chem.*, 124, 948-953, **2011**.
- [9] González-Burgos, E. *J. Agric. Food Chem.*, 57, 11256-11262, **2009**.
- [10] Pavlova, D., Zamfirova, E. *Phytol. Balcanic.*, 18, 247-252, **2012**.
- [11] Kaminoğlu, S., Kaya, A. *Caryologia.*, 65, 148-155, **2012**.
- [12] Stuppner, H. *Pharmazie.*, 57, 798-801, **2002**.
- [13] Bilia, A. R., Costa, M. C. *Planta Med.*, 73, 602-612, **2007**.
- [14] Gonçalves, S., Romano, A., Silva, A. M. *Phytochem. Anal.*, 24, 462-473, **2013**.
- [15] Tadić, V., Dobrić, S., Jeremić, I. et al. *Planta Med.*, 73, 381-388, **2007**.
- [16] Soković, M., Marin, P. D., Glamoclija, J. et al. *Rec. Nat. Prod.*, 3, 135-141, **2009**.
- [17] Zupkó, I., J., Réthy., Molnár, B. et al. *Phytother. Res.*, 23, 672-676, **2009**.
- [18] Akkol, E. K., Tatlı, I. I., Karatoprak, R. J. et al. *Ethnopharmacol.*, 198, 222-227, **2017**.
- [19] Todorova, M., Trendafilova, A., Tsankova, E., Atanassov, I. *J. Ethnopharmacol.*, 170, 68-74, **2015**.
- [20] Tadić ; V., Oliva, A., Božović, M., Cipolla, A., De Angelis, M., Vullo, V., Garzoli, S., Ragno, R. *Molecules.*, 20, 1395-1407, **2022**.
- [21] Żyżelewicz, , Warycha, K. K., Oracz, J., Żyżelewicz, K. *Molecules.*, 25, 3763-3790, **2020**

MATIERE GRASSE

Le corps et notre alimentation nécessitent des matières grasses (lipides). Les graisses jouent un rôle crucial dans la production d'énergie, la constitution de réserves énergétiques, la formation des membranes cellulaires et la production de précurseurs pour la synthèse d'autres molécules bioactives. La biosynthèse des matières grasses est un processus essentiel qui se déroule dans le corps humain, ce qui implique la synthèse de matières grasses à partir de précurseurs métaboliques [1-3].

III.1. Définition

La matière grasse, est un groupe de substances chimiques qui se trouve dans les plantes et les animaux. Les lipides jouent un crucial rôle dans les organismes vivants, tels que la source d'énergie, les composants structuraux des membranes cellulaires et les précurseurs de certaines molécules biologiquement actives.

La matière grasse est un composé chimique principalement composé de triglycérides. Elle se trouve au sein de différents aliments, tels que les huiles végétales, le beurre, les produits laitiers, les viandes grasses et les noix [4-6].

Il existe de types de matière grasse :

- **Matières grasses saturées**

Elles ne contiennent que des liaisons simples entre les atomes de carbone comme le beurre et l'huile de coco.

Les matières grasses saturées sont généralement d'origine animale et sont solides à température ambiante. Les acides gras saturés ne contiennent pas de doubles liaisons entre les atomes de carbone, ce qui les rend saturés. L'excès de matières grasses saturées augmente le risque de maladies cardiovasculaires [7].

- **Matières grasses insaturées**

Les matières grasses mono-insaturées et polyinsaturées sont des exemples de matières grasses insaturées. Ils sont principalement végétaux et peuvent devenir liquides à température ambiante [6].

III.2. Classification

La matière grasse, est un groupe de composés chimiques qui partagent certaines caractéristiques structurales. Il existe plusieurs classifications possibles pour les lipides :

III.2.1. Les triglycérides

La principale méthode de stockage des lipides sont les triglycérides, qui sont constitués de trois acides gras estérifiés à une molécule de glycérol (figure 12). La configuration, la longueur de chaîne et le degré de saturation des acides gras peuvent varier. Les triglycérides ont différentes propriétés physiques et nutritionnelles en raison de cette variabilité dans la structure des acides gras [8].

Les triglycérides représentent plus de 90 % des graisses trouvées au sein des aliments et dans notre organisme, tandis que le cholestérol, les cires et les phospholipides représentent le reste. Les triglycérides se composent d'une fourchette avec un glycérol et trois branches, les acides gras. Par conséquent, le glycérol et les acides gras sont produits par la digestion des triglycérides.

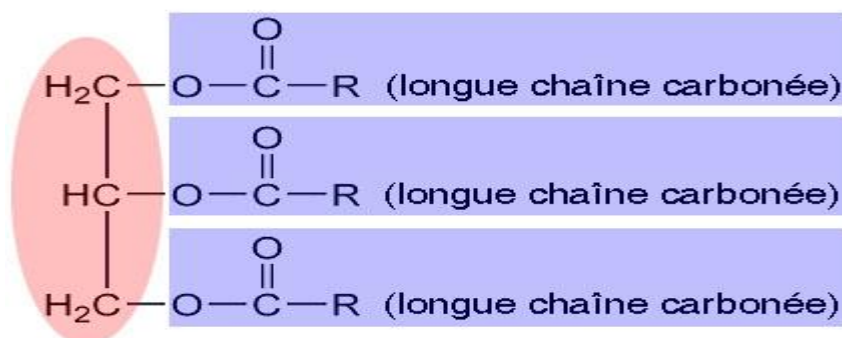


Figure 12 : Structure d'un triglycéride (Les acides gras sont représentés dans le cadre à fond bleu, et le glycérol le cercle à fond rose).

III.2.2. Les acides gras

Les acides gras sont des molécules avec une chaîne carbonée hydrocarbonée à l'une et un groupe carboxyle à l'autre. La longueur de la chaîne carbonée, la présence de doubles liaisons entre les atomes de carbone et la position de ces doubles liaisons dans la chaîne carbonée ont un impact sur les propriétés physiques et fonctionnelles des acides gras [9].

Dans notre corps, ces acides présentent un rôle essentiel en tant que sources d'énergie, constituants indispensables des membranes cellulaires et précurseurs de certaines molécules biologiques.

On peut classer les acides gras en plusieurs catégories :

III.2.2.1 Les acides gras saturés

Ce sont des acides gras dont les atomes de carbone ne sont pas liés de manière double. Ils sont principalement présents dans les graisses de source animale (beurre, viande grasse, charcuterie, fromage) et dans certaines huiles de source végétales (huile de coco, huile de palme) [10-12].

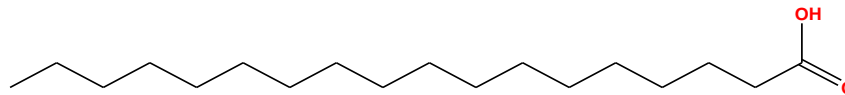


Figure 13 : Schéma de l'acide stéarique ($C_{18}H_{36}O_2$)

III.2.2.2. Les acides gras mono-insaturés

Ce sont des acides gras dont les atomes de carbone sont liés par une seule double liaison. Ils sont principalement présents dans les huiles végétales (huile d'olive, d'avocat, huile d'arachide) et dans les oléagineux (noix, amandes...) [13-15].

III.2.2.3. Les acides gras polyinsaturés (AGPI)

Ils sont des graisses qui présentent plusieurs liaisons doubles dans leur composition moléculaire. Ils sont répartis en deux grandes familles : les acides gras oméga-3 (AGPI n-3) et les acides gras oméga-6 (AGPI n-6), selon la position de leur première double liaison à partir de l'extrémité méthyle.

III.2.3. Les phospholipides

Les phospholipides sont des lipides amphiphiles qui composent les membranes cellulaires. Ils sont constitués d'une molécule de glycérol ou de sphingosine estérifiée à deux acides gras et à un groupe phosphate. La présence du groupe phosphate confère aux phospholipides une tête polaire hydrophile et des queues hydrophobes, permettant leur arrangement en bicouches lipidiques.

III.2.4. Les stérols

Les stérols sont une classe de lipides qui comprennent le cholestérol, présent dans les membranes cellulaires des animaux, et les phytostérols, présents dans les plantes. Les stérols sont caractérisés par une structure stéroïde composée de quatre cycles d'hydrocarbures fusionnés et d'une chaîne latérale [16].

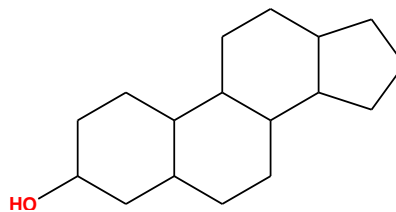


Figure 14 : Noyau de base des stérols.

III.3. Biosynthèse

III.3.1. Définition

La biosynthèse des matières grasses, également connue sous le nom de lipogenèse, est un processus biologique complexe qui se produit dans les cellules pour produire des lipides à partir de précurseurs métaboliques.

III.3.2. Voie de biosynthèse des acides gras

La biosynthèse des acides gras se déroule principalement dans le cytosol des cellules. Elle implique une série d'étapes enzymatiques qui convertissent l'acétyl-CoA en acides gras à chaîne longue. Le processus comprend des réactions telles que la carboxylation, la réduction et la déshydratation. Le principal régulateur de cette voie est l'enzyme acétyl-CoA carboxylase [17].

III.3.3. Régulation de la biosynthèse des matières grasses

La biosynthèse des matières grasses est régulée par différents facteurs, tels que la disponibilité des substrats, l'activité enzymatique et les signaux hormonaux. L'insuline joue un rôle clé dans la régulation positive de la biosynthèse des matières grasses, tandis que des hormones telles que le glucagon et l'adrénaline ont un effet inhibiteur [18].

III.3.4. Origine des précurseurs de la matière grasse

Les précurseurs nécessaires à la biosynthèse des matières grasses proviennent de différentes sources. L'acétyl-CoA, qui est essentiel pour la synthèse des acides gras, provient du métabolisme des glucides, des acides aminés et des acides gras eux-mêmes. Les glucides, en particulier le glucose, sont une source importante de carbone pour la biosynthèse des matières grasses [19].

III.3.5. Localisation de la biosynthèse des matières grasses

Bien que la biosynthèse des acides gras ait lieu dans le cytosol des cellules, les matières grasses peuvent également être synthétisées dans les organites cellulaires spécialisés appelés adipocytes qui sont les cellules responsables du stockage des matières grasses sous forme de gouttelettes lipidiques [20].

III.4. Rôles des matières grasses dans l'organisme

Les graisses jouent un rôle crucial dans le fonctionnement de l'organisme. Elles jouent un rôle essentiel dans la production d'énergie, participent à la formation des membranes cellulaires, favorisent l'absorption des vitamines liposolubles et constituent des réserves d'énergie dans les tissus gras [21].

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Mozaffarian, D., Hao, T., Rimm, E. B. *N. Engl. J. Med.*, 364, 2392-2404, **2011**.
- [2] Di Angelantonio, E., Sarwar, N., Perry, P. *JAMA.*, 302, 1993-200, **2009**.
- [3] Schweiger, M., Eichmann, T. O., Taschler, U. *Method. Enzymol.*, 538, 171-193, **2014**.
- [4] Lipides et alimentation : les bonnes sources. Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie (CREDOC), **2008**.
- [5] Lipides, le guide nutrition. Institut national de la recherche agronomique (INRA), France.
- [6] Kris-Etherton, P. M., Innis, S. *J. Am. Diet. Assoc.*, 107, 1599-1611, **2007**.
- [7] Mozaffarian, D., Clarke, R. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 63, S22-S33, **2009**.
- [8] Gunstone, F. D., John, L., Harwood, J. L., Fred, B., Padley, F. B. *The Lipid Handbook with CD-ROM*, 3rd Ed. CRC Press, **2007**.
- [9] Christie, W. W. *Lipid analysis: Isolation, separation, identification, and structural analysis of lipids*, 4th Ed. Oily Press, **2013**.
- [10] Vance, D. E., Vance, J. E. *Biochemistry of lipids, lipoproteins and membranes*. 5th Ed. Elsevier, **2008**.
- [11] Mensink, R. P., Katan, M. B. *N. Engl. J. Med.*, 323, 439-445, **1990**.
- [12] EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). *EFSA J.*, 8(3), 1461-1465, **2010**.
- [13] Mozaffarian, D., Wu, J. H. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 58, 2047-2067, **2011**.
- [14] Schwingshackl, L., Hoffmann, G. *Nutrients.*, 6, 4597-4614, **2014**.
- [15] Lichtenstein, A. H., Schwab, U. S. *Atherosclerosis.*, 150, 227-243, **2000**.
- [16] Nelson, D. L., Cox, M. M., Lehninger, A. L., Lehninger, M. M. *Lehninger principles of biochemistry*. 7th Ed. Macmillan Learning, **2017**.
- [17] Wakil, S. J., Stoops, J. K., Joshi, V. C. *Annu. Rev. Biochem.*, 52, 537-579, **1983**.
- [18] Brown, M. S., Goldstein, J. L. *Cell Metab.*, 7, 95-96, **2008**.
- [19] McGarry, J. D., Brown, N. F. *Eur. J. Biochem.*, 244, 1-14, **1997**.
- [20] Listenberger, L. L., Han, X., Lewis, S. E., Cases, S., Farese, R. V., Ory, D. S. *Prod. Nat. Acad. Sci.*, 100, 3077-3082, **2003**.
- [21] Ferno, J., Solaas, K. *Front. Biosci.*, 5, 92-110, **2013**.

DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES D'UNE HUILE ETUDIEE

L'analyse des caractéristiques physico-chimiques des huiles végétales joue un rôle essentiel dans de nombreux domaines, tels que l'industrie alimentaire, la cosmétique et la bioénergie. Ces caractéristiques incluent la composition en acides gras, l'indice d'iode, l'indice de peroxyde, la teneur en humidité, la densité, la viscosité et le point de fusion, entre autres.

IV.1. Caractères physiques

Le caractère physique de l'huile végétale fait référence aux propriétés physiques observables de l'huile végétale, qui n'impliquent pas de changements chimiques ou de composition. Ces caractéristiques physiques peuvent être mesurées et quantifiées pour évaluer la qualité, et l'applicabilité de l'huile dans diverses applications industrielles, alimentaires et cosmétiques.

IV.1.1. Indice de réfraction

✓ Définition

Le quotient entre le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction d'un rayon lumineux de longueur d'onde spécifique qui pénètre de l'air dans une huile à température constante est connu sous le nom d'indice de réfraction d'une huile [1].

✓ Principe

Après avoir utilisé le réfractomètre (**Photo 1**), il est possible de mesurer directement l'angle de réfraction ou d'observer la limite de réflexion totale, en maintenant l'huile dans les conditions d'isotropisme et de transparence. On a réalisé la mesure en utilisant un réfractomètre d'Abbe [2].



Photo 1 : Réfractomètre d'Abbe

IV.1.2. Le potentiel d'hydrogène (pH)

Un mesureur de pH est équipé d'un boîtier connecté à une sonde. Un millivoltmètre est utilisé dans le boîtier pour mesurer la tension entre les deux électrodes de la sonde, qui sera convertie en pH par un calculateur (**Photo 2**). L'échange limité entre les ions sodium du verre de l'électrode et les ions H_3O^+ de la solution explique cette tension.

Le pH est mesuré en utilisant la méthode AFNOR (1986). Cette approche repose sur la disparité du potentiel entre deux électrodes immergées dans le produit à étudier [3].



Photo 2 : PH mètre

✓ Principe

Le pH indique si le milieu est acide ou alcalin, il est calculé en fonction de la concentration d'ions d'hydrogènes libres (H) au sein d'une huile [4].

IV.1.3 Absorbance dans l'ultraviolet (commission des communautés Européennes, 1991)

✓ Définition

Les corps gras oxydés, notamment ceux qui contiennent de l'acide linoléique, entraînent la création de d'hydroxy-péroxyde linoléique, un diène conjugué qui absorbe à environ 232 nm. Lorsque l'oxydation continue, des "produits secondaires" sont produits, notamment des dicétones et des dicétones insaturés qui absorbent vers 270 nm.

On peut donc interpréter l'extinction à 232 nm à 270 nm d'un corps gras brut comme une représentation de son état d'oxydation.



Photo 3 : Spectrophotomètre UV

IV.2. Caractères chimiques

L'aspect chimique désigne les éléments concernant la composition et la réactivité chimique de l'huile végétale. Cela inclut la présence d'acides gras, de composés insaturés, d'antioxydants, de pigments et d'autres composants chimiques qui ont un impact sur ses caractéristiques physico-chimiques [5-6].

IV.2.1. Indice d'acide

Il s'agit de la quantité d'hydroxyde de potassium requise pour neutraliser les acides libres présents dans un gramme de corps gras est appelée indice d'acide [1]. Ce résultat fournit des informations précieuses sur la qualité de la préservation de l'huile [7].

✓ Principe

Le principe consiste à neutraliser les acides libres par une solution alcoolique d'hydroxyde de sodium titrée.

IV.2.2. L'acidité

✓ Définition

La quantité d'acides gras libres présents dans une huile végétale est mesurée par l'acidité d'une huile végétale, un paramètre physicochimique essentiel. On peut la décrire sous la forme d'acide oléique ou d'autres acides gras particuliers. On peut faire appel à l'acidité afin d'évaluer la qualité et la fraîcheur d'une huile [8-9].

La concentration d'acidité d'une matière grasse correspond au nombre de mg d'hydroxyde de sodium (NaOH) requis pour neutraliser les acides gras libres (AGL) présents dans 1g de matière grasse. Elle évalue la concentration d'AGL dans un corps gras [10].

✓ **Principe**

De l'acidité dans le contexte des huiles végétales se réfère à la quantité d'acides gras libres présents dans l'huile. Il est généralement mesuré en termes d'acide oléique ou d'autres acides gras spécifiques. L'acidité est un indicateur de la qualité, de la fraîcheur et de la détérioration de l'huile, car une augmentation de l'acidité peut indiquer une dégradation ou une contamination de l'huile [5,11].

IV.2.3. Indice de peroxyde

✓ **Définition**

L'indice de peroxyde est un paramètre physicochimique important pour évaluer la qualité et la stabilité des huiles végétales. Il mesure le degré d'oxydation d'une huile en détectant les composés peroxydes formés [12-13].

Les peroxydes sont définis comme des constituants caractéristiques de l'oxydation des acides gras insaturés. Dans un milieu acide, ils peuvent libérer l'iode de l'iodure de potassium, cette propriété nous permet de les identifier. La réaction avec le thiosulfate nous permet également de connaître la quantité de l'iode libéré, sachant que 1ml de thiosulfate 0,01 N correspond à une quantité de 80 mg d'oxygène fixé sur les acides gras [1].

✓ **Principe**

Il repose sur la transformation de l'huile en solution dans de l'acide acétique et du chloroforme en utilisant une solution d'iodure de potassium (KI). Ensuite, l'iode libéré est titré par une solution titrée de thiosulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$).

Il est essentiel de prendre en compte les propriétés physicochimiques de l'huile végétale. Afin d'évaluer sa qualité et ses caractéristiques. L'analyse de paramètres tels que l'indice de peroxyde, l'indice d'acide, l'indice d'iode, la densité, la viscosité, etc. permet d'obtenir des données sur la stabilité à l'oxydation, la teneur en acides gras, la réactivité et d'autres caractéristiques essentielles de l'huile. Ces informations permettent de s'assurer de la sécurité alimentaire, d'améliorer les procédés industriels et de sélectionner les meilleures utilisations de l'huile végétale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Lion, P. Travaux pratiques de chimie organique. Ed. Dunod, Paris, **1955**.
- [2] Denis, J; Briant, J; Hipeaux, J. C. Physicochimie des Lubrifiants: Analyses et essais. Ed. Ophrys, **1997**.
- [3] AFNOR. Recueil des normes françaises ; produits dérivés de fruits et légumes, jus de fruits. 2^{ème} Ed. AFNOR, **1986**.
- [4] Audigié, C.I; Figarella, J; Zonszain, F. Manipulations d'analyse biochimique. Ed. Doin, Paris, France, **1984**.
- [5] Gunstone, F. D., John L. Harwood, Albert J. Dijkstra. The Lipid handbook with CD-ROM. 3rd Ed. CRC Press, **2007**.
- [6] Frankel, E. N. Lipid oxidation, 2nd Ed. The Oily press, **2012**.
- [7] Polycopie de travaux pratiques de la chimie des substances naturelles de S6, université Ibn Tofail, **2010**.
- [8] Firestone, D. Vegetable oils in food technology: Composition, properties and uses. Ed. Wiley-Blackwell, **2009**.
- [9] Codex alimentarius commission. Codex standard for named vegetable Oils (Codex-Stan 210-1999). Food and agriculture organization of united nations (FAO) and World Health Organization (WHO), **2019**.
- [10] Kandji, N. A. Etude de la composition chimique et de la qualité d'huiles végétales artisanales consommées au Sénégal. Thèse de Doctorat, université de Dakar, **2001**.
- [11] American Oil Chemists' Society (AOCS). Free fatty acids. In Official methods and recommended practices of the AOCS. 7th Ed. **2017**.
- [12] Fereidoon, S. Bailey's industrial oil and fat products. 6th Ed. John wiley & sons, **2005**.
- [13] Casimir, C. A; David, B. M. Food lipids: Chemistry, nutrition, and biotechnology. Ed. CRC Press, **2002**.

PRODUITS NATURELS VÉGÉTAUX : COMPOSÉS PHÉNOLIQUES

Les substances naturelles d'origine végétale ou produits naturels végétaux sont des composés chimiques élaborés par les plantes au cours de leurs processus métaboliques. Ils sont répartis en deux catégories principales : les métabolites primaires et les métabolites secondaires :

V.1. Métabolites primaires

Ils sont importants dans le développement et la survie des plantes, car ils participent à des processus métaboliques essentiels tels que la photosynthèse, la respiration et la synthèse des protéines. Les principales substances métaboliques sont les glucides, les protéines, les acides aminés, les lipides et les acides nucléiques.

V.1.1. Glucides (sucres)

Les glucides sont des sources d'énergie importantes pour les plantes. Ils peuvent être présents sous forme de glucose, fructose, saccharose, etc. dans les plantes médicinales.

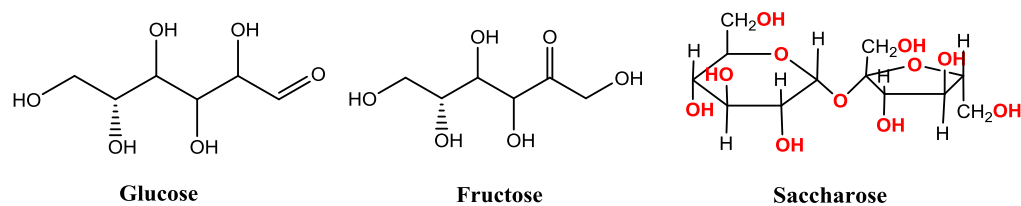


Figure 15 : Structures de quelques Glucides

Exemple de plante : *Triticum aestivum* (blé) contient des glucides tels que l'amidon, qui est une source d'énergie importante dans l'alimentation humaine [1].

V.1.2. Protéines

La croissance et la réparation des cellules végétales nécessitent des protéines. Elles peuvent aussi servir d'agents actifs dans les médicaments produits de plantes.

Exemple de plante : *Hypericum perforatum* (millepertuis) contient des hyperforines, des composés bioactifs qui peuvent influencer les neurotransmetteurs et avoir des effets antidépresseurs [2].

V.1.3. Acides aminés

Les acides aminés forment les protéines et peuvent aussi servir de précurseurs de certains métabolites secondaires.

Exemple de plante : *Camellia sinensis* (thé vert) contient de la L-théanine, un acide aminé qui peut avoir des effets relaxants et favoriser la concentration [3].

V.1.4. Lipides

Dans les plantes, les lipides jouent un rôle crucial dans la conservation de l'énergie et la formation des membranes cellulaires.

Exemple de plante : *Olea europaea* (olivier) contient de l'huile d'olive, qui est riche en acides gras mono-insaturés bénéfiques pour la santé cardiovasculaire [4].

V.1.5. Acides nucléiques

L'ADN (acide désoxyribonucléique) et l'ARN (acide ribonucléique) sont des métabolites primaires indispensables à la croissance et au fonctionnement des plantes. Ils sont essentiels pour le stockage, la transmission et l'expression de l'information génétique indispensable à la régulation des processus cellulaires et métaboliques. Toutefois, il est courant de ne pas considérer les acides nucléiques comme des métabolites présentant des propriétés médicinales directes dans les plantes.

La plupart des recherches sur les plantes médicinales se concentrent sur les métabolites secondaires, qui sont responsables des propriétés médicinales spécifiques des plantes. Cependant, les acides nucléiques jouent un rôle fondamental dans la génétique et la biologie des plantes, ce qui est essentiel pour leur survie et leur développement [5].

V.2. Métabolites secondaires

Les végétaux produisent des composés chimiques appelés métabolites secondaires, qui ne participent pas directement à leur croissance ou à leur développement, mais qui jouent un rôle crucial dans leur survie en agissant souvent comme des défenses contre les prédateurs, les pathogènes ou les stress environnementaux.

Les métabolites secondaires comprennent les alcaloïdes, les flavonoïdes, les terpénoïdes, les saponines, les coumarines, les tannins, etc.

V.2.1. Alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des composés azotés qui peuvent avoir des effets pharmacologiques importants. Certains alcaloïdes peuvent être toxiques pour les prédateurs et ont été utilisés pour développer des médicaments.

Ils sont abondamment présents dans les plantes, où ils jouent un rôle crucial dans leur croissance, leur développement et leur adaptation aux stress environnementaux. Ils sont responsables de nombreuses caractéristiques sensorielles des plantes, telles que la couleur, l'odeur et le goût. De plus, ils sont impliqués dans la défense des plantes contre les attaques de pathogènes, d'insectes et d'autres stress biotiques et abiotiques.

V.2.3.1. Structure et classification

Les composés phénoliques comprennent une grande variété de composés chimiques ayant une structure commune de noyau phénolique. La structure des composés phénoliques peut être modifiée par la présence de différents substituants sur le cycle aromatique et par la nature et la position des groupes fonctionnels.

La classification des composés phénoliques est souvent basée sur la structure du noyau phénolique et la présence de substituants.

Il existe de nombreuses classes de composés phénoliques, chacune avec sa propre structure caractéristique et ses propriétés. La diversité des structures des composés phénoliques leur confère une grande variété d'activités biologiques et de propriétés physicochimiques.

Ils peuvent être organisés en différentes classes :

V.2.3.1.1 Acides phénoliques

Cette classe comprend des composés tels que l'acide gallique, l'acide caféique, l'acide ellagique et l'acide protocatéchique. Ils se trouvent principalement dans les fruits, les légumes, les céréales et les plantes médicinales. Ces composés sont connus pour leurs propriétés antioxydantes, antimicrobiennes et anti-inflammatoires [8].

Les acides phénoliques, également appelés acides phénolcarboxyliques, sont une classe de composés chimiques qui se caractérisent par la présence simultanée d'un groupe phénol (-OH) et d'un groupe carboxyle (-COOH) dans leur structure moléculaire. Ces composés sont dérivés des phénols par l'ajout d'un groupe carboxyle.

Les acides phénoliques sont largement présents dans les plantes, où ils sont indispensables dans le processus de la défense contre les pathogènes, les stress environnementaux et la régulation du développement végétal. Ils contribuent également aux propriétés sensorielles des plantes, notamment la couleur, l'odeur et le goût des fruits et des légumes.

En raison de leur structure chimique, les acides phénoliques présentent des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes et anticancéreuses. Ils sont donc considérés comme des composés bioactifs bénéfiques pour la santé humaine [8-10].

Quelques exemples d'acides phénoliques courants :

Acide gallique : Il s'agit d'un acide phénolique largement répandu dans les plantes, en particulier dans les fruits (tels que les grenades) et les feuilles de thé. Il présente des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes et anticancéreuses [11].

Acide caféique : L'acide caféique est un acide phénolique présent dans de nombreux aliments d'origine végétale, notamment le café, les fruits, les légumes et les céréales. Il possède des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et anticancéreuses [12].

Acide ellagique : L'acide ellagique se trouve principalement dans les fruits tels que les grenades, les fraises, les framboises et les baies. Il présente des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes et anticancéreuses [13].

Acide protocatéchuique : L'acide protocatéchuique est un acide phénolique présent dans de nombreux aliments, tels que les fruits, les légumes et le vin rouge. Il possède des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antivirales et antimicrobiennes [14].

V.2.3.1.2. Flavonoïdes

Ce sont des composés phénoliques présents dans une large variété de plantes (jouent un rôle essentiel dans la couleur des plantes), notamment les fruits, les légumes, les herbes et les céréales et les boissons comme le thé.

Ils sont connus par leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, anticancéreuses et cardiovasculaires [14]. Ils ont été largement connus dans le règne végétal et étudiés pour leurs bienfaits sur la santé humaine [15-17].

La structure des flavonoïdes comprend généralement une unité de base constituée de deux cycles aromatiques, appelée noyau flavane. Ce noyau peut être modifié par des groupes hydroxyles (-OH), des groupes méthoxyles (-OCH₃), des groupes glucosyles (-O-Glucose), des groupes rutinosyles (-O-[Glucose]-Rutinoses) et des groupes acétyles (-COCH₃), entre autres.

Les flavonoïdes sont classés en plusieurs sous-groupes en fonction de leurs caractéristiques structurales, notamment les flavones (apigénine, lutéoline), les flavanones (naringénine, hespéridine), les flavanols (catéchines, épicatechines), les flavonols (quercétine, kaempférol), les anthocyanidines (cyanidine, delphinidine), les isoflavones (génistéine, daidzéine), etc. Chaque sous-groupe a une structure spécifique et peut être présent dans différentes plantes.

La figure suivante présente la structure de quelques flavonoïdes

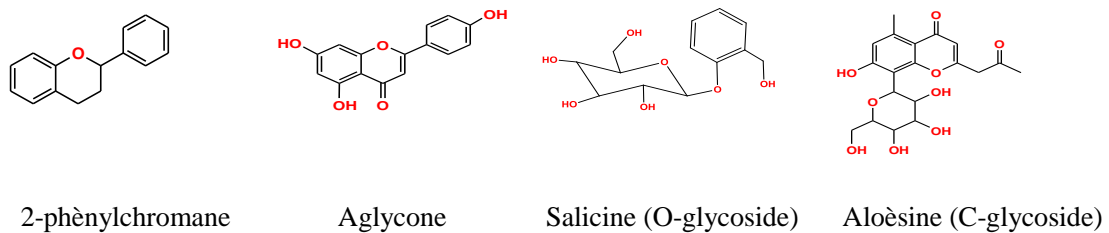


Figure 18 : Structures de quelques Flavonoïdes

Exemple de plante : *Hypericum perforatum* (millepertuis) contient des hyperforines et des hypericines, des flavonoïdes qui ont montré des effets antidépresseurs et antiviraux [2].

V.2.3.1.3. Saponines

Les saponines ont des propriétés tensioactives et peuvent être utilisées comme émulsifiants dans les préparations à base de plantes.

Exemple de plante : *Panax ginseng* (ginseng) contient des ginsénosides, des saponines qui sont responsables de ses effets adaptogènes et énergisants [14].

V.2.3.1.4. Coumarines

Les coumarines ont des propriétés anticoagulantes et anti-inflammatoires.

Exemple de plante : *Angelica sinensis* (angélique chinoise) contient des coumarines bénéfiques pour la circulation sanguine et la santé cardiovasculaire [18].

V.2.3.1.5. Tanins

Les tanins sont une classe de composés phénoliques présents dans de nombreux végétaux. Ils sont caractérisés par leur capacité à former des complexes avec les protéines, les enzymes et certains autres composés organiques, ce qui leur confère des propriétés astringentes. Cette classe est subdivisée en deux sous-classes :

Les tanins hydrolysables : qui sont des polymères composés de sous-unités de glucose ou de galloyl reliées à des groupes phénoliques.

Les tanins condensés : qui sont formés par la polymérisation de flavan-3-ols, également appelés catéchines.

Les tanins possèdent des propriétés anti-inflammatoires et antioxydantes, et ils sont également employés comme diurétiques pour traiter l'hypertension artérielle, l'insuffisance cardiaque, certains oedèmes, l'hypertension portale ou l'hyperkaliémie [19].

Voici quelques structures des tanins

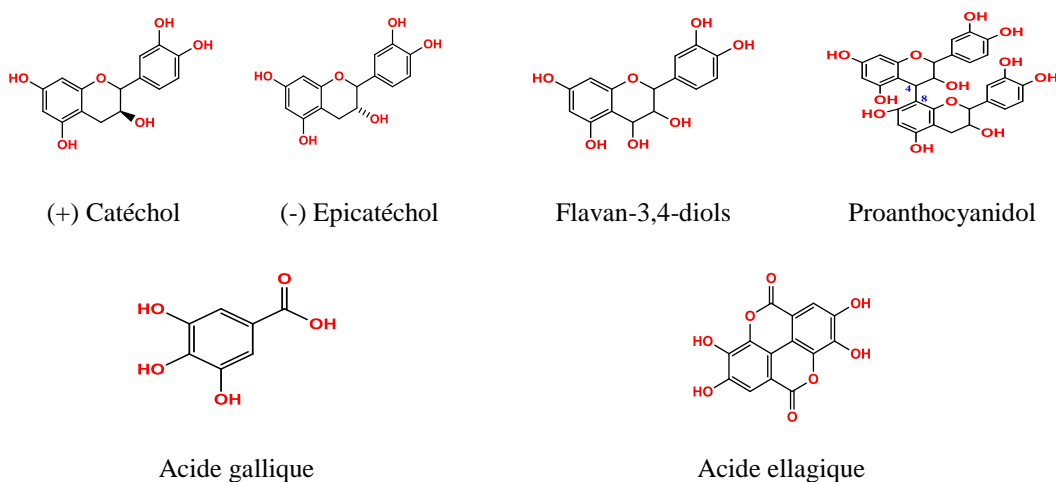


Figure 19 : Structures de quelques tanins

Exemple de plante : *Camellia sinensis* (thé vert) contient des catéchines, des tanins responsables de ses propriétés antioxydantes bénéfiques pour la santé [20].

V.2.3.1.6. Anthocyanes

Les pigments appelés anthocyanes sont responsables des teintes vives des fruits et légumes, et ils peuvent posséder des propriétés antioxydantes.

Exemple de plante : *Vaccinium myrtillus* (myrtille) contient des anthocyanes qui peuvent être bénéfiques pour la santé oculaire et la circulation sanguine [21].

V.2.3.1.7. Terpénoïdes

Cette classe comprend les caroténoïdes et les stéroïdes. Certains terpénoïdes peuvent avoir des propriétés anticancéreuses et anti-inflammatoires.

Exemple de plante : *Curcuma longa* (curcuma) contient de la curcumine, un puissant antioxydant et anti-inflammatoire, et du bêta-carotène, qui est bénéfique pour la santé des yeux et du système immunitaire.

V.2.3.1.8. Stilbènes

Les stilbènes sont des substances phénoliques qui se trouvent dans différentes plantes, telles que le raisin, les arachides et les fruits à coque. Les propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, cardioprotectrices et anticancéreuses du resvératrol sont parmi les stilbènes les plus étudiés [22].

V.2.3.2. Rôle des composés phénoliques

Les composés phénoliques jouent un rôle essentiel dans la physiologie des plantes. Ils contribuent à la défense contre les pathogènes, les prédateurs et les dommages causés par les rayonnements ultraviolets [23], ainsi qu'à la régulation du développement et de la croissance et du développement des plantes : Certains polyphénols régulent la croissance et le développement des plantes en influençant la morphogénèse, la différenciation cellulaire et la formation de tissus spécifiques [24].

De plus, les composés phénoliques sont reconnus pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes et anticancéreuses, ce qui leur confère des bénéfices potentiels pour la santé humaine. Ils sont également utilisés dans diverses industries, notamment l'agroalimentaire, les cosmétiques et la pharmacologie, en raison de leurs propriétés conservatrices, colorantes et médicinales [25-27].

- ✓ **Activité antioxydante :** Les composés phénoliques sont de puissants antioxydants capables de neutraliser les radicaux libres et de protéger les cellules contre les dommages oxydatifs. Ils aident à prévenir le stress oxydatif, qui est impliqué dans le vieillissement, les maladies cardiovasculaires, les maladies neuro-dégénératives et le cancer [27].
- ✓ **Activité anti-inflammatoire :** Les composés phénoliques peuvent réduire l'inflammation en inhibant les enzymes inflammatoires et en modulant les voies de signalisation inflammatoires. Ils peuvent contribuer à atténuer les affections inflammatoires chroniques telles que l'arthrite, les maladies cardiovasculaires et les maladies intestinales [13,28].

- ✓ **Activité antimicrobienne** : Certains composés phénoliques ont une activité antimicrobienne, ce qui signifie qu'ils peuvent inhiber la croissance de bactéries, de champignons et de certains parasites. Ils peuvent être utilisés comme agents conservateurs naturels dans les aliments et les produits de soins personnels [29].
- ✓ **Activité anticancéreuse** : Les composés phénoliques peuvent inhiber la croissance des cellules cancéreuses, induire l'apoptose (mort cellulaire programmée) et supprimer la formation de nouveaux vaisseaux sanguins qui alimentent les tumeurs. Ils sont étudiés pour leur potentiel en tant qu'agents anticancéreux et pour la prévention du cancer [30].
- ✓ **Protection contre les maladies cardiovasculaires** : Selon des recherches, il a été suggéré que la consommation régulière de polyphénols peut diminuer le risque de maladies cardiovasculaires en améliorant la fonction des vaisseaux sanguins, en diminuant l'oxydation du cholestérol LDL et en faisant réguler la pression artérielle [31].

V2.3.3. Biosynthèse des polyphénols

La biosynthèse des polyphénols est le processus par lequel ces composés naturels sont produits dans les plantes. Les polyphénols sont un groupe diversifié de composés chimiques contenant plusieurs groupes phénoliques. Ils ont des rôles importants dans la défense des plantes contre les stress environnementaux et les prédateurs.

La voie de biosynthèse des polyphénols implique plusieurs étapes enzymatiques, telles que la condensation des acides aminés aromatiques pour former des acides phénoliques, puis leur oxydation et leur polymérisation pour donner des composés tels que les flavonoïdes, les tanins et les stilbènes [32,33].

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Scalbert, A., Johnson, I. T., Saltmarsh, M. *Am. J. Clin. Nutr.*, 81, 215S-217S, **2005**.
- [2] Serrano, J., Goñi, I., Saura-Calixto, F. *Food Res. Int.*, 40, 341-367, **2007**.
- [3] Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., Jiménez, L. *Am. J. Clin. Nutr.*, 79, 727-747, **2004**.
- [4] Shewry, P. R., Hey, S. J. *Food Energy Secur.*, 4, 178-202, **2015**.
- [5] Butterweck, V., Schmidt, M. *Wien. Med. Wochenschr.*, 157, 356-361, **2007**.
- [6] Nathan, P. J., Lu, K., Gray, M., Oliver, C. *J. Herb. Pharmacother.*, 6, 21-30, **2006**.
- [7] Lockyer, S., Stanner, S. *Am. J. Clin. Nutr.*, 96, 1454-1463, **2012**.
- [8] Cullis, C. A. *Curr. Cancer Drug Targets.*, 5, 257-280, **2005**.
- [9] Daunderer, M., Wichtl, M. *J. Ethnopharmacol.*, 6, 287-313, **1982**.
- [10] McKay, D. L., Blumberg, J. B. *Phytother. Res.*, 20, 619-633, **2006**.
- [11] Kim, J. H. *J. Ginseng res.*, 37, 8-29, **2013**.
- [12] Lau, A. J., Toh, D. F., Chua, T. K., Pang, Y. K., Woo, S. O., Koh, H. L. *Am. J. Chin. Med.*, 37, 329-336, **2009**.
- [13] Cabrera, C., Artacho, R., Giménez, R. *J. Am. Coll. Nutr.*, 25, 79-99, **2006**.
- [14] Zhang, Y., Na, H. *Phytochem.*, 69, 2457-2474, **2007**.
- [15] Pérez-Jiménez, J., Neveu, V., Vos, F., Scalbert, A. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 64, S112-S120, **2010**.
- [16] Pandey, K. B., Rizvi, S. I. *Oxid. Med. Cell. Longev.*, 2, 270-278, **2009**.
- [17] Huang, W. Y., Zhang, H. C., Liu, W. X., Li, C. Y. *J. Zhejiang Univ-Sc. B.*, 18, 20-32, **2017**.
- [18] Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., Rémésy, C., Jiménez, L. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 45, 287-306, **2005**.
- [19] Clifford, M. N. *J. Sci. Food Agric.*, 80, 1063-1072, **2000**.
- [20] Yao, L. H., Jiang, Y. M., Shi, J., Tomás-Barberán, F. A., Datta, N., Singanusong, R., Chen, S. S. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 59, 113-122, **2004**.
- [21] Shafiee, G., Javidnia, K. *J. Essent. Oil Res.*, 11, 13-14, **1999**.
- [22] Gülçin, İ., Huyut, Z., Elmastaş, M., Aboul-Enein, H. Y. *Arab. J. Chem.*, 3, 43-53, **2010**.
- [23] Syed, D. N., Chamcheu, J. C., Adhami, V. M., Mukhtar, H. *Anticancer Agents Med. Chem.*, 13, 1149-1161, **2013**.
- [24] Vinson, J. A., Hsu, Y. H. *J. Agric. Food Chem.*, 38, 1563-1568, **1990**.

- [25] González-Sarrías, A., Tomé-Carneiro, J., Tomás-Barberán, F. A. *J. Agric. Food Chem.*, 64, 3851-3872, **2016**.
- [26] Cushnie, T. P., Lamb, A. J. *Int. J. Antimicrob. Agents.*, 38, 99-107, **2011**.
- [27] Surh, Y. J. *Nat. Rev. Cancer.*, 3, 768-780, **2003**.
- [28] Harborne, J. B., Williams, C. A. *Phytochem.*, 55, 481-504, **2000**.
- [29] Baur, J. A., Sinclair, D. A. *Nat. Rev. Drug Discov.*, 5, 493-506, **2006**.
- [30] Asres, K., Seyoum, A., Veereshan, C., Bucar, F., Gibbons, S. *Phytother. Res.*, 19, 557-581, **2005**.
- [31] Peronny, S. La perception gustative et la consommation des tanins chez le maki (*Lemur catta*). Thèse de doctorat, université de Paris, **2005**.
- [32] Merghem, R. *Eléments de biochimie végétale*. 1^{ère} Ed. Bahaeddine éditions. **2009**.
- [33] Winkel-Shirley, B. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 5, 218-223, **2002**.
- [34] Ibrahim, R. K., Bruneau, A., Bantignies, B. *Plant Physiol. Bioch.*, 36, 83-92, **1998**.
- [35] Erlund, I. *Nut. Res.*, 24, 851-874, **2004**.
- [36] Dixon, R. A., Paiva, N. L. *Plant Cell.*, 7, 1085-1097, **1995**.
- [37] Peer, W. A., Murphy, A. S. *Trends Plant Sci.*, 12, 556-563, **2007**.

RAPPELS SUR QUELQUES ACTIVITES BIOLOGIQUES

VI. Activités biologiques

La recherche biomédicale s'intéresse de plus en plus aux activités biologiques des composés naturels, notamment leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. La santé humaine est préservée grâce à ces activités qui contribuent à la prévention et au traitement de différentes maladies. Les substances possédant ces caractéristiques présentent des opportunités prometteuses pour la création de nouveaux médicaments et d'interventions thérapeutiques.

VI.1. Activité antioxydante

L'activité antioxydante est une propriété importante que l'on retrouve dans de nombreux composés naturels, tels que les plantes, les fruits, les légumes et certaines substances bioactives. Les antioxydants jouent un rôle essentiel dans la protection des cellules contre les dégâts causés par les radicaux libres, des molécules instables générées lors du métabolisme normal du corps et exposées à des éléments environnementaux tels que la pollution et les rayonnements UV. La surproduction de radicaux libres peut causer des lésions cellulaires, de l'inflammation et un vieillissement prématuré.

VI.1.1. Stress oxydant

VI.1.1.1. Définition du stress

Un déséquilibre entre les mécanismes de défense antioxydants du corps et les radicaux libres réactifs est responsable du stress oxydant. Les maladies liées au stress oxydant incluent le cancer, les maladies cardiovasculaires, le vieillissement prématuré et d'autres affections liées à l'inflammation [1-4].

VI.1.1.2. Les espèces oxygénées activées

Egalement connues sous le nom de radicaux libres de l'oxygène, sont des molécules hautement réactives contenant de l'oxygène. Elles sont produites normalement par l'organisme lors de processus métaboliques, mais leur accumulation excessive peut causer des dommages oxydatifs aux cellules, ce qui peut contribuer à différentes maladies [4].

Les principales espèces oxygénées activées incluent :

1-Radicaux superoxydes ($O_2^{\bullet-}$) : Des molécules instables contenant un électron non apparié, résultant de la réduction partielle de l'oxygène moléculaire (O_2).

2-Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) : Une espèce oxygénée non radicale, mais hautement réactive, produite par la dismutation du superoxyde.

3-Radical hydroxyle ($\bullet OH$) : Une espèce très réactive et dangereuse, résultant de la réaction entre le radical superoxyde et le peroxyde d'hydrogène.

VI.1.1.3. Stress oxydant et maladies

L'accumulation excessive de radicaux libres et le stress oxydant peuvent contribuer au développement de diverses maladies, telles que les maladies cardiovasculaires, le diabète, les maladies neuro dégénératives, le cancer et d'autres troubles chroniques [2].

De plus, le stress oxydant peut endommager les lipides, les protéines et l'ADN dans les vaisseaux sanguins, contribuant ainsi à l'athérosclérose et aux maladies cardiovasculaires [5].

VI.1.1.4. Mesure du stress oxydant

Les chercheurs utilisent diverses méthodes pour mesurer le stress oxydant dans les cellules et les tissus. Ces techniques incluent l'analyse des niveaux de radicaux libres, des dommages oxydatifs aux biomolécules, ainsi que la capacité antioxydante totale.

La mesure du stress oxydant est un domaine de recherche important en biochimie et en médecine. Plusieurs méthodes ont été développées pour évaluer le niveau de stress oxydant dans les cellules et les tissus [6,7].

VI.1.2. Radicaux libres

Ce sont des composés très réactifs qui renferment un ou plusieurs électrons non appariés. Cette structure électronique instable permet aux radicaux libres de réagir rapidement avec d'autres molécules, ce qui peut entraîner des réactions d'oxydation et de dommages cellulaires [1, 6].

VI.1.2.1. Formation des radicaux libres

Lors de processus métaboliques normaux, le corps produit des radicaux libres, mais leur production peut également être accrue par des éléments externes tels que la pollution, le tabagisme, une alimentation déséquilibrée et l'exposition aux rayonnements [3, 8].

VI.1.2.2. Rôles physiologiques des radicaux libres

Les radicaux libres jouent également des rôles physiologiques essentiels dans le corps, en plus de leur implication dans le stress oxydant. Ils participent à des processus cellulaires et moléculaires importants, ils ont des fonctions physiologiques importantes dans des processus tels que la signalisation cellulaire, la réponse immunitaire et le métabolisme énergétique [9] :

1. Signalisation cellulaire : Les radicaux libres, tels que le monoxyde d'azote (NO•) et les espèces réactives de l'oxygène (ROS), agissent comme des médiateurs de signalisation dans différentes voies cellulaires, jouant un rôle dans la régulation de la croissance, de la différenciation cellulaire et de la réponse immunitaire [10].

2. Défense immunitaire : Les radicaux libres sont produits par les cellules immunitaires pour éliminer les agents pathogènes, tels que les bactéries et les virus, ainsi que pour réguler l'activation du système immunitaire.

3. Métabolisme cellulaire : Certains radicaux libres sont impliqués dans des réactions métaboliques essentielles, notamment la respiration cellulaire et la production d'énergie par les mitochondries [6].

VI.1.3. Antioxydants

Les antioxydants sont des substances présentes dans les cellules et les tissus du corps, ainsi que dans certains aliments, qui ont la capacité de neutraliser les radicaux libres et de protéger les molécules biologiques des dommages oxydatifs causés par le stress oxydant.

Les antioxydants agissent en donnant un électron à un radical libre, stabilisant ainsi la molécule et empêchant la propagation de la réaction en chaîne d'oxydation.

VI.1.3.1. Antioxydants et santé

Les antioxydants sont essentiels pour prévenir les dégâts oxydatifs engendrés par les radicaux libres. Une alimentation contenant une grande quantité d'antioxydants peut favoriser un équilibre redox sain dans le corps et prévenir certaines affections liées au stress oxydant [11].

VI.1.3.2. Rôle des antioxydants

Les antioxydants agissent comme des défenseurs contre les radicaux libres en neutralisant leur activité dommageable. Ils peuvent être produits naturellement par le corps (antioxydants endogènes) ou consommés à partir d'aliments et de suppléments (antioxydants exogènes) [6].

Les antioxydants sont indispensables pour combattre le stress oxydant et préserver l'intégrité des cellules et des tissus, ce qui protège contre différentes maladies liées à l'oxydation, comme le cancer, les maladies cardiovasculaires et le vieillissement prématuré [2,12].

VI.1.3.3. Types d'antioxydants :

Il existe différents types d'antioxydants, chacun ayant des propriétés spécifiques et agissant à différents niveaux pour neutraliser les radicaux libres :

- **Vitamines antioxydantes**

Quelques vitamines agissent comme des antioxydants dans le corps en neutralisant les radicaux libres. Le rôle des vitamines antioxydantes est crucial pour prévenir les dégâts causés par les radicaux libres [13]. Voici des exemples de ces vitamines antioxydantes :

- **La vitamine C (acide ascorbique) :** Les agrumes, les fraises, les kiwis et les poivrons rouges, ainsi que d'autres fruits et légumes, contiennent la vitamine C qui est un antioxydant puissant, soluble dans l'eau [14].
- **La vitamine E (tocophérols) :** Les huiles végétales, les noix, les graines et certains légumes verts contiennent des tocophérols, des antioxydants liposolubles [15].
- **Le Bêta-carotène :** Présent dans les carottes, les patates douces, les épinards et d'autres légumes et fruits colorés, un caroténoïde. L'organisme le transforme en vitamine A, ce qui en fait un nutriment indispensable pour la vision, la croissance cellulaire et le système immunitaire [16,17].

- **Enzymes antioxydantes**

Les radicaux libres sont neutralisés par des enzymes produites par l'organisme, telles que la superoxyde dismutase (SOD), la catalase et la glutathion peroxydase. La protection des cellules contre les dommages oxydatifs est assurée par les enzymes antioxydantes, qui neutralisent les radicaux libres et régulent l'équilibre redox [18].

- **Minéraux antioxydants**

Plusieurs minéraux (sélénium, zinc, cuivre) sont des co-facteurs d'enzymes antioxydantes importantes dans les systèmes de défense de l'organisme. Le rôle des minéraux antioxydants est également essentiel pour neutraliser les radicaux libres et prévenir le stress oxydant [2,19]. Exemple :

- **Le Sélénium** : Un minéral présent dans les noix du Brésil, le poisson, la viande, les œufs et les céréales. Il joue un rôle important dans divers processus biologiques tels que la régulation de la fonction thyroïdienne, la protection contre les dommages oxydatifs et le soutien du système immunitaire [20,21].

- **Antioxydants endogènes**

Ce sont des molécules produites naturellement par l'organisme pour protéger contre les dommages oxydatifs, comme le glutathion et le coenzyme Q10, ainsi que la catalase. Ces molécules jouent un rôle crucial dans la préservation de la santé cellulaire [6,18]. Les antioxydants endogènes travaillent en synergie pour maintenir l'équilibre redox et protéger les cellules et les tissus des dommages causés par les radicaux libres.

- **Antioxydants exogènes**

Ces antioxydants proviennent de sources extérieures, tels que les aliments ou les suppléments, et incluent certaines vitamines, minéraux et autres composés naturels [2]. Les antioxydants exogènes sont des substances que l'on trouve dans notre alimentation ou sous forme de suppléments et qui aident à neutraliser les radicaux libres dans notre corps, contribuant ainsi à protéger nos cellules des dommages oxydatifs. **Exemple :**

- **Les polyphénols** : Ils constituent un ensemble de substances chimiques naturelles présentes dans de nombreux aliments végétaux tels que les fruits, les légumes, les grains entiers, le thé et le vin. Leur réputation repose sur leurs propriétés antioxydantes et leurs effets positifs sur la santé [22,23]. Ces antioxydants extérieurs jouent un rôle supplémentaire

dans le maintien d'un équilibre redox sain dans le corps et dans la protection contre les dommages oxydatifs.

VI.1.4. Utilisation des plantes médicinales

Depuis des siècles, les plantes médicinales ont été utilisées en raison de leurs vertus curatives. Quelques plantes contiennent une grande quantité d'antioxydants, ce qui permet de neutraliser les radicaux libres et de préserver les cellules du corps des dommages causés par l'oxydation. **Le tableau 4** regroupe quelques une.

Tableau 4 : Quelques plantes riches en antioxydants.

Plantes	Définition	Familles	Partie Utilisées	Références
Curcuma (<i>Curcuma longa</i>)	une épice riche en curcumine, un puissant antioxydant. Il contient des composés antioxydants tels que la curcumine	Zingiberaceae	Rhizome (racine)	[24]
Thé vert (<i>Camellia sinensis</i>)	Contient des catéchines, des antioxydants bénéfiques pour la santé. Ces feuilles sont composées des catéchines, également l'épigallocatechine gallate (EGCG)	Theaceae	Feuilles	[25]
Ail (<i>Allium sativum</i>)	contient de l'allicine, un composé antioxydant bénéfique pour la santé. Il est riche en composés soufrés, tels que l'allicine et les flavonoïdes, qui possèdent des propriétés antioxydantes	Amaryllidaceae	Bulbe	[26] et [27]
Romarin (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	Le romarin contient des phénols tels que l'acide rosmarinique qui possèdent des propriétés antioxydantes	Lamiaceae	Feuilles	[28]

VI.1.5. Méthode de détermination de l'activité antioxydante

La détermination de l'activité antioxydante peut être réalisée à l'aide de différentes méthodes, qui mesurent la capacité d'un composé à neutraliser ou à réduire les espèces réactives de l'oxygène (ERO) responsables du stress oxydatif.

- **Méthode du piégeage des radicaux libres**

Cette méthode mesure la capacité d'un composé à piéger les radicaux libres générés dans un système réactionnel. L'une des techniques les plus utilisées est la méthode du DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle), où la réduction du radical DPPH par un antioxydant est mesurée par spectroscopie UV-visible. Plus la concentration d'antioxydant est élevée, plus la diminution de l'absorbance est importante [29].

La méthode DPPH est une méthode couramment utilisée pour évaluer l'activité antioxydante des échantillons. Le DPPH a une couleur violette, mais lorsqu'il est réduit par un antioxydant, il devient incolore. La diminution de l'absorbance mesurée à une longueur d'onde spécifique autour de 517 nm indique l'activité antioxydante [30].

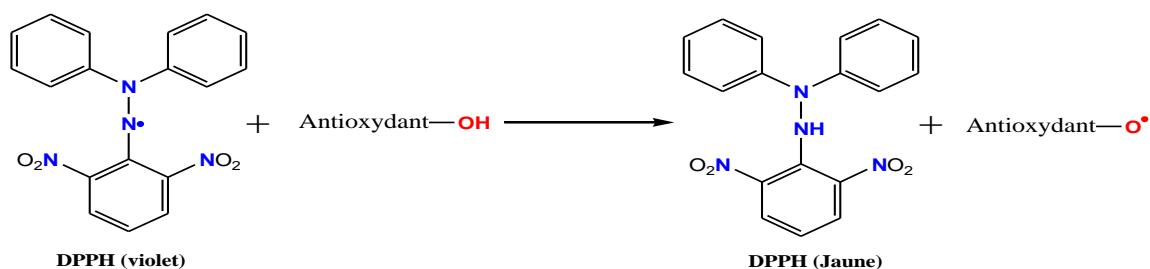


Figure 20 : Réaction du test DPPH [31]

- **Méthode FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)**

La méthode FRAP est une méthode spectrophotométrique largement utilisée pour évaluer l'activité antioxydante des échantillons. Elle mesure la capacité d'un composé à réduire le fer (III) à fer (II) dans un milieu acide. La réduction du fer (III) est détectée par le changement de couleur du complexe fer (II)-tripyridyltriazine, qui est mesuré à une longueur d'onde spécifique. Une augmentation de l'activité antioxydante entraîne une augmentation de l'absorbance [32].

L'oxydation du fer (II) est suivie par la mesure du changement d'absorbance à une longueur d'onde spécifique, généralement 593 nm.

Cette méthode est couramment utilisée pour évaluer l'activité antioxydante des extraits de plantes, des aliments et des produits biologiques.

L'absorbance est enregistrée à 595 nm après 30 min d'incubation à 37 ° C [33].

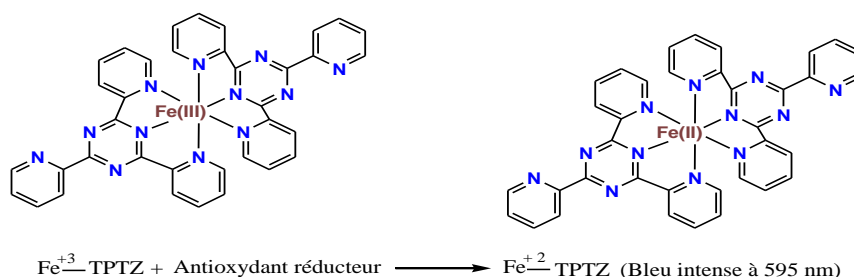


Figure 21 : Schéma de la réaction de test FRAP [34]

- **Méthode H₂O₂ (peroxyde d'hydrogène) :**

La méthode H₂O₂ mesure la capacité d'un échantillon à décomposer le peroxyde d'hydrogène H₂O₂, qui est une espèce réactive de l'oxygène. L'activité antioxydante est évaluée en mesurant la diminution de la concentration de H₂O₂ par réaction avec l'échantillon. Cela peut être suivi par diverses méthodes, telles que la spectrophotométrie ou la titration [35].

Dans la spectrophotométrie, la concentration de H₂O₂ est déterminée en mesurant l'absorbance à une longueur d'onde spécifique, généralement autour de 240 nm. L'activité antioxydante est évaluée par la diminution de la concentration de H₂O₂ au fil du temps. Plus l'activité antioxydante d'un échantillon est élevée, plus la décomposition du H₂O₂ est rapide, ce qui se traduit par une diminution plus rapide de l'absorbance.

VI.2. Activité Anti inflammatoire

L'inflammation est une réaction complexe du système immunitaire en réponse à une agression, telle qu'une infection, une blessure ou une irritation. Elle se manifeste généralement par des rougeurs, des gonflements, de la chaleur et des douleurs dans la zone touchée.

VI.2.1. Les médiateurs d'inflammation

Les médiateurs de l'inflammation sont des substances synthétisées par le corps en réponse à une lésion tissulaire ou à une infection, qui jouent un rôle essentiel dans l'intensification et la régulation de la réponse inflammatoire. Il peut s'agir de cytokines, de prostaglandines, d'histamines, de facteurs de coagulation, et ainsi de suite [36].

VI.2.2. Les pathologies inflammatoires

Les inflammations sont des maladies qui se manifestent par une réponse immunitaire inflammatoire inhabituelle dans le corps. Elles ont la possibilité d'atteindre divers organes ou systèmes, comme les articulations, les poumons, la peau, le système digestif, et ainsi de suite. L'arthrite rhumatoïde, la colite ulcéreuse, et l'asthme sont des maladies inflammatoires fréquentes [37].

VI.2.3. Les Anti-inflammatoires

Les anti-inflammatoires sont des médicaments qui réduisent l'inflammation en inhibant la production de médiateurs inflammatoires tels que les prostaglandines et les cytokines. Ils sont utilisés pour soulager la douleur, la fièvre et l'enflure associées à différentes affections inflammatoires. Ces médicaments sont couramment utilisés pour traiter des conditions telles que l'arthrite, les douleurs musculaires, les maux de tête et les douleurs menstruelles [38].

Ces médicaments peuvent être classés en deux principales catégories : les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) et les corticostéroïdes (stéroïdiens).

Les AINS agissent en inhibant les enzymes cyclooxygénases (COX) responsables de la synthèse des prostaglandines pro-inflammatoires, tandis que les corticostéroïdes sont des hormones synthétiques ayant des effets anti-inflammatoires et immunosuppresseurs.

VI.2.3.1. Anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS)

Les AINS sont une catégorie de médicaments fréquemment employés afin de soulager la douleur, diminuer l'inflammation et diminuer la fièvre. Ils agissent en bloquant les enzymes qui produisent des prostaglandines, des substances qui participent aux processus inflammatoires.

On les retrouve fréquemment dans le traitement de diverses affections comme l'arthrite, les douleurs musculaires, les maux de tête et d'autres affections inflammatoires.

VI.2.3.2. Anti-inflammatoires stéroïdiens (les corticostéroïdes)

Les corticostéroïdes, également appelés corticostéroïdes systémiques, sont une classe de médicaments utilisés pour traiter une variété de conditions inflammatoires et immunitaires. Ils agissent en imitant les hormones produites naturellement par les glandes surrénales, les corticostéroïdes endogènes. Ces médicaments peuvent être utilisés pour traiter des affections telles que l'asthme, l'arthrite, les maladies auto-immunes, les allergies, les maladies cutanées inflammatoires et bien d'autres [39].

Les corticostéroïdes peuvent être administrés par voie orale, par injection, par inhalation, par voie topique (crème ou pommade) ou par voie intraveineuse, selon la condition médicale traitée et la préférence du médecin [40].

VI.2.3.3. Les anti-inflammatoires d'origine naturelle

Les anti-inflammatoires d'origine naturelle sont des composés présents dans certains aliments, plantes et herbes qui ont la capacité de réduire l'inflammation dans le corps.

Quelques exemples d'anti-inflammatoires naturels sont regroupés dans le **tableau 5**

Tableau 5 : Quelques exemples d'anti-inflammatoires naturels.

Plantes	Origine	Effets	Références
Curcumine	Extraite du curcuma, une épice couramment utilisée dans la cuisine indienne	Présente des propriétés anti-inflammatoires puissantes en inhibant les voies de signalisation inflammatoires dans le corps	[41]
Bromélaïne	Extraite de l'ananas	La bromélaïne possède des propriétés anti-inflammatoires et est utilisée pour réduire l'enflure et l'inflammation après une blessure ou une chirurgie	[42]
Resvératrol	raisin rouge, et certaines plantes	propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires, et on pense qu'il peut avoir des effets bénéfiques sur les maladies inflammatoires chroniques	[43]
Huile de poisson	Extraite du poisson gras comme le saumon, et les sardines.	Riche en acides gras oméga-3, qui ont des propriétés anti-inflammatoires et peuvent être bénéfiques pour les affections inflammatoires comme l'arthrite	[44]

VI.2.3.4. Les anti-inflammatoires médicamenteux

Les anti-inflammatoires médicamenteux, ou AINS, sont des médicaments qui ont pour effet de diminuer l'inflammation, de soulager la douleur et de réduire la fièvre. Leur action consiste à bloquer la synthèse de certaines substances chimiques dans le corps qui sont à l'origine de l'inflammation. On utilise fréquemment ces médicaments pour soigner des maladies comme l'arthrite, les douleurs musculaires et articulaires, les maux de tête et les fièvres [45].

VI.2.3.5. Utilisation des plantes

Quelques plantes médicinales traditionnellement utilisées pour leur potentiel anti-inflammatoire sont collectées dans le **tableau 6**

Tableau 6 : Exemple de plantes médicinales ayant des propriétés anti-inflammatoires

Plantes	Famille	Partie utilisée	Propriétés	Références
Camomille (<i>Matricaria chamomilla</i>)	Asteraceae (Composées)	Fleurs	propriétés anti-inflammatoires, antispasmodiques, et apaisantes pour les troubles gastro-intestinaux	[46] et [47].
Gingembre (<i>Zingiber officinale</i>)	Zingiberaceae	Rhizome (racine)	propriétés anti-inflammatoires qui peuvent aider à soulager les douleurs articulaires et musculaires	[48]

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Sies, H. *Redox Biol.*, 4, 180-183, **2015**.
- [2] Valko, M., [Dieter, L.](#), [Jan, M.](#), [Mark, T. D. C.](#), [Milan, M.](#), [Joshua, T.](#) *Int. J. Biochem. Cell Biol.*, 39, 44-84, **2007**.
- [3] Jones, D.P. *Methods Enzymol.*, 348, 93-112, **2006**.
- [4] Sies, H. *Redox Biol.*, 11, 613-619, **2017**.
- [5] Griendling, K. K., FitzGerald. *Circulation.*, 108, 1912-1916, **2003**.
- [6] Halliwell, B., Gutteridge, J. M. Free Radicals in Biology and Medicine. 5th Ed. Oxford university press, **2015**.
- [7] Sies, H., Berndt, C., Jones, D. P. *Annu. Rev. Biochem.*, 86, 715-748, **2017**.
- [8] D'Autréaux, B., Toledano, M. B. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.*, 8, 813-824, **2007**.
- [9] Dröge, W. *Physiol. Rev.*, 82, 47-95, **2002**.
- [10] Forman, H. J., Jon, M. F., Martine, T. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.*, 311, C403-C406, **2016**.
- [11] Rice-Evans, C. A. *Antioxid. Redox Signal.*, 2, 287-292, **1996**.
- [12] Pisoschi, A.M., Pop, A. *Eur. J. Med. Chem.*, 97, 55-74, **2015**.
- [13] Jacobson, E. L., Jacobson, M. K. *J. Am. Med. Wom. Assoc.*, 51, 106-108, **1996**.
- [14] Carr, A.C., & Maggini, S. *Nutrients.*, 9, 1211-1235, **2017**.
- [15] Brigelius-Flohe, R., Traber, M. G. *FASEB J.*, 13, 1145-1155, **1999**.
- [16] Johnson, E. J. *Nutr. Clin. Care.*, 5, 56-65, **2002**.
- [17] Alves-Rodrigues, A. *Nutr. Rev.*, 60, 27-33, **2002**.
- [18] McCord, J. M., Fridovich, I. *J. Biol. Chem.*, 244, 6049-6055, **1969**.
- [19] Poljsak, B., Dahmane, R. *Dermatol. Res. Pract.*, 2012, 1-4, **2012**.
- [20] Rayman, M. P. *Lancet.*, 356, 233-241, **2000**.
- [21] Thomson, C. D. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 64, 93-100, **2010**.
- [22] Scalbert, A., Williamson, G. T. *J. Nutr.*, 130, 2073S-2085S, **2000**.
- [23] Pandey, K. B., Rizvi, S. I. *Oxid. Med. Cell. Longev.*, 2, 270-278, **2009**.
- [24] Aggarwal, B. B., Sundaram, C., Malani, N., Ichikawa, H. *Adv. Exp. Med. Biol.*, 595, 1-75, **2007**.
- [25] Cabrera, C., Artacho, R., Giménez, R. *J. Am. Coll. Nutr.*, 25, 79-99, **2006**.
- [26] Rahman, Khalilur. *J. Cell. Mol. Med.*, 13, 3553-3562, **2009**.
- [27] Rahman, K. *J. Nutr.*, 131, 977S-979S, **2007**.
- [28] Baricevic, D., Sosa, S. *Essent. Oil Res.*, 6, 387-390, **2008**.

- [29] Re, Roberta., [Pellegrini, N.](#), [Proteggente, A.](#), [Pannala, A.](#), [Yang, M.](#), [Rice-Evans, C.](#) *Free Radic. Biol. Medic.*, 26, 9-10, 1231-1237, **1999**.
- [30] Brand-Williams, Walter., Elizabeth, C. M., Berset, C. *LWT-Food Sci. Technol.*, 28, 25-30, **1995**.
- [31] Congo, M. Etude des propriétés antiradicalaire et antiproliferative d'extraits de feuilles et de rameaux de *Salvadora Persica L.* (Salvadoraceae). Thèse de pharmacie, université d'Ouagadougou, Burkina Faso, **2012**.
- [32] Benzie, I. F. F., Strain, J. J. *Anal. biochem.*, 239, 70-76, **1996**.
- [33] Durazzo, A., Lisciani, S., Camilli, E., Gabrielli, P., Marconi, S., Gambelli, L., Aguzzi, A., Lucarini, M., Maiani, G., Casale, G., Marletta., L. *Food Chem.*, 218, 70-77, **2016**.
- [34] Prior, R. L., Wu, X., Schaich, K. *Agric. Food Chem.*, 53, 4290-4302, **2005**.
- [35] Rice-Evans, C. *Clin. Sci.*, 84, 407-412, **1993**.
- [36] Serhan, C. N., Levy, B. D. *J. Clin. Invest.*, 128, 2657-2669, **2018**.
- [37] Abbas, A. K., Lichtman, A. H., Pillai, S. *Cellular and Molecular Immunology*. 9th Ed. Elsevier, **2017**.
- [38] Nonsteroidal anti-Inflammatory drugs (NSAIDs). StatPearls. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499825/>
- [39] National library of medicine (US). Corticosteroids. Bethesda (MD), **2021**. Available from: <https://medlineplus.gov/corticosteroids.html>
- [40] Corticosteroids. Stat Pearls. U.S. National library of medicine, **2021**. Available from: www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532917/.
- [41] Augustine, A., Anitha, P., Sreerag G., [Sreeraj, G.](#) *J. Trad. Complement. Med.*, 7, 205-233, **2017**.
- [42] Bhattacharya, B. K. *Nat. Prod. Radiance.*, 7, 359-363, **2008**.
- [43] [De la Lastra, C. A.](#), [Villegas, I.](#) *Mol. Nutr. Food Res.*, 49, 405-430, **2005**.
- [44] [Cleland, L.](#), James, M. J., Keen, H., Danda, D., Caughey, G. E. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.*, 14, 66-71, **2005**.
- [45] Nonsteroidal anti-Inflammatory drugs (NSAIDs). MedlinePlus. Available from: <https://medlineplus.gov/druginfo/meds/a682159.html>
- [46] Srivastava, J. K., Shankar, E., Gupta, S. *Mol. Med. Rep.*, 3, 895-901, **2010**.
- [47] McKay, D. L., Blumberg, J. B. *Phytother. Res.*, 20, 519-530, **2006**.
- [48] Grzanna, R., Lindmark, L., Frondoza, C. G. *J. Med. Food.*, 8, 125-132, **2005**.
- [49] Mashhadi, N. S., Ghiasvand, R., Askari, G., Hariri, M., Darvishi, L., Mofid, M. R. *Int. J. Prev. Med.*, 4, S36-S42, **2013**.

I. Objectifs

I.1. Objectif général

L'objectif général de ce travail est de caractériser les composés chimiques présents dans ces deux plantes non reconnues comme médicinales et d'évaluer leurs activités biologiques potentielles, afin de mieux comprendre leur potentiel thérapeutique.

I.2. Objectifs spécifiques

- 1- Etude phytochimique ;
- 2- Dosages des polyphénols, flavonoïdes et tanins ;
- 3- Évaluation de l'activité antioxydante par plusieurs tests ;
- 4- Évaluation de l'activité anti-inflammatoire ;
- 5- Caractérisation par HPLC des composés phytochimiques présents dans les extraits des deux plantes

II. Matériel et Méthodes

II.1. Présentation des régions d'étude

II.1. 1. El Ouanza : Description générale de la région

Ouenza (en arabe الوزنة) est une commune algérienne de la wilaya de Tébessa, dans l'extrême est du pays, à proximité de la frontière tunisienne, à 70 km de Tébessa.

Elle se trouve sur les hauts plateaux, avec un climat sec et froid pendant l'hiver et chaud pendant l'été.

La région de l'Ouenza appartient au secteur Nord de la wilaya de Tébessa qui comporte les massifs forestiers d'Ouled Sidi Yahia, Boutaleb et d'Ouled Sidi Abid [1].

La région de Tébessa est bordée au Nord par la wilaya de Souk Ahras, au Sud par la wilaya d'El Oued et à l'Ouest par les wilayas de Khenchela et d'Oum El Bouaghi.

À vol d'oiseau, Tébessa se trouve à 16 km de la frontière algéro-tunisienne, mais elle est située à 45 km par la route nationale 10. Elle se trouve à une distance de 130 km au sud de Souk Ahras par la route nationale 16, à 233 km d'Annaba, à 200 km de Constantine et à 634 km au sud-est d'Alger.

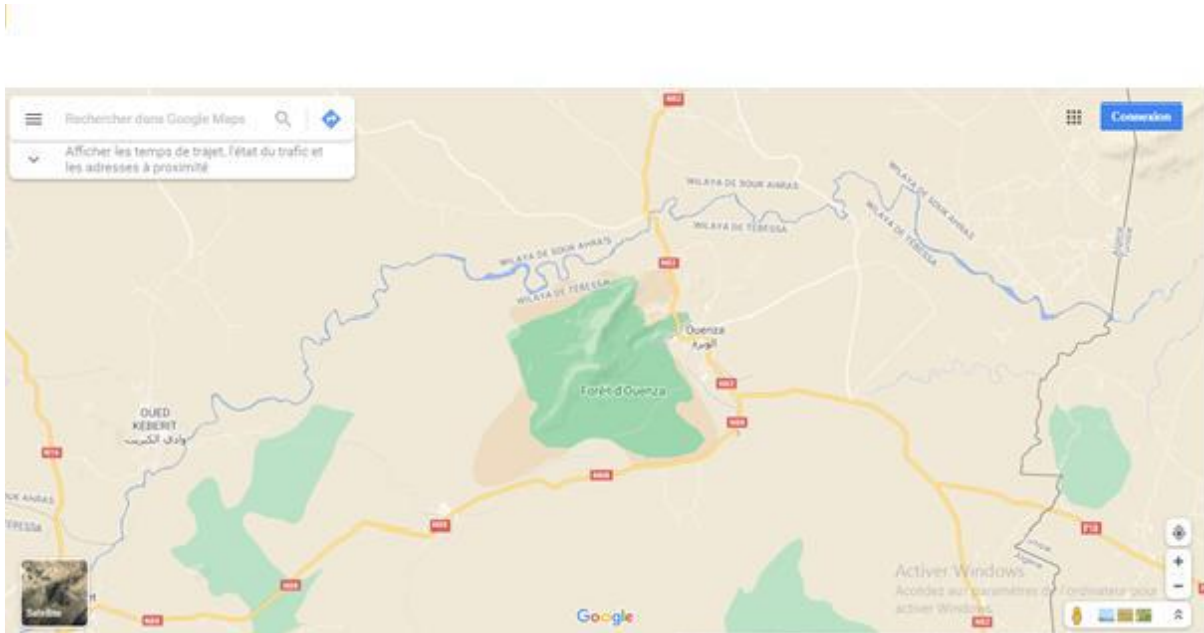


Figure 22 : Situation géographique de la région El OUANSA (Google Maps)

II.1. 2. Parc national d'El-Kala : Description générale de la région :

El Kala National Park (en arabe : الحديقة الوطنية القالة) est un parc national algérien situé à proximité de la ville d'El Kala dans la wilaya d'El Tarf, au nord-est de l'Algérie. Fondé en 1983, il est limitrophe de la mer Méditerranée au nord et de la frontière tunisienne à l'est.

Ce parc national possède de nombreux lacs et un écosystème exceptionnel. Il couvre une superficie de 80 000 hectares, ce qui représente 26 % de la superficie de la wilaya d'El-Tarf. Le site est classé parmi les sites protégés à l'échelle mondiale, avec des espèces endémiques dont certaines sont menacées de disparition. Étendu sur une bande côtière de 50 km, il est très boisé (69% de sa superficie), longeant la frontière tunisienne sur 98 km. Le parc s'étend sur 8 communes, dont 6 sont entièrement intégrées à cet espace naturel. Les 113 000 habitants exercent une pression sur les espaces faunistiques et floristiques en raison de l'urbanisation croissante.



Figure 23 : Situation géographique du Parc national d'El Kala.

II.2. Matériel végétal

II.2.1. Récolte du matériel végétal

Les deux plantes *Sideritis romana* (SR) et *Sideritis incana* (SI) sont récoltées pendant le mois d'avril 2020 du parc national d'El Kala et de la région d'Ouenza successivement. L'identification a été réalisée par le professeur HAMEL Tarek, botaniste du département de biologie, Université BADJI Mokhtar -Annaba.

II.2.2. Séchage et conservation du matériel végétal

Les plantes fraîchement récoltées sont laissées séchées à l'ombre, à la température ambiante dans un endroit sec et aéré, après on a terminé le séchage dans l'étuve pendant 24h à une température $T=35^{\circ}\text{C}$.



Figure 24 : *Sideritis incana*



Figure 25 : *Sideritis romana*

II.2.3. Broyage

Une fois séchée, la matière végétale est finement broyée est mise en poudre à l'aide d'un mortier puis elle est stockée dans des bouteilles en verre fermées et enveloppées avec du papier aluminium pour la protéger de l'humidité et de la lumière.

II.3. Screening phytochimiques

Afin de mettre en évidence la présence ou l'absence de certains composés appartenant aux familles chimiques des métabolites secondaires, nous avons réalisé des tests phytochimiques spécifiques (basés en partie sur l'analyse qualitative) fondés sur des réactions de coloration (formation de complexes colorés), de précipitations (formation de complexes insolubles) ou de turbidité en utilisant les méthodes décrites dans la littérature [2,3].

II.3.1. Saponines (Test de la mousse) : 1g de la matière sèche est pesé dans un bécher dans lequel 10 ml d'eau distillée sont ajoutés et bouillis pendant 5 min. le mélange est filtré, 2,5 ml du filtrat sont ajoutés à 10 ml d'eau distillée dans un tube à essai. Le tube à essai est secoué vigoureusement pendant environ 30 s puis on laisse reposer une demi-heure. Une mousse alvéolaire révèle la présence de saponines [4].

II.3.2. Huiles volatiles : Macérer 1g de la matière sèche dans 4 ml d'eau distillée avec agitation constante pendant 30 min, l'extrait est filtré. 2 ml du filtrat sont secoués avec 0,1 ml de NaOH dilué et une petite quantité de HCl dilué [5]. Un précipité blanc est formé avec les huiles volatiles.

II.3.3. Flavonoïdes : Macérer 1g de la matière sèche dans 15 ml de HCl dilué à 1% pendant 24h, filtrer et procéder au test suivant : Prendre 5 ml du filtrat, le rendre basique par l'ajout de

NaOH [6]. L'apparition d'une couleur jaune claire dans la partie supérieure du tube à essai indique la présence des flavonoïdes.

II.3.4. Alcaloïdes : Macérer 1g de MS dans 10 ml de HCl à 1%, filtrer puis additionner au filtrat quelques gouttes de réactif de Mayer [7]. Un précipité blanc indique la présence des alcaloïdes.

II.3.5. Leuco anthocyanes : On chauffe 5ml de l'infusé à 10% avec 4 ml (éthanol/HCl pur 3/4) dans un bain marie à 50°C pendant quelques minutes. Une couleur rouge cerise indique la présence des leucoanthocyanes [8].

II.3.6. Tanins : Une portion de l'infusé à 10 % est diluée avec l'eau distillée dans un rapport de ¼ et ajouté 3 gouttes de chlorure ferrique FeCl₃ de 10% [9]. Une couleur bleu ou vert indique la présence de tanins.

II.3.7. Cardénolides : Macérer 1g de MS dans 20 ml de l'eau distillée et filtrer. Prélever 10 ml du filtrat, l'extraire avec un mélange de chloroforme et d'éthanol. Evaporer la phase organique et dissoudre le précipité dans 3 ml d'acide acétique glaciale, ajouter quelques gouttes de FeCl₃, suivi de 1 ml de H₂SO₄ concentré sur les parois du tube à essai. L'apparition d'une couleur vert-bleu dans la phase acide indique la présence des cardénolides [10].

II.3.8. Anthocyanes : Repose sur le changement de couleur de l'infusé à 10 % avec changement de pH. On ajoute à l'infusé à 10% quelques gouttes de HCl concentré, puis on rajoute quelques gouttes de NH₄OH. On a un autre changement de couleur. Cela indique la présence des anthocyanes [11].

II.4. Procédé d'extraction des huiles fixes

II.4.1. Extraction par Soxhlet

- **Principe**

L'extraction par Soxhlet est une méthode simple et convenable permettant de répéter infiniment le cycle d'extraction avec du solvant frais (l'éther diéthylique dans notre cas) jusqu'à l'épuisement complet du soluté dans la matière première [12].

Selon la méthode décrite par [Hassani et al.](#) [13] les huiles fixes sont extraites par Soxhlet, avec quelques ajustements (**Figure 26**).

- **Mode opératoire**

Le matériel végétal broyé est placé dans une cartouche qui sera exposée au solvant d'extraction (150 ml de diéthyl éther) mené à une température d'évaporation de 40°C.

Après environ 8 cycles d'extraction, la cartouche est retirée et le solvant chargé d'extrait de la plante est récupéré pour être concentré à sec sous vide à l'aide d'un évaporateur rotatif (marque Heidolph HB digital Laborota 4000 efficient).

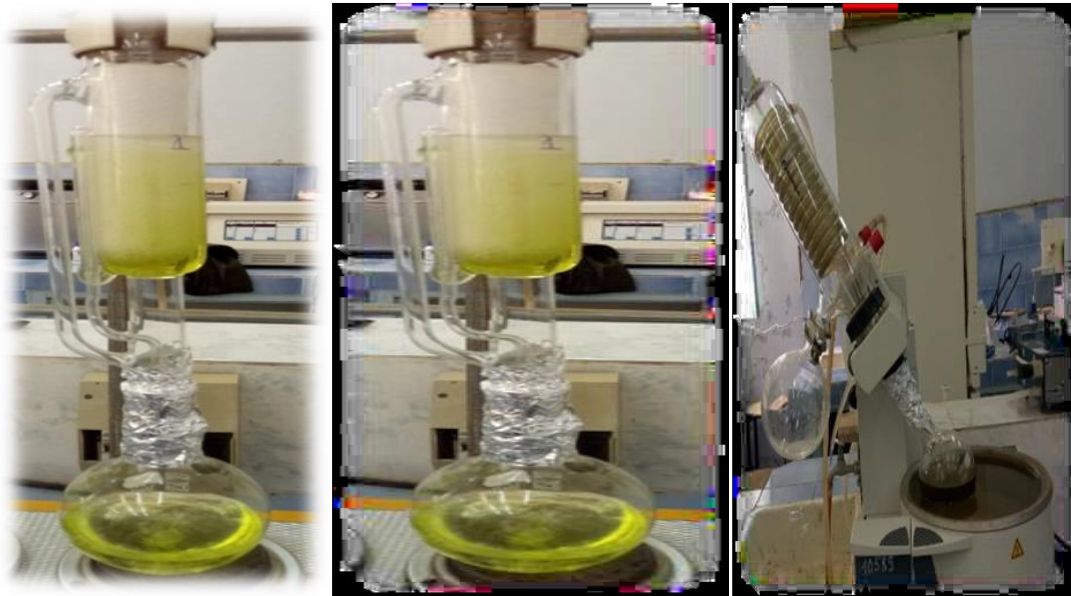


Figure 26 : Extraction de l'huile fixe.

II.4.2. Rendement de l'extraction

Le rendement signifie la masse de l'extrait obtenu après évaporation du solvant par rapport à la masse initiale de la plante soumise à l'extraction. Le pourcentage en huile fixe a été calculé par la formule suivante [14] :

$$\mathbf{Rd\ \% = \frac{M}{M_0} \times 100}$$

R (%) : Rendement exprimé en %.

M : Masse en gramme de l'extrait sec résultant.

M₀ : Masse en gramme du matériel utilisé.

II.5. Détermination des caractéristiques physico-chimiques de l'huile étudiée

II.5.1. Caractères physiques

II.5.1.1. Indice de réfraction

- **Mode opératoire**

- Nettoyer la lame du réfractomètre en utilisant du papier Joseph.
- Étalonner l'appareil par l'eau distillée dont l'indice de réfraction est égale à 1,33.
- Nettoyer la lame du réfractomètre en utilisant du papier Joseph.
- Déposer quelques gouttes d'huile à analyser dans la lame de réfractomètre et régler le cercle de chambre sombre et claire dans la moitié, et effectuer la lecture des résultats en prenant compte de la température.
- Re-nettoyer la lame du réfractomètre en utilisant toujours de papier Joseph.
- Il faut étalonner l'appareil par de l'eau distillée entre la mesure de 2 échantillons.
- Appareillage utilisé : Réfractomètre d'Abbe.

- **Expression de calcul**

$$\mathbf{nd20 = ndT + 0,00035 (T-20) [15].}$$

Avec :

nd20 : L'indice de réfraction à 20°C.

ndT : L'indice de réfraction à la température de l'analyse.

T : La température à laquelle la détermination a été effectuée.

0,00035 : La variation de l'indice de réfraction des triglycérides par degré au voisinage de 20°C.

II.5.1.2. Absorbance dans l'ultraviolet

- **Mode opératoire**

- Peser 0,5 g de l'huile dans une fiole de 50 ml.
- Compléter au trait de jauge avec du cyclohexane au l'hexane.
- Introduire l'échantillon ainsi préparé dans une cuve de 1 cm et procéder à la détermination de son absorbance par rapport à celle de l'hexane ou du cyclohexane dans la cuve témoin.
- Les absorbances sont déterminées aux longueurs d'ondes 270 nm et 232 nm.

- Si l'absorbance est inférieure à 0.8 ; recommencer la mesure sur une solution plus concentrée.
- Si elle est supérieure à 0.8 ; recommencer la mesure sur une solution plus diluée.

- **Méthode de calcul**

Extinction spécifique aux longueurs d'ondes précisées est calculée par la formule suivante :

$$E = A\lambda / C$$

- A : L'absorbance mesurée à la longueur d'onde (λ).
- C : La concentration en g/100 ml de la solution.

II.5.1.3. Le potentiel d'hydrogène (pH)

- **Mode opératoire**

- Régler la température du pH mètre (de marque Hanna Instruments HI-2212) sur le milieu ambiant, rincer toujours la sonde à l'aide d'eau distillée, puis on l'essuie.
- Prendre 100ml d'huile à analyser dans un bécher,
- Plonger la sonde dans la solution et lire le pH.

II.5.2. Caractères chimiques

II.5.2.1. Indice d'acide

- **Mode opératoire**

- Peser 1 g d'huile dans un erlenmeyer.
- Ajouter 35 ml d'éthanol.
- Neutraliser en présence de quelques gouttes de phénophtaléine à 1%.
- Agiter énergiquement et tirer avec la solution d'hydroxyde de sodium (la solution éthanolique titré est à 0,1N) jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante.
- Noter le volume de la solution éthanolique de NaOH ajoutée.

- **Expression de calcul**

$$IA = \text{Indice d'acide} = M1 \times V \times NP \text{ (mg de NaOH/g d'huile) [15]}$$

Avec :

P : masse (g) de la prise d'essai. M1 : masse molaire de NaOH = 39,997 g/mol

V : volume de NaOH nécessaire au titrage.

N : normalité de la solution de NaOH (0,1N).

II.5.2.2. Acidité

L'acidité exprimée en % en masse est égale à

$$A\% = 282 \times N \times V \times 100 P \times 1000 \text{ [15]}$$

Avec :

P : masse (g) de la prise d'essai.

V : volume en ml de la solution titrée d'hydroxyde de sodium utilisée.

N : normalité de la solution de potasse (0,1N).

282 : Masse molaire de l'acide oléique.

II.5.2.3. Indice de peroxyde

- **Mode opératoire**

- Peser 2g d'huile dans un flacon.
- Ajouter 10 ml du chloroforme et dissoudre rapidement la prise d'essai en agitant.
- Ajouter 15 ml d'acide acétique, puis 1ml de la solution d'iodure de potassium.
- Boucher aussitôt le flacon, l'agiter durant 1 mn et le laisser 5 mn exactement à l'abri de la lumière et à une température comprise entre 15 et 25°C.
- Ajouter ensuite 75 ml d'eau distillée.
- Titrer l'iode libéré avec la solution de thiosulfate en agitant vigoureusement en présence de quelques gouttes d'empois d'amidon.
- Effectuer de la même Façon un essai à blanc (sans l'huile).

- **Méthode de calcul**

$$IP = V - V_0 P \times 10 \text{ en milliéquivalents/Kg}$$

$$IP = V - V_0 P \times 5 \text{ en milli moles/Kg}$$

$$IP = V - V_0 P \times 30 \text{ en microgrammes /Kg}$$

Avec :

V₀ : volume (ml) de Na₂S₂O₃ (0,01 N) nécessaire pour titrer l'essai à blanc.

V : volume (ml) de Na₂S₂O₃ (0,01 N) nécessaire pour titrer l'échantillon.

P : prise d'essai (g) de l'échantillon

II.6. Dosage des composés phénoliques

III.6.1. Dosage polyphénols totaux (PPT)

- **Introduction**

L'estimation des polyphénols se fait généralement par des méthodes spectrophotométriques. Ces méthodes sont couramment utilisées, principalement pour leur simplicité et leur sensibilité élevée.

- **Principe**

La teneur en polyphénols totaux est déterminée par le test de Folin-Ciocalteu [16].

Le réactif de Folin-Ciocalteu est un acide de couleur jaune constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$).

Ce dosage est basé sur la quantification de la concentration totale de groupements hydroxyles présents dans l'extrait. Le réactif de Folin-Ciocalteu, en milieu alcalin, oxyde les phénols en ions phénolates et réduit partiellement ces hétéropolyacides, d'où la formation d'un complexe molybdotungstique bleu qui absorbe fortement à une longueur d'onde de l'ordre 750 nm. La coloration produite est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux.

La quantification des polyphénols a été faite en fonction d'une courbe d'étalonnage linéaire ($y = ax+b$) réalisé par un extrait d'étalon standard à différentes concentration dans les même conditions que l'échantillon.

- **Mode Opérateur**

- ✓ **Préparation de l'extrait méthanolique**

Dix grammes de poudre de la matière végétale sont macérés avec 100 ml de méthanol pendant 24 heures dans l'obscurité, l'opération est répétée 3 fois. Le filtrat obtenu est utilisé pour l'analyse.

- ✓ **Méthode**

La détermination des concentrations des polyphénols totaux de l'extrait brut est effectuée à l'aide de la méthode de Folin-Ciocalteu [17].

1ml d'extrait de plante ou de la solution de l'acide gallique (20, 40, 60, 80, 100 mg/l) convenablement dilué est introduit dans une fiole jaugée de 25 ml contenant initialement 9 ml

d'eau distillée. On ajoute ensuite 1 ml du réactif de Folin et on l'agite. Après 5 minutes, une solution de Na₂CO₃ à 7% (10 ml) est ajoutée tout en agitant. La solution est immédiatement diluée et ajustée au trait de jauge avec de l'eau distillée et le mélange est agité vigoureusement. Après une incubation de 90 min dans l'obscurité et à la température ambiante, l'absorbance est mesurée à 750 nm à l'aide d'un spectrophotomètre (JENWAY 6300 Spectrophotomètre), en utilisant une solution de méthanol/eau (7-3) comme blanc.

Le polyphénol standard utilisé dans cette méthode est l'acide gallique dont la structure chimique est présentée par la figure 27.

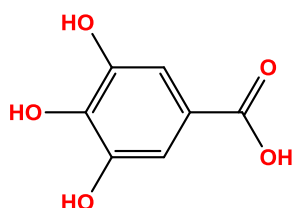


Figure 27 : Structure de l'acide gallique (Acide 3, 4,5-trihydroxybenzouïque).

Notons qu'une droite d'étalonnage est préalablement réalisée avant l'analyse avec de l'acide gallique dans les mêmes conditions que les échantillons à analyser.

La teneur en polyphénols totaux est exprimée en mg équivalent d'acide gallique (GAE) / 100 g du poids sec de matière sèche. Tous les essais sont reproduits au moins 3 fois [18].

La teneur en polyphénols des échantillons analysés sont déterminées par la relation suivante :

$$\text{Teneur en polyphénols (mg / 100 g)} = 100 (C.V) / m$$

C : Concentration de l'extrait (en mg /l)

V : Volume de solvant utilisé pour l'extraction (en litres).

m : Masse en grammes de la prise d'essai.

II.6.2. Dosage des Flavonoïdes

La teneur en flavonoïde des extraits a été déterminée en utilisant la méthode colorimétrique au trichlorure d'aluminium (AlCl₃) [19].

- **Principe**

Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner avec le groupement CO, un complexe coloré avec le chlorure d'aluminium.

Ceci traduit le fait que le métal (Al) perd deux électrons pour s'unir à deux atomes d'oxygène de la molécule phénolique agissant comme donneur d'électrons.

L'intensité de la couleur dont l'absorbance maximale est de 430 nm est proportionnelle à la quantité de complexes formés

- **Mode Opérateur**

Le flavonoïde standard utilisé dans cette méthode est la catéchine dont la formule chimique est représentée par la figure 28.

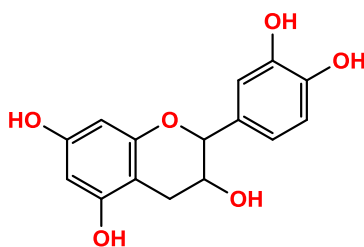


Figure 28 : Structure de la catéchine

Une quantité de 1mL de chaque extrait doit être ajoutée à un volume égal (1 ml) d'une solution d' $AlCl_3$ (2% dans le méthanol) ; Dans les mêmes conditions un témoin a été préparé qui est la solution ($AlCl_3$ /méthanol). Le mélange a été incubé pendant 10 minutes à température ambiante et l'absorbance a été mesurée à une longueur d'onde d'ordre 415 nm.

II.6.3. Dosage des tanins [20]

Les tanins condensés sont déterminés par la méthode à la vanilline en milieu acide. Cette méthode est basée sur la capacité de la vanilline à réagir avec les unités des tanins condensés en présence d'acide pour produire un complexe coloré mesuré à 500 nm.

- **Mode opératoire**

Dans un erlenmeyer, on introduit 5 mL du réactif d'analyse qui contient : 2.5 mL de la solution de vanilline à 1% mélangée à 2,5 mL de la solution de HCl à 8% (8 mL de HCl complétés à 100 mL avec du méthanol). On ajoute 1 mL de l'échantillon (préparé dans le méthanol) et on agite le mélange pendant une minute. On additionne 5mL de la solution de HCl à 4%. L'erlenmeyer est ensuite introduit au bain marie à 30°C et laissé pendant 20 min. La lecture des absorbances est faite à 500 nm.

II.7. Activités biologiques

II.7.1. Evaluation de l'activité antioxydante

- **Préparation des extraits**

10g de poudre de matière végétal est extrait avec 100 ml des solutions méthanol, dichloro méthane et diéthyl éther pendant 24 heures dans l'obscurité (l'opération est répétée 3 fois). Le filtrat obtenu est utilisé pour l'analyse.

L'évaluation de l'activité antioxydante est d'une importance cruciale dans de nombreux domaines de recherche, tels que la médecine, la nutrition, la cosmétique et la chimie des produits naturels.

De nombreuses méthodes sont utilisées pour l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits. La plupart de ces méthodes sont basées sur la coloration ou décoloration d'un réactif dans le milieu réactionnel.

La mise en évidence du pouvoir antioxydant des trois extraits Méthanol, Dichlorométhane et le Diéthyle éther a été réalisée par trois méthodes différentes à savoir : le test FRAP (Ferric Reducing Antioxydant Power), le test DPPH) et le test de H₂O₂.

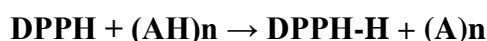
II.7.1.1. Test de piégeage de radical libre DPPH

Cette méthode est basée sur la capacité d'un antioxydant à neutraliser le radical libre DPPH. L'intensité de la couleur pourpre du DPPH diminue proportionnellement à la concentration d'antioxydant. Cette méthode est largement utilisée en raison de sa simplicité et de sa sensibilité [21].

- **Principe**

Le 2,2 diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH[•]) est un radical libre stable, violet en solution et présentant une absorbance caractéristique à 517 nm. Cette couleur disparaît rapidement lorsque le DPPH est réduit en Diphényle picryl-hydrazine par un composé à propriété anti radicalaire, entraînant ainsi une décoloration (l'intensité de la coloration est inversement proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans le milieu à donner des protons) [22].

On résume la réaction sous forme de l'équation :



Où (AH)_n représente un composé capable de céder un hydrogène au radical DPPH (violet) pour le transformer en Diphényle picryl-hydrazine (jaune). Ceci permet de suivre la cinétique de décoloration à 517 nm.

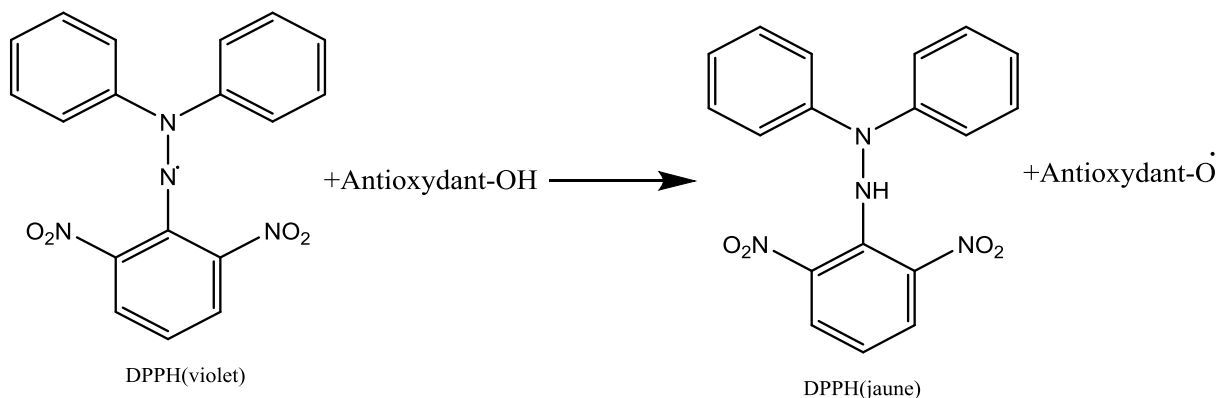


Figure 29 : Réaction de piégeage du radical DPPH par le phénol [23].

Le DPPH[•] (2,2 diphényl-1 picrylhydrazyl) est un radical stable qui absorbe dans le visible entre 515 à 520 nm. Le test consiste à faire réagir le DPPH de coloration violette avec des molécules dites antioxydants afin de mesurer leur capacité à le réduire en DPPH-H de coloration jaune. Ce changement de couleur reflète le pouvoir de l'extrait végétal à piéger ce radical. Le phénomène peut donc être suivi par spectrophotométrie visible.

- **Mode opératoire**

L'estimation de l'activité antiradicalaire est déterminée selon la méthode décrite par [El-Haci et al. \[24\]](#) avec quelques modifications.

L'extrait de plante (0,1 mL) est ajouté à 2,9 mL de DPPH à 0,004% (P/V) dans du méthanol-eau (8:2). Le mélange réactionnel formé a ensuite été mis à l'obscurité pendant 30 minutes à la température ambiante. L'absorbance est mesurée à 517 nm en se référant à un témoin sans extrait. Le méthanol est utilisé comme blanc.

- **Expression des résultats**

Les résultats peuvent être exprimés en tant que l'activité anti radicalaire ou l'inhibition des radicaux libres en pourcentages (I%) en utilisant la formule suivante :

$$\% \text{ d'inhibition} = \left[\frac{\text{Abs control négatif} - \text{Abs Echantillon}}{\text{Abs control négatif}} \right]$$

- **Calcul des IC₅₀**

IC₅₀ ou la concentration inhibitrice de 50% (aussi appelée EC50 pour *Efficient Concentration* 50), est la concentration de l'échantillon testé nécessaire pour réduire 50% de radical DPPH.

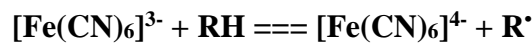
Les IC₅₀ sont calculées graphiquement par les régressions linéaires des graphes tracés :

Pourcentage d'inhibition en fonction de différentes concentrations des fractions testées.

II.7.1.2. Méthode du pouvoir réducteur ferrique (FRAP)

Cette méthode mesure la capacité d'un échantillon à réduire le complexe ferrique Fe³⁺-TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazine) en fer ferreux Fe²⁺. L'activité antioxydante est quantifiée en mesurant le changement d'absorbance à une longueur d'onde spécifique [25].

L'activité réductrice du fer de nos extraits est déterminée selon la méthode décrite par Oyaizu [26], basée sur la réduction du Fe³⁺ présent dans le complexe K₃Fe(CN)₆ en Fe²⁺ par les antioxydants qui donnent une couleur bleu selon la réaction suivante :



RH : Substance active antioxydante.

R[•] : Substance active oxydée.

- **Mode opératoire**

1ml de chaque extrait à différentes concentrations est mélangé avec 2,5ml d'une solution tampon phosphate 0,2M (pH 6,6) et 2.5ml d'une solution de ferricyanure de potassium K₃Fe(CN)₆ à 1%

- L'ensemble est ensuite incubé au bain marie à 50°C pendant 20min.

- 2,5ml d'acide trichloroacétique à 10% sont ajoutés pour stopper la réaction.

- Les tubes sont centrifugés à 3000 tr/min pendant 10min.

- 2.5ml du surnageant sont mélangés à 2.5ml d'eau distillée et 0.5ml d'une solution de chlorure ferrique fraîchement préparée à 0,1%. La lecture de l'absorbance du milieu réactionnel se fait à 700nm contre un blanc semblablement préparé, en remplaçant l'extrait par de l'eau distillée qui permet de calibrer l'appareil (UV-VIS spectrophotomètre). Le contrôle positif est représenté par une solution d'un antioxydant standard : l'acide ascorbique dont l'absorbance a été mesuré dans les mêmes conditions que les échantillons (la longueur d'onde de mesure est (700 nm)).

II.7.1.3. Test de piégeage du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂ scavenging activity)

Cette méthode peut être réalisée en mesurant la capacité d'un échantillon à décomposer le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) en eau (H₂O) et oxygène (O₂). Il existe plusieurs variantes de cette méthode.

- **Principe**

Cette méthode mesure la dégradation du H₂O₂ par un échantillon à l'aide d'un dosage spectrophotométrique. Lorsque le H₂O₂ est dégradé, la formation d'eau entraîne une diminution de l'absorbance à une longueur d'onde spécifique [27]. La réduction du H₂O₂ est quantifiée en mesurant le changement d'absorbance ou de fluorescence [28].

- **Mode opératoire**

L'activité de piégeage des extraits contre le H₂O₂ a été déterminée selon la méthode décrite par Remigante *et al.* [29]. Une solution dé-ionisée de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂), 40 mM, a été préparée dans un tampon phosphate à pH 7,4. Chaque extrait a été préparé à différentes concentrations, en commençant par une concentration de 1 mg/mL.

A 0,6 ml de solution de H₂O₂, 1,4 ml de chaque extrait a été ajouté. Le produit final a été laissé à réagir à température ambiante pendant 10 minutes.

L'absorbance de H₂O₂ a été mesurée à 230 nm par rapport à un contrôle sans extrait. Le taux d'inhibition de H₂O₂ (T%) a été estimé selon la formule suivante [29] :

$$T \% = \frac{A_c - A_e}{A_c} \times 100$$

II.7.2. Evaluation de l'activité anti-inflammatoire

L'activité anti-inflammatoire fait référence à la capacité de substances à réduire l'inflammation dans le corps. Des composés naturels comme les oméga-3 présents dans les poissons gras ont montré des effets anti-inflammatoires [30]. De plus, certains médicaments tels que les corticostéroïdes agissent également en inhibant les réponses inflammatoires [31].

- **Principe**

La méthode d'évaluation de l'activité anti-inflammatoire des plantes médicinales consiste à mesurer l'effet de ces plantes ou de leurs extraits sur les processus inflammatoires *in vitro* ou *in vivo*. Elle vise à déterminer si les composés présents dans les plantes ont des propriétés anti-

inflammatoires, notamment en modulant la production de médiateurs inflammatoires, la réduction de l'œdème ou l'inhibition de l'activité des enzymes inflammatoires [32].

- **Mode opératoire :**

L'activité anti-inflammatoire des trois extraits a été évaluée selon le test d'inhibition de la dénaturation thermique des protéines décrit par [al Karthik et al.](#) [33]. Pour cela, des concentrations de différentes gammes, de 0,0625 à 1 g/mL, ont été préparées. Une solution composée de 1 mL de chaque dilution et de 1 mL d'ovalbumine à 0,2% (diluée dans du phosphate-buffered saline [PBS]) a été incubée pendant 5 min à 72°C. Après vortexage et refroidissement, l'absorbance a été mesurée à une longueur d'onde de 660 nm par rapport à un échantillon vierge exempt d'extrait. Le diclofénac, l'agent anti-inflammatoire de référence, a été préparé selon les mêmes procédures opératoires que l'extrait. Le taux d'inhibition (T%) de la dénaturation des protéines a été calculé selon la formule suivante [33] :

$$T \% = 100 - \frac{ODs}{ODc} \times 100$$

ODs : densité optique de l'extrait

ODc : Solution d'ovalbumine sans extrait

II.8. Analyse des composés phénoliques par HPLC

La chromatographie liquide à haute performance (HPLC) est une technique analytique largement utilisée pour séparer, identifier et quantifier les composés présents dans les plantes. Elle permet une séparation précise des composés complexes d'une plante en utilisant une colonne de séparation et un solvant mobile [34].

- **Principe :**

Le principe de la chromatographie liquide à haute performance (HPLC) repose sur la séparation des composés d'un échantillon en utilisant une phase stationnaire (colonne de séparation) et une phase mobile (solvant). La HPLC est largement utilisée dans les domaines de la recherche pharmaceutique, de la médecine, de la chimie et de la biologie pour analyser et quantifier les composés présents dans les échantillons.

- **Mode opératoire**

Les composés phénoliques de nos extraits ont été identifiés par HPLC-DAD (1260-Agilent, Allemagne), telles que décrites par [Maalej et al.](#) [35]. Concernant la séparation des composés

il a été réalisé à l'aide d'une colonne C18 (Eclipse DB, 5 µm, 4,6×25,0 mm), la durée de cycle d'analyse est de 50min à 40°C, le débit de la phase mobile est 0,5 ml/min.

III. Résultats et discussion

III.1. Screening Phytochimiques

Les Résultats des tests phytochimiques réalisés sur les deux plantes sont récapitulés dans le tableau 7.

Les résultats seront classés selon :

- test franchement positif : (+ + +).
- test positif : (+ +).
- test moyennement positif : (+).
- test négatif : (-).

Tableau 7 : Screening phytochimiques des deux plantes étudiées.

Composants chimiques	<i>Sideritis incana</i>	<i>Sideritis romana</i>
Saponines	+++	+++
Huiles volatiles	++	++
Flavonoïdes	+++	+++
Alcaloïdes	+++	+++
Dérivés quinoniques	-	-
Leucoanthocyanes	++	++
Tanins	+	+
Cardénolides	++	+++
Anthocyanes	++	++

L'ensemble de ces résultats met en évidence la richesse des métabolites secondaires dans les plantes étudiées.

L'étude révèle la présence de substances chimiques qui ont des propriétés biologiques intéressantes, telles que les polyphénoliques (Flavonoïdes, Tanins, Saponines, Leucoanthocyanes, Anthocyanes et Huiles volatiles). Ces résultats concordent parfaitement avec l'étude menée par Khelassi-Sefaoui sur *Sideritis incana* [36].

D'autres familles chimiques ne sont cependant pas identifiées. Cela peut être attribué à des disparités dans les caractéristiques géographiques, physicochimiques ou biologiques, telles que la variabilité dans le site de récolte, y compris l'environnement de la plante, la lumière, les précipitations, la topographie, le type de sol, la saison de la récolte, les techniques d'extraction et la partie utilisée de la plante.

III.2. Extraction des huiles végétales

Après extraction par sohlet et élimination des traces de solvant (le diéthyl éther), les rendements trouvés sont 0,46% pour *Sideritis incana* et 0,79% pour *Sideritis romana*. Ces résultats montrent la richesse de ces deux plantes en lipides qui sont des constituants biologiques nutritionnellement importants du point de vue calorique et apport en acide gras essentiels [37].

Les rendements en huile fixe obtenus restent quantitativement différents par rapport à ceux déjà trouvés dans des études antérieures sur des plantes de la même famille [36,37].

Le rendement en huile végétale varie suivant plusieurs conditions telles que : la méthode d'extraction employée, l'environnement, la saison de récolte, les conditions de séchage et de conservation, l'interaction avec l'environnement (type de climat, sol...).

III.2.1. Caractéristiques physico-chimiques

III.2.1.1. Caractères physiques

- **Indice de réfraction**

Les mesures sont effectuées avec un réfractomètre d'Abbe à une température fixée à 23°C. Le tableau ci-dessous résume les résultats de l'indice de réfraction des huiles des deux plantes :

Tableau 8 : Indice de réfraction de l'huile végétale des plantes étudiées.

Norme C.A (mg deNaOH/g d'huile)	Huile de <i>S. incana</i>	Huile de <i>S. romana</i>
1,463 – 1,478	1,462	1,473

Les indices de réfraction de *Sideritis incana* et *Sideritis romana* sont **1,462** et **1,473** respectivement, qui sont très proche de celles des indices de réfraction des huiles végétales oscillent entre **1,463** et **1,472** [38].

- **Le potentiel d'hydrogène (pH)**

Selon les résultats, nos huiles végétales présentent un pH neutre : puisque le niveau d'acidité est lié au potentiel d'hydrogène [39].

- **Absorbance dans l'ultraviolet**

Le rapport $R = E_{232} / E_{270}$ qui est en général supérieur à 10 ou 20 dans les corps gras vierges et inférieur à 2 dans les corps gras raffinés, les résultats sont confirmés par Mariod [40].

Tableau 9 : Absorbance de l'huile végétale de *Sideritis incana* et *Sideritis romana*.

Longueur d'onde (λ nm)		232	270	232 Dilution (1/2)	270 Dilution (1/2)	232 Dilution (1/4)	270 Dilution (1/4)
Absorbance	<i>S. incana</i>	3,860	3,013	1,671	0,560	0,394	0,265
	<i>S. romana</i>	2,950	2,950	1,666	0,556	0,396	0,228
Rapport E232/E270	<i>S. incana</i>	1,281		2,984		1,486	
	<i>S. romana</i>	1,000		2,996		1,736	
Norme C.A pour le rapport E232/E270		< 2					

Les résultats obtenus sont conforme à la norme établie par le Codes Alimentarius 1983 Tous les corps gras contiennent des époxydes et des hydroperoxydes en quantités plus ou moins importantes.

La détermination des absorbances au voisinage de 232 nm et au voisinage de 270 nm permet de détecter et d'évaluer les quantités des produits d'oxydation : plus l'extinction à $\lambda=232$ nm est forte, plus elle est peroxydée. De même plus l'extinction à $\lambda=270$ nm est forte, plus elle est riche en produits d'oxydation secondaires et traduit une faible aptitude à la conservation [41].

Le rapport E_{232}/E_{270} donne une indication plus claire sur l'état d'oxydation d'une huile.

III.2.1.2 Caractères chimique

- **Détermination de l'indice d'acide**

L'indice d'acide indique le comportement et la quantité des acides libres présents dans notre huile. Il peut aussi nous renseigner sur la susceptibilité de l'huile à subir des altérations, notamment l'oxydation.

D'après nos résultats (tableau 4), l'huile végétale des plantes étudiées présente des valeurs égales à 3,20 et 3,37 mg de NaOH/g d'huile de *Sideritis romana* et *Sideritis romana* respectivement, des valeurs qui rentrent dans l'intervalle de la norme codex Alimentarius 1983 qui préconise des valeurs entre 2,20 et 7,26). Cela veut dire qu'il y a un bon nombre d'acides gras libres dans les lipides, les résultats sont confirmés par [Sevindik \[42\]](#). Le tableau suivant résume les résultats de l'indice d'acide d'huile analysée à partir des expressions de calculs.

Tableau 10 : Indice d'acide de l'huile végétale de *Sideritis incana* et *Sideritis romana*.

	Indice d'acide (I.A) (mg de NaOH/g d'huile)	Norme C.A (mg de NaOH/g d'huile)
<i>S. incana</i>	3,20	2,20 – 7,26
<i>S. romana</i>	3,37	

- **Détermination de L'acidité**

L'acidité est un critère de qualité d'une huile ; sa valeur dépend essentiellement des conditions de son stockage (lumière, humidité, température et oxygène).

Tableau 11 : Acidité de l'huile végétale de *Sideritis incana* et *Sideritis romana*.

	Acidité %	Norme C.A
<i>S. incana</i>	2,256	Max 3,3 %
<i>S. romana</i>	2 ,250	

Un faible taux d'acidité contribue à donner à l'huile une plus grande stabilité face à l'oxydation par l'air [\[43\]](#). Il est recommandé pour une huile végétale d'avoir un taux d'acidité faible (inférieur à 3,3% norme imposée par codex alimentarius) pour supporter une longue conservation sans détérioration [\[44\]](#).

- **Détermination de l'indice de peroxyde**

L'indice de peroxyde est un critère très utile et d'une sensibilité satisfaisante pour apprécier les premières étapes d'une détérioration oxydative d'une huile [45]. Elles indiquent en fait, la quantité d'acides gras déjà rances [46]. Sachant que les peroxydes contenus dans l'huile fraîche peuvent jouer un rôle d'initiateur ou de catalyseur des réactions d'oxydation lors du son stockage.

Nous rassemblons dans le tableau suivant, les valeurs de l'indice de peroxyde de nos deux huiles végétales :

Tableau 12 : Indice de peroxyde de l'huile végétale de *Sideritis incana* et *Sidérítis romana*.

	V ₀	V	Indice de peroxyde (milliéquivalents/Kg d'huile)	Norme C.A (milliéquivalents/Kg d'huile)
<i>S. incana</i>	2,7	4,1	15	5,2 – 7,0
<i>S. romana</i>	1,9	5,6	18	

V₀ : Volume (ml) de Na₂S₂O₃ nécessaire pour titrer l'essai à blanc.

V : Volume (ml) de Na₂S₂O₃ nécessaire pour titrer l'échantillon.

Les résultats des indices de peroxyde relevés, excèdent celles de la norme établie (norme Codex Alimentarius), ce qui est probablement dû à la présence de solvant dans l'échantillon (la prise d'essai) ainsi qu'à des erreurs survenues lors du titrage [47].

III.3. Dosage des composés phénoliques

- **Préparation des extraits**

Trois solvants de polarités variées ont été employés, à savoir le méthanol, le dichlorométhane et le diéthyl éther. Pour chaque plante, 5 grammes de poudre végétale ont été mélangés avec 50 ml de solvant, et ce, pendant 24 heures à température ambiante et sous agitation magnétique.

- **Analyses quantitatives**

Les analyses quantitatives des polyphénols totaux, des flavonoïdes totaux et des tannins des différents extraits sont déterminées à partir des équations de la régression linéaire des courbes d'étalonnage et exprimées en mg équivalent par g de la matière végétale sèche. La raison

principale pour le choix de ces substances réside dans le fait que la majorité des activités biologiques et pharmacologiques de la plante leur sont attribués.

III.3.1. Dosage des polyphénols totaux

A partir d'une solution mère standard, on prépare des solutions filles de concentrations respectives (20, 40, 60, 80, et 100 mg/l). Une analyse quantitative des extraits a été réalisée avec un spectrophotomètre de marque JENWAY pour déterminer leur concentrations en polyphénols totaux, en utilisant la méthode de Folin-Ciocalteu (abs 765 nm).

La teneur en polyphénols est déterminée à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique (mg EAG) par g de matière sèche $y = 0.053 x + 0.132$ avec un coefficient de régression de la droite $R^2 = 99.4\%$.

Les résultats de l'analyse spectrophotométrique des composés phénoliques totaux sont regroupés dans le tableau 13 et sont représentés sur la figure 30 où la teneur en composés phénoliques est exprimée en milligrammes équivalents à l'acide gallique par 100 g MS.

Tableau 13 : Teneur en polyphénols totaux (EAG mg/100 g MS).

	<i>S. Romana</i>	<i>S. Incana</i>
Méthanol	195,62 ± 1,05	212,17 ± 1,19
Dichlorométhane	83,86 ± 0,49	64,26 ± 1,01
Diéthyle éther	57,71 ± 1,30	52,19 ± 1,24

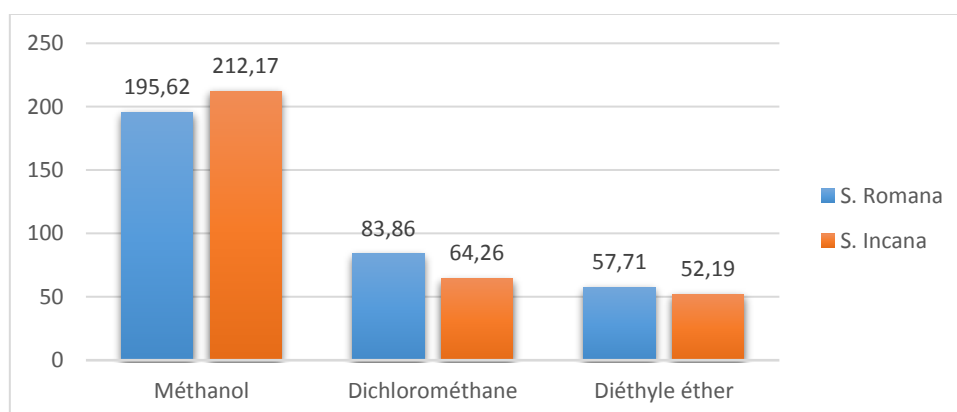


Figure 30 : Teneur en composés phénoliques totaux (EAG mg/100 g MS) de *S. Romana* et *S. incana*

D'après ces résultats, il est évident que la quantité des polyphénols varie à travers les différents extraits des deux plantes examinées :

- Les extraits méthanoliques présentent les valeurs les plus élevées, ce qui s'explique par la polarité élevée des composés phénoliques. A l'inverse, les extraits au diéthyl éther possèdent les plus faibles valeurs.
- Les résultats ont également révélé une similarité dans la quantité de composés phénoliques présente dans les deux espèces végétales à l'exception de l'extrait au dichlorométhane, dont la quantité dans *Sidéritis Romana* est double de celle de *Sidéritis Incan*.

III.3.2. Dosage des flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes est déterminée à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage de la quercétine : $y = 0,023 x + 0,015$ avec un coefficient de régression de la droite ($R^2 = 99.7\%$) proche de 1 prouvant ainsi la fiabilité de cette courbe dans la détermination des flavonoïdes

Les résultats de l'analyse spectrophotométrique des flavonoïdes totaux sont récapitulés dans le tableau 14 et sont illustrés sur la figure 31, la quantité de flavonoïdes est exprimée en mg EQ/100g MS.

Tableau 14 : Teneurs en Flavonoïdes (mg EQ/100g MS).

	<i>S. Romana</i>	<i>S. Incana</i>
Méthanol	107,44 ± 1,11	109,65 ± 1,46
Dichlorométhane	51,18 ± 0,54	53,65 ± 0,60
Diéthyle éther	29,36 ± 0,86	33,18 ± 0,15

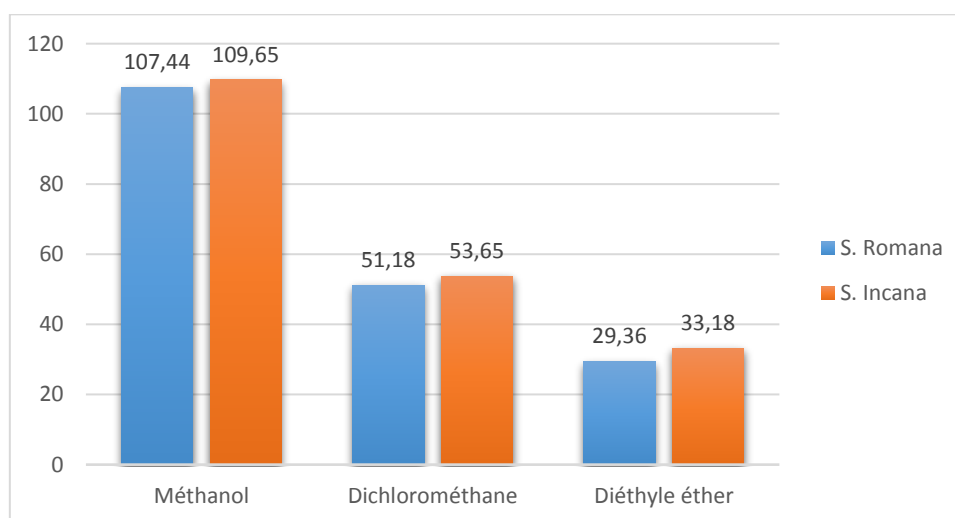


Figure 31 : Teneur en flavonoïdes totaux (EQ mg/100 g MS) de *S. Romana* et *S. incana*.

Ces résultats indiquent que les extraits méthanoliques présentent des teneurs largement supérieures à celles des autres extraits (107,44 et 109,65 EQ mg/100 g MS pour *Sideritis romana* et *Sideritis incana* respectivement). On s'aperçoit également que les deux plantes affichent des valeurs semblables.

III.3.3. Dosage des tanins

La teneur en tanins est déterminée à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage de la catéchine : $y = 0,0149 x + 0,0922$ avec un coefficient de régression de la droite ($R^2 = 96.2\%$).

Le tableau 15 et la figure 32 regroupent et illustrent les résultats de l'analyse spectrophotométrique des tanins condensés. Les teneurs sont exprimées en mg EC/100g MS.

Tableau 15 : Teneurs en tanins (mg EC/100g MS).

	<i>S. Romana</i>	<i>S. Incana</i>
Méthanol	12,25 ± 0,37	18,58 ± 0,17
Dichlorométhane	50,70 ± 0,21	50,81 ± 0,10
Diéthyle éther	43,24 ± 0,34	49,19 ± 0,08

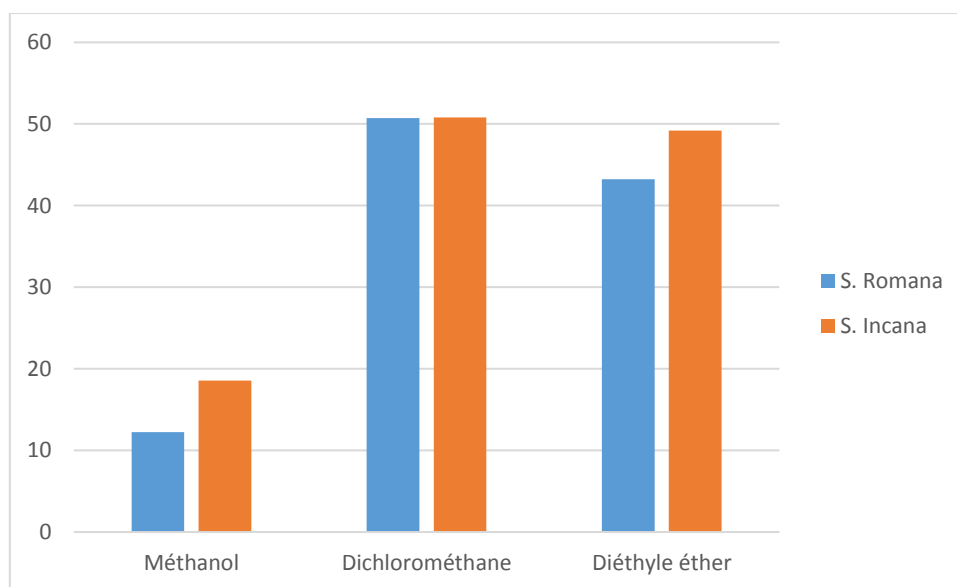


Figure 32 : Teneur en tanins (EQ mg/100 g MS) de *S. Romana* et *S. incana*

Selon ces résultats, il est évident que pour les deux extraits (extrait au méthanol et extrait au diéthyl éther), l'espèce *Sideritis romana* démontre des teneurs considérablement plus élevées que celles de *Sideritis incana*, contrairement à l'extrait au dichlorométhane où les concentrations des tanins dans les deux espèces sont similaires.

III.4. Activités biologiques

III.4.1. Activité antioxydante

Pour évaluer la capacité antioxydante des deux espèces, nous avons utilisé trois méthodes différentes, à savoir : le test DPPH, le test FRAP et le test de piégeage du H₂O₂. Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 16 : Activité antioxydante de différents extraits de *Sideritis romana* et *Sideritis incana*.

	Test DPPH IC ₅₀ (µg/ml)		Test FRAP IC ₅₀ (µg/ml)		Test de piégeage du H ₂ O ₂ %	
	<i>S. Romana</i>	<i>S. Incana</i>	<i>S. Romana</i>	<i>S. Incana</i>	<i>S. Romana</i>	<i>S. Incana</i>
Méthanol	29,24 ± 0,12	26,19 ± 1,96	47,82 ± 1,25	43,91 ± 0,68	83,11 ± 2,16	83,93 ± 2,27
Dichlorométhane	44,70 ± 0,49	45,81 ± 0,80	52,93 ± 1,11	51,21 ± 1,08	53,39 ± 1,46	50,51 ± 2,10
Diéthyle éther	78,84 ± 2,90	76,34 ± 3,76	69,27 ± 2,03	63,14 ± 1,43	33,63 ± 0,28	38,30 ± 0,69
α-Tocopherol	13,24 ± 2,20		35,16 ± 0,22		-	
Vitamine C	-		-		94,68 ± 1,03	

On constate que le solvant utilisé dans le processus d'extraction a un impact notable sur l'activité antioxydante des deux espèces végétales, évaluées par les trois tests. Les résultats les plus significatifs ont été observés avec l'extrait au méthanol. Ce dernier, offre des valeurs proches que celles des antioxydants de référence employés pour le contrôle (94,68 ± 1,03 % pour la Vitamine C contre 83,11 ± 2,16 % et 83,93 ± 2,27 % pour l'extrait méthanolique de *Sideritis romana* et *Sideritis incana* respectivement), ce qui met en évidence leurs applications thérapeutiques potentielles comme antioxydants.

En outre, Il apparaît qu'aucune différence significative ne se manifeste entre les activités antioxydantes des deux plantes (les IC₅₀ observés sont remarquablement proches les uns des autres).

Cette étude a également servi à établir une corrélation linéaire qui se manifeste entre la teneur en composés phénoliques et l'activité antioxydante, comme cela a été indiqué dans des recherches antérieures [48, 49].

III.4. 2. Activité anti Inflammatoire

Il est évident que les compositions phénoliques des extraits de plantes jouent un rôle important dans leurs effets pharmacologiques. Pour cette raison, dans cette section de travail, nous avons examiné l'activité anti-inflammatoire uniquement pour les extraits riches en polyphénols, à savoir les extraits méthanoliques.

Le tableau suivant regroupe les résultats de l'activité anti-inflammatoire de nos deux extraits ainsi que celui du diclofénac qui est le médicament de référence :

Tableau 17 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de la BSA par le Diclofénac sodique et les extraits méthanoliques de *Sideritis romana* et *Sideritis incana*.

Concentration ($\mu\text{g/mL}$)	Pourcentage d'inhibition (%)		
	<i>S. romana</i>	<i>S. incana</i>	Diclofenac
2500	80,12 \pm 1,56	82,76 \pm 1,29	96,36 \pm 1,74
2000	65,58 \pm 1,19	69,91 \pm 1,60	89,93 \pm 3,22
1500	58,43 \pm 1,55	59,21 \pm 1,94	77,64 \pm 1,18
1000	39,11 \pm 1,26	44,63 \pm 1,17	56,41 \pm 0,94
500	32,93 \pm 0,84	35,95 \pm 1,36	34,21 \pm 1,73
250	25,94 \pm 1,37	30,13 \pm 1,06	27,59 \pm 1,13
125	20,58 \pm 1,81	23,74 \pm 2,12	17,60 \pm 1,68

Les résultats indiquent que nos extraits ont des valeurs significatives et peuvent présenter une activité anti-inflammatoire majeure. Cela est confirmé par le calcul des IC₅₀ (figure 33 et tableau 18) :

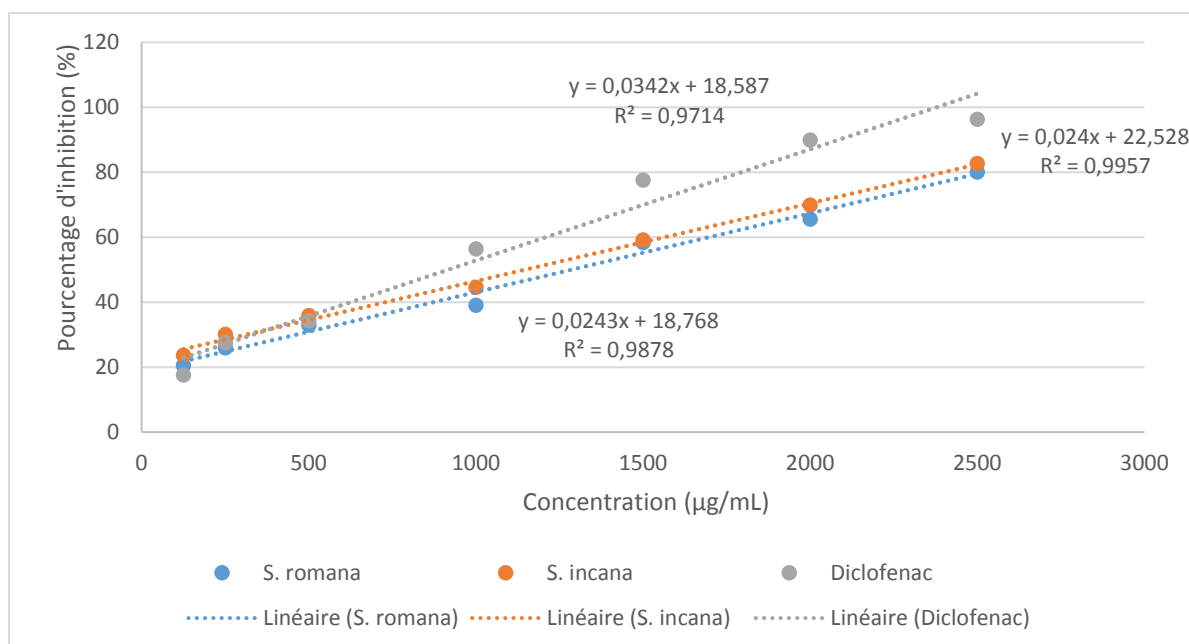


Figure 33 : Activité anti-inflammatoire du diclofénac et des extraits méthanoliques de *Sideritis romana* et *Sideritis incana*.

Tableau 18 : Efficacité anti-inflammatoire (IC_{50}) du diclofénac et des extraits méthanoliques de *Sideritis romana* et *Sideritis incana*.

	<i>S. Romana</i>	<i>S. incana</i>	Diclofénac,
IC_{50} (mg/ml)	1,285 ± 0,028	1,144 ± 0,111	0,918 ± 0,004

Le diclofénac, médicament de référence connu pour ses propriétés anti-inflammatoires, a donné le meilleur effet inhibiteur avec une valeur de la concentration inhibitrice médiane égale à 0,918 mg/ml. La plante *Sideritis incana*. est plus doté d'activité anti-inflammatoire que la plante *Sideritis romana* avec des valeurs de 1,144 et 1,285 mg/ml respectivement. Cette activité est certainement liée à leurs compositions en polyphénols.

Selon ces résultats, les plantes étudiées présentent une activité anti-inflammatoire considérable, ce qui justifie leurs utilisations en médecine traditionnelle pour prévenir ou traiter l'inflammation.

III.5. Analyse HPLC

Les composés phénoliques de nos extraits ont été identifiés par HPLC-DAD (1260-Agilent Allemagne). Concernant la séparation des composés, elle a été réalisée à l'aide d'une colonne C18 (Eclipse DB, 5 µm, 4,6×25,0 mm), la durée de cycle d'analyse est de 50 min à 40°C, le débit de la phase mobile est 0,5 ml/min.

Les résultats des analyses chromatographiques des extraits méthanoliques de *Sideritis romana* et de *Sideritis Incana* (voir annexes) ont permis l'identification de 10 constituants pour la première plante et de 12 constituants pour la deuxième plante comme l'indiquent les tableaux 19 et 20.

Tableau 19 : Résultats d'analyse HPLC de l'extrait méthanolique de *Sideritis romana*.

N°:	tr	Composé	Concentration (mg/ml)	Concentration (mg/g)	Longueur d'ondes (nm)
1	12,682	Tyrosol	0,0019	0,063	280
2	13,846	Caffeic acid	0,0006	0,020	280
3	15,449	Verbascoside	0,0040	0,133	330
4	16,529	Luteolin 7-glucoside	0,3682	12,273	330
5	17,100	p-Coumaric acid	0,0014	0,046	330
6	17,307	Ferrulic acid	0,0004	0,013	280
7	18,018	Apigenin-7-glucoside	0,0038	0,126	330
8	21,240	Naringenin	0,1983	6,610	280
9	22,727	Luteolin	0,0159	0,530	330
10	23,323	Quercetin	0,0024	0,080	254
Total			0,5969	19,896	

Tableau 20 : Résultats d'analyse HPLC de l'extrait méthanolique de *Sideritis Incana*.

N° :	t _r	Composés	Concentration (mg/ml)	Concentration (mg/g)	Longueur d'ondes (nm)
1	4,476	Ascorbic acid	0,0407	1,356	254
2	6,827	Gallic acid	0,0004	0,013	280
3	11,664	Chlorogenic acid	0,0019	0,063	280
4	15,167	Rutin	0,2617	8,723	254
5	16,490	Luteolin 7-glucoside	0,2759	9,196	330
6	16,955	p-Coumaric acid	0,0014	0,046	330
7	17,178	Ferrulic acid	0,0271	0,903	280
8	18,104	Apigenin-7-glucoside	0,0023	0,076	330
9	18,741	oleuropein	0,0123	0,410	254
10	21,526	Naringenin	0,0036	0,120	280
11	22,431	Luteolin	0,0017	0,0566	330
12	22,695	Quercetin	0,0039	0,130	254
Total			0,6329	21,096	

Il ressort des analyses que les extraits méthanoliques des feuilles des deux espèces végétales sont abondants en agents phytochimiques (composés bioactifs), notamment le Luteoline 7-glucoside, qui présente une concentration de 0,3682 mg/ml pour *Sideritis romana* et de 0,2759 mg/ml pour *Sideritis Incana*. Ce flavonoïde, présent dans diverses plantes [50] (thym, menthe, romarin, origan, camomilles, sauge, huile d'olive,...etc.) est bien établi pour ces propriétés antioxydantes et anti inflammatoire puissantes [51-54], ce qui donne à penser que l'extrait métabolique de ces deux plantes est particulièrement adapté aux applications ciblant le stress oxydatif et le traitement de l'inflammation.

Par ailleurs, le contenu en rutine (0,2617 mg/ml), reconnu pour ses vertus anti-inflammatoires et cardiovasculaires [55] et en naringinine ou naringénine (0,1983 mg/ml) réputée pour ses vertus anti-inflammatoires, antalgique, anti-arythmique et antioxydant [56-60], renforcent le potentiel thérapeutique de ces deux extraits.

On outre, d'autres substances, notamment l'acide ascorbique, l'acide férulique, la lutéoline, l'oleuropéine étaient présents en faibles quantités. Cependant, elles contribuent à améliorer l'efficacité thérapeutique des plantes étudiées.

En conclusion, la polarité du méthanol a permis l'extraction efficace de ces métabolites polaires et hydrosolubles. La figure suivante présente les structures chimiques des principaux produits identifiés.

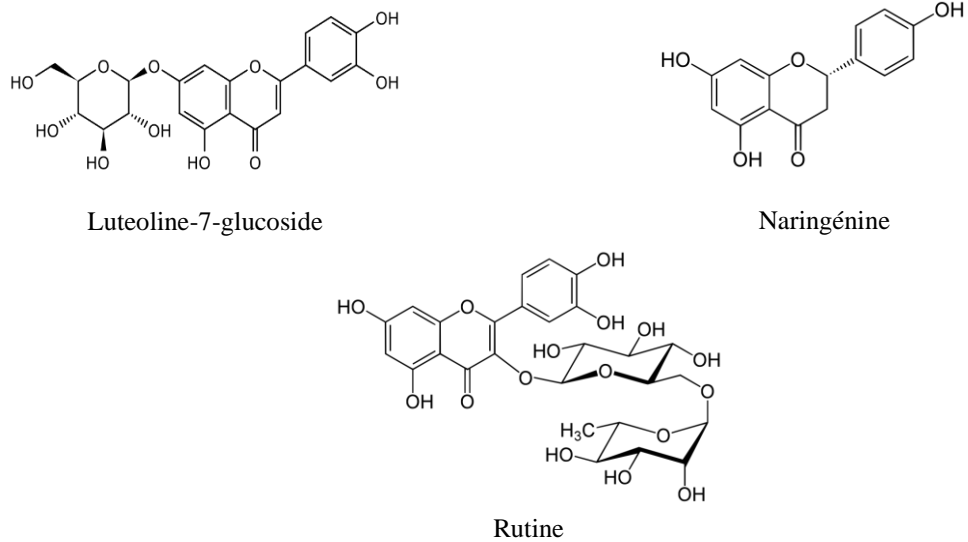


Figure 34 : Structures chimiques des principaux produits identifiés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Narsis, S. Contribution à l'étude d'impact de l'exploitation du gisement ferrifère de la mine de l'Ouenza sur l'environnement. Mémoire magistère, université d'Annaba, **2012**.
- [2] Chaouche, T. M., Haddouchi, F., Atik-Bekara, F. *Der Pharm. Lett.*, 3, 1-4, **2011**.
- [3] Badiaga, M. Etude ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de *Nauclea latifolia* Smith, une plante médicinale africaine récoltée au Mali. Thèse de doctorat, université de Bamako, **2011**.
- [4] N'Guessan, K., Tra Bi, F.H., Koné, M.W. Étude ethnopharmacologique de plantes antipaludiques utilisées en médecine traditionnelle chez les Abbey et Krobou d'Agboville (Côte d'Ivoire). *Ethnopharmacologia.*, 44, 42-50, **2009**.
- [5] Daira, N. E., Maazi, M. C., Chefrou, A. *Bull. Soc. R. Sci. Liege.*, 85, 276-280, **2016**.
- [6] Kadri, M., Yahia, A. Contribution à l'étude de l'effet des facteurs environnementaux sur l'accumulation des glycosides chez *Nerium oleander L.* *Journal of Bioresources Valorization.*, 1, 23-27, **2015**.
- [7] Himour, S., Yahia, A., Belattar, H., Bellebcir, L. *Journal of Bioresources Valorization.*, 1, 34-38, **2016**.
- [8] Rodrigue, A., Loetitia, M., Justin, B., Elisabeth, H., Alphonse, S. *Int. J. of Multidisciplinary and Current Research.*, 6, 1-7, **2018**.
- [9] Jaadan, H., Akodad, M., Moumen, A., Baghour, M., Skalli, A., Ezrari, S., Belmalha, S. *Heliyon.*, 6, e05609, **2020**.
- [10] Chaouch, N., Belkhir, D. M. *J. Arid Environ.*, 9, 71-79, **2019**.
- [11] Akroum, S. *Med. Mycol. J.*, 27, 83-89, **2017**.
- [12] Penchev, P I. Étude des procédés d'extraction et de purification de produits bioactifs à partir de plantes par couplage de techniques séparatives à basses et hautes pressions. Mémoire de doctorat, université de Toulouse, **2010**.
- [13] HASSANI, Lalla Mina Idrissi et EL HADEK, Miloud. Analyse de la composition de l'huile de *Peganum harmala L.*(Zygophyllaceae). *Acta Botanica Gallica*, **1999**, vol. 146, no 4, p. 353-359.
- [14] Carrée, P. Précis de technologie et de chimie industrielle. Ed. Ballière, Paris, **1953**.
- [15] Wolff, J. P. Manuel d'analyse des corps gras. Ed. Azoulay, Paris **1968**.
- [16] Kim, D. O., Seungand, W. J., Lee, C. Y. *Food Chem.*, 81, 321-326, **2003**.
- [17] Tounsi, M., Benchohrahadria, A., Dif, M. M. *Egypt. Acad. J.*, 13, 199-210, **2021**.
- [18] Benariba, N., Djaziri, R., Bellakhdar, W., Belkacem, N., Kadiata, M., Malaisse, W. J., Sener, A. *Asian Pac. J. Trop. Biomed.*, 3, 35-40, **2013**.

- [19] Andzi-Barhé, T., Massala, K. K., Engonga, L. C. O., Lebibi, J. J. *Pharmacogn. Phytochem.*, 3, 174-178, **2015**.
- [20] Price, M. L., Van scoyoc, S., Butler, L. G. *J. Agric. Food Chem.*, 26, 1214-1218, **1978**.
- [21] Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. *LWT-Food Sci. Technol.*, 28, 25-30, **1995**.
- [22] Bechiri, S., Lassoued, B., Bella baci, H. Etude l'évaluation de l'activité anti oxydante des dérivés des Bases de Schiff. Mémoire de master, université d'El Oued, **2020**.
- [23] Erhabor, R. C., Aderogba, M. A., Erhabor, J. O., Nkadimeng, S. M., McGaw, L. J. *J. Ethnopharmacol.*, 273, 113981-113990, **2021**.
- [24] El-Haci, I. A., Bekhechi, C., Dahmoune, F. *J. Med. Plant. Res.*, 5, 6561-6568, **2011**.
- [25] Benzie, I. F., Strain, J. J. *Anal. Biochem.*, 239, 70-76, **1996**.
- [26] Oyaizu, M. *Japan. J. Nutr.*, 44, 307 - 315, **1986**.
- [27] Ruch, R. J., Cheng, S. J., Klaunig, J. E. *Carcinogenesis.*, 10, 1003-1008, **1989**.
- [28] Ou, B., Huang, D., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, J.A., Deemer, E. K. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 3122-3128, **2002**.
- [29] Remigante, A., Spinelli, S., Straface, E., Gambardella, L., Caruso, D., Falliti, G., Dossena, S., Marino, A., Morabito, R. *Int. J. Mol. Sci.*, 23, 10991-11009, **2022**.
- [30] Calder, P. C. Prostag. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids.*, 75, 197-202, **2006**.
- [31] Rhen, T., Cidlowski, J. A. *N Engl J Med.*, 353, 1711-23. **2005**.
- [32] Ali, B. H., Blunden, G., Tanira, M. O., Nemmar, A. *Food Chem., Toxicol.*, 46, 409-420, **2008**.
- [33] Karthik, K., Bharath Rathna Kumar, P., Venu Priya, R., Sunil Kumar, K., Ranjith Singh, B. R. *Ind. J. Res. Pharm. Biotech.*, 1, 729-731, **2013**.
- [34] Ibrahim, M. A., Nasrulhaq Boyce, M. H. *Trop. Life Sci. Res.*, 27, 1-32, **2016**.
- [35] Maalej, A., Dahmen-Ben Moussa, I., Karray, F., Chamkha, M., Sayadi, S. *Biomass Convers. Biorefin.*, 14, 4299-4311, **2022**.
- [36] Khelassi-Sefaoui, A., Zaoui-Djelloul-Daouadji, M., Naili, I., Zaiter, L., Benarima, H., Khechekhouche, A. *Alger. J. Eng. Technol.*, 5, 49-54, **2021**.
- [37] Bojović, D., Janković, S., Potpara, Z., Tadić, V. *Serb. J. Exp. Clin. Res.*, 12, 109-122, **2011**.
- [38] Rahmani, M. *Cahiers Agricultures.*, 14, 461-465, **2005**.
- [39] Dogan, S., Bozdemir, K., Diken, M. E., Alan, U. *Adv. Food Sci.*, 40, 134-141, **2018**.
- [40] Mariod, A. A. Investigations on the oxidative stability of some unconventional Sudanese oils, traditionally used in human nutrition. Thèse de Doctorat, université de Jeddah, **2005**.
- [41] Wolff, J.P. Méthodes générales d'analyse ; dosage des produits d'oxydation. Ed. Azoulay, Paris, 259-266, **1968**.

- [42] Sevindik, E. *Genetika.*, 51, 69-80, **2019**.
- [43] Gökbulut, A., Yazgan, A. N., Duman, H., Yilmaz, B. S. *Fabad J. Pharm. Sci.*, 42, 81-86, **2017**.
- [44] Onyeike, E. N., Acheru, G. N., *Food chem.*; 77, 431-437, **2002**.
- [45] Perrin, J. L. Détermination de l'altération. In *Manuel des corps gras.*, 2, 1201-1204, Ed. tec et doc. lavoisier. **1992**.
- [46] Aïssi, V. M., Soumanou, M. M., Tchobo, F. P., Kiki, D. *Bulletin d'Informations de la Société Ouest Africaine de Chimie.*, 6, 25-37, **2009**.
- [47] Charami, M. T., Lazari, D., Karioti, A., Skaltsa, H., Hadjipavlou-Litina, D., Souleles, C. *Phytother. Res.*, 22, 450-454, **2008**.
- [48] Colak, N., Primetta, A. K., Riihinen, K. R., Jaakola, L., Grúz, J., Strnad, M., & Ayaz, F. A. Phenolic compounds and antioxidant capacity in different-colored and non-pigmented berries of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). *Food Bioscience*, 20, 67-78, **2017**.
- [49] Penpitcha, P. N. LC-MS/MS profiles and interrelationships between the anti-inflammatory activity, total phenolic content and antioxidant potential of Kalasin 2 cultivar peanut sprout crude extract. *Food chemistry*, **2017**.
- [50] <https://www.wikiphyto.org/wiki/Luteolin>
- [51] Jang, S., Kelley, K. W., & Johnson, R. W. Luteolin reduces IL-6 production in microglia by inhibiting JNK phosphorylation and activation of AP-1. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(21), 7534-7539, **2008**.
- [52] Nishitani, Y., Yamamoto, K., Yoshida, M., Azuma, T., Kanazawa, K., Hashimoto, T., & Mizuno, M. Intestinal anti-inflammatory activity of luteolin: Role of the aglycone in NF- κ B inactivation in macrophages co-cultured with intestinal epithelial cells. *Biofactors*, 39(5), 522-533, **2013**.
- [53] Odontuya, G., Hoult, J. R. S., & Houghton, P. J. Structure-activity relationship for antiinflammatory effect of luteolin and its derived glycosides. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 19(9), 782-786, **2005**.
- [54] Hu, C., & Kitts, D. D. Luteolin and luteolin-7-O-glucoside from dandelion flower suppress iNOS and COX-2 in RAW264. 7 cells. *Molecular and cellular biochemistry*, 265, 107-113, **2004**.
- [55] Ananth, D. A., Tietel, Z., Aseervatham, G., Bell, S., Garlapati, D., & Sivasudha, T. Phytochemical and pharmacological status of indigenous medicinal plant *Pedalium murex* L.- A review. *BIOMEDICINE & PHARMACOTHERAPY*, 103, 1456-1463, **2018**.

- [56] Shilpa, V. S., Shams, R., Dash, K. K., Pandey, V. K., Dar, A. H., Ayaz Mukarram, S., ... & Kovács, B. Phytochemical properties, extraction, and pharmacological benefits of naringin: a review. *Molecules*, 28(15), 5623, **2023**.
- [57] Zitron, E., Scholz, E., Owen, R. W., Lück, S., Kiesecker, C., Thomas, D., & Karle, C. A. QTc prolongation by grapefruit juice and its potential pharmacological basis: HERG channel blockade by flavonoids. *Circulation*, 111(7), 835-838., **2005**.
- [58] Scholz, E. P., Zitron, E., Kiesecker, C., Lück, S., Thomas, D., Kathöfer, S., & Karle, C. A. Inhibition of cardiac HERG channels by grapefruit flavonoid naringenin: implications for the influence of dietary compounds on cardiac repolarisation. *Naunyn-Schmiedeberg's archives of pharmacology*, 371, 516-525, **2005**.
- [59] Zbarsky, V., Datla, K. P., Parkar, S., Rai, D. K., Aruoma, O. I., & Dexter, D. T. Neuroprotective properties of the natural phenolic antioxidants curcumin and naringenin but not quercetin and fisetin in a 6-OHDA model of Parkinson's disease. *Free radical research*, 39(10), 1119-1125, **2005**.
- [60] Straub, I., Mohr, F., Stab, J., Konrad, M., Philipp, S. E., Oberwinkler, J., & Schaefer, M. Citrus fruit and fabacea secondary metabolites potently and selectively block TRPM 3. *British journal of pharmacology*, 168(8), 1835-1850, **2013**.

CONCLUSION

Ce travail de recherche constitue une contribution à l'analyse phytochimique de deux espèces végétales appartenant à la famille des Lamiacées, présentes dans la flore du nord-est Algérien, à savoir : Sideritis incana et Sideritis romana. Les résultats de l'analyse du criblage phytochimique de ces deux plantes indiquent une grande diversité en métabolites secondaires (flavonoïdes, alcaloïdes, tanins, saponines, anthocyanes, huiles volatiles, ... etc.) qui possèdent des activités biologiques et pharmacologiques très intéressantes.

Une étude des caractéristiques physico-chimiques des huiles fixes issues de la poudre des feuilles a été effectuée ; les résultats sont dans l'ensemble très encourageants. Cela suggère que ces huiles pourraient être exploitées dans l'industrie agroalimentaire et/ou dans le secteur de la phytomédecine.

Le solvant utilisé dans le processus d'extraction a un impact important sur l'activité antioxydante évaluée par les trois tests (DPPH, FRAP et le test de piégeage du H₂O₂). Les résultats les plus significatifs ont été observés avec l'extrait au méthanol qui présente des valeurs proches que celles des antioxydants de référence employés pour le contrôle (94,68 ± 1,03 % pour la Vitamine C contre 83,11 ± 2,16 % et 83,93 ± 2,27 % pour l'extrait méthanolique de Sideritis romana et Sideritis incana respectivement), ce qui met en évidence leurs applications thérapeutiques potentielles comme antioxydants.

Les résultats obtenus sur l'effet anti-inflammatoire indiquent que l'extrait méthanolique des deux espèces présente une efficacité notable, ce qui pourrait justifier leur emploi en médecine traditionnelle pour le traitement des pathologies inflammatoires.

Il ressort des analyses chromatographique (HPLC) que les extraits méthanoliques des feuilles des deux espèces végétales sont abondants en composés bioactifs :

- Le Luteoline 7-glucoside avec une concentration de 0,3682 mg/ml pour Sideritis romana et 0,2759 mg/ml pour Sideritis Incana.*
- la rutine (0,2617 mg/ml pour Sideritis Incana).*

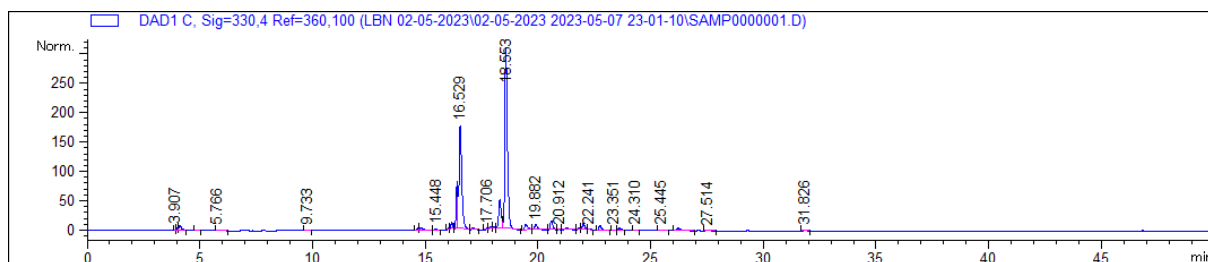
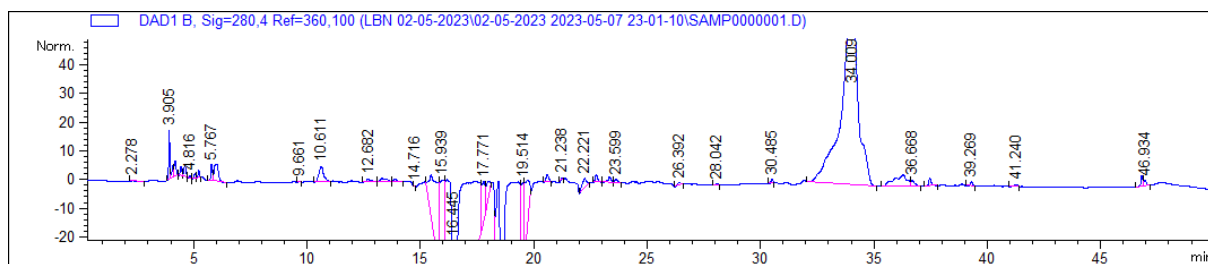
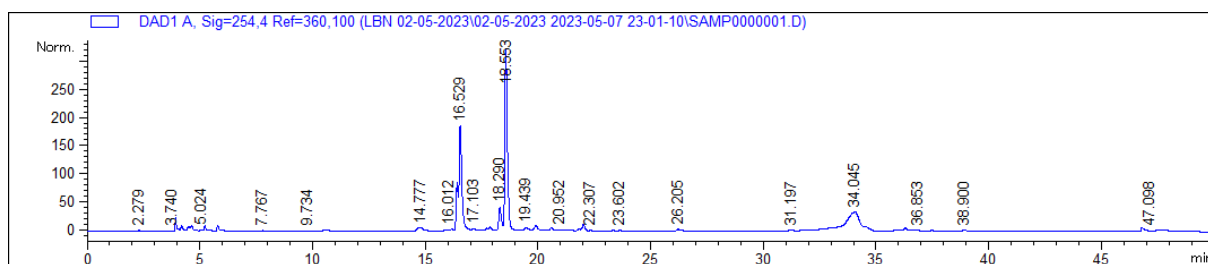
- la naringénine (0,1983 mg/ml pour *Sideritis romana*).

On outre, d'autres substances, notamment l'acide ascorbique, l'acide férulique, la lutéoline, l'oleuropéine étaient présents en faibles quantités. La polarité du méthanol a permis l'extraction efficace de ces métabolites polaires et hydrosolubles.

Il serait pertinent que les recherches à venir s'orientent vers l'isolement des composés bioactifs identifiés, ainsi que sur l'analyse de leurs mécanismes d'action, tout en validant ces effets par des tests *in-vivo*.

Cette investigation établit une base essentielle pour le développement futur de produits thérapeutiques naturels provenant de *Sideritis incana* et *Sideritis romana*.

Annexe 1 : Chromatogrammes de l'extrait méthanolique de *Sideritis Romana*



Annexe 2 : Chromatogrammes de l'extrait méthanolique de *Sideritis Incana*

