



Université Constantine 1 Frères Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Département : biologie appliquée
Spécialité : biotechnologie et biothérapie

Thème

Investigation Biologique De Trois Plantes Médicinales

(Urtica dioica L. , II. Ceratonia siliqua, Foeniculum Vulgare Mill)

❖ Présenté par :

- ♦ AIDI Zeyneb
- ♦ BAOUCHE Yousra
- ♦ BENDJAZIA Madjda Malak

❖ Devant le jury composé de :

Président	Dr. CHERFIA Radia	Maitre de conférences - B
Encadreur	Dr. MADI Aicha	Maitre de conférences - A
Examinateuse	Dr. HALMI Sihem	Maitre de conférences - A

REMERCLEMENT

Avant tout, nous exprimons notre profonde gratitude à Dieu Tout-Puissant, qui nous a accordé la force, la patience et la santé nécessaires à l'accomplissement de ce travail.

Nous tenons à remercier sincèrement notre directrice de mémoire, Dr Madi Aïcha, pour son encadrement rigoureux, ses conseils précieux, tout au long de cette recherche.

Je souhaite également remercier Dr. CHERFIA RADIA, et Dr HALMI SIHEM, d'avoir aimablement accepté de faire partie du jury et d'examiner cette mémoire.

Nos remerciements vont également à l'ensemble des enseignants du département de Biologie Appliquée, pour la qualité de leur enseignement et leur contribution à notre formation scientifique.

Nous exprimons notre reconnaissance à Mme Hanane et à tout le personnel du laboratoire, pour leur assistance technique et leur soutien précieux durant les différentes étapes expérimentales.

Nous remercions chaleureusement nos collègues et amis, pour leur aide, leur encouragement et leur bonne humeur, qui ont grandement contribué à alléger les moments difficiles.

Merci





DEDICACE

بسم الله الرحمن الرحيم الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، إليه أرفع حمداً لا ينقطع، وشكراً لا يُحصى، فهو ولد التوفيق ومصدر القوة والسكينة، أسأله أن يجعل هذا العمل خالصاً لوجهه الكريم، وأن ينفعني به في الدارين.

إلى من علماني أن الطموح لا يعرف المستحيل، إلى من سهرا من أجلني، ودعوا لي في السر والعلن، إلى قلبين نقين لا يعرفان إلا الحب والعطاء... إلى أبي يحيى، سندِي وفخري ومصدر قوتي، وإلى أمي فضيلة، دفء روحي ونبض قلبي، أهدي هذا العمل المتواضع عرفاً بفضلِكم، وامتناناً لا يُقاس، فبِكُمَا، بعد الله، ما أنا عليه اليوم أَسأُ الله أن يحفظكم، ويرزقني بِرَكَمَا ما حَيَّتِ.

إلى نفسي، التي تعبت وجاهدت وصبرت حتى بلغت هذه اللحظة، أهديكِ هذا النجاح.

إلى من هم انطلاقة الماضي، وعون الحاضر، وسد المستقبل، الذين لا عيش بدونهم ولا متعة إلا برفقهم، إخوتي الأعزاء: زينو، كريم، أليوب، وإلى أزواجهم الكرام، حفظكم الله ودامت محبتنا.

إلى أخي الحبيبة أميرة، رفيقتي في كل المواسم، وصديقتِي التي لا تُعوض، كنتِ دوماً البِلَسِم في أيامِي، والنِبَضُ الذي يُعيّدِنِي للحياة كلما تعبت، بضمَّحَتِكِ يهداً قلبي، وبكلماتِكِ أَسْتَمدُ قوتي، أهديكِ هذا العمل لأنكِ جزءٌ من كل إنجاز، لأنكِ لستِ فقط أخْتَ، بل نعمةً أَهْمَدَ اللهُ عَلَيْهَا كُلَّ يَوْمٍ، دَمْتِ لِي نِبْضًا لَا يَخْفَتُ، وَضَلَالًا لَا يَزُولُ.

إلى زميلي العزيزتين، شريكتي هذا الإنجاز: بعوش يسرى وبن جازية مجد.

إلى صديقاتي العزيزات ورفقاتِ الدرب: إيمان، آية، لينة، إكرام، سلسبيل، ملاك، لندة، هبة، نور، شيماء، سناء، نجلاء، هديل.

إلى أخوالِي وأعمامي، وإلى كل أفراد عائلتي الكريمة، كُلُّ باسمه ومكانته

إلى برابع العائلة الذين يزرعون البهجة في القلوب: رهف، جوري، أنس، مجد، دارين، شمس، لين.

وإلى كل من يعرفي، أو قدم لي كلمة طيبة، أو مساعدة، أو دعاء في السر، لكم مني خالص الامتنان والدعاء بالخير والبركة.



Zeyneb





DEDICACE

إلى نفسي...

لكل الدموع التي خلأتها، لكل الليالي التي سهرتها، لكل لحظة لم أستسلم فيها رغم التعب ...
أهديك هذه الثمرة، فكنت دائمًا تستحقين الفخر.

إلى أبي العزيز خالد مراد،

الذي كان دومًا السند والقدوة، علمني أن الإصرار يصنع المعجزات، وأن الصبر لا يضيع أبدًا.

إلى أمي الغالية لمياء،

نبض قلبي ونور دربي، من كانت الدعوة منها طریقاً لكل توفيق.

إلى إخوتي عبد الحميد ونزير،

أصدقائي قبل أن يكونوا إخوتي، حماكم الله ووفقكم كما تمنون.

إلى أخي عبير وابنتها الجميلة أميليا،

زهرتنا قلبي، وجودكمًا نعمة أعزت بها كل يوم.

إلى جنتي الحنوتين زينة وبيعة،

للكما مكانة لا توصف في قلبي، حفظكم الله وأطال في عمركم.

والى روح جنتي الطاهرة مباركة،

رحمك الله بقدر ما أحببناك، فأنت الحاضرة الغائبة التي لا تنسى.

إلى خالتى الحبيتين فاطمة وشافعية،

كنتما دومًا سنداً ودعمًا صامتاً يشبه الحنان في أصفى صوره.

إلى شريكى في رحلة البحث، يسرى وزينب،

رفيقى التعب والأمل، ما أجمله من طريق سرنا فيه معاً.

إلى صديقات الجامعة نور، وهاجر، ودرير،

كنتن زهرات تفتحت في حدائق أيامى الجامعية، وتركتم في قلبي أثراً لا يمحى.

إلى عائلتى الكبيرة،

كل من وقف معى، بكلمة، بداعاء، بابتسامة، بدعاء لا يوصف ...

والى كل من يحبني وأحبه،

أنتم الأمان والامتداد الجميل لقلبي.

شكراً لأنكم كنتم معى، ولكم جميعاً أهدي هذه المذكرة... ثمرة جهد، وذكرى لن تنسى.

Madjda Malak



Résumé

Ce mémoire porte sur l'étude phytochimique et l'évaluation des activités biologiques de trois plantes médicinales *Urtica dioica*, *Ceratonia siliqua* et *Foeniculum vulgare*. À travers une double approche expérimentale et bibliographique, les auteurs ont identifié une richesse en composés bioactifs tels que les polyphénols, flavonoïdes, tanins et huiles essentielles. Les analyses quantitatives ont révélé une forte concentration de ces métabolites dans certains extraits, notamment ceux issus des parties florales. Les tests biologiques *in vitro* ont montré une activité anti-inflammatoire notable, traduite par une inhibition marquée de la dénaturation des protéines, ainsi qu'une activité antimicrobienne efficace contre plusieurs souches bactériennes (Gram+ et Gram-) et fongiques. Ces résultats confirment les usages traditionnels de ces plantes et suggèrent leur potentiel pour des applications futures dans les domaines pharmaceutique et cosmétique.

Abstract

Abstract

This study focuses on the phytochemical investigation and biological evaluation of three medicinal plants: *Urtica dioica* (nettle), *Ceratonia siliqua* (carob), and *Foeniculum vulgare* (fennel).

Using a dual approach combining literature review and experimental analysis, the research identified a rich presence of bioactive compounds such as polyphenols, flavonoids, tannins, and essential oils, especially concentrated in the floral parts.

In vitro biological tests revealed significant anti-inflammatory activity through the inhibition of protein denaturation, as well as notable antimicrobial effects against various Gram-positive, Gram-negative, and fungal strains.

These findings support the traditional use of these plants and highlight their promising potential for future pharmaceutical and cosmetic applications.

Keywords: *Urtica dioica*, *Foeniculum vulgare*, *Ceratonia siliqua*, Phytochemical screening, Dosage, Extraction, Anti –inflammatory activity, Antimicrobiol activity

ملخص

ملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة الخصائص الكيميائية الحيوية والأنشطة البيولوجية لثلاث نباتات طبية مستخدمة تقليدياً، وهي (Foeniculum vulgare)، (Ceratonia siliqua)، (Urtica dioica). تم الاعتماد على منهج يجمع بين الدراسة النظرية والتحليل التجريبي، من خلال استخلاص وتحليل المركبات الثانوية الفعالة الموجودة في هذه النباتات، مثل البوليفينولات والفلافونيدات والثانينات.

أظهرت النتائج أن بعض المستخلصات، خاصة من الأجزاء الزهرية، تحتوي على نسب مرتفعة من هذه المركبات. من جهة أخرى، بيّنت التجارب المنجزة في المختبر وجود نشاط مضاد للالتهاب، بالإضافة إلى فعالية ضد بعض السلالات البكتيرية والفطرية.

تدعم هذه المعطيات الاستخدام التقليدي لهذه النباتات، وتقترح إمكانية استغلالها مستقبلاً في مجالات مثل الصناعات الصيدلانية الطبيعية أو مستحضرات التجميل.

الكلمات المفتاحية : الشمر، القرص، الخروب، التحري الكيميائي النباتي، الجرعة، الاستخلاص، النشاط المضاد للالتهاب، النشاط المضاد للميكروبات

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification botanique d' <i>Urtica dioica</i>	7
Tableau 2 : Métabolites secondaires d' <i>Urtica dioica</i>	8
Tableau 3 : Activités biologiques d' <i>Urtica dioica</i>	9
Tableau 4 : Classification botanique du caroubier (<i>Ceratonia siliqua</i>).....	15
Tableau 5 : Métabolites secondaires de la caroube.....	16
Tableau 6 : Activités biologiques de <i>Ceratonia siliqua</i>	18
Tableau 7 : Classification de <i>Foeniculum vulgare</i>	20
Tableau 8 : Métabolites secondaires de <i>Foeniculum vulgare</i>	21
Tableau 9 : Activités biologiques de <i>Foeniculum vulgare</i>	22
Tableau 10 : Rendements d'extraction des extraits végétaux.....	46
Tableau 11 : Résultat du screening phytochimique.....	49
Tableau 12 : Protocole du dosage des polyphénols totaux.....	51
Tableau 13 : Protocole du dosage des flavonoïdes totaux.....	53
Tableau 14 : Inhibition en % de l'activité anti- inflammatoire <i>in vitro</i>	55
Tableau 15 : Zones d'inhibition (activité antimicrobienne).....	59
Tableau 16: Diamètre moyen des zones d'inhibition (en mm) des extraits végétaux	61

Liste des figures

Figure 01 : <i>Planche d'Urtica dioica L.</i>	3
Figure 02 : <i>Urtica dioica L.</i>	4
Figure 03 : Carte de répartition de l'ortie dans le monde	6
Figure 04 : Arbre de <i>Ceratonia siliqua</i>	10
Figure 05: Illustration de <i>Ceratonia siliqua</i>	12
Figure 06 : Répartition mondiale de <i>Ceratonia siliqua</i>	13
Figure 07: Répartition de <i>Ceratonia siliqua</i> dans le bassin méditerranéen / Algérie	14
Figure 08: Parties de la plante <i>Foeniculum vulgare</i>	19
Figure 09 : Différence entre bactéries Gram positif et négatif	25
Figure 10 : Schéma récapitulatif de la réponse inflammatoire.....	31
Figure 11: Préparation des extraits	35
Figure 12 : Dosage des polyphénoles – Photo originale de tubes à essai colorés.....	37
Figure 13 : Protocole du dosage des polyphénols.....	38
Figure 14 : Protocole du dosage des flavonoïdes	39
Figure 15 : Dosage des flavonoïdes	40
Figure 16:Courbe d'étalonnage de la quercétine	42
Figure 17 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique	43
Figure 18 : histogramme de rendements d'extraction.....	50
Figure 19 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique	51
Figure 20 : histogramme des polyphénols totaux.....	52
Figure 21 : Courbe d'étalonnage de quercétine.....	52
Figure 22 : histogramme des flavonoïdes totaux.....	53

Liste des abréviations

UV :	Ultraviolet
PBS :	Phosphate Buffered Saline (Tampon phosphate salin)
BSA:	Bovine Serum Albumin (Albumine sérique bovine)
SAB :	Serum Albumin Bovine
GAE :	Gallic Acid Equivalent (Équivalent acide gallique)
EQ / QE :	Equivalent Quercetine (Équivalent quercétine)
AlCl₃ :	Chlorure d'aluminium
DMSO :	Diméthylsulfoxyde
CMI :	Concentration Minimale Inhibitrice
CMB :	Concentration Minimale Bactéricide
LPS :	Lipopolysaccharide
TLR :	Toll-Like Receptors
PRR :	Pattern Recognition Receptors
IL-1β, IL-4, IL-5, IL-6, IL-10, IL-13	Interleukines (cytokines inflammatoires/anti-inflammatoires)
TNF-α :	Tumor Necrosis Factor alpha
COX-1 / COX-2 :	Cyclooxygénase 1 / 2
LOX :	Lipoxygénase
HSP70 :	Heat Shock Protein 70
TGF-β :	Transforming Growth Factor beta
PDA :	Potato Dextrose Agar
NO :	monoxyde d'azote

Liste des abréviations

AA :	l'acide arachidonique
GRE :	Glucocorticoid Response Elements
MICI :	les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin
CLSI :	le Clinical and Laboratory Standards Institute
MC :	la maladie de Crohn
SARM :	Les souches résistantes à la méthicilline
PR :	la polyarthrite rhumatoïde

SOMMAIRE

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Résumé

Abstract

الملخص

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction

1

CHAPITRE I : Généralité sur les plantes

I. <i>Urtica dioica L.</i>	3
1. Description botanique	4
2. Répartition géographique	5
3. Utilisation traditionnelle	6
4. Classification	7
5. Métabolite secondaire de l'ortie	7
6. Activités biologiques	8
II. <i>Ceratonia siliqua</i>	10
1. Description botanique	10
2. Répartition géographie	12
3. Utilisation traditionnelle	14
4. Classification	15
5. Métabolite secondaire de <i>ceratonia siliqua</i>	15
6. Activités biologiques de <i>C.siliqua</i>	17
III. <i>Foeniculum Vulgare Mill</i>	19
1. Description botanique	19
2. Répartition	20

Sommaire

3. Utilisation traditionnelle	20
4. Classification	20
5. Métabolites secondaires de <i>Foeniculum vulgare</i>	21
6. Activités biologiques du fenouil	22

CHAPITRE II : Activités biologiques

I. Activités biologiques	24
1. Activité antibactérienne	24
1.1. Définition de l'activité antibactérienne	24
1.2. Nature de l'activité antibactérienne	24
1.3. Méthode d'évolution de l'activité antibactérienne	26
1.4. Microorganismes étudiés	26
2. Activité anti inflammatoire	27
1. Définition de l'inflammation	27
2. Causes de l'inflammation	28
3. Types de l'inflammation	28
4. Mécanisme de l'inflammation	30
5. Réponse inflammatoire	30
6. Différentes étapes de la réponse inflammatoire	31
7. Traitement de l'inflammation	32
7.1. Anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS)	32
7.2. Anti-inflammatoires stéroïdiens (AIS) ou glucocorticoïdes	32
7.3. Anti-inflammatoires naturels	32

CHAPITRE III : Matériel et Méthodes

II. Méthodologie	34
------------------	----

Sommaire

1. Extraction	34
2. Screening phytochimique	36
3. Dosage des polyphénols totaux par la méthode de Folin-Ciocalteu	37
4. Dosage des flavonoïdes totaux	39
5. Etude de l'activité anti-inflammatoire <i>in vitro</i> .	41
6. Activité antimicrobienne	43
6.1. Préparation des extraits	44
6.2. Évaluation de l'activité antibactérienne des extraits	44
6.3. Évaluation de l'activité antifongique des extraits	44

CHAPITRE IV : Résultats et Discussion

1. Rendement d'extraction	46
2. Screening phytochimique	47
3. Dosage des polyphénols	50
4. Dosage des flavonoïdes	51
5. L'activité anti-inflammatoire <i>in vitro</i>	53
6. l'activité antimicrobienne	57
Conclusion	63
Références bibliographiques	64

INTRODUCTION

Introduction

L'être humain s'est toujours tourné vers la nature pour subvenir à ses besoins, que ce soit pour se nourrir ou pour se soigner, en tirant parti de ses ressources alimentaires et médicinales (Boutaghane., 2013).

Avec l'évolution des connaissances scientifiques, le rôle essentiel des plantes dans le domaine médical a été redécouvert, notamment face à l'augmentation inquiétante de la résistance des micro-organismes aux antibiotiques de synthèse et aux effets secondaires associés à certains médicaments chimiques (Cowan, 1999).

Cette situation a poussé les chercheurs à s'intéresser davantage aux alternatives naturelles, jugées plus sûres et parfois plus efficaces.

Parmi ces alternatives figurent les plantes médicinales, reconnues pour leur richesse en composés bioactifs tels que les flavonoïdes, les tanins et les huiles essentielles, leur conférant des propriétés antibactériennes et anti-inflammatoires (Bouarab-Chibane et al., 2019).

C'est dans cette optique que s'inscrit notre étude, qui vise à évaluer les activités antimicrobienne et anti-inflammatoire de trois plantes utilisées en médecine traditionnelle : *Foeniculum vulgare*, *Ceratonia siliqua* et *Urtica dioica*.

Le fenouil (*Foeniculum vulgare*) est une petite plante herbacée annuelle ou bisannuelle (Gulfraz et al., 2008). Cette plante médicinale et aromatique est connue et utilisée par les humains. Originaire de l'est du bassin méditerranéen, *Foeniculum vulgare* a été couramment employé en médecine traditionnelle pour traiter diverses affections, notamment la constipation. Il est également reconnu pour ses effets antiémétiques, antioxydants et anti-inflammatoires (Badgjar et al., 2014).

L'ortie (*Urtica dioica*) est une plante herbacée vivace largement répandue dans les régions tempérées. Très connue, utilisée en médecine traditionnelle pour ses nombreuses propriétés thérapeutiques notamment ses effets anti-inflammatoires, diurétiques, antioxydants et hypoglycémiants. Ses feuilles sont riches en flavonoïdes, acides phénoliques, vitamines et minéraux, ce qui lui confère un fort potentiel pharmacologique (Chrubasik et al., 2007).

Le caroubier (*Ceratonia siliqua*) est un arbre à feuillage persistant appartenant à la famille des Fabacées, originaire du bassin méditerranéen. Il est surtout cultivé pour ses gousses appelées caroubes, utilisées depuis longtemps pour traiter les troubles digestifs, notamment la diarrhée.

Introduction

Ces fruits sont riches en sucres, fibres, tanins et polyphénols, et possèdent des propriétés antioxydantes et antimicrobiennes reconnues (Yousfi *et al.*, 2017).

Le but de cette étude, qui s'appuie sur la recherche et la synthèse, est de recueillir des informations scientifiques concernant le dosage des polyphénols, des flavonoïdes, ainsi que le screening et les propriétés anti-inflammatoires et antimicrobiennes des plantes médicinales sélectionnées.

Ce travail a été divisé en deux parties principales :

La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique, elle-même structurée en deux chapitres.

Le premier chapitre présente des informations générales sur les plantes étudiées : leur description botanique, leur classification, leur répartition, leurs usages traditionnels, leurs métabolites secondaires ainsi que leurs activités biologiques.

Le deuxième chapitre donne un aperçu des activités biologiques, en particulier l'activité antibactérienne et anti-inflammatoire.

La deuxième partie est une partie expérimentale. Elle regroupe l'ensemble des matériels et méthodes employés dans cette étude, ainsi que les résultats obtenus et leur discussion.

CHAPITRE I

*Généralité sur
les plantes*

I. *Urtica dioica L.*

1. Description botanique

Urtica dioica L., communément appelée ortie dioïque, est une plante vivace appartenant à la famille des Urticacées. Un collenchyme lacunaire est présent à chaque angle de sa tige verte, haute et quadrangulaire. On peut y observer entre 12 et 20 faisceaux fibrovasculaires. Cette plante peut atteindre une hauteur maximale de deux mètres (Subba & Pradhan, 2022).



Figure 01 : Planche d'*Urtica dioica* L. (Boyrie, 2016).

♦ Feuilles

Les feuilles sont simples (c'est-à-dire non divisées en folioles), opposées, grossièrement dentées, et la fleur présente une symétrie radiale (plusieurs plans de division possibles). Le limbe mesure entre 1,5 et 20 cm de long et entre 0,6 et 12 cm de large.

Le pétiole, long de 0,7 à 7 cm, est rainuré sur le dessus et le long des côtés des poils urticants. Les stipules sont vert pâle, par paires, entières, pointues, dressées et poilus (Taheri *et al.*, 2022)

♦ Fruits

Après la pollinisation, qui se fait principalement par le vent, les fruits commencent à se développer; ce sont de petits akènes ne contenant qu'une seule graine, laquelle remplit entièrement le fruit. Ce dernier a une forme elliptique et est de couleur brune ou olive, avec des taches plus claires (Grauso *et al.*, 2020).

♦ Fleurs

Les fleurs, petites et de couleur brun rougeâtre à blanc verdâtre, sont majoritairement dioïques et apparaissent en grappes (racèmes) à l'aisselle des feuilles supérieures. Les fleurs mâles (staminées) possèdent 4 à 5 tépales longs, 4 étamines saillantes avec des filets plats. Les fleurs femelles (pistillées) ont 4 tépales courts, sont peu pubescentes, dépourvues de soies, avec un ovaire supérieur, ovale, uniloculaire (Taheri *et al.*, 2022)

♦ Tiges

La tige est dressée, creuse ou pleine, fibreuse et résistante, généralement simple ou ramifiée, et présente une section quadrangulaire émoussée avec quatre profondes rainures verticales. Les poils urticants mesurent environ 1 mm de long, sont effilés à leur extrémité, épais à la base, orientés vers le haut, et présents en nombre variable (Singh & Sengar, 2021).

♦ Racines

La racine est généralement biarque, Le système racinaire de l'ortie est composé d'une racine pivotante avec de fines radicelles, ce qui facilite son expansion (Bhusal *et al.*, 2022)

♦ Poils

Des poils urticants, d'environ 1 millimètre de long, sont présents sur la tige. Ces poils se terminent en une pointe fine et aiguë ; au contact, leur extrémité se détache, transformant le poil en une structure semblable à une aiguille.

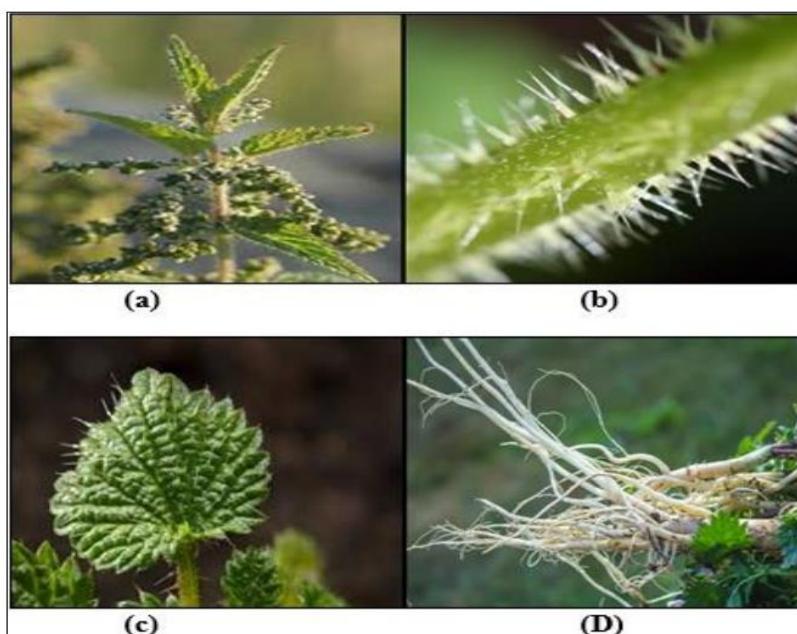


Figure 02 : *Urtica dioica* L. (a) Fleur (b) Trichomes (c) Feuille (d) Racines (Subba & Pradhan, 2022)

2. Répartition géographique

♦ Dans le monde

Urtica dioica L. est une plante herbacée vivace appartenant à la famille des Urticacées. Elle est répartie dans les régions tempérées de nombreuses parties du monde, notamment en Asie, en Europe, en Afrique du Nord et en Amérique du Nord, jusqu'à une altitude de 1800 m. Au Népal, elle est connue sous le nom de Sisnu et serait présente dans les zones humides à des altitudes comprises entre 500 et 4500 m (Devkota *et al.*, 2022).

Les espèces du genre *Urtica* présentent une distribution subcosmopolite, étant présentes sur l'ensemble du globe, à l'exception de l'Antarctique et de certaines régions tropicales. On les trouve couramment comme plantes adventices, principalement dans des endroits humides, ombragés et souvent anthropisés.

Le genre comprend 46 espèces, dont les plus importantes sont *Urtica dioica* (grande ortie) et *Urtica urens* (petite ortie) naturalisées dans d'autres régions tempérées du monde (Taheri *et al.*, 2022).

Espèce adventice largement répandue, *U. dioica* est considérée comme une espèce clé d'un point de vue écologique, jouant un rôle important dans la biodiversité des écosystèmes.

Les espèces endémiques insulaires sont très courantes dans ce genre, notamment *U. dioica* subsp. *cypria* à Chypre, *Urtica atrovirens* en Corse et en Sardaigne, *Urtica rupestris* en Sicile, *Urtica stachyoides* aux îles Canaries, *Urtica portosanctana* à Madère, *Urtica bianorii* à Majorque, *Urtica domingensis* à Hispaniola, *Urtica glomerulaflora* aux îles Juan Fernández, *Urtica grandidentata* en Indonésie, *Urtica taiwaniana* à Taïwan, *Urtica papuana* en Papouasie-Nouvelle-Guinée et *Urtica perconfusa* en Nouvelle-Zélande. Cela montre que la colonisation insulaire constitue une caractéristique unique de ce genre parmi les plantes à fleurs (Taheri *et al.*, 2022).

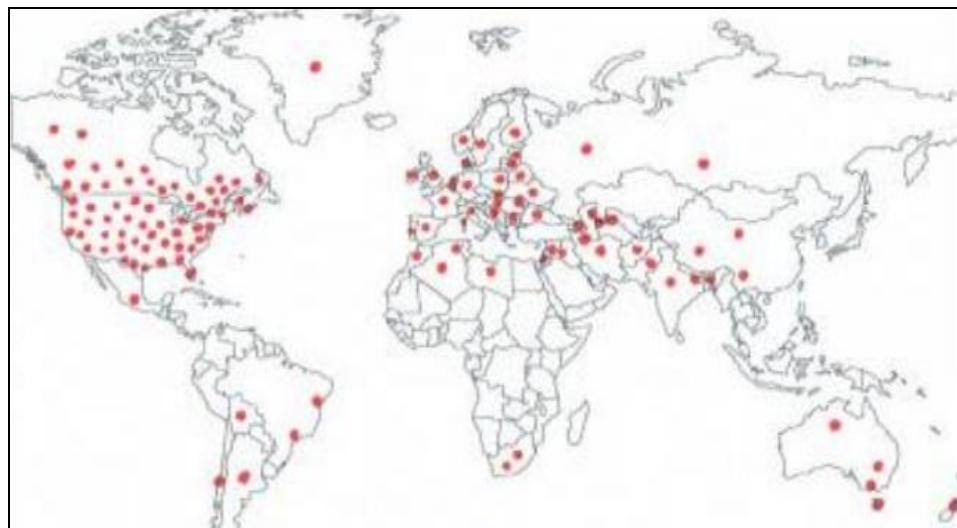


Figure 03 : Carte de répartition de l'ortie dans le monde (Majedi *et al.*, 2021).

♦ En Algérie

Urtica dioica L est une plante herbacée largement répandue dans les régions nordiques de l'Algérie. Elle prospère particulièrement dans les zones à climat tempéré et sur des sols riches en azote, se développant spontanément dans les forêts, les haies, les lisières et les terrains abandonnés (Draghi, 2005). Des études menées dans l'est du pays ont mis en évidence la présence significative de cette espèce due à ses vertues pharmacologiques et biologiques (Derradji, Saidi, & Hadef, 2020).

Dans la région du Hodna, située au nord-est de l'Algérie, une enquête *ethnopharmacologique* a confirmé l'utilisation traditionnelle de *Urtica dioica* par les populations locales. Cette étude témoigne de la répartition naturelle de la plante et de son intégration dans les pratiques médicinales régionales (Benkhaled, 2019).

3. Utilisation traditionnelle

Malgré leurs poils urticants redoutables, elles sont remplies de nombreuses fonctions, notamment dans les domaines de l'alimentation, de la médecine, du textile, et même comme source d'inspiration dans la mythologie et les arts.

Elle est utilisée pour ses propriétés médicinales, notamment pour soulager la douleur et leurs effets anti-inflammatoires, tandis que les feuilles d'ortie ont été consommées comme source alimentaire riche en nutriments et en vitamines (Awasthi *et al.*, 2023).

Les Grecs connaissaient bien les effets cliniques de cette plante. Dioscoride la décrit comme diurétique, antitussive, tonique, digestive et cicatrisante. Certains l'utilisaient comme

styptique (arrêt des saignements) et contre la toux, tandis que d'autres l'utilisaient contre les maladies pulmonaires telles que la tuberculose et l'insomnie.

Des médecins grecs comme Dioscoride, et Galien ont attesté que les jeunes pousses d'ortie possédaient des propriétés laxatives et diurétiques. Ils ont également affirmé qu'elle était bénéfique pour l'asthme, la pleurésie et les troubles liés à la rate (Goswami *et al.*, 2022).

Plusieurs espèces d'*Urtica* ont été largement utilisées pour traiter le rhumatisme et la sciatique, l'asthme, la toux, les pellicules, le diabète, la diarrhée, l'eczéma, la fièvre, la goutte, les hémorroïdes, les saignements de nez, le scorbut, les morsures de serpent et la tuberculose.

De plus, les espèces d'*Urtica* sont le plus souvent utilisées comme diurétique et dans le traitement de la goutte, de l'anémie et de l'hypertrophie de la prostate.

Ces études proviennent principalement de pays d'Afrique, d'Europe, d'Asie et d'Océanie, tels que l'Algérie, l'Argentine, l'Australie, et plusieurs d'autre pays (Rathaur *et al.*, 2023).

4. Classification

Selon Goswami et son équipe en 2022, la systématique botanique détaillée d'*Urtica dioica L.* est présentée dans le Tableau suivant,

Tableau 01 : Classification d'*Urtica dioica L.*

Taxonomie	Nom
Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i>
Superdivision	<i>Spermatophyta</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous-classe	<i>Hamamelidae</i>
Ordre	<i>Urticales</i>
Famille	<i>Urticaceae</i>
Genre	<i>Urtica L.</i>
Espèce	<i>Urtica dioica L.</i>

5. Métabolite secondaire de l'ortie

L'*Urtica dioica* est une plante médicinale riche en métabolites secondaires tels que les flavonoïdes, les terpènes, les acides phénoliques et les caroténoïdes. Ces composés, bien connus pour leurs propriétés antioxydants, anti-inflammatoires et antimicrobiennes, varient selon la méthode d'extraction et l'origine géographique de la plante.

Le tableau 2 présente les principales classes de métabolites secondaires identifiées dans *Urtica dioica* (Đurović *et al.*, 2022).

Tableau 02 : Métabolites secondaires d'*Urtica dioica* L.

Classe	Composés	Partie de la plante	Références
Flavonoides	Quercétine, Kaempférol, Isoramnetine	Feuilles	Đurović <i>et al.</i> , 2024.
	Rutoside, Rutin	Feuilles	Tarasevičienė <i>et al.</i> , 2023.
Phénols	Acide caféïque	Feuilles	Derradji <i>et al.</i> , 2020.
	Acide syringique		
	Acide galoque syringique	Tige	Tarasevičienė <i>et al.</i> , 2023.
Stérols	B-sitostérol	Racines	Farag <i>et al.</i> , 2022.
	Campestérol		
Terpénes	Carvacrol, thymol	Feuilles	Keddar <i>et al.</i> , 2024.
Coumarines	Scopolétine	Feuilles	Đurović <i>et al.</i> , 2024.
Saponines	Urticine	Feuilles et tige	Salmi <i>et al.</i> , 2021.
Lignanes	sécosolariciresinol	Graines	Tabari <i>et al.</i> , 2021.

Alcaloïdes	Histamine Acétylcholine	Poils urticants	Kregiel et al., 2018.
------------	----------------------------	-----------------	-----------------------

6. Activités biologiques

Grâce à sa richesse en composés naturels, *Urtica dioica* possède une variété d'activités biologiques qui lui confèrent un intérêt croissant en phytothérapie.

Des études ont mis en évidence son potentiel antioxydant, anti-inflammatoire, mais aussi antimicrobien et anticancéreux, selon les types d'extraits et les modèles utilisés.

Le tableau 3 résume les principales activités rapportées pour cette plante dans la littérature scientifique (Repajić et al., 2021).

Tableau 03 : Activités biologiques d'*Urtica dioica* L.

Compose bioactive	Organe végétale	Activité biologique étudiée	Reference
Quercétine, Kaempférol	Feuilles	Antioxydant Anti-inflammatoire Neuroprotecteur	Yesil-Celiktaş et al., 2021
Acide caféïque, Acide férulique	Racines, tiges	Antimicrobienne, antioxydante	Ivanova et al., 2020
β-sitostérol	Racines	Hypocholestérolémiant	Wichtl, 2021
Néolignanes	Tiges	Antivirale Antitumorale	Ivanova et al., 2020
Histamine, Sérotonine	Poils urticants	Immunostimulante, vasoactive	Yesil-Celiktaş et al., 2021
Scopolétine	Racines	Antifongique, antioxydante	Dhouib et al., 2023

Acide linoléique	Graines	Anti-inflammatoire, cardioprotecteur	Ngezahayo et al., 2022
Sitostérol	Racines et feuilles	Antitumoral, anti-inflammatoire	Wichtl, 2021
Saponines	Racines	Antimicrobienne, immunomodulatrice	Ngezahayo et al., 2022

II. *Ceratonia siliqua*

1. Description botanique

Le caroubier est un arbre sempervirent ou semi-persistant, au port arrondi, appartenant à la famille des *Fabaceae*, sous-famille des *Caesalpinoioideae*. Il peut atteindre une hauteur de 6 à 10 mètres à maturité, avec un tronc court, massif et très ramifié dès la base. Son écorce est brun-grisâtre, rugueuse, épaisse et profondément fissurée, ce qui lui confère une bonne résistance à la sécheresse et aux températures élevées (Mabrouk et al., 2023).



Figure 04 : Arbre de *Ceratonia siliqua* (Hasib et al., 2014).

▲ Feuilles

Les feuilles de *C. siliqua* sont alternes, coriaces et paripennées. Elles mesurent entre 10 et 20 cm de long et sont constituées de 3 à 5 paires de folioles ovales à elliptiques, à marge entière. Les folioles sont vert foncé sur la face supérieure et plus claires au revers. Elles sont glabres, épaisses et adaptées aux environnements arides (El Bouzdoudi *et al.*, 2022).

▲ Fruits (Gousses)

Le fruit du caroubier est une gousse indéhiscente, aplatie et charnue, mesurant de 10 à 30 cm de long. Elle est brun foncé à maturité, légèrement incurvée, contenant une pulpe sucrée et fibreuse. Les gousses mûrissent généralement à la fin de l'été et peuvent rester longtemps sur l'arbre (Rodríguez-García *et al.*, 2022).

▲ Graines

Les gousses contiennent entre 8 et 16 graines dures, isodiamétriques, brun foncé et très homogènes en poids (environ 0,2 g). Leur régularité morphométrique a longtemps été utilisée pour fabriquer des unités de mesure anciennes, comme le « carat ». Les graines sont entourées d'un tégument très dur, rendant leur germination lente sans scarification (El Mansouri *et al.*, 2023).

▲ Racines

Le caroubier développe un système racinaire pivotant robuste qui s'enfonce profondément dans le sol, permettant l'absorption d'eau en profondeur. Ce pivot est souvent accompagné de racines secondaires latérales étendues qui assurent la stabilité et l'exploration du sol en surface, particulièrement en milieu sec (Yılmaz *et al.*, 2023).

▲ Tige (Branches)

Les jeunes rameaux du caroubier sont glabres et de couleur verte à brun clair. En vieillissant, ils deviennent ligneux, épaissis et irrégulièrement noueux. La tige principale est épaisse et tortueuse, avec un bois dense, brun rougeâtre, utilisé autrefois comme combustible ou bois d'œuvre (Ben Salah *et al.*, 2022).

▲ Fleurs

Les fleurs sont petites, sessiles, de couleur rouge verdâtre à brunâtre, et regroupées en grappes denses sur le vieux bois. Le caroubier est généralement dioïque, bien que certaines variétés soient hermaphrodites. La floraison a lieu à la fin de l'été ou en automne, selon les conditions climatiques (López-Cortés *et al.*, 2021).



Figure 05 : Illustration de *Ceratonia siliqua* (Dante, 2018).

2. Répartition géographie

♦ Dans le monde

Originaire du bassin méditerranéen, *Ceratonia siliqua* L. s'est progressivement répandu dans plusieurs régions du monde aux conditions climatiques similaires. Sa culture s'est étendue vers des zones semi-arides et tempérées, notamment en Californie (États-Unis), au Mexique, au Chili, en Argentine, en Afrique du Sud, ainsi que dans certaines provinces de l'Inde et d'Australie, introduit principalement par des colons ou des programmes de diversification agricole (Rodríguez-García *et al.*, 2022).

Aux États-Unis, les premières introductions du caroubier remontent à 1854, en provenance d'Espagne. La Californie a vu l'importation de plusieurs cultivars sélectionnés durant les années 1950 dans un but de développement de nouvelles variétés adaptées à la production commerciale. En Chine, le caroubier est utilisé dans certaines provinces telles que le Yunnan et le Sichuan dans des projets de reboisement et pour l'alimentation animale, tandis qu'en Australie, sa culture a d'abord été envisagée dans une optique agroforestière au XIXe siècle, avant de s'élargir à la production fruitière (López-Cortés *et al.*, 2021).

Aujourd'hui, la région méditerranéenne est toujours considérée comme le principal centre de diversité génétique du caroubier. Cette richesse génétique représente un atout essentiel pour les programmes modernes d'amélioration des variétés, notamment en réponse aux contraintes agroclimatiques actuelles (Mabrouk *et al.*, 2023).

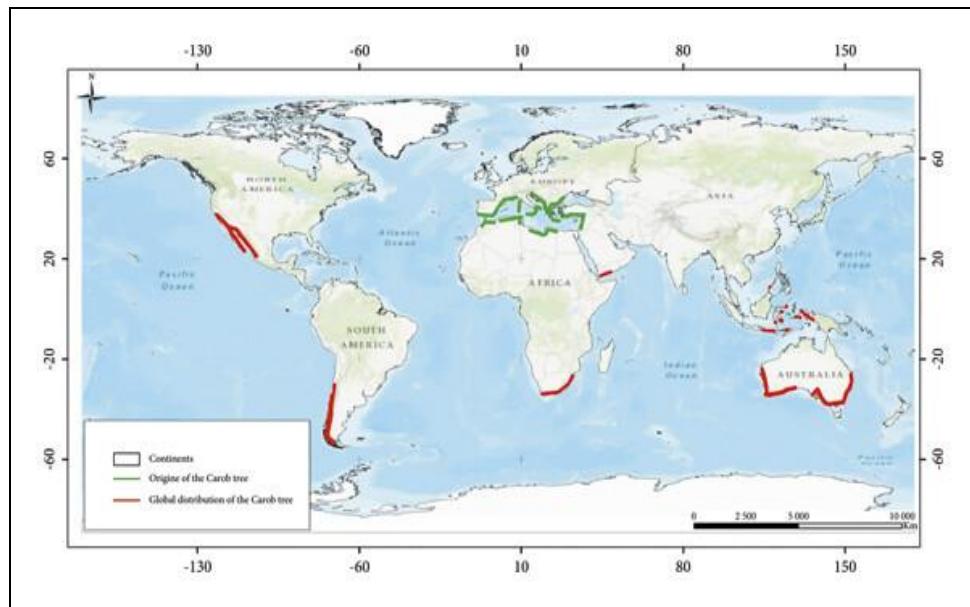


Figure 06: Répartition mondiale de *Ceratonia siliqua* (Laaraj *et al.*, 2023).

♦ En l'Algérie

Le caroubier est une espèce typiquement méditerranéenne dont la présence en Algérie est largement répandue dans la région nord du pays. Il se développe principalement dans les zones côtières et les versants de l'Atlas tellien, où les conditions climatiques semi-arides à subhumides sont favorables à sa croissance. On le retrouve dans des wilayas telles que Tlemcen, Chlef, Béjaïa, Jijel, Tizi-Ouzou et Annaba. Cette répartition témoigne de la bonne adaptation écologique de l'espèce à divers types de sols et à des altitudes variant de 30 à plus de 1 000 mètres (Smali *et al.*, 2024).

Les travaux menés sur la diversité génétique et morphologique du caroubier en Algérie confirment également la richesse du patrimoine local en termes de ressources phytogénétiques. Des différences notables ont été observées entre les populations issues des régions occidentales (comme Tlemcen et Mascara) et orientales (comme Skikda et El Tarf), suggérant un potentiel important pour des programmes de conservation et de valorisation. Cette variabilité intra-nationale est un atout dans le contexte du changement climatique et du développement de cultures durables (Benmahioul *et al.*, 2021).



Figure 07: Répartition de *Ceratonia siliqua* dans le méditerrané (Algeria) (Caudullo *et al.*, 2021).

3. Utilisation traditionnelle

Depuis l'Antiquité, *Ceratonia siliqua* L., communément appelé caroubier, est valorisé pour ses fruits comestibles appelés caroubes, utilisés à la fois comme source alimentaire et à des fins thérapeutiques.

De nos jours, plusieurs usages traditionnels ont été recensés dans divers pays du bassin méditerranéen. En Palestine, les graines et gousses de caroubier sont notamment utilisées pour la régulation de la pression artérielle, tandis qu'une décoction de ses feuilles sert d'émétique en cas d'intoxication (Al-Dabbas *et al.*, 2021).

En Afrique du Nord, notamment en Tunisie et au Maroc, le caroubier occupe une place centrale dans la médecine populaire. En Tunisie, les extraits de gousses et de feuilles sont traditionnellement administrés pour soulager les troubles gastro-intestinaux, tandis que le jus de caroube est utilisé comme remède antidiarrhéique grâce à sa richesse en tanins et électrolytes (Ben Salah *et al.*, 2022).

Au Maroc, les feuilles et graines sont employées dans le traitement du diabète, confirmant l'usage ethnopharmacologique répandu de la plante dans cette région (El Mansouri *et al.*, 2023).

Par ailleurs, en Turquie, les feuilles sont utilisées en médecine traditionnelle contre la diarrhée, et les gousses sont parfois administrées pour calmer la toux persistante. En plus de ses propriétés médicinales, le bois de caroubier a également été utilisé historiquement pour la production de charbon à combustion lente, valorisant ainsi toutes les parties de l'arbre (Yilmaz *et al.*, 2023).

4. Classification

Selon Srećec *et al.* (2020), la systématique botanique détaillée du caroubier est présentée dans le Tableau 1.

Tableau 04: Classification du caroubier

Taxonomie	Nom
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous-classe	<i>Rosidae</i>
Ordre	<i>Fabales</i>
Sous-ordre	<i>Fabanae</i>
Famille	<i>Fabaceae</i>
Sous-famille	<i>Caesalpinoideae</i>
Tribu	<i>Caesalpinieae</i>
Genre	<i>Ceratonia</i>
Espèce	<i>Ceratonia siliqua L.</i>

5. Métabolite secondaire de *ceratonia siliqua*

Ceratonia siliqua L., communément appelé caroubier, est particulièrement riche en composés bioactifs tels que les polyphénols, les flavonoïdes, les tanins et les alcaloïdes. Ces substances sont principalement localisées dans les gousses, les graines et les feuilles de la plante. Des recherches récentes ont confirmé leur présence et ont mis en évidence leurs propriétés antioxydantes, antimicrobiennes et leur potentiel dans la prévention de certaines affections chroniques (Baslam *et al.*, 2025).

Tableau 05 : Métabolites secondaire de la caroube (*C. siliqua* L.).

Classe	Composés	Partie de la plante	Références
Phénols	Résorcinol	Feuilles, gousses, pulpe, graines	Ghanemi <i>et al.</i> , 2021
	Vanilline, fraxidine, 2,4-bis(diméthylbenzyl)-6-butylphénol	Feuilles	De <i>et al.</i> , 2022
	Alizarine, hydroquinone, lignane bis(trihydroxyphényl)méthanone	Gousses	Samia <i>et al.</i> , 2022

Acides phénoliques	Acide gallique, acide chlorogénique, acide syringique, acide férulique, acide coumarique, acide cinnamique	Feuilles, gousses, pulpe, graines	Amrani <i>et al.</i> , 2023 Ghanemi <i>et al.</i> , 2021
	Acide 4-hydroxybenzoïque, acide caféïque, acide vanillique, acide gentisique	Feuilles, gousses, pulpe	Ghorbaninejad <i>et al.</i> , 2023, Mansouri <i>et al.</i> , 2022
	5-Caféoylquinique, acide myristique, acide ascorbique	Pulpe	Richane <i>et al.</i> , 2022
	Acide 4-hydroxycoumarique	Feuilles	Spizzirri <i>et al.</i> , 2022
	Acide transférulique, O-feruloylrutinoside, isomère de l'O-feruloylrutinoside, p-coumaroyl-galloylhexose, O-p-coumaroylrutinoside, siliquapyranone	Gousses	Farag <i>et al.</i> , 2019 Karmous <i>et al.</i> , 2022
Flavonoïdes	Crismaritine, catéchol, isoquercitrine, flavonols 3',4',5,7-OH, 2-hexadécanol, scutellarine éther tétraméthylique, silybine B, hydroxytyrosol, catéchine gallate	Pulpe	Rasheed <i>et al.</i> , 2020
	Rhamnosides, chrysoériol, éther diméthylique de tricétine, (iso)schaftoside-40-	Gousses	Atta <i>et al.</i> , 2023 Brassesco <i>et al.</i> ,

	O-glucoside, gallocatéchine, chrysoériol-0-déoxyhexoside, hexoside de dihydroxyflavanone, flavanone tétrahydroxylée, flavone trihydroxylée (isomère de l'apigénine), kampféride, méthoxykampférol, flavanone dihydroxylée, tricétine éther diméthylique, cirsiliol, glycosides de flavone, hydroxytyrosol		2023
	Myricitrine, daidzéine, flavonol, morine	Feuilles	Yahiaoui <i>et al .</i> , 2020
	Anthocyanines	Gousses, pulpe, graines	Lakkab <i>et al .</i> , 2020
	Quercitrine, tanins catéchiques	Feuilles, pulpe	Spizzirri <i>et al .</i> , 2022
	Génistéine	Feuilles, gousses	Rasheed <i>et al .</i> , 2020

6. Activités biologiques de *C.siliqua*

Des travaux récents sur des cultivars crétois de *Ceratonia siliqua* ont conduit à une caractérisation approfondie des extraits de gousses et de graines.

Ces analyses, basées sur des techniques chromatographiques, ont révélé une composition riche en composés phénoliques et flavonoïdes.

Les extraits de graines et de gousses ont montré une capacité significative à neutraliser des espèces réactives de l'oxygène (antioxydation), à inhiber des enzymes impliquées dans le photovieillissement cutané (tyrosinase et collagénase) et à bloquer la formation de produits de glycation avancée (AGEs), soulignant ainsi leur potentiel dans les domaines cosmétique et nutraceutique (Kavvoura *et al.*, 2023).

Tableau 06 : Activités biologiques de *C.siliqua*

Compose bioactive	Organe végétale	Activité biologique étudiée	Reference
Gallic acid	Gousse	Activité antioxydante	Hussein <i>et al.</i> , 2021.
Myricitrin	Feuilles	Inhibition de l'a-glucosidase	Dammak <i>et al.</i> , 2022.
Catechin	Feuilles	Activité antifongique	Salem <i>et al.</i> , 2025.
Kaempferol	Feuilles	Activité antimicrobienne	Boussahel <i>et al.</i> , 2024.
Siliquapyranone	Feuilles	Activité antioxydante	Ait Hssaine <i>et al.</i> , 2023.
Syrinigic acid	Gousse	Activité antimicrobienne	Abdeddaim <i>et al.</i> , 2022.
Epigallo catechin gallate	Gousse	Activité antimicrobienne	El Meniy <i>et al.</i> , 2023.
Protocatechuic acid	Feuilles	Activité antivirale	Boussahel <i>et al.</i> , 2024.

III. *Foeniculum Vulgare* Mill

1. Description botanique

Foeniculum vulgare Mill est une espèce végétale connue sous les noms vernaculaires de fenouil (en français), besbes (en arabe) et shomar (en Jordanie) (Badgujar *et al.*, 2014).

Elle fait partie de la famille des Apiacées et est utilisée par l'homme depuis l'Antiquité. Cette plante a été cultivée dans tous les pays bordant la mer Méditerranée en raison de sa saveur (Muckensturm *et al.*, 1997).

F.vulgare est une plante médicinale et aromatique bisannuelle de la famille des Apiacées (Umbellifères). C'est une plante vivace et robuste, à tiges creuses, produisant des fleurs jaunes et des feuilles fines et plumeuses. Elle peut atteindre une hauteur de 2,5 m.

- ❖ Les feuilles, pouvant mesurer jusqu'à 40 cm de longueur, sont profondément découpées, avec des segments ultimes filiformes (en forme de fil) d'environ 0,5 mm de largeur.
- ❖ Les fleurs se développent en ombelles composées situées au sommet de la tige.
- ❖ Le fruit est une graine sèche mesurant entre 4 et 10 mm de long (Rather *et al.*, 2016).

F. vulgare comprend deux variétés : le fenouil doux (*Foeniculum vulgare* var. *dulce*), qui est une plante annuelle ou bisannuelle, caractérisée par des fruits au léger goût sucré ; et le fenouil amer (*Foeniculum vulgare* var. *vulgare*), une plante vivace dont les fruits présentent un goût amer (He *et al.*, 2011).

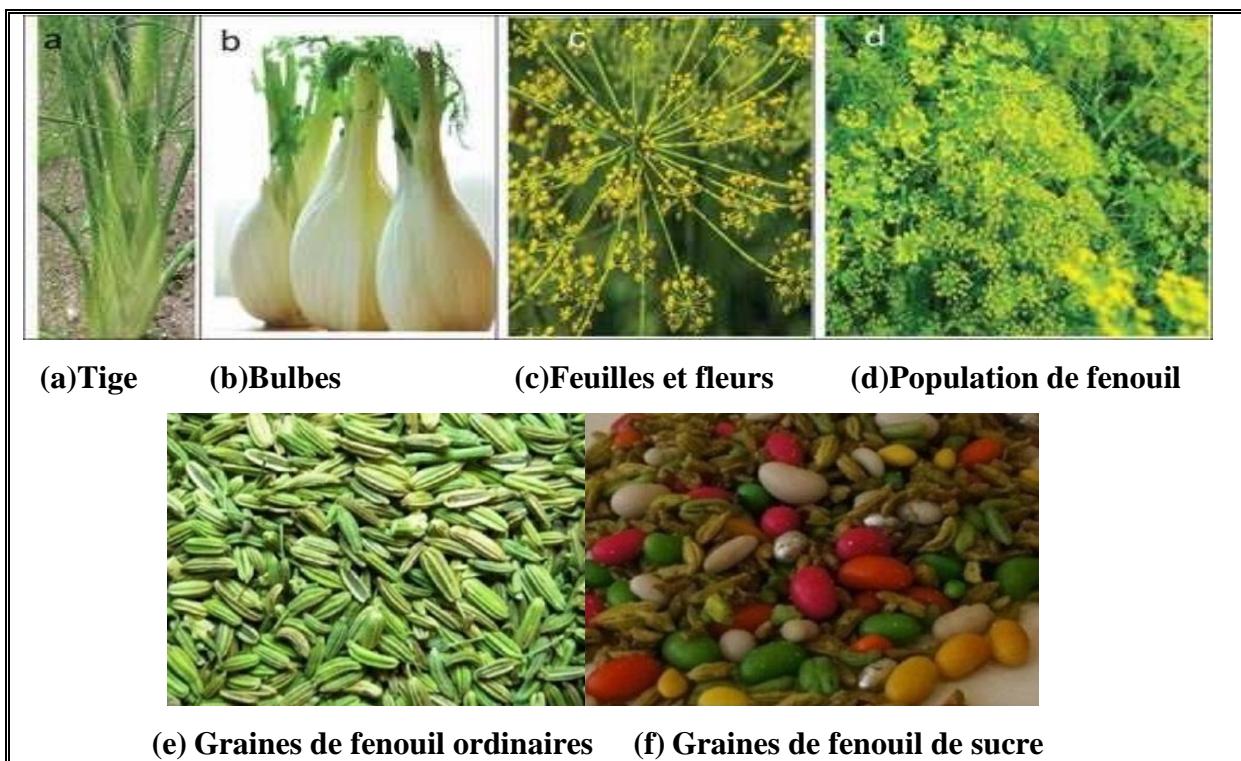


Figure 08 : Différentes parties de la plante *foeniculum vulgare* (Noreen *et al.*, 2023)

2. Répartition

Le fenouil est originaire de la région méditerranéenne (Barros *et al.*, 2010). Il est communément reconnu comme une espèce indigène des rives de la mer Méditerranée, mais il s'est largement naturalisé dans de nombreuses régions du monde, notamment sur les sols secs, le long des côtes maritimes et sur les berges des rivières (Rather *et al.*, 2016). Il a été cultivé dans la Russie, l'Inde, la Chine et le Japon (Zoubiri *et al.*, 2014).

3. Utilisation traditionnelle

F.vulgare Mill est une plante aromatique largement utilisée en médecine traditionnelle. Ses feuilles et ses graines séchées sont fréquemment employées dans les remèdes maison. Elle est reconnue pour ses propriétés anti-inflammatoires, sa capacité à stimuler la sécrétion latée chez les nourrices, ainsi que pour réguler le cycle menstruel (Choi et Hwang, 2004).

F.vulgare est préconisée dans le traitement de la bronchite et de la toux chronique, des calculs rénaux, de la dysménorrhée, des vomissements, de la diarrhée, ainsi que des troubles liés à l'émission de sperme (He *et al.*, 2011). Elle possède également des propriétés apéritives, laxatives et vermifuges. Cette plante est efficace pour lutter contre la formation de gaz intestinaux, les nausées et les hoquets. Elle est aussi reconnue comme remède contre les troubles du tractus gastro-intestinal et respiratoire (Raffo *et al.*, 2011).

4. Classification

Le classement actuel des plantes de fenouil est principalement basé sur leur utilisation. Il y a une seule espèce du fenouil (*Foeniculum vulgare Miller*). Cette espèce est divisée en deux sous-espèces: *vulgare* et *piperitum* (Muckensturm *et al.*, 1997).

Tableau 07 : Classification du fenouil (Badgjar et al., 2014).

Taxonomie	Nom
Règne	<i>Plantae</i>
Division	<i>Tracheophyta</i>
Subdivision	<i>Spermatophytina</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Ordre	<i>Apiales</i>
Famille	<i>Apiaceae</i>
Genre	<i>Foeniculum</i>
Espèce	<i>vulgare</i>
Nom botanique	<i>Foeniculum vulgare Mill</i>

5. Métabolites secondaires de *Foeniculum vulgare*

Les métabolites secondaires, bien qu'ils ne soient pas considérés comme vitaux pour la vie de la plante, sont synthétisés à partir des métabolites primaires. Ils jouent un rôle crucial dans les interactions de la plante avec son environnement, participant ainsi à sa survie au sein de son écosystème. À ce jour, plus de 8500 métabolites secondaires ont été identifiés (Benayache et Boudjerda ,2010).

Le fenouil renferme divers constituants chimiques tels que l'huile essentielle, les acides gras, les phénylpropanoïdes, les monoterpènes, les sesquiterpènes et les coumarines. Il est également riche en triterpénoides, tanins, flavonoïdes, glycosides cardiotoniques, saponines et plusieurs autres types de composés (He et Huang, 2011). Les différents composés sont présentés dans le tableau suivant

Tableau 08 : Métabolites de *F.vulgare*

Classe	Partie de la plante	Composés	Références
Huile essentielle	Fruits	trans-anéthole, trans-anisole, estragole, fenchone, 1-octen-3-ol	Diaz-Maroto <i>et al.</i> , 2005 ; Mimica-Dukie' <i>et al.</i> , 2003
	Fruits	α -pentène, fenchone	Akgül et Bayrak, 1988
	Fruits	hydrocarbures monoterpéniques, monoterpènes oxygénés, phénylpropanoïdes	Napoli <i>et al.</i> , 2010
Acides gras	Fruits	Acide pétrosélinique	Reiter <i>et al.</i> , 1998 ; Charvet <i>et al.</i> , 1991
	Fruits	Acide linoléique, acide palmitique, acide oléique	Singh <i>et al.</i> , 2006
	Fruits	Composition similaire fenouil doux et amer	Cosge <i>et al.</i> , 2008
Composés phénoliques	Fruits	Acide 3-caféoylquinique, acide 4-caféoylquinique, acide rosmarinique, quercétine-3-O-galactoside, etc.	Parejo <i>et al.</i> , 2004
Flavonoïdes	Fruits	Quercétine, rutine, isoquercitrine	Cherng <i>et al.</i> , 2008
	Fruits	Quercétine arabinoside	Harborne <i>et al.</i> , 1971, 1972, 1984
Polyacétylènes	Fruits et bulbes	Falcarindiol, falcarinol, falcarindiol-3-acétate	Christian <i>et al.</i> , 2005 ; Rawson <i>et al.</i> , 2011
coumarines	Feuilles et fruits	Lactones aromatiques dérivés de l'acide cinnamique	Venugopala <i>et al.</i> , 2013 ; Borges <i>et al.</i> , 2005

Glycosides	Feuilles et graines et écorce	Molécules combinant un sucre (glycone) et un aglycone (non sucre)	Hostettmann <i>et al.</i> , 2001 ; Oleszek <i>et al.</i> , 2002
------------	-------------------------------	---	---

6. Activités biologiques du fenouil

F.vulgare possède de nombreuses propriétés biologiques, notamment des activités antioxydantes, antifongiques, antibactériennes, antithrombotiques, anti-inflammatoires, œstrogéniques, hépatoprotectrices, antidiabétiques, acaricides, larvicides, insecticides et nématicides. Elle influence également les contractions utérines et exerce un effet inhibiteur sur le cytochrome P450 hépatique humain (Anka *et al.*, 2020).

Tableau 09 : Activités biologiques du fenouil

Extrait	Organe	Activité biologique	Référence
Huile essentielle	Fruits	Carminative, stimulante, spasmolytique	Khan <i>et al.</i> , 2009
Extrait méthanolique	Plante entière	Analgésique, anti-inflammatoire, antioxydant	Choi et Hwang, 2004
Extraits aqueux / éthanoliques	Plante entière	Activité antioxydante <i>in vitro</i>	Oktay <i>et al.</i> , 2003
Huile essentielle	Fruits	Antibactérienne, antivirale	Ruberto <i>et al.</i> , 2000 ; Shukla <i>et al.</i> , 1988
Extrait méthanolique	Plante entière	Amélioration de la mémoire	Joshi <i>et al.</i> , 2006
Huile essentielle	Fruits	Antioxydant (fort)	Singh <i>et al.</i> , 2006
Extraits éthanolique/eau	Plante entière	Antioxydant (modéré)	Diaz-Maroto <i>et al.</i> , 2005
Huile essentielle	Fruits	Acaricide, larvicide	Zoubiri <i>et al.</i> , 2011 ;

			Lee <i>et al.</i> , 2006
Fraction au chloroforme	Tiges	Antimicrobienne	Kwon <i>et al.</i> , 2002
Huile essentielle	Fruits	Antibactérienne	Araque <i>et al.</i> , 2007 ; El-Adly <i>et al.</i> , 2007
Huile essentielle	Fruits	Antifongique	Mimica-Dukić <i>et al.</i> , 2003 ; Singh <i>et al.</i> , 2006
Extrait dichlorométhane/ Huile essentielle.	Plante entière	Antifongique contre <i>Candida albicans</i>	Park <i>et al.</i> , 2010
Huile essentielle	Fruits	Hépatoprotectrice	Ozbek <i>et al.</i> , 2003
Huile essentielle	Fruits	Activité œstrogénique	Albert-Puleo, 1980 ; Ostad <i>et al.</i> , 2001

CHAPITRE II

Activités biologiques

I. Activités biologiques

1. Activité antibactérienne

1.1. Définition de l'activité antibactérienne

L'activité antibactérienne désigne la capacité d'une substance, d'un extrait naturel ou d'un composé chimique à inhiber la croissance bactérienne ou à tuer des bactéries. Elle est généralement évaluée à travers des tests *in vitro*, tels que la détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI) ou par des méthodes de diffusion sur disque (Balouiri *et al.*, 2016). L'efficacité antibactérienne est essentielle dans le développement de nouveaux agents thérapeutiques face à l'émergence croissante de bactéries résistantes aux antibiotiques traditionnels (Ventola, 2015).

1.2. Nature de l'activité antibactérienne

L'activité antibactérienne peut se manifester sous deux formes principales :

- **Activité bactéricide** : Il s'agit de la capacité d'une substance à tuer les bactéries dans des conditions définies, entraînant une perte irréversible de la viabilité bactérienne (Pankey & Sabath, 2004).
- **Activité bactériostatique** : Elle correspond à l'inhibition temporaire de la croissance et de la multiplication des bactéries sans entraîner leur mort immédiate. À l'arrêt du traitement, les bactéries peuvent reprendre leur développement (Kohansk *et al.*, 2010).

◆ Bactéries

Les bactéries sont des micro-organismes unicellulaires prokaryotes, dépourvus de noyau et d'organites membranaires. Elles possèdent généralement une paroi cellulaire rigide, et se reproduisent par fission binaire. Les bactéries sont omniprésentes dans la nature : certaines vivent en symbiose avec l'homme, d'autres sont pathogènes, et beaucoup jouent un rôle essentiel dans les cycles biogéochimiques et les écosystèmes (Madigan *et al.*, 2022).

◆ Bactéries à Gram positif

Les bactéries à Gram positif possèdent une paroi cellulaire épaisse composée majoritairement de peptidoglycane. Cette structure retient le cristal violet lors de la coloration de Gram, ce qui leur donne une apparence violette au microscope. Elles n'ont pas de membrane externe, exemple les genres *Staphylococcus*, *Streptococcus*, et *Bacillus*. Ces bactéries sont souvent sensibles aux antibiotiques de la famille des β -lactamines (Sutcliffe *et al.*, 2023).

✓ Bactéries à Gram négatif

Les bactéries à Gram négatif possèdent une paroi cellulaire plus mince, avec une couche de peptidoglycane entourée d'une membrane externe riche en lipopolysaccharides (LPS). Cette double membrane rend la paroi moins perméable aux antibiotiques. Elles apparaissent roses ou rouges après la coloration de Gram. Des exemples typiques incluent *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, et *Neisseria meningitidis* (Silhavy, Kahne, & Walker, 2010).

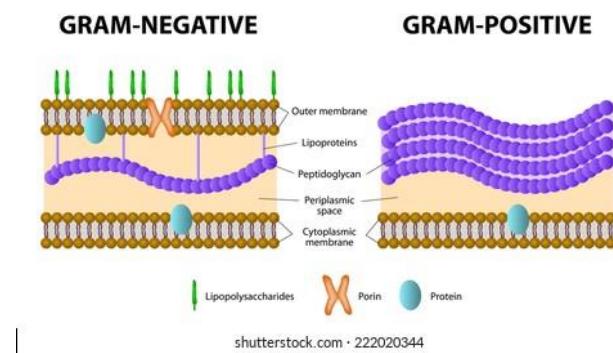


Figure 09: la différence entre les bactéries gram positif et négatif (Shahriari *et al.*, 2018)

✓ Mécanismes d'activité antibactérienne

Les extraits de plantes médicinales exercent leur activité antibactérienne par divers mécanismes, notamment l'altération de la membrane cellulaire, l'inhibition de la synthèse des protéines, de l'ADN ou de la paroi bactérienne, ainsi que l'interférence avec les communications cellulaires (Djeussi *et al.*, 2013).

Par exemple, les flavonoïdes extraits de *Marrubium vulgare* ont démontré une activité antibactérienne significative contre des souches multirésistantes telles que *Pseudomonas aeruginosa* et *Staphylococcus aureus*, attribuée à leur capacité à perturber la perméabilité membranaire et à inhiber la croissance bactérienne (Boutlelis & Bensouici, 2015).

De même, les extraits aqueux et hydroéthanoliques d'un mélange d'écorces de *Albizia gummifera* et de *Spathodea campanulata* ont révélé la présence de métabolites secondaires comme les polyphénols et flavonoïdes, responsables de leur activité antibactérienne (Kouadio *et al.*, 2020).

Ces composés agissent en synergie pour perturber les fonctions vitales des bactéries, offrant ainsi des alternatives prometteuses face à la résistance croissante aux antibiotiques conventionnels.

1.3. Méthode d'évolution de l'activité antibactérienne

✓ Méthode des trous en gélose

La méthode des trous consiste à creuser des cavités dans une gélose préalablement ensemencée avec la souche bactérienne d'intérêt, puis à y déposer un volume précis de la substance à tester. Après incubation, l'apparition d'un halo clair autour du trou indique une inhibition de la croissance bactérienne. Le diamètre de cette zone d'inhibition est mesuré en millimètres. Cette technique permet une évaluation semi-quantitative de l'activité antimicrobienne, bien qu'elle soit influencée par la diffusion du composé actif dans le milieu gélosé (Hossain, 2024).

✓ Méthode des disques imprégnés

Dans cette méthode, des disques de papier stériles, imprégnés d'une quantité connue de l'extrait ou de l'huile essentielle, sont déposés sur une gélose ensemencée. Après incubation, les zones d'inhibition sont mesurées de manière similaire à la méthode des trous. Ce protocole est recommandé par le Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) pour les tests de routine de sensibilité bactérienne, bien qu'il présente certaines limites avec les substances peu diffusibles comme certaines huiles essentielles (Bonnin *et al.*, 2022).

✓ Méthode de microdilution en milieu liquide

La microdilution en bouillon permet de déterminer des paramètres quantitatifs tels que la concentration minimale inhibitrice (CMI) et la concentration minimale bactéricide (CMB). Les bactéries sont exposées à des concentrations décroissantes du composé testé dans un milieu liquide. La turbidité ou une coloration (par exemple, le resazurine) permet de déterminer la croissance bactérienne résiduelle. Cette méthode est la plus précise pour évaluer la puissance antibactérienne et la nature bactéricide ou bactériostatique de l'agent (Hu *et al.*, 2022).

1.4. Microorganismes étudiés

Différentes bactéries se trouvent avec une fréquence importante en milieu clinique et aussi leur pertinence dans l'étude de la résistance microbienne, celles à Gram positif (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*) et à Gram négatif (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*), ainsi que des champignons pathogènes tels que *Candida albicans* et *Aspergillus flavus*.

❖ *Pseudomonas aeruginosa*

Pseudomonas aeruginosa est une bactérie à Gram négatif opportuniste, fréquemment impliquée dans les infections nosocomiales graves, notamment respiratoires et urinaires. Sa capacité à former des biofilms et à développer des résistances multiples aux antibiotiques en fait un pathogène particulièrement redoutable (Moradali, Ghods, & Rehm, 2017).

❖ *Escherichia coli*

Escherichia coli est une bactérie à Gram négatif, généralement commensale du tractus intestinal humain. Cependant, certaines souches pathogènes, comme les ETEC et EHEC, sont responsables d'infections gastro-intestinales sévères (Alexandrov *et al.*, 2025).

❖ *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus est une bactérie à Gram positif, coccique, impliquée dans une variété d'infections allant des affections cutanées bénignes aux infections systémiques graves. Les souches résistantes à la méthicilline (SARM) représentent une préoccupation majeure en raison de leur résistance aux traitements conventionnels. Des études récentes mettent en lumière l'utilisation potentielle de composés naturels, tels que le resvératrol, comme agents thérapeutiques alternatifs (Cui *et al.*, 2024).

❖ *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis est une bactérie à Gram positif, capable de former des spores très résistantes. Elle est couramment retrouvée dans le sol et les milieux naturels. Elle joue un rôle important en microbiologie industrielle en raison de sa capacité à produire des enzymes et d'autres substances utiles. Elle est aussi connue pour son rôle dans l'équilibre microbien de l'environnement (Zhao *et al.*, 2021).

2. Activité anti inflammatoire

1. Définition de l'inflammation

L'inflammation est un moyen de défense naturelle des organismes supérieurs contre toute agression extérieure, qu'elle soit causée par des facteurs physicochimiques (irradiations, brûlures, traumatismes mécaniques...), des infections microbiennes (bactériennes, virales ou parasitaires), ou encore par des éléments endogènes tels que des composés issus de la réponse immunitaire (complexes immuns, anticorps cytotoxiques, cytokines...). Son objectif est

d'éliminer l'agent pathogène et de réparer les lésions des tissus (Youghbaré-Ziébrou *et al.*, 2016 ; Taïba *et al.*, 2017)

L'inflammation se manifeste par des symptômes variables qui ont été décrits par Celsius, puis par Galien : rougeur, chaleur, douleur, tuméfaction et gêne ou impotence fonctionnelle (Muster, 2005). Ces symptômes peuvent entraîner des manifestations telles que l'asthénie, l'anorexie, la perte de poids, la fièvre, des troubles du sommeil et, dans certains cas, une cachexie accompagnée de pertes musculaires (Ferhat et Mehya, 2017).

Dans un tel contexte, le traitement de l'inflammation elle-même devient souvent prioritaire pour le médecin, parfois même avant le traitement de la cause sous-jacente.

2. Causes de l'inflammation

Les déclencheurs de l'inflammation peuvent être nombreux et diversifiés. Il se peut qu'elles soient :

◆ **Causes externes**

- ✓ Agents physiques : blessures, radiations, électricité, températures basses, chaleur, piqûres, coupures.
- ✓ Agents chimiques : acides, bases, diverses substances minérales.
- ✓ Agents biologiques : microorganismes nuisibles (virus, bactéries, parasites, champignons) et d'autres entités comme le vin, le pollen et les toxines. (Booting et Booting, 2000).

◆ **Causes internes**

- ✓ Causes trophiques : associées à une insuffisance de vascularisation.
- ✓ Conflits immunitaires : observés dans certaines pathologies inflammatoires de longue durée. (Revillard, 2001).

3. Types de l'inflammation

Il existe deux types d'inflammation selon la durée et la cinétique du processus inflammatoire: inflammation aiguë et chronique.

◆ **Inflammation aiguë**

L'inflammation aiguë constitue une réponse immédiate de l'organisme face à un agent agresseur. Elle est de courte durée, ne dépassant généralement que quelques jours. Cette réaction se caractérise par une vasodilatation marquée au début, qui diminue progressivement,

à moins que l'agent responsable ne soit éliminé par les processus de phagocytose assurés par les monocytes et les neutrophiles (Serhan *et al.*, 2010).

L'inflammation aiguë repose sur trois phases principales en relation les uns avec les autres :

- **Une phase vasculaire immédiate** : survenant en l'espace d'une minute, elle se traduit par des altérations de la microcirculation locale.
- **Une phase cellulaire** : qui résulte de la mobilisation de nombreuses cellules immunitaires. Cette mobilisation permet l'élimination des agents pathogènes ainsi que des tissus endommagés.
- **Une phase de résolution et de cicatrisation** : qui intervient dans les jours suivants, marquant la restauration progressive des tissus (Weil *et al.*, 2003).

♦ **Inflammation chronique**

L'inflammation chronique est le résultat d'une défaillance de l'inflammation aiguë et entraîne diverses maladies (Noack et Kolopp-Sarda, 2018). L'inflammation chronique, qui peut s'étendre sur des mois voire des années, est caractérisée par une évolution prolongée et est définie comme ayant une durée excédant six semaines (Heymonet, 2013).

Une inflammation chronique peut se produire en cas

- Un agent déclenche une inflammation aiguë : comme certains agents infectieux qui sont capables de résister aux défenses de l'hôte et demeurer dans le tissu sur une durée étendue (Pahwa *et al.*, 2020).
- Une exposition à un niveau minimal d'un matériau irritant ou étranger spécifique : qui ne peut pas être éliminé par dégradation enzymatique ou phagocytose dans l'organisme, comme la poussière de silice (Pahwa *et al.*, 2020).

Dans le cas d'une maladie auto-immune : lorsque le système immunitaire identifie la composante saine du corps comme un antigène étranger, il se met à attaquer le tissu sain, provoquant des affections comme la polyarthrite rhumatoïde (PR) (Pahwa *et al.*, 2020).

Il s'agit d'un dysfonctionnement dans les cellules chargées de gérer l'inflammation : entraînant une inflammation constante ou intermittente, tout comme les maladies auto-inflammatoires (Pahwa *et al.*, 2020).

Contrairement à l'inflammation aiguë où les phases vasculaires et cellulaires se suivent, dans le cas de cette inflammation, elles coexistent durant toute son évolution (Kada, 2018).

L'infiltration de cellules au niveau du site inflammatoire persiste et favorise ainsi l'hyperplasie et la dégradation du tissu.

Dans ce processus, le microenvironnement occupe une position cruciale. Effectivement, la production de cytokines et de chimiokines va stimuler la persistance et le support des cellules sur le lieu de l'inflammation (Noack et Kolopp-Sarda, 2018). Selon Libby (2007), les processus et intermédiaires engagés dans l'inflammation chronique se ressemblent à travers diverses pathologies inflammatoires chroniques telles que la polyarthrite rhumatoïde (PR), la psoriasis ou encore les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin (MICI), comme la maladie de Crohn (MC). Les cytokines, parmi ces agents partagés, sont des éléments essentiels pour l'environnement cellulaire, tant au niveau local que systémique.

4. Mécanisme de l'inflammation

L'inflammation est un moyen de défense naturelle des organismes supérieurs contre toute agression extérieure (Yougharé-Ziébrou *et al.*, 2016). L'initiation de l'inflammation est médiée par les cellules immunitaires résidentes par des récepteurs de reconnaissance d'agents pathogènes (PRR) tels que les récepteurs de type Toll (TLR), conduisant à la synthèse médiateurs solubles tels que les cytokines pro-inflammatoires, qui activent les voies de signalisation pro-inflammatoires, cette signalisation induit l'activation de cellules immunitaires supplémentaires (Feehan et Gilroy, 2019).

5. Réponse inflammatoire

La réponse inflammatoire c'est un réflexe naturel de notre corps. Dès qu'un tissu est abîmé ou infecté, tout se met en place rapidement pour limiter les dégâts (Mathieu et Guimezanes, 2012). Elle dépend de l'action de plusieurs enzymes essentielles, dont les lipoxygénases (LOX) et les cyclooxygénases (COX-1 et COX-2). Ces enzymes aident à transformer l'acide arachidone en médiateurs pro-inflammatoires lipidiques, tels que les prostaglandines et les leucotriènes (Yougharé-Ziébrou *et al.*, 2016).

De plus, les macrophages activés jouent un rôle crucial dans cette réponse. Ils contiennent une gamme de médiateurs inflammatoires, dont le NO, le TNF- α et les interleukines IL-1 β et IL-6, qui aident à propager et à maintenir l'inflammation (Moro *et al.*, 2012).

6. Différentes étapes de la réponse inflammatoire

Les plaquettes arrivent en premier, elles forment un caillot pour stopper les saignements. C'est vraiment un moyen simple mais super efficace pour éviter que ça devienne pire (Hall, 2016).

Ensuite, les mastocytes, des cellules présentes dans de nombreux tissus libèrent des substances qui vont contrôler l'ouverture des vaisseaux (Kumar *et al.*, 2015). Ça permet au sang et aux cellules immunitaires de venir directement là où c'est nécessaire. C'est important pour créer un environnement où les microbes peuvent être neutralisés (Murphy et Weaver, 2016).

Les neutrophiles arrivent ensuite. Ces cellules qui savent très bien éliminer les bactéries. Elles ne travaillent pas seules, ils collaborent avec les macrophages, qui rejoignent le site pour "nettoyer" tout le bazar, ils avalent les microbes et les débris (Mathieu et Guimezanes, 2012). À deux, ils forment une équipe vraiment redoutable.

Les macrophages font aussi autre chose : ils libèrent des cytokines, des petites protéines qui vont appeler d'autres cellules à la rescoussse. En plus, ils aident à la réparation des tissus, ce qui est super important (Murphy et Weaver, 2016).

Finalement, tout ça dure juste le temps qu'il faut pour que la zone redevienne normale. Après, le corps reprend son rythme habituel, comme si de rien n'était (Hall, 2016). La figure 2 illustre les différentes étapes de la réponse inflammatoire.

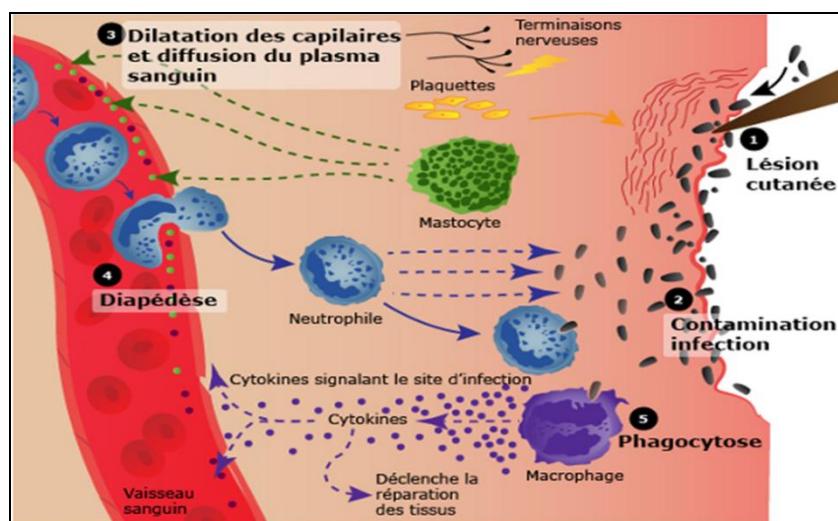


Figure 10 : Schéma récapitulatif de la réponse inflammatoire (Mathieu et Guimezanes, 2012).

7. Traitement de l'inflammation

Le terme anti-inflammatoire désigne les principaux traitements utilisés contre l'inflammation. Ces traitements se répartissent en deux grandes classes de molécules : les anti-inflammatoires stéroïdiens (glucocorticoïdes) et les anti-inflammatoires non stéroïdiens. Bien que ces médicaments soient efficaces, leur usage prolongé est souvent associé à des effets indésirables pouvant en limiter l'utilisation (Rahmani *et al.*, 2016).

7.1. Anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS)

Les AINS sont des acides faibles lipophiles, comprenant diverses molécules ayant une structure hétérogène mais un mécanisme d'action commun (Vaubourdolle, 2007). Ces composés peuvent également posséder des propriétés analgésiques et antipyrrétiques (Charpentier *et al.*, 2004). Leur action repose sur l'inhibition de la cyclo-oxygénase (COX), une enzyme membranaire. Cette inhibition entraîne une diminution de la production des prostaglandine E2 et I2, qui sont des médiateurs clés dans le processus inflammatoire (Dangoumau *et al.*, 2006).

7.2. Anti-inflammatoires stéroïdiens (AIS) ou glucocorticoïdes

Les anti-inflammatoires stéroïdiens, ou glucocorticoïdes, sont des dérivés du cortisol. Ils traversent facilement les membranes cellulaires et se lient à des récepteurs spécifiques de la famille des récepteurs nucléaires aux stéroïdes. Une fois activés, ces récepteurs migrent vers le noyau cellulaire et se fixent sur des séquences spécifiques de l'ADN appelées Glucocorticoid Response Elements (GRE).

Cette fixation permet d'augmenter la transcription des gènes à effet anti-inflammatoire tout en inhibant l'activité de certaines protéines transactivatrices nucléaires, ce qui réduit l'expression de nombreuses cytokines pro-inflammatoires ainsi que celle de plusieurs gènes liés à l'inflammation (Barnes, 1998).

7.3. Anti-inflammatoires naturels

Les plantes médicinales contiennent une grande diversité de métabolites secondaires possédant des propriétés anti-inflammatoires. Ces composés sont supposés agir en inhibant les voies de la cyclo-oxygénase et de la lipoxygénase, mais également par d'autres mécanismes encore en cours d'étude. L'avantage majeur de ces traitements naturels réside dans leur

efficacité potentielle sans les effets secondaires associés aux traitements conventionnels (Barnes, 1998).

Des études menées *in vitro* et *in vivo* ont démontré que les polyphénols présents dans certaines plantes peuvent moduler l'activité des enzymes impliquées dans le métabolisme de l'acide arachidonique (AA), notamment la phospholipase A2, la cyclooxygénase et la lipoxygénase. L'inhibition de ces enzymes par les polyphénols entraîne une diminution de la production de l'AA, du monoxyde d'azote (NO*), des prostaglandines et des leucotriènes, qui sont des médiateurs clés de l'inflammation (Kim *et al.* 2004).

Par ailleurs, des études *in vivo* ont montré que certains flavonoïdes, tels que la lutéoline et l'apigénine, inhibent la production de cytokines comme IL-4, IL-5 et IL-13 ; que la quercétine réduit la production de TNF- α par les macrophages stimulés par le lipopolysaccharide (LPS) ; et que le kaempférol inhibe l'expression et la sécrétion de l'IL-8 ainsi que la production d'IL-1 β et d'IL-6 dans les mastocytes (Gonzalez-Gallego *et al.*, 2006)

CHAPITRE III

Matériel et Méthodes

I. Matériel végétal

Trois plantes (fenouil, caroubier et ortie) ont été achetées auprès d'un fournisseur fiable. Ces plantes étaient déjà séchées et broyées (mouture) avant l'achat. Elles ont été utilisées telles quelles pour les procédés d'extraction par macération.

II. Méthodologie

Ce travail a été réalisé au sein des laboratoires pédagogiques du département des Sciences de la Nature et de la Vie, ainsi qu'au niveau de labo de recherche de Chaaba l'Université de Frères Mentouri.

1. Extraction

Le principe de l'extraction repose sur un contact prolongé entre la matière végétale sèche et le solvant choisi (éthanol et eau distillée), permettant la diffusion des composés bioactifs dans le solvant (Rebey *et al.*, 2016).

Cette extraction a été réalisée en mélangeant 100g de chaque matière végétale sèche et broyée (*Foeniculum vulgare*, *Ceratonia siliqua*, *Urtica dioica*) et mise dans une solution hydroalcolique (70/30). Le mélange est agité pendant 30 min et gardé au repos pendant 24 heures à 4°C en obscurité.

Afin d'optimiser l'extraction, le solvant est renouvelé trois fois au cours de 24h. A chaque renouvellement, le mélange est filtré à l'aide d'un papier filtre whatman n°4.

Les filtrats obtenus sont évaporés sous vide à 45 °C à l'aide d'un rota vapeur (Buchi), puis le résidu est complètement séché à 36 °C dans une étuve (Rebey *et al.*, 2016 ; Craig *et al.*, 1950). Les extraits ainsi obtenus sont conservés à 4°C pour les différentes analyses.

♦ Rendement

Le rendement d'extraction d'une plante correspond au rapport entre le poids de l'extrait obtenu après l'évaporation du solvant et celle de la plante utilisée pour l'extraction (Harborne, 1998). Il est exprimé en pourcentage et calculé selon la formule suivante :

$$R (\%) = (PE / PA) \times 100$$

R : représente le rendement de l'extrait en pourcentage ;

PE : est le poids de l'extrait obtenu après l'évaporation du solvant, exprimé en grammes ;

PA : est le poids de la plante utilisée pour l'extraction, également en grammes.

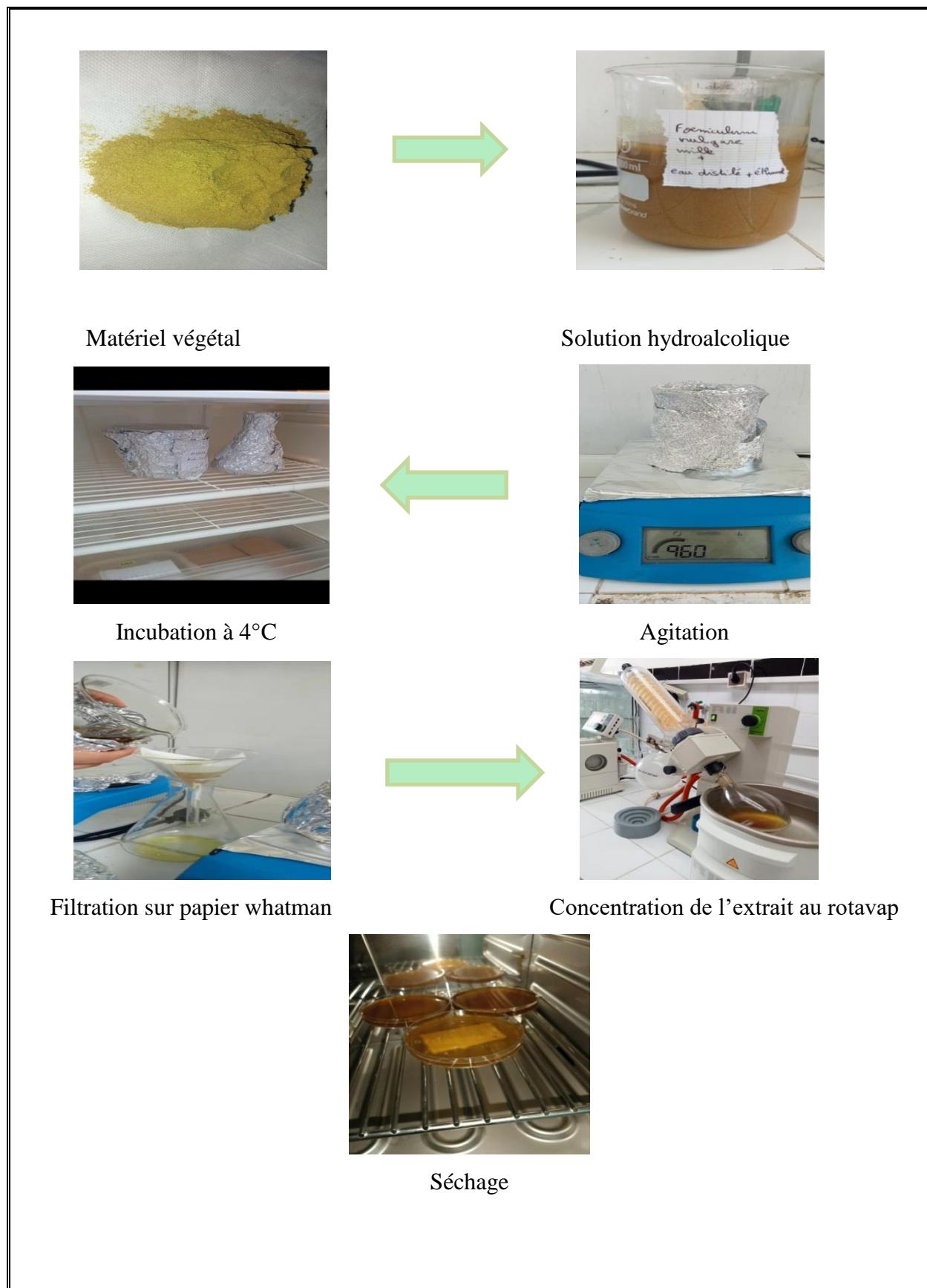


Figure 11 : Préparation des extraits (photo originale).

2. Screening phytochimique

Pour identifier les métabolites secondaires présents dans les extraits éthanoliques des plantes étudiées, un criblage phytochimique a été réalisé à l'aide de tests classiques fondés sur des réactions de coloration, de précipitation ou de turbidité. Ces tests permettent de mettre en évidence la présence de certaines classes chimiques comme les flavonoïdes, tanins, alcaloïdes, saponosides et terpénoïdes (Haddouchi *et al.*, 2016).

❖ Détection des flavonoïdes

Repose sur l'apparition d'une coloration rose à jaune après réaction avec 1ml de l'extrait suivi de l'ajout de 0.5 g magnésium et quelques gouttes de l'acide chlorhydrique (Haddouchi *et al.*, 2016).

❖ Détection des tanins

Sont révélés par une coloration verdâtre ou bleu-noir après ajout de 1ml de l'extrait 1ml de l'eau distillée et quelques gouttes de FeCl₃ (El-Haoud *et al.*, 2018).

❖ Détection d'alcaloïdes

est mise en évidence par la formation d'un précipité jaune, 1 ml de l'extrait a été mélangé avec quelques gouttes d'HCl ensuite des gouttes de réactif de Mayer sont ajoutées avec le réactif de Wagner (Haddouchi *et al.*, 2016).

❖ Détection des saponosides

Sont détectés par la formation d'une mousse persistante supérieure à 1 cm après agitation (Haddouchi *et al.*, 2016)

❖ Détection des terpénoïdes

L'extrait a été mélangé avec 1 ml chloroforme et 1 ml d'acide sulfurique, permet la mise en évidence éventuelle de terpénoïdes par changement de couleur (Haddouchi *et al.*, 2016).

❖ Détection des quinones libres

L'extrait a été mélangé avec quelques gouttes de NaOH 1/10 la phase aqueuse vire au jaune ou rouge (El-Haoud *et al.*, 2018).

❖ Détection des glycosides

1 ml de l'extrait a été mélangé avec quelques gouttes de NaOH une coloration jaune indique la présence des glycosides (Rao *et al.*, 2016)

3. Dosage des polyphénols totaux par la méthode de Folin-Ciocalteu

Le dosage des polyphénols totaux repose sur la capacité des composés phénoliques à réduire le réactif de Folin-Ciocalteu, un mélange d'acides phosphomolybdiques et phosphotungstiques. Cette réaction d'oxydoréduction conduit à la formation d'un complexe de couleur bleue, dont l'intensité est proportionnelle à la teneur en polyphénols présents dans l'échantillon (Dif *et al.*, 2015).

◆ Protocole expérimental

Le dosage des polyphénols totaux a été réalisé selon la méthode colorimétrique de Folin-Ciocalteu selon le protocole de (N.Ghedadba *et al.*, 2015).

Pour chaque extrait, un volume de 200 μ L a été prélevé à l'aide d'une micropipette (100–1000 μ L) et introduit dans un tube à essai. Ensuite, 1 mL de réactif de Folin–Ciocalteu dilué dix fois a été ajouté au mélange. Après agitation, les tubes ont été laissés à température ambiante pendant 4 minutes. Puis, 2,5 mL de solution de bicarbonate de sodium à 7,5 % a été ajoutée, et les tubes ont été incubés pendant 2 heures à température ambiante, à l'abri de la lumière. L'absorbance de la coloration bleue formée a été mesurée à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible de marque JENWAY.

La quantification des polyphénols a été effectuée à l'aide d'une courbe d'étalonnage établie avec l'acide gallique, et les résultats ont été exprimés en milligrammes équivalent acide gallique (mg EAG) par g d'extrait sec.

Chaque extrait a été analysé en trois répétitions, et l'absorbance a été mesurée.

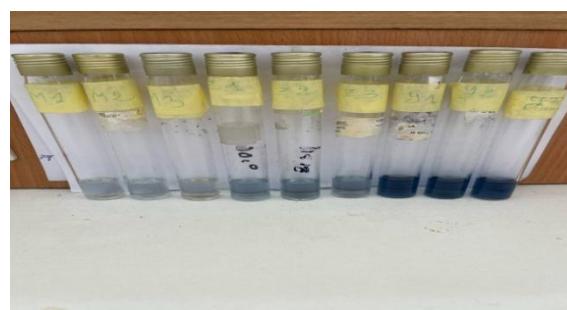


Figure 12: Dosage des polyphénols totaux (photo originale)

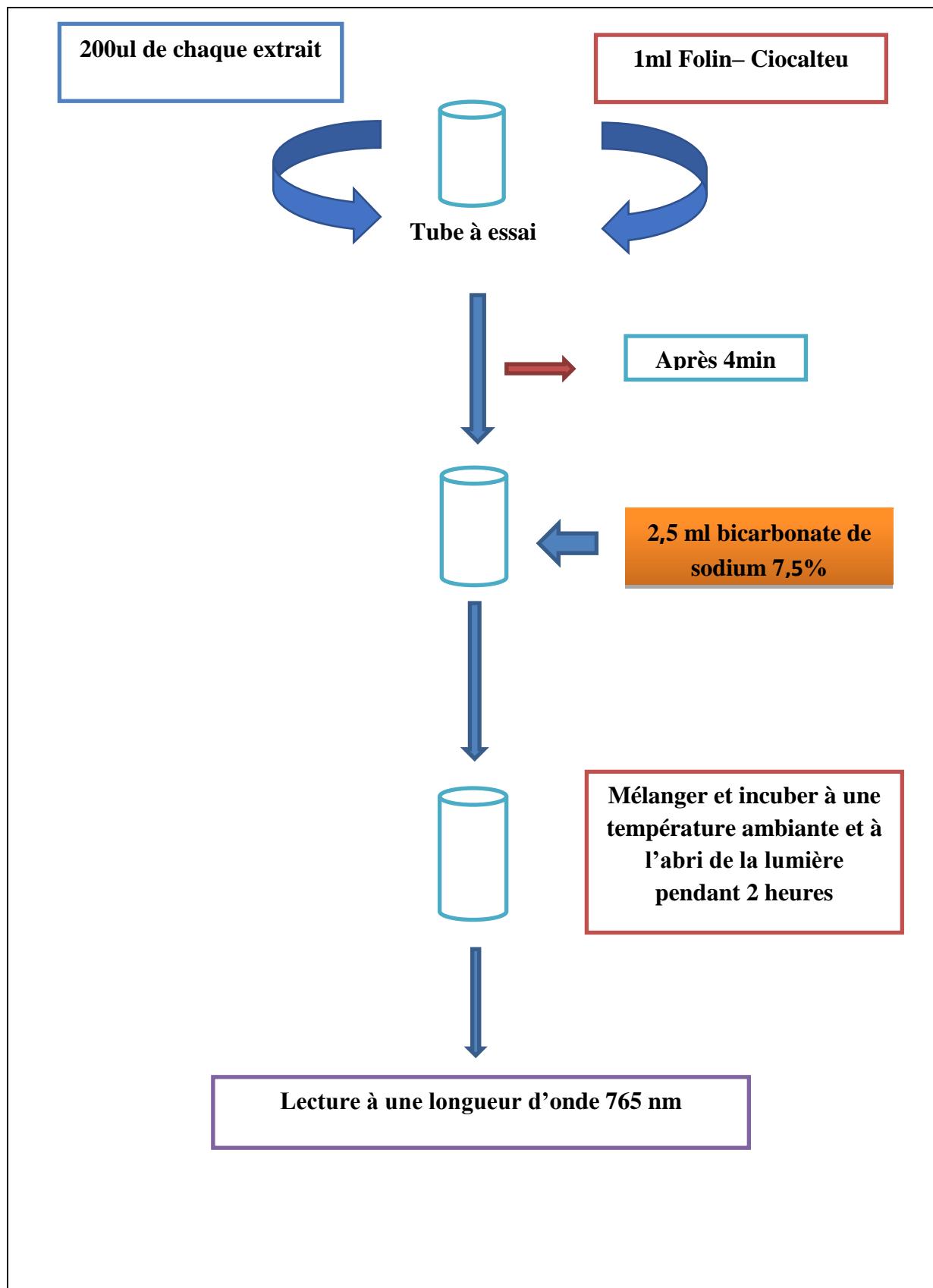


Figure 13: Schéma récapitulatif du protocole de dosage des polyphénols totaux.

4. Dosage des flavonoïdes totaux

Le dosage des flavonoïdes a été effectué en utilisant la méthode au trichlorure d'aluminium (AlCl_3), qui repose sur la formation de complexes entre l' AlCl_3 et certains groupements fonctionnels des flavonoïdes. Ce réactif forme des complexes acides stables avec le groupement carbonyle en position C-4, ainsi qu'avec les groupes hydroxyles situés en position C-3 ou C-5, notamment chez les flavones et les flavonols (Ipona *et al.*, 2023).

◆ Protocole expérimental

Le dosage des flavonoïdes totaux a été réalisé selon le protocole de (N.Ghedadba *et al.*, 2015). Un volume de 1,5 mL de chacun des extraits a été prélevé à l'aide d'une micropipette (100–1000 μL) et transféré dans des tubes à essai propres. Ensuite, 1,5 mL d'une solution de chlorure d'aluminium à 2 %, préparée dans de l'eau distillée, a été ajouté dans chaque tube. Après homogénéisation, les tubes ont été incubés pendant 10 minutes à température ambiante. Une coloration jaune caractéristique s'est développée en présence de flavonoïdes. L'absorbance des mélanges a ensuite été mesurée à 430 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible de marque JENWAY, en utilisant un blanc contenant uniquement le réactif sans extrait.

La quantification a été réalisée à l'aide d'une courbe d'étalonnage construite à partir de différentes concentrations de quercétine, utilisée comme standard de référence. L'absorbance des solutions de quercétine préparées dans les mêmes conditions a permis de générer une droite de régression dont l'équation a été utilisée pour déterminer les concentrations en flavonoïdes dans les échantillons. Les résultats finaux ont été exprimés en milligrammes équivalents de quercétine (mg EQ) pour 100 g d'extrait sec.

Chaque extrait a été analysé en trois répétitions et l'absorbance a été mesurée.



Figure 14 : Dosages des flavonoïdes (photo originale)

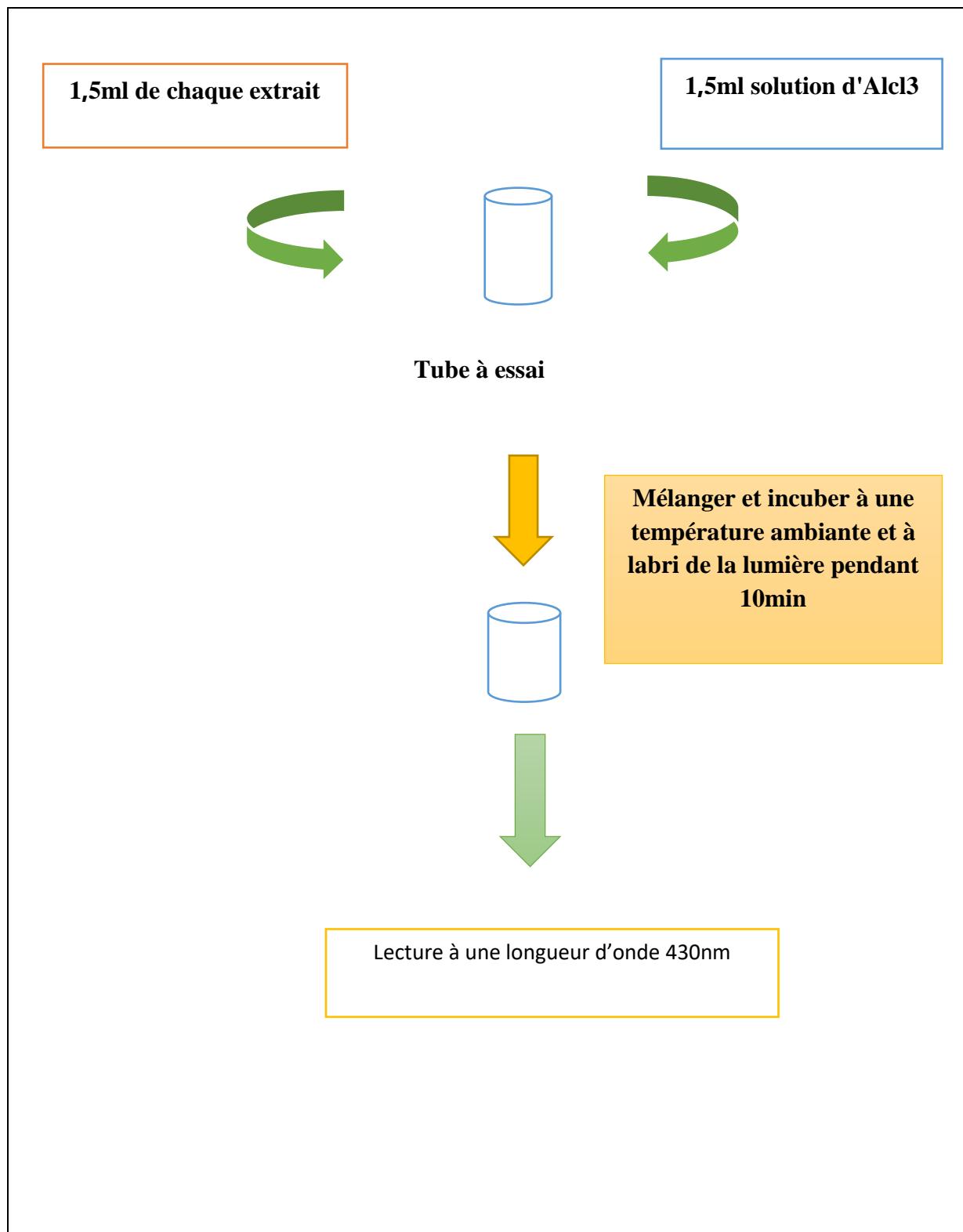


Figure 15: Schéma récapitulatif du protocole de dosage des flavonoïdes

5. Etude de l'activité anti-inflammatoire *in vitro*

L'activité anti-inflammatoire des extraits a été évaluée par une méthode *in vitro* basée sur la prévention de la dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine (SAB), selon la méthode décrite par Williams *et al.* (2008), avec quelques modifications. Cette technique simple et rapide permet de détecter des composés ayant un potentiel anti-inflammatoire, sans recours à des modèles animaux

♦ Protocole expérimental

Une solution de BSA à 0,5 % (p/v) a été préparée en dissolvant l'albumine bovine dans du tampon phosphate salin (PBS) au pH 6,4, puis agitée doucement à l'aide d'un agitateur magnétique dans un bécher stérile. La solution obtenue a été conservée au réfrigérateur jusqu'à son utilisation. Par ailleurs, les extraits éthanoliques de *Urtica dioica*, *Foeniculum vulgare* et *Ceratonia siliqua* ont été dissous dans de l'eau distillée afin d'obtenir des concentrations de travail de 1, 10, 100 et 150 µg/mL. Le diclofénac a été utilisé comme référence positive aux concentrations de 50, 100 et 150 µg/mL. Pour la mise en place des réactions, 0,05 mL de l'extrait ou du diclofénac ont été ajoutés à 0,45 mL de la solution de BSA dans des tubes à essai propres et secs, puis le mélange a été homogénéisé délicatement. L'ensemble des tubes a ensuite été incubé à 37 °C pendant 20 minutes, suivi d'un chauffage à 57 °C durant 3 minutes afin d'induire la dénaturation des protéines. Après un refroidissement à température ambiante, 2,5 mL de PBS ont été ajoutés à chaque tube, puis l'absorbance a été mesurée à 660 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible.

En ce qui concerne les témoins, l'eau distillée a servi de témoin blanc, tandis que le témoin négatif était constitué de la solution de BSA avec PBS, sans extrait ni médicament, représentant ainsi 100 % de la dénaturation des protéines. Le pourcentage d'inhibition de la dénaturation a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{% Inhibition} = \frac{(\text{Abs témoin}) - (\text{Abs extrait})}{(\text{Abs témoin})} \times 100$$



Figure 16: Tubes à essai incubés dans un incubateur (photo originale)

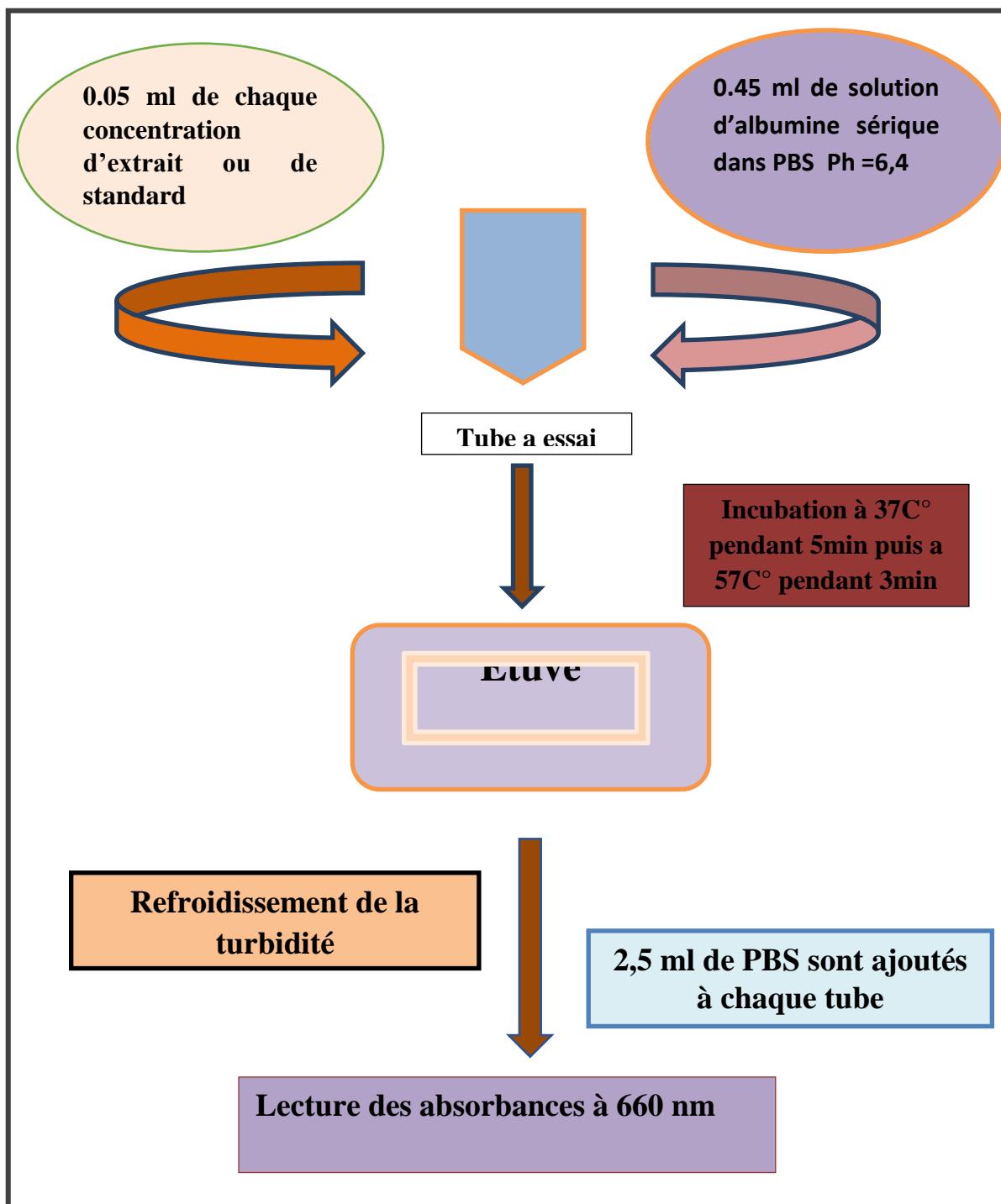


Figure 17 : Protocole récapitulatif du test de la dénaturation thermique des protéines

6. Activité antimicrobienne

Cette partie a pour objectif d'évaluer l'activité antimicrobienne des extraits végétaux obtenus à partir de plantes médicinales sélectionnées. L'étude porte sur l'activité antibactérienne et antifongique de ces extraits, testée *in vitro* contre des souches microbiennes pathogènes.

Les tests ont été réalisés en utilisant la méthode de diffusion sur disque. Ce chapitre détaillera d'abord la préparation des extraits, puis les protocoles appliqués pour évaluer leur activité antimicrobienne.

6. 1. Préparation des extraits

Pour chaque extrait, une solution mère (SM) a été obtenue en dissolvant 100 mg d'extrait dans 1 mL de diméthylsulfoxyde (DMSO). À partir de cette solution mère, deux dilutions ont été préparées afin d'obtenir des concentrations finales de 50 mg/mL et 25 mg/mL.

6. 2. Évaluation de l'activité antibactérienne des extraits

Les effets antibactériens ont été évalués par la technique de diffusion sur disque contre quatre souches bactériennes : *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), *Bacillus subtilis* (ATCC 6633).

Les souches bactériennes ont été réactivées et incubées à 37 °C pendant 24 heures. La densité cellulaire de chaque suspension a été standardisée par dilution dans de l'eau physiologique stérile jusqu'à obtention d'une turbidité équivalente au standard de 0,5 McFarland.

Des disques stériles de papier Whatman de 6 mm de diamètre ont été déposés sur la surface d'une boîte de Petri contenant le milieu Mueller-Hinton préalablement inoculé, puis imprégnés avec 10 µL d'échantillon. Les boîtes ont été placées à 4 °C pendant 2 heures afin de permettre la diffusion des substances bioactives, puis incubées à 37 °C.

La lecture des résultats antibactériens a été effectuée après 18 à 24 heures d'incubation. Toute zone d'inhibition autour des disques, même de faible diamètre, a été considérée comme un résultat positif. Le DMSO a été utilisé comme contrôle négatif (Barboucha *et al.*, 2024).

Chaque test a été réalisé en triplicate.

6. 3. Évaluation de l'activité antifongique des extraits

L'activité antifongique a été testée en utilisant la même méthode de diffusion sur disque, contre trois souches fongiques : *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*.

Les suspensions ont été préparées en raclant des cultures cultivées sur milieu PDA pendant 14 jours à 28 °C après ajout d'eau physiologique.

La concentration des spores a été déterminée à l'aide d'une chambre de comptage hémocytométrique, puis ajustée pour atteindre une densité finale de 10^6 spores/mL, afin d'assurer une inoculation standardisée pour les tests antifongiques (Oniha *et al.*, 2021).

Cependant, pour *Candida albicans*, la suspension a été ajustée à une turbidité équivalente au standard de 0,5 de McFarland.

Le test a été réalisé sur milieu **PDA (Potato Dextrose Agar)**, et les boîtes ont été incubées à 28 °C. Les résultats antifongiques ont été évalués après 48 à 72 h en mesurant les zones d'inhibition autour des disques imprégnés de l'extrait. Le DMSO a servi de contrôle négatif (Barboucha *et al.* ,2024). Chaque test a été réalisé en triplicata.

CHAPITRE IV

Résultats et Discussion

1. Rendement d'extraction

L'objectif de ce calcul est de comparer la capacité d'extraction des différentes plantes étudiées dans les mêmes conditions expérimentales, afin d'identifier celles qui contiennent une proportion plus élevée de composés solubles dans le solvant utilisé.

Les résultats présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 10 : Rendements d'extraction obtenus à partir des différentes plantes étudiées.

Plante	Poids sec de l'extrait(g)	Poids sec de la plante (g)	Rendement(%)
<i>Foeniculum vulgare</i>	30,29	100	30,29%
<i>Urtica dioica</i>	31,5	100	31,5%
<i>Ceratonia siliqua</i>	33,65	100	33,65%

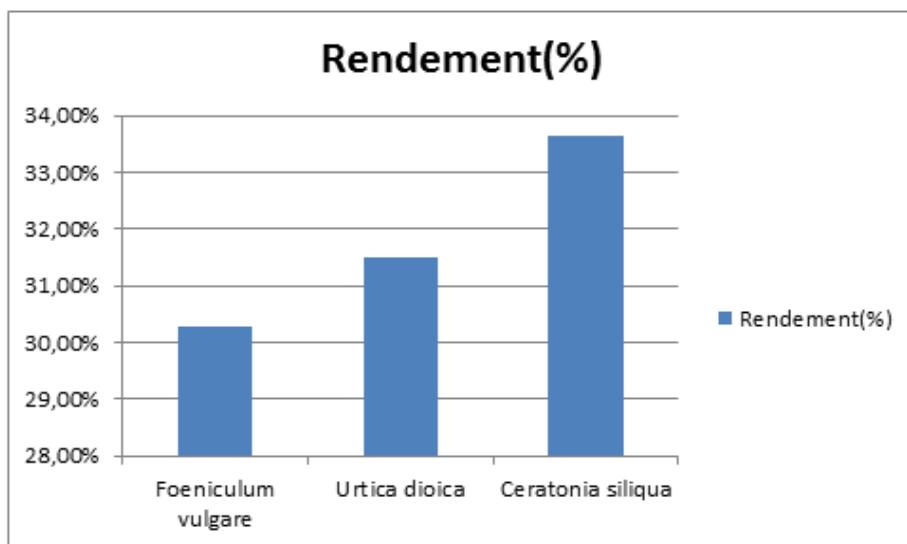


Figure 18: histogramme de rendements d'extraction.

Les résultats révèlent que les trois extraits affichent des rendements relativement élevés et proches, tous supérieurs à 30 %. Le rendement le plus élevé a été obtenu à partir de *Ceratonia siliqua* (33,65 %), suivi de *urtica dioica* (31,5 %), tandis que *Foeniculum vulgare* (30,29 %), bien que légèrement inférieur..

Les rendements d'extraction obtenus dans cette étude varient entre 30,29 % pour *Foeniculum vulgare* et 33,65 % pour *Ceratonia siliqua*, en passant par 31,5 % pour *Urtica dioica*. Ces valeurs indiquent une efficacité globale satisfaisante du mélange hydro-éthanolique (70 % éthanol – 30 % eau) pour l'extraction des métabolites secondaires présents dans les poudres des trois plantes.

Le rendement le plus élevé a été observé avec *Ceratonia siliqua*. Cette plante est connue pour la richesse de ses gousses en composés hydrosolubles tels que les sucres, les tanins condensés, les acides phénoliques et certains flavonoïdes (Bensalah *et al.*, 2021).

Ces composés sont généralement très bien extraits par des solvants polaires comme le mélange éthanol/eau (Do *et al.*, 2014). De plus, la structure spongieuse des gousses de caroube permet une meilleure pénétration du solvant et facilite la libération des constituants solubles, ce qui pourrait expliquer le rendement plus important.

L'extrait de *Urtica dioica* a montré un rendement intermédiaire (31,5 %), ce qui est en accord avec plusieurs études antérieures qui ont rapporté des rendements compris entre 28 % et 34 %, en fonction du solvant et de la partie utilisée (Bnouham *et al.*, 2010). Les feuilles et tiges de l'ortie contiennent des flavonoïdes, de l'acide caféïque, de l'acide férulique et d'autres composés polaires qui sont bien solubilisés dans les mélanges hydro-alcooliques (Chrubasik *et al.*, 2007).

En revanche, *Foeniculum vulgare* a donné un rendement légèrement inférieur (30,29 %). Cela peut s'expliquer par la nature chimique des composés majoritaires de ses graines, qui sont souvent riches en huiles essentielles, constituées de composés volatils et peu polaires (comme l'anéthol, le fenchone et l'estragole) (Badgujar *et al.*, 2014). Or, ces substances sont moins bien extraites par les solvants à forte polarité.

De plus, la structure dense et huileuse des graines peut limiter la diffusion du solvant et la libération complète des constituants (Dahmoune *et al.*, 2015).

Ces résultats confirment que le choix du solvant, la structure anatomique du matériel végétal et la nature physicochimique des composés présents influencent directement le rendement d'extraction. Le mélange hydro-éthanolique utilisé s'est révélé adéquat pour l'extraction de composés polaires et semi-polaires à partir de poudres végétales sèches.

2. Screening phytochimique

Le screening phytochimique représente une étape essentielle dans l'analyse des extraits végétaux, car il permet de détecter qualitativement les principales familles de métabolites secondaires présents dans les plantes. Ces substances naturelles, telles que les flavonoïdes, les tanins, les saponines, les alcaloïdes ou encore les stérols, jouent un rôle important dans diverses activités biologiques, notamment les effets antioxydants, antimicrobiens et anti-inflammatoires.

Dans le cadre de ce travail, un criblage phytochimique a été réalisé sur les extraits de *Urtica dioica*, *Ceratonia siliqua* et *Foeniculum vulgare*, obtenus à l'aide de différents solvants.

L'objectif de cette analyse est d'identifier les métabolites secondaires présents dans chaque extrait.

Les résultats obtenus sont évalués comme suit :

+++ : Fortement positif

++ : Moyennement positif

+ : faiblement positif

- : négatif

Tableau 11: Résultats du screening chimique

Métabolites	<i>Urtica dioica</i>	<i>Ceratonia siliqua</i>	<i>Foeniculum vulgare</i>	Photos
Alcaloïdes	+	+	+	
Flavonoïdes	+	+++	+++	
Tanins	+++	+++	+++	
Quinones libre	+++	+++	+++	
Saponines	++	+++	++	

Terpenoides	+++	+++	+++	
Glycosides	+++	+++	-	

L'extrait éthanolique d'*Urtica dioica* a révélé une présence marquée en tanins, quinones libres, glycosides et terpènes, ainsi qu'une faible quantité de flavonoïdes et d'alcaloïdes.

Ces résultats sont globalement en accord avec ceux de (Benariba *et al.*, (2023), qui ont signalé une abondance modérée de tanins et une teneur réduite en flavonoïdes dans les extraits méthanoliques d'ortie récoltée en Algérie.

Par ailleurs, une étude récente sur les propriétés photoprotectrices de cette plante a confirmé la richesse en métabolites secondaires, en particulier les composés phénoliques, responsables de l'activité antioxydante observée (Hamida *et al.*, 2024).

La présence conjointe de glycosides et de terpènes, largement rapportés pour leurs effets stabilisateurs de membranes et anti-inflammatoires, soutient la pertinence de l'utilisation traditionnelle de l'ortie dans le traitement des affections inflammatoires.

L'extrait éthanolique de *Foeniculum vulgare* a mis en évidence la présence importante de flavonoïdes, tanins, terpènes et quinones libres, ainsi qu'une teneur modérée en saponines. Ces observations rejoignent celles de (Ayoub *et al.*, 2023) , qui ont montré une teneur importante en composés phénoliques et flavonoïdes dans l'extrait hydrométhanolique des graines de fenouil, accompagnée d'une activité antioxydante et anti-inflammatoire notable évaluée par des tests *in vitro*.

De même, l'étude de Mechri *et al.*, 2024 a confirmé que les extraits éthanoliques des tiges de fenouil sont particulièrement riches en phénols totaux, avec une forte capacité de piégeage des radicaux libres. La combinaison des flavonoïdes et tanins dans notre extrait pourrait expliquer une partie de l'effet protecteur contre la dénaturation des protéines, soutenant ainsi son potentiel thérapeutique en tant qu'agent anti-inflammatoire.

L'extrait éthanolique des feuilles de *Ceratonia siliqua* révèlent une forte teneur en flavonoïdes, tanins, glycosides, saponines et terpènes. Ces données sont en adéquation avec

l'étude de Bouallegue *et al.*, (2023), qui ont détecté une abondance similaire de ces composés dans des extraits de feuilles et d'écorce de caroubier.

D'autre part, El Jihani *et al.*, (2022) ont démontré que l'extrait éthanolique des feuilles présente non seulement une composition phytochimique variée, mais aussi une activité anti-inflammatoire et analgésique confirmée par des tests *in vivo*.

La présence combinée de tanins catéchiques, flavonoïdes et saponines pourrait ainsi justifier les propriétés pharmacologiques rapportées, en particulier leur action sur la modulation des médiateurs inflammatoires. Enfin, les études sur la pulpe de caroube montrent également une richesse en polyphénols, ce qui laisse entrevoir une synergie possible entre les différentes parties de la plante (Aouadi *et al.*, 2023).

3. Dosage des polyphénols

Le dosage des polyphénols totaux présents dans les différents extraits de la plante étudiée a été réalisé à l'aide de la méthode spectrophotométrique de Folin–Ciocalteu.

La quantification a été effectuée à partir d'une courbe d'étalonnage établie avec l'acide gallique comme standard. L'équation de régression linéaire obtenue est : ($y=2,4933x+0,3508$) où y représente l'absorbance mesurée, et x la concentration en acide gallique exprimée en mg/mL.

Les résultats sont exprimés en microgrammes équivalents d'acide gallique par milligramme d'extrait sec (mg EAG/g).

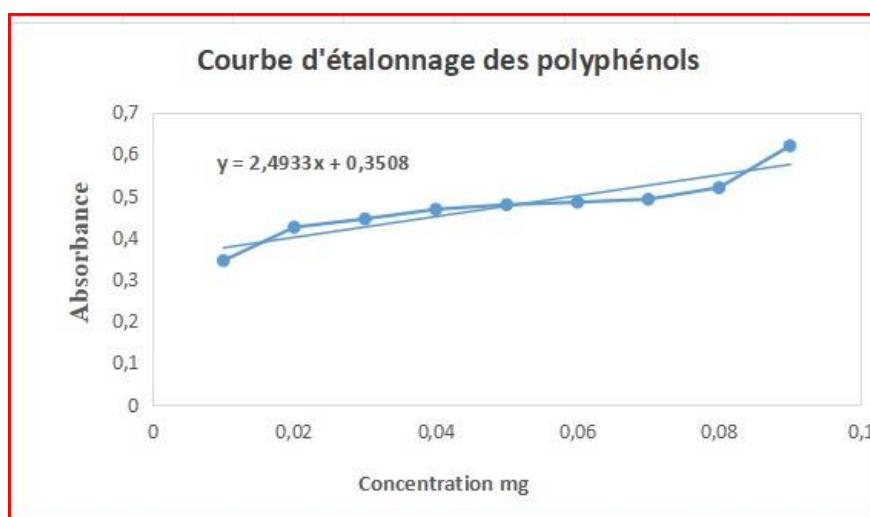


Figure 19: Courbe d'étalonnage de l'acide gallique

Les résultats concernant les quantités des polyphénols présents dans les extraits sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Taux des polyphénols totaux des trois plantes.

Extraits	Polyphénols totaux (mg EAG/g d'extrait)
<i>Ceratonia siliqua</i>	171,6 ± 5,11
<i>Urtica dioica</i>	190,2 ± 5,46
<i>Foeniculum vulgare</i>	171,6 ± 5,11

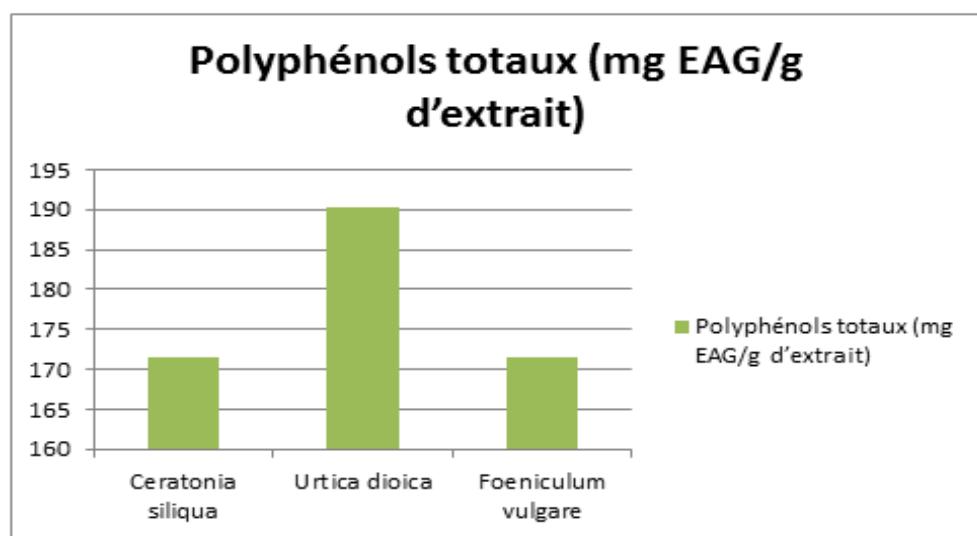


Figure 20 : histogramme des polyphénols totaux.

4. Dosage des flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes totaux a été déterminée par la méthode colorimétrique au trichlorure d'aluminium ($AlCl_3$), en mesurant l'absorbance des extraits à 430 nm.

La quantification a été réalisée à l'aide d'une courbe d'étalonnage établie avec la quercétine comme standard.

L'équation de régression linéaire obtenue est : $y=6,34x+0,1501$ où y représente l'absorbance, et x la concentration en flavonoïdes exprimée en milligrammes équivalents de quercétine par g (mg EQ/g). Figure19

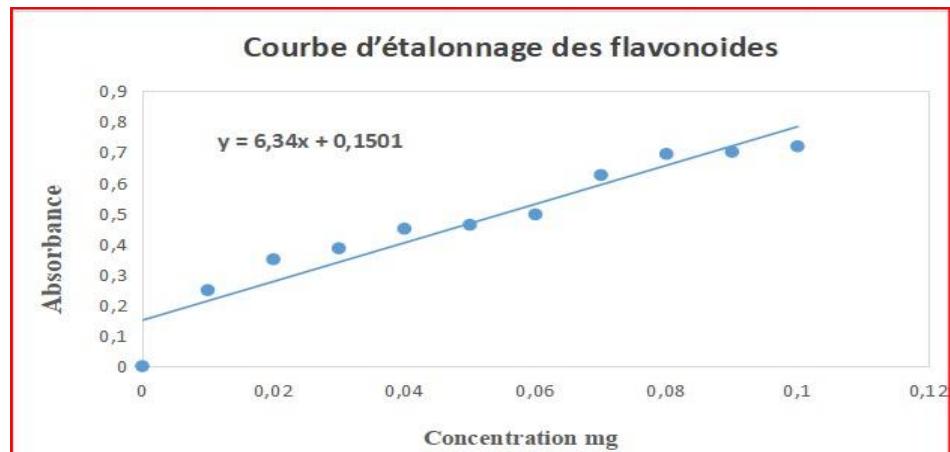


Figure 21: Courbe d'étalonnage de quercétine

Tableau 13 : Taux des flavonoïdes totaux dans les extraits

Extrait	Flavonoïdes totaux (mg EQ/g d'extrait)
<i>Ceratonia siliqua</i>	$80,7 \pm 3,3$
<i>Urtica dioica</i>	$101,8 \pm 2,0$
<i>Foeniculum vulgare</i>	$59,5 \pm 4,9$

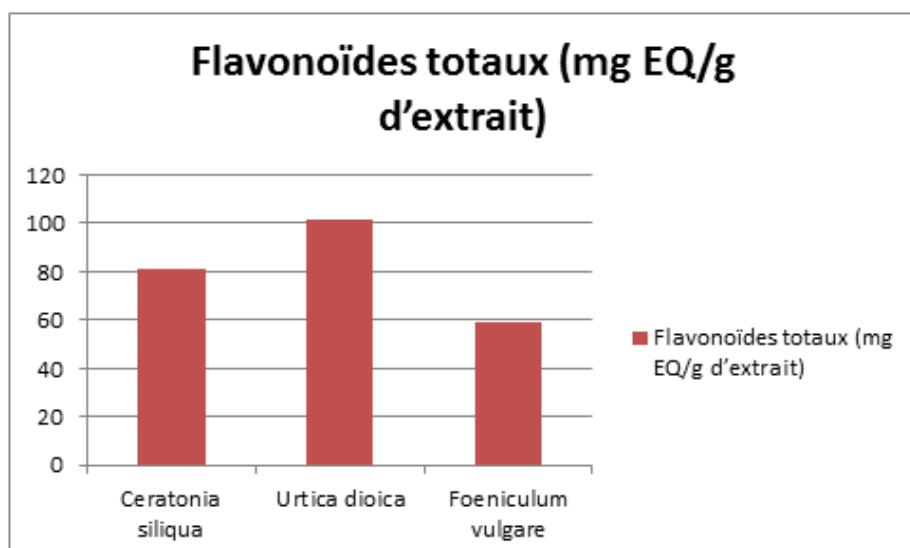


Figure 22: histogramme des flavonoïdes totaux

D'après les résultats, nous pouvons constater que les espèces étudiées présente une teneur importante en composés phénoliques et flavonoïque pour l'extrait *Ceratonia siliqua* ; *Urtica dioica* et *Foeniculum vulgare*. La teneur la plus élevée en composés phénoliques a été observée chez *Urtica dioica*, avec (190,2± 5,46 mg EGA/g), ce qui suggère une forte capacité antioxydante. *Ceratonia siliqua* et *Foeniculum vulgare* présentent des valeurs similaires, toutes deux à (171,6± 5,11 mg EGA/g), indiquant également une richesse polyphénolique importante mais légèrement inférieure à celle d'*Urtica dioica*.

Concernant les flavonoïdes, *Urtica dioica* présente également la teneur la plus élevée avec (101,8 ± 2,0 mg EQ/g), suivie par *Ceratonia siliqua* (80,7± 3,3 mg EQ/g) et enfin *Foeniculum vulgare* (59,5± 4,9 mg EQ/g). Ces composés jouent un rôle fondamental dans les activités antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes des extraits végétaux.

Dans la présente étude, les dosages effectués sur les extraits d'*Urtica dioica* ont révélé des teneurs particulièrement élevées en composés phénoliques et flavonoïques 190,2 ± 5,46 mg GAE/g d'extrait) et (101,8 ± 2,0 mg QE/g d'extrait, respectivement.

Ces valeurs sont nettement supérieures à celles rapportées dans l'étude de Siouda *et al.*, (2022) où l'extrait a présenté des teneurs de (13,35 ± 1,06 mg GAE/g d'extrait) pour les polyphénols et (3,61 ± 0,46 mg QE/g d'extrait) pour les flavonoïdes.

L'analyse quantitative des composés phénoliques et flavonoïques réalisée sur l'extrait de *Foeniculum vulgare* dans notre étude a montré des teneurs respectives de (171,6 ± 5,11 mg EGA/g d'extrait) pour les polyphénols totaux et (59,5 ± 4,9 mg EQ/g d'extrait) pour les flavonoïdes totaux. Ces résultats sont largement supérieurs à ceux rapportés par Cherbal *et al.*, (2023), qui ont trouvé, dans leur étude sur l'extrait des graines de *F. vulgare*, des concentrations de (38,2 ± 2,3).

L'analyse de l'extrait de *Ceratonia siliqua* a révélé des teneurs élevées en polyphénols (171,6 ± 5,11 mg EAG/g) et en flavonoïdes (80,7 ± 3,3 mg EQ/g). Ces concentrations indiquent une richesse remarquable en composés phénoliques, connus pour leurs multiples propriétés biologiques, notamment antioxydantes et anti-inflammatoires.

Dans notre étude, l'analyse quantitative des composés phénoliques et flavonoïques de *Ceratonia siliqua* a révélé une teneur particulièrement élevée, atteignant 171,6 ± 5,11 mg (EAG)/g d'extrait sec pour les polyphénols totaux et 80,7 ± 3,3 mg (EQ)/g d'extrait sec pour les flavonoïdes totaux.

Ces résultats confirment que *C. siliqua* constitue une source végétale riche en métabolites secondaires à activité antioxydante.

Lorsque ces résultats sont comparés à ceux rapportés par Sebai *et al.* , (2013), Une différence très marquée est observée. En effet, dans leur étude, les auteurs ont quantifié les polyphénols totaux dans l'extrait aqueux de la pulpe de caroube à $0,02807 \pm 0,00099$ mg/g et les flavonoïdes totaux à $0,00614 \pm 0,00103$ mg/g , ce qui traduit une disparité notable entre les deux travaux.

5. L'activité anti-inflammatoire *in vitro*

L'activité anti-inflammatoire des extraits a été évaluée par le test d'inhibition de la dénaturation des protéines (BSA).

Nous avons utilisé le diclofénac sodique comme standard de référence. Ce dernier a montré un pourcentage d'inhibition de 83, 019% à la concentration de 200 mg/ml.

Les extraits testés ont présentés une activité variable selon la plante et la concentration.

Tableau 14: Inhibition en % de l'activité anti- inflammatoire *in vitro*

Extrait	Concentration (mg/ml)	% D'inhibition
<i>URTICA DIOICA</i>	1	57,265
	10	75,214
	100	76,923
	200	82,906
<i>FOENICULUM VULGARE</i>	1	68,376
	10	70,085
	100	76,068
	200	80,453
<i>CERATONIA SILIQUA</i>	1	64,103
	10	68,376
	100	69,231
	200	76,068
Diclofenac	50	84,615
	100	88,889
	200	92,308

Les résultats montrent que l'activité est optimale à la dose de 200mg /ml, pour tous les extraits signalant que l'extrait ***U. DIOICA*** est le plus actif avec 82,90%, suivis par celui ***F.vulgare***

avec un pourcentage d'inhibition de 80,61%, et en dernière position l'extrait de *C. siliqua* avec 76,06%.

Le témoin positif utilisé Diclofenac (médicament commercialisé) présente une activité semblable aux extraits à la dose de 100 (unité) et supérieure à la dose de 200 (unité). Cela confirme que l'extrait de l'ortie est pourvu d'un potentiel très important et qui peut être utilisé pour diminuer les troubles inflammatoires.

L'extrait de *Foeniculum vulgare* testé dans notre étude a montré une inhibition maximale de la dénaturation de l'albumine bovine de 80,453 % à 200 mg/mL, ce qui traduit une activité anti-inflammatoire notable. Cette réponse est dépendante de la concentration, suggérant une action dose-réponse typique.

Nos résultats sont comparables à ceux obtenus par Cherbal *et al.*, (2023), qui ont étudié l'effet d'un extrait hydrométhanolique de graines de *F. vulgare* et ont observé une inhibition maximale de 35,68 % à 200 µg/mL. Bien que leur concentration soit beaucoup plus faible, l'effet mesuré reste important.

La différence d'intensité entre les deux études pourrait être liée à plusieurs facteurs : la nature de l'extrait, le solvant utilisé, la partie de la plante exploitée, ainsi que la concentration testée. De plus, cette étude a montré que l'extrait de *fenouil* présentait une activité inhibitrice plus marquée que l'indométhacine à certaines concentrations, ce qui renforce l'idée que cette plante contient des composés bioactifs efficaces comme les flavonoïdes et les acides phénoliques. Ainsi, les résultats obtenus confirment le potentiel anti-inflammatoire du *Foeniculum vulgare*, et sont cohérents avec les données de la littérature, tout en soulignant la valeur de nos extraits dans des conditions expérimentales différentes.

L'extrait de *Ceratonia siliqua* a montré une capacité intéressante à inhiber la dénaturation des protéines thermiquement induite, atteignant un taux d'inhibition de 76,086 % à 200 µg/mL. Cette réponse, clairement dépendante de la concentration, témoigne d'un potentiel anti-inflammatoire notable par stabilisation directe des protéines.

Une autre étude récente a évalué l'activité anti-inflammatoire d'un extrait éthanolique de *C. siliqua* collecté en Libye, en utilisant également le test de dénaturation de l'albumine. À une concentration de 200 µg/mL, l'extrait a provoqué une inhibition de 47,55 %, atteignant 52,57 % à 600 µg/mL, ce qui confirme l'efficacité dose-dépendante du composé (Hweitat *et al.*, 2023). De façon intéressante, ces résultats étaient même supérieurs à ceux obtenus avec l'ibuprofène à concentration équivalente, soulignant ainsi le potentiel thérapeutique de cette plante.

Par ailleurs, une étude *in vivo* a démontré que l'extrait méthanolique de gousses de *C. siliqua* (CME) est capable de moduler les voies immunitaires inflammatoires dans un modèle de néphrotoxicité induite par la doxorubicine.

L'administration de CME a entraîné une réduction significative des cytokines pro-inflammatoires (IL-6, TNF- α) et une augmentation des médiateurs anti-inflammatoires tels que IL-10 et TGF- β , en plus de restaurer l'activité de la myéloperoxydase (MPO), un marqueur clé du stress oxydatif (Benhammou *et al.*, 2023).

Ces données confirment que *C. siliqua* exerce un effet anti-inflammatoire via plusieurs mécanismes complémentaires, à la fois par stabilisation des protéines *in vitro* et par régulation des cytokines et enzymes oxydatives *in vivo*. Cela positionne cette plante comme une source prometteuse de molécules bioactives pour des applications thérapeutiques naturelle.

-L'extrait de *Urtica dioica* possède une activité anti-inflammatoire marquée, illustrée par une inhibition de 82,906 % de la dénaturation de l'albumine bovine à 200 mg/mL.

Cette capacité à stabiliser les protéines face à un stress thermique reflète un mécanisme fondamental de modulation de la réponse inflammatoire.

Des travaux antérieurs viennent appuyer cette observation. Dans une étude réalisée par Hajhashemi *et al.*, (2013), l'extrait hydro alcoolique de feuilles de *U. dioica* a réduit de manière importante la douleur inflammatoire chez le rat, notamment lors de la deuxième phase du test au formol, une phase directement liée à une réaction inflammatoire. L'extrait a également diminué l'œdème provoqué par le carraghénane, confirmant ainsi une efficacité *in vivo* comparable à celle observée *in vitro*.

Par ailleurs, Athanasiadou *et al.*, (2022) ont évalué l'effet de l'extrait sur la dénaturation de l'albumine et ont observé une inhibition de 50 % à 0,42 g/L (420 mg/L), et à des concentrations plus faibles (0,1–0,2 g/L), l'effet était moindre, ce qui suggère que l'activité anti-inflammatoire du *Urtica dioica* est dose-dépendante. Notant que l'extrait a montré une efficacité supérieure à d'autres plantes médicinales testées dans des conditions similaires.

Plus récemment, (Namazi *et al.*, 2022) ont mis en évidence des mécanismes moléculaires profonds à travers lesquels *U. dioica* agit.

Dans un modèle de sclérose en plaques chez la souris, l'extrait hydro alcoolique a réduit l'expression de HSP70, une protéine de stress pro-inflammatoire, tout en modulant la production de cytokines : baisse de TNF- α et IL-6, et augmentation de IL-10 et TGF- β .

Ces effets ont été attribués à la présence de composés bioactifs comme la quercétine, le kaempférol, la lutéoline et d'autres flavonoïdes capables d'inhiber des enzymes comme COX et LOX, et des voies de signalisation.

En somme, les résultats issus de notre étude rejoignent et confirment les données disponibles dans la littérature. *Urtica dioica* agit à plusieurs niveaux : inhibition de la dénaturation des protéines, réduction des médiateurs inflammatoires, modulation des voies immunitaires et protection contre le stress oxydatif. Ces multiples mécanismes font de cette plante un agent thérapeutique prometteur dans la prise en charge des maladies inflammatoires.

Globalement, tous les extraits ont présenté une activité qui augmente avec la concentration, ce qui montre une relation dose-effet.

Ces résultats confirment que certaines plantes utilisées en médecine traditionnelle peuvent effectivement posséder un potentiel anti-inflammatoire mesurable en laboratoire.

6. L'activité antimicrobienne.

Les résultats de l'évaluation de l'activité antimicrobienne des extraits de *Foeniculum vulgare*, *Urtica dioica* et *Ceratonia siliqua* ont été obtenus à l'aide de la méthode de diffusion sur gélose, en utilisant le milieu Mueller-Hinton pour les bactéries et le milieu PDA pour les champignons.

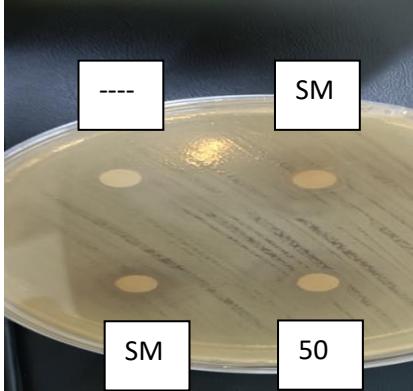
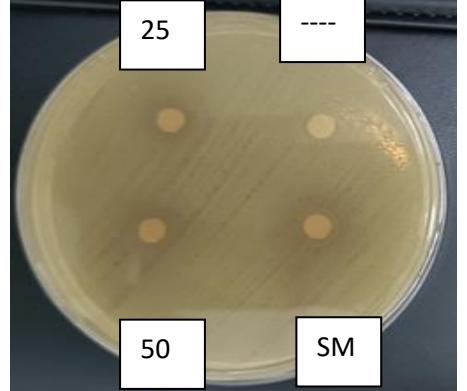
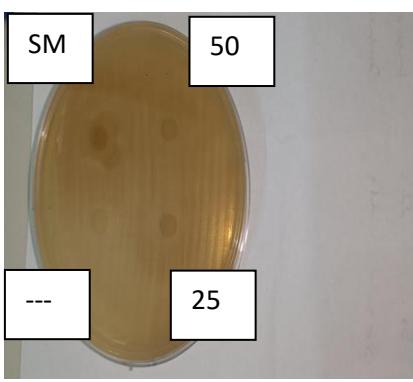
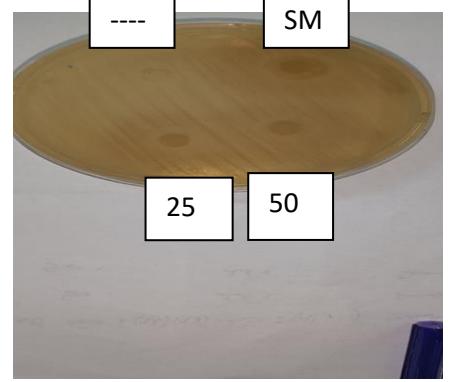
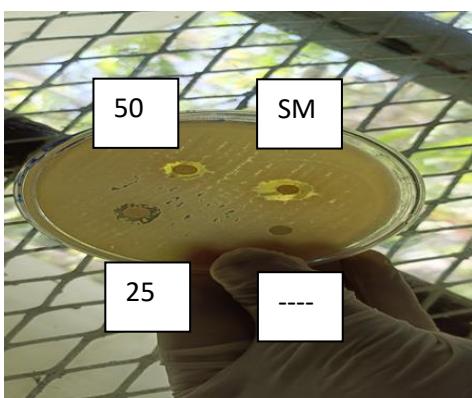
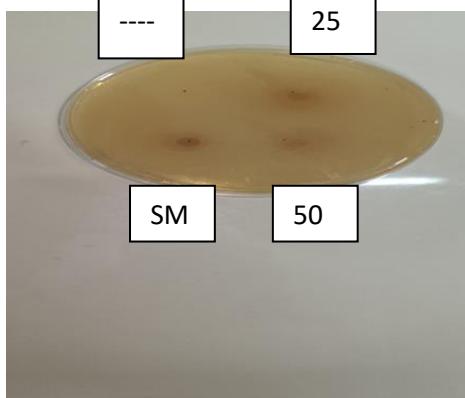
Les souches microbiennes testées comprenaient des bactéries Gram positives et Gram négatives ainsi que des champignons filamentueux et levures.

La zone d'inhibition a été mesurée à l'aide d'une règle graduée en millimètres. Pour chaque disque, le diamètre total de la zone claire, correspondant à l'absence de croissance microbienne, a été relevé. En cas de zone irrégulière, deux mesures perpendiculaires ont été effectuées, et la moyenne des deux diamètres a été prise en compte.

Les résultats sont exprimés en millimètres (mm). Chaque test a été réalisé en triplicat afin de garantir la fiabilité des données.

Les figures ci-dessous illustrent les zones d'inhibition observées dans les boîtes de Pétri après incubation. Chaque photo représente une souche testée en présence de différentes concentrations d'extraits végétaux. Ces images confirment visuellement l'activité antimicrobienne observée, avant l'analyse quantitative présentée dans le tableau.

Tableau 15 : Zones d'inhibition induites par les extraits testés contre les souches microbiennes

Souches	<i>CERATONIA SILIQUA</i>			
<i>Escherichia coli</i>				
<i>Staphylococcus aureus</i>				
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>				

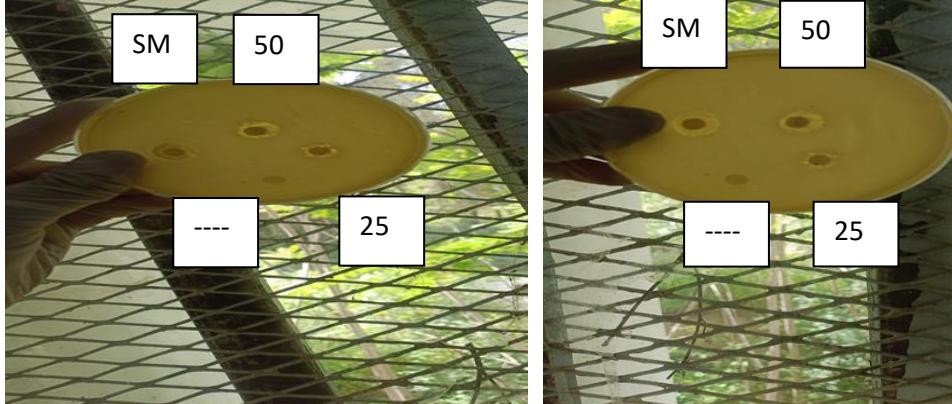
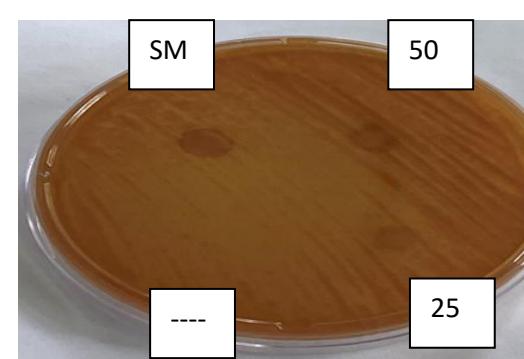
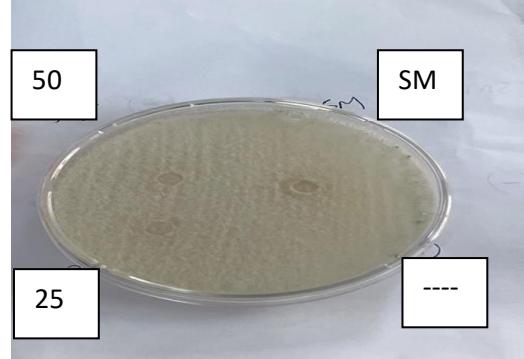
<i>Bacillus subtilis</i>	
<i>Aspergillus fumigatus</i>	
<i>Aspergillus flavus</i>	

Tableau 16 : Diamètre moyen des zones d'inhibition (en mm) des extraits végétaux

Souches microbiennes	<i>Ceratonia siliqua</i>	<i>Urtica dioica</i>	<i>Foeniculum vulgare</i>
<i>Escherichia coli</i>	1,06mm ± 0,70005mm	0mm	0mm
<i>Staphylococcus aureus</i>	2,66 mm ±1,8 mm	0mm	0mm
<i>Bacillus subtilis</i>	1mm ±0,04mm	0mm	0mm
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0mm	0mm	0mm
<i>Aspergillus flavus</i>	0mm	0mm	0mm
<i>Aspergillus fumigatus</i>	0mm	0mm	0mm
<i>Candida albicans</i>	0mm	0mm	0mm

Les résultats obtenus mettent en évidence des différences notables d'activité antimicrobienne entre les trois extraits végétaux testés : *Ceratonia siliqua* (caroubier), *Urtica dioica* (ortie) et *Foeniculum vulgare* (fenouil).

Les mesures des zones d'inhibition révèlent que seul extrait de *Ceratonia siliqua* exerce une action antimicrobienne contre certaines souches microbiennes, tandis que les deux autres extraits n'ont montré aucune activité inhibitrice significative.

L'extrait de *Ceratonia siliqua* a montré une activité antimicrobienne modérée à notable.

Des zones d'inhibition ont été observées contre *Escherichia coli* : diamètre moyen de $1,06 \pm 0,70$ mm, *Staphylococcus aureus* : forte inhibition avec une moyenne de $2,66 \pm 1,8$ mm, *Bacillus subtilis* : inhibition modérée de $1,00 \pm 0,04$ mm.

Ces résultats confirment les données de la littérature, qui attribuent cette activité à la richesse de *Ceratonia siliqua* en composés phénoliques, tanins et flavonoïdes, reconnus pour leurs propriétés antimicrobiennes. Par exemple, une étude a révélé que les extraits de gousses de caroubier présentent une activité inhibitrice contre plusieurs bactéries à Gram positif et négatif (Yahiaoui *et al.*, 2021). Autre travaux ont mis en évidence une inhibition

significative de *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli* par les extraits hydroalcooliques de cette plante (Shuaib *et al.*, 2025).

L'extract d'*Urtica dioica* n'a montré aucun effet antimicrobien, avec zéro inhibition contre toutes les souches testées. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par des études antérieures, qui ont démontré que les extraits aqueux et éthanoliques d'ortie sont généralement dépourvus d'activité antibactérienne notable (Dar *et al.*, 2013).

De plus, il a été confirmé que cette plante est inactive contre des souches telles que *E. coli* et *Pseudomonas aeruginosa*, sauf en cas d'utilisation d'extraits très concentrés ou d'huiles essentielles (Modarresi-chahardehi *et al.*, 2012).

Une exception a toutefois été relevée avec une inhibition isolée de 1,66 mm contre *Pseudomonas aeruginosa* dans une seule répétition. Ce résultat reste non confirmé, et pourrait s'expliquer par une variation technique ou une erreur expérimentale.

L'extract de *Foeniculum vulgare* n'a généré aucune zone d'inhibition contre toutes les souches microbiennes testées. Cela suggère une absence d'activité antimicrobienne dans les conditions expérimentales adoptées. Bien que certaines recherches aient démontré un potentiel antimicrobien du fenouil, ces effets sont généralement attribués à ses huiles essentielles riches en anéthole, et non aux extraits bruts. Par exemple, il a été rapporté que seule l'huile essentielle de fenouil présente une activité antimicrobienne contre des bactéries comme *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli* (Moumen *et al.*, 2025).

D'autres travaux ont confirmé que les extraits aqueux ou hydroalcooliques restent peu actifs, contrairement aux huiles essentielles (Araque *et al.*, 2007).

Interprétation des résultats négatifs

L'absence d'activité antimicrobienne observée pour *Urtica dioica* et *Foeniculum vulgare* peut être expliquée par plusieurs facteurs :

- ❖ La faible concentration des composés actifs dans les extraits utilisés (Ghasemi *et al.*, 2011).
- ❖ Le type de solvant utilisé pour l'extraction n'est pas efficace pour extraire le principe actif (Dey & De, 2012 ; Parekh & Chanda, 2007).
- ❖ La résistance naturelle des souches microbiennes utilisées (Poole, 2004).
- ❖ Le mode d'extraction, qui peut ne pas être optimal pour isoler les composés antimicrobiens (Silva *et al.*, 2013).
- ❖ L'extract pourrait avoir été détérioré en raison d'une oxydation ou d'un problème de conservation (Bakkali *et al.*, 2008).
- ❖ L'extract ne possède pas d'activité antimicrobienne (Cowan, 1999).

CONCLUSION

Conclusion

Ce travail a permis de mettre en évidence la richesse phytochimique et le potentiel biologique de trois plantes médicinales largement utilisées dans la médecine traditionnelle.

Les analyses ont révélé une présence significative de composés bioactifs tels que les polyphénols, flavonoïdes et tanins, particulièrement concentrés dans les parties florales.

Les résultats expérimentaux ont confirmé que les extraits étudiés possèdent une activité anti-inflammatoire notable ainsi qu'une efficacité antimicrobienne contre plusieurs souches pathogènes.

Ces données confirmant scientifiquement l'usage traditionnel de ces plantes et suggèrent leur valorisation potentielle dans le développement de produits naturels à visée thérapeutique ou cosmétique.

Des études complémentaires, notamment *in vivo*, seraient nécessaires pour approfondir les mécanismes d'action et valider leur innocuité et leur efficacité dans des applications cliniques.

Références bibliographiques

- ♦ Adimi, L. Z.(2018). Contribution à l'étude des effets antimicrobiens et antioxydants d'une plante médicinale: la mélisse (*Melissa officinalis*).
- ♦ Ait Hssaine, H., El Bouzidi, L., Bammou, M., Bekkouche, K., & Gadhi, C. A. (2023). Phytochemical study and antioxidant activity of Moroccan *Ceratonia siliqua* L. leaves extract. *Heliyon*, 9(2), e13091. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13091>
- ♦ Akgül, A., & Bayrak, A. (1988). Comparative volatile oil composition of various parts from Turkish bitter fennel (*Foeniculum vulgare* var. *vulgare*). *Food Chemistry*, 30(4), 319-323.
- ♦ Albert-Puleo, M. (1980). Fennel and anise as estrogenic agents. *Journal of Ethnopharmacology*, 2(4), 337-344.
- ♦ Amrani, A.; Bouakline, H.; Elkabous, M.; Brahmi, M.; Karzazi, Y.; El Bachiri, A.; Tahani, A. (2023) *Ceratonia siliqua* L seeds extract: Experimental analysis and simulation study. *Mater. Today Proc.* 72, 3705–3711.
- ♦ Anka, Z. M., Gimba, S., Nanda, A., & Salisu, L. (2020). Phytochemistry and pharmacological activities of *Foeniculum vulgare*. *IOSR J. Pharm*, 10, 1-10.
- ♦ Aouadi, B., Zermane, D., & Belarbi, M. (2023). Phytochemical and pharmacological bioactivity of *Ceratonia siliqua* pulp extract. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 20(1), 32–40.
- ♦ Araque, M., Rojas, L. B., & Usubillaga, A. (2007). Antibacterial activity of essential oil of *Foeniculum vulgare* miller against multiresistant gram-negative bacilli from nosocomial infections. *Science*, 15(3), 366-70.
- Athanasiadou, D., et al. (2022). The unexplored wound healing activity of *Urtica dioica* L. extract. *Journal of Ethnopharmacology*.
- ♦ Atta, A.H.; Atta, S.A.; Khattab, M.; Abd El-Aziz, T.H.; Mouneir, S.M.; Ibrahim, M.; Nasr, S.M.; Ramadan, S. (2023). *Ceratonia siliqua* pods (Carob) methanol extract alleviates doxorubicin-induced nephrotoxicity via antioxidant, anti-inflammatory and anti-apoptotic pathways. *Env. Sci. Pollut. Res.* 30, 83421–83438.
- ♦ Aureliengosse, V. T. L. a. P. (2020, June 15). Le stress oxydatif lié à la pratique sportive. *Nutriludis*. <https://nutriludis.wordpress.com/2019/06/10/le-stress-oxydatif-lie-a-la-pratique-sportive/>
- ♦ Awasthi, P., Bogati, S., Joshi, D., & Shah, P. (2023). A review on stinging nettle: Medicinal and traditional uses. *Matrix Science Pharma*, 7(4), 109-111.

Références bibliographiques

- ◆ Ayoub, S., Karima, T., & Mebarkia, M. (2023). Phytochemical screening and anti-inflammatory evaluation of *Foeniculum vulgare* seed extract. *Plant Archives*, 23(1), 455–462.
- ◆ Badgjar, S. B., Patel, V. V., & Bandivdekar, A. H. (2014). *Foeniculum vulgare* Mill: a review of its botany, phytochemistry, pharmacology, contemporary application, and toxicology. *BioMed research international*, 2014(1), 842674.
- ◆ Bakewell-Stone, P. (2023). *Ceratonia siliqua* (carob).
- ◆ Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils—a review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446-475.
- ◆ Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibnsouda, S. K. (2016). Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(2), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005>
- ◆ Barboucha, G., Rahim, N., Boulebd, H., Bramki, A., Andolfi, A., Salvatore, M. M., & Masi, M. (2024). Chemical Composition, In Silico Investigations and Evaluation of Antifungal, Antibacterial, Insecticidal and Repellent Activities of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Leaf Essential Oil from ALGERIA. *Plants*, 13(22), 3229.
- ◆ Barnes, P. J. (1998). Anti-inflammatory actions of glucocorticoids: molecular mechanisms. *Clinical science*, 94(6), 557-572.
- ◆ Barreca, D. (2021). Mechanisms of Plant Antioxidants Action. *Plants*, 10, 35.
- ◆ Barros, L., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. (2010). The nutritional composition of fennel (*Foeniculum vulgare*): Shoots, leaves, stems and inflorescences. *LWT-Food Science and Techno-logy*, 43(5), 814-818.
- ◆ Benariba, N., Meddah, B., Tir Touil, A., & Haba, H. (2023). Screening phytochimique de l'extrait méthanolique de *Urtica dioica* L. récoltée dans la région de Sidi Bel Abbès (Algérie). *Revue Algérienne des Sciences et Technologies*, 68, 12–20.
- ◆ Benayache, F., & Boudjerda, A. (2010) Recherche et détermination structurale des métabolites secon-daires de *Achillea ligustica* (Anthemideae), et *Ranunculus cortusifolius* (Ranunculaceae).
- Benhammou, N., Bekkara, F. A., & Panovska, T. K. (2023).
- ◆ Benkhaled, A. (2019). Ethnopharmacology, phytochemical and antioxidant study of *Urtica dioica* L. in Hodna region (northeast of Algeria). In 20th Istanbul International Conference on Agricultural, Biological & Medical Sciences (IABMS-19), December 5–6, Istanbul, Turkey.

Références bibliographiques

- Bensalah, F., Djeridane, A., Yousfi, M., & Nadjemi, B. (2021). Phytochemical composition and antioxidant activity of hydro-alcoholic extract of *Ceratonia siliqua* L. pods. *Journal of Applied Research in Medicinal and Aromatic Plants*, 22, 100297.
- ♦ Berger MM, Roussel A-M. (2017). Complémentation ou supplémentation en oligoéléments: qui, pourquoi, comment? *Nutrition Clinique et Métabolisme*.31(2):93-102.
- ♦ Bhusal, K. K., Magar, S. K., Thapa, R., Lamsal, A., Bhandari, S., Maharjan, R., Shrestha, S., & Shrestha, J. (2022b). Nutritional and pharmacological importance of stinging nettle (*Urtica dioica* L.): A review. *Helion*, 8(6), e09717. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09717>
- Bnouham, M., Merhfou, F. Z., Legssyer, A., Mekhfi, H., & Ziyyat, A. (2010). Anti-inflammatory activity of *Urtica dioica* L. extracts. *Journal of Ethnopharmacology*, 132(2), 273–277.
- ♦ Bonnin, R. A., Emeraud, C., Jousset, A. B., Naas, T., & Dortet, L. (2022). Comparison of disk diffusion, MIC test strip and broth microdilution methods for cefiderocol susceptibility testing on carbapenem-resistant Enterobacterales. *Clinical Microbiology and Infection*, 28(8), 1156.e1–1156.e5. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2022.04.013>
- ♦ Borges, F., Roleira, F., Milhazes, N., Santana, L., & Uriarte, E. (2005). Simple coumarins and analogues in medicinal chemistry: occurrence, synthesis and biological activity. *Current medicinal chemistry*, 12(8), 887-916.
- ♦ Botting, R. M., & Botting, J. H. (2000). Pathogenesis and mechanisms of inflammation and pain: an overview. *Clinical Drug Investigation*, 19, 1-7.
- ♦ Bouallegue, K., Ghribi, D., & Dhouib, A. (2023). Screening phytochimique des extraits éthanoliques des feuilles et de l'écorce de *Ceratonia siliqua*. *Tunisie Phytothérapie*, 11(2), 101–110.
- ♦ Bouarab-Chibane, L., Forquet, V., Lantéri, P., Clément, Y., Léonard-Akkari, L., Oulahal, N., ... & Bordes, C. (2019). Antibacterial properties of polyphenols: characterization and QSAR (Quantitative structure–activity relationship) models. *Frontiers in microbiology*, 10, 829.
- ♦ Boussahel, S., Djaziri, R., Labbaci, A., & Belkacem, N. (2024). Antimicrobial and antiviral activities of phenolic extracts from *Ceratonia siliqua* leaves. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 30, 100446. <https://doi.org/10.1016/j.jarmp.2023.100446>

Références bibliographiques

- ♦ Boutlelis, D. A., & Bensouici, C. (2015). Activité antibactérienne des flavonoïdes d'une plante médicinale spontanée (*Marrubium vulgare L.*) de la région d'El Taref au Nord-est Algérien. *Science et Technologie. C, Biotechnologies*, (41), 9–15. <https://www.ajol.info/index.php/srst/article/view/117771>
- ♦ Boyrie, J. (2016). *Urtica dioica L. : une plante aux usages multiples* [Thèse de doctorat, Université de Bordeaux]. HAL. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01387999v1>
- ♦ Brassesco, M.E.; Brandão, T.R.S.; Silva, C.L.M.; Pintado, M. (2021). Carob bean (*Ceratonia siliqua L.*): A new perspective for functional food. *Trends Food Sci. Technol.*, 114, 310–322.
- *Ceratonia siliqua* pods methanol extract alleviates doxorubicin-induced nephrotoxicity via antioxidant, anti-inflammatory and anti-apoptotic pathways. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29525-2>
- ♦ Chandra, S., et al. (2012). Evaluation of in vitro anti-inflammatory activity of coffee against the denaturation of protein. *Asian Pac J Trop Biomed*, 2(Suppl 1), S178–S180.
- ♦ Charvet, A. S., Comeau, L. C., & Gaydou, E. M. (1991). New preparation of pure petroselinic acid from fennel oil (*Foeniculum vulgare*). *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 68(8), 604-607.
- Cherbal, A., Bouabdallah, M., Benhalla, M., Hireche, S., & Desdous, R. (2023). *Phytochemical screening, phenolic content, and anti-inflammatory effect of Foeniculum vulgare seed extract*. *Preventive Nutrition and Food Science*, 28(2), 141–148
- ♦ Cherbal, A., Bouabdallah, M., Benhalla, M., Hireche, S., & Desdous, R. (2023). Phytochemical Screening, Phenolic Content, and Anti-Inflammatory Effect of *Foeniculum vulgare* Seed Extract. *Preventive Nutrition and Food Science*, 28(2), 141–148. <https://doi.org/10.3746/pnf.2023.28.2.141>
- ♦ Cherng, J. M., Chiang, W., & Chiang, L. C. (2008). Immunomodulatory activities of common vegetables and spices of Umbelliferae and its related coumarins and flavonoids. *Food*, 106(3), 944-950.
- ♦ Choi, E. M., & Hwang, J. K. (2004). Antiinflammatory, analgesic and antioxidant activities of the fruit of *Foeniculum vulgare*. *Fitoterapia*, 75(6), 557-565.

Références bibliographiques

- Chrubasik, J. E., Roufogalis, B. D., Wagner, H., & Chrubasik, S. (2007). A comprehensive review on the stinging nettle effect and efficacy profiles. *Phytomedicine*, 14(7–8), 568–579.
- ◆ Coşge, B., Kiralan, M., & Gürbüz, B. (2008). Characteristics of fatty acids and essential oil from sweet fennel (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *dulce*) and bitter fennel fruits (*F. vulgare* Mill. var. *vulgare*) growing in Turkey. *Natural Product Research*, 22(12), 1011-1016.
 - ◆ Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 564-582.
 - ◆ Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical microbiology reviews*, 12(4), 564-582.
 - ◆ Craig, L. C., Gregory, J. D., & Hausmann, W. (1950). Versatile laboratory concentration device. *Analytical Chemistry*, 22(11), 1462-1462.
 - ◆ d chemistry, Abdeddaim, M., Betrouni, M. I., Ayachi, A., & Boumerfeg, S. (2022). Phytochemical screening and anti-inflammatory potential of *Ceratonia siliqua* pods extracts. *Phytotherapy Research*, 36(7), 3217-3225. <https://doi.org/10.1002/ptr.7441>
 - ◆ Dahmani, W., Elaouni, N., Abousalim, A., Akissi, Z. L. E., Legssyer, A., Ziyyat, A., & Sahpaz, S. (2023). Exploring Carob (*Ceratonia siliqua* L.): A Comprehensive Assessment of Its Characteristics, Ethnomedicinal Uses, Phytochemical Aspects, and Pharmacological Activities. *Plants*, 12(18), 3303. <https://doi.org/10.3390/plants12183303>
 - ◆ Dahmoune, F., Nayak, B., Moussi, K., Remini, H., Madani, K., & Ghareba, S. (2015). Effect of extraction conditions on the recovery of bioactive compounds and antioxidant activity from fennel seeds (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Industrial Crops and Products*, 72, 175–182.
 - ◆ Dammak, A., Ben Slima, S., Gomes da Silva, M. D. R., Ben Salah, R., Aljuaid, A. M., Hachicha, W., & Bouaziz, M. (2022). Antioxidant and Antibacterial Activities of a Purified Polysaccharide Extracted from *Ceratonia siliqua* L. and Its Involvement in the Enhancement Performance of Whipped Cream. *Separations*, 9(5), 117. <https://doi.org/10.3390/separations9050117>
 - ◆ Dangoumau, J., Moore, N., Molimard, M., Fourrier-Ra, L. K., Haramburu, F., Miremont-Salame, G., et Titier, K. (2006). Pharmacologie générale. Copyright SBN.574p.

Références bibliographiques

- Dar, S. A., Ganai, F. A., Yousuf, A. R., Balkhi, M. U. H., Bhat, T. M., & Sharma, P. (2013). Pharmacological and toxicological evaluation of *Urtica dioica*. *Pharmaceutical Biology*, 51(2), 170-180.
- ◆ De Falco, B.; Grauso, L.; Fiore, A.; Bonanomi, G.; Lanzotti, V. (2022) Metabolomics and chemometrics of seven aromatic plants: Carob, eucalyptus, laurel, mint, myrtle, rosemary and strawberry tree. *Phytochem. Anal.* 33, 696–709. [CrossRef] [PubMed]
 - ◆ Derradji, L., Saidi, O., & Hadef, Y. (2020). Evaluation of the antioxidant activity of the bioactive components in an aqueous extract of *Urtica dioica* L. leaves from eastern Algeria. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 12(1), 235–239. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2020.12.1.0215>
 - ◆ Devkota, H. P., Paudel, K. R., Khanal, S., Baral, A., Panth, N., Adhikari-Devkota, A., Jha, N. K., Das, N., Singh, S. K., Chellappan, D. K., Dua, K., & Hansbro, P. M. (2022). Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.): Nutritional Composition, Bioactive Compounds, and Food Functional Properties. *Molecules*, 27(16), 5219. <https://doi.org/10.3390/molecules27165219>
 - ◆ Dey, D., & De, J. N. (2012). Phytochemical investigation and antimicrobial activity of *Urtica dioica* L. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 2(4), 115-122.
 - ◆ Dhouib, A., Bouaziz, A., Lajnef, R., & Bacha, A. (2023). A review on *Urtica dioica* L.: Traditional uses, chemical composition, and pharmacological activities. *Journal of Ethnopharmacology*, 317, 117307. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.117307>
 - ◆ Diallo I, 2019. Potentiels anti-oxydants et anti-inflammatoires de sporophores de *Lentinula edodes* (Shiitake) sous différentes conditions de culture, 181 p. Thèse (Doctorat) : Sciences des Aliments et Nutrition : Qualisud.
 - ◆ Díaz-Maroto, M. C., Díaz-Maroto Hidalgo, I. J., Sánchez-Palomo, E., & Pérez-Coello, M. S. (2005). Volatile components and key odorants of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) and Thyme (*Thymus vulgaris* L.) oil extracts obtained by simultaneous distillation– extraction and supercritical fluid extraction. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(13), 5385-5389.
 - ◆ Dif, M. M., Benchiha, H., Mehdadi, Z., Benali-Toumi, F., Benyahia, M., & Bouterfas, K. (2015).
 - ◆ Djeussi, D. E., Noumedem, J. A. K., Seukep, J. A., Fankam, A. G., Voukeng, I. K., Tankeo, S. B., ... & Kuete, V. (2013). Antibacterial activities of selected edible plants extracts against multidrug-resistant Gram-negative bacteria. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 13, 164.

Références bibliographiques

<https://bmccomplementmedtherapies.biomedcentral.com/articles/10.1186/1472-6882-13-164>

- Do, Q. D., Angkawijaya, A. E., Tran-Nguyen, P. L., Huynh, L. H., Soetaredjo, F. E., Ismadji, S., & Ju, Y.-H. (2014). Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Limnophila aromatica*. *Journal of Food and Drug Analysis*, 22(3), 296–302.
- ♦ Draghi, F. (2005). L'ortie (*Urtica dioica* L.) : Une revue de la littérature. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy.
 - ♦ Duncan, K., Suzuki, Y (2017). Vitamin E Nicotinate. *Antioxidants*, 6(1), 20.
 - ♦ Đurović, S., Đukanović, D., Dabetić, N., Nikolić, T., & Marin, P. D. (2024). Chemical Constituents of Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.): A Comprehensive Review on Phenolic and Polyphenolic Compounds and Their Bioactivity. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(6), 3430. <https://doi.org/10.3390/ijms25063430>
 - ♦ El Jihani, A., Fadli, M., & Bammou, M. (2022). Evaluation of anti-inflammatory and analgesic activity of ethanolic leaf extract of *Ceratonia siliqua* L. *Journal of Ethnopharmacology*, 285, 114890.
 - ♦ El Meniyi, N., Alotaibi, B. S., Zengin, G., & Bouyahya, A. (2023). In vitro evaluation of antimicrobial activities of *Ceratonia siliqua* extracts. *Processes*, 11(2), 391. <https://doi.org/10.3390/pr11020391>
 - ♦ El-Adly, A. A., Abada, E. A., & Gharib, F. A. (2007). Antibacterial effects of low power laser light and volatile oil of Fennel (*Foeniculum vulgare* var. *dulce*) on Gram-positive and Gram-negative bacteria. *Int. J. Agric. Biol.*, 9, 22-26.
 - ♦ Enslama A., Harrar A. (2016). Free radicals scavenging activity and reducing power of two Algerian Sahara medicinal plants extracts. *International Journal of Herbal Medicine*, 4(6), 158-161
 - ♦ Étude quantitative des polyphénols dans les différents organes de l'espèce *Papaver rhoeas* L.
 - ♦ Farag, M. A., Elbaz, A. S., & Abdelwareth, A. (2022). Nettle root phytosterols and their biological relevance. *Journal of Ethnopharmacology*, 293, 115252. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115252>
 - ♦ Farag, M.A.; El-Kersh, D.M.; Ehrlich, A.; Choucry, M.A.; El-Seedi, H.; Frolov, A.; Wessjohann, L.A. (2019). Variation in *Ceratonia siliqua* podmetabolome in context of its different geographical origin, ripening stage and roasting process. *FoodChem*.283,675–687.

Références bibliographiques

- ♦ FEDOUL, F. F. (2022). Étude ethnobotanique, et évaluation des activités biologiques et antioxydante des extraits et d'huiles essentielles des plantes sélectionnées de la région Ouest d'Algérie: Formulation galénique et applications. (Doctoral dissertation).
- ♦ Feehan, K. T., & Gilroy, D. W. (2019). Is resolution the end of inflammation?. *Trends in molecular medicine*, 25(3), 198-214.
- ♦ Ferhat, I., Mehyach, R. (2017). Etude de l'activité anti-inflammatoire et antioxydant d'*Artemisia campestris* L et *Spizelia coronopifolia* Désf dans la région d'El-oued. Mémoire de Master en Biologie cellulaire et moléculaire Spécialité : Biochimie Appliquée. Université d'El Oued. 4-7.
- ♦ Ghanemi, F.Z.; Belarbi, M. (2021) Phytochemistry and Pharmacology of *Ceratonia siliqua* L. leaves. *J. Nat. Prod. Res. App*, 1, 69–82.
- ♦ Ghasemi, K., Ghasemi, Y., & Ebrahimzadeh, M. A. (2011). Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of 13 citrus species peels and tissues. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 24(3), 277-281.
- ♦ Ghedadba, N., Hambaba, L., Ayachi, A., Aberkane, M.-C., Bousselsela, H., & Ouel-Mokhtar, S. M. (2015). Polyphénols totaux, activités antioxydante et antimicrobienne des extraits des feuilles de *Marrubium deserti* de Noé. *Phytothérapie*. <https://doi.org/10.1007/s10298-015-0944-4>
- ♦ Ghédira, K., & Goetz, P. (2019b). Caroubier : *Ceratonia siliqua* (L.) (Fabaceae). *Phytothérapie*, 17(5), 286–290. <https://doi.org/10.3166/phyto-2019-0197>
- ♦ Ghorbaninejad, Z.; Eghbali, A.; Ghorbaninejad, M.; Ayyari, M.; Zuchowski, J.; Kowalczyk, M.; Baharvand, H.; Shahverdi, A.; Eftekhari-Yazdi, P.; Esfandiari, F. (2023). Carob extract induces spermatogenesis in an infertile mouse model via upregulation of *Prm1*, *Plzf*, *Bcl-6b*, *Dazl*, *Ngn3*, *Stra8*, and *Smc1b*. *J. Ethnopharmacol*, 301, 115–760.
- ♦ Gonzalez-Trujano, M. E., Carrera, D., Ventura-Martinez, R., Cedillo-Portugal, E., & Navarrete, A. (2006). Neuropharmacological profile of an ethanol extract of *Ruta chalepensis* L. in mice. *Journal of Ethnopharmacology*, 106(1), 129-135.
- ♦ Goswami, N. G., Koli, M., Singh, A., & Giri, D. (2022). *Urtica dioica*: An undervalued herb a comprehensive review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 11(3), 169-173.
- ♦ Grant, N. H., et al. (1970). Stabilization of serum albumin by anti-inflammatory drugs. *Biochem Pharmacol*, 19(4), 715–722

Références bibliographiques

- ◆ Grauso, L., De Falco, B., Lanzotti, V., & Motti, R. (2020). Stinging nettle, *Urtica dioica* L.: botanical, phytochemical and pharmacological overview. *Phytochemistry Reviews*, 19(6), 1341–1377. <https://doi.org/10.1007/s11101-020-09680-x>
- ◆ Hadi, M. Y., Hameed, I. H., & Ibraheam, I. A. (2017). *Ceratonia siliqua*: characterization, pharmaceutical products and analysis of bioactive compounds: a review. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 10(10), 3585-3589.
- Hajhashemi, V., & Klooshani, V. (2013). Antinociceptive and anti-inflammatory effects of *Urtica dioica* leaf extract in animal models. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 3(2), 193–200.
- ◆ Hall, J. E. (2016). *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*, Jordanian Edition E-Book. Elsevier Health Sciences.
- ◆ Hamida, D., Bensaad, Y., & Amrane, M. (2024). Phytochemical study of *Urtica dioica* extract and evaluation of its sun protection factor (SPF). *Algerian Journal of Natural Products*, 12(1), 23–31.
- ◆ Harborne, A. J. (1998). *Phytochemical methods a guide to modern techniques of plant analysis*. Springer Science & Business Media.
- ◆ Harborne, J. B., & Boardley, M. (1984). Use of high-performance liquid chromatography in the separation of flavonol glycosides and flavonol sulphates. *Journal of Chromatography A*, 299, 377-385.
- ◆ He WeiPing, H. W., & Huang BaoKang, H. B. (2011). A review of chemistry and bioactivities of a medicinal spice: *Foeniculum vulgare*. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(16), 3595-3600.
- ◆ Heymonet, C. (2013). Les plantes à visée anti-inflammatoire utilisées en phytothérapie.
- ◆ Heymonet, C. (2023). Les plantes à visée anti-inflammatoire utilisées en phytothérapie. Uni-versité de Lorraine, Metz, France, 3.
- ◆ Hossain, T. J. (2024). Methods for screening and evaluation of antimicrobial activity: A review of protocols, advantages, and limitations. *European Journal of Microbiology and Immunology*, 14(2), 97–115. <https://doi.org/10.1556/1886.2024.00035>
- ◆ Hostettmann, K., & Marston, A. (1995). Chemistry and pharmacology of natural products: Saponins. University pres, 177-195.
- ◆ Hu, X., Sun, L., Nie, T., Yang, Y., Wang, X., Pang, J., ... & You, X. (2022). Evaluation of agar dilution method in susceptibility testing of polymyxins for Enterobacteriaceae and non-fermentative rods: Advantages compared to broth

Références bibliographiques

- microdilution and broth macrodilution. *Antibiotics*, 11(10), 1392. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11101392>
- ◆ Hussein, M. A., El-Sayed, M. M., & Abdel-Aziz, M. S. (2021). Phytochemical Characterization and Evaluation of Biological Activities of Egyptian Carob Pods (*Ceratonia siliqua* L.) Aqueous Extract: In Vitro Study. *Plants*, 10(12), 2701. <https://doi.org/10.3390/plants10122701>
 - ◆ Hweitat, M. A., Alshehri, M. M., Almalki, A. H., et al. (2023). In vitro anti-inflammatory activity of *Ceratonia siliqua* ethanol extract through inhibition of albumin denaturation*. \[Journal Name].
 - ◆ Ipona, E. N., Kamalandua, B. M., Dani, T. M., Mavinga, B. M., Ngbolua, K.-T.-N. J.-P., Boloweti, D. B., Lituli, T. B., Nkongolo, C. K., Liyongo, C. I., & Kalulu, T. (2023). Screening phytochimique, activités anti-radicalaire et cytotoxique des extraits de quatre plantes utilisées dans la prise en charge de la dysfonction érectile à Mbandaka, République Démocratique du Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 185, 19504–19523. <https://doi.org/10.35759/JABs.185.11>
 - ◆ Ivanova, D., Gerova, D., Chervenkov, T., & Yankova, T. (2020). Polyphenols and antioxidant capacity of Bulgarian medicinal plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 109(2), 216–223. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.07.028>
 - ◆ Joshi, H., & Parle, M. (2006). Cholinergic basis of memory-strengthening effect of *Foeniculum vulgare* Linn. *Journal of medicinal food*, 9(3), 413-417.
 - ◆ Kada, S. (2018). Recherche d'extraits de plantes médicinales doués d'activités biologiques (Doctoral dissertation).
 - ◆ Kahkahi, E., Moustaine, M., & Zouhair, R. (2024). Botanical, Chemical, and Pharmacological Characteristics of Carob Tree (*Ceratonia Siliqua* L.). *Med Discoveries*, 3(6), 1168.
 - ◆ Karmous, I.; Taheur, F.B.; Zuverza-Mena, N.; Jebahi, S.; Vaidya, S.; Tlahig, S.; Mhadhbi, M.; Gorai, M.; Raouafi, A.; Debara, M. (2022). Phytosynthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using *Ceratonia siliqua* L. and Evidence of Antimicrobial Activity. *Plants*, 11, 3079.
 - ◆ Keddar, F., Sahli, A., Rahmouni, K., & Djerdjouri, B. (2024). Phytochemical Study of *Urtica dioica* Extract and Evaluation of Sun Protection Factor (SPF). *African Journal of Biological Sciences*, 6(15), 3402–3416.

Références bibliographiques

- ♦ Kelly M,(2017).Synthèse de composés phénoliques de type diarylheptanoïde. Evaluation de leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires,222 p. Thèse (Doctorat) : Chimie organique :Toulouse.
- ♦ Khan, I. A., & Abourashed, E. A. (2011). Leung's encyclopedia of common natural ingredients: used in food, drugs and cosmetics. John Wiley & Sons.
- ♦ Kim, H. Y., Moon, B. H., Lee, H. J., & Choi, D. H. (2004). Flavonol glycosides from the leaves of *Eucommia ulmoides* O. with glycation inhibitory activity. *Journal of Ethnopharmacology*, 93(2-3), 227-230.
- ♦ Kocherane, R., Krouch, F., & Derridj, A. (2019). Genetic resources of carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) in Algeria: Insight from pod and seed morphology. *AgroBiologia*, 9(4), 1581–1600. <https://doi.org/10.46325/agrobiologia.v9i4.1581>
- ♦ Kohanski, M. A., Dwyer, D. J., & Collins, J. J. (2010). How antibiotics kill bacteria: From targets to networks. *Nature Reviews Microbiology*, 8(6), 423–435. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2333>
- ♦ Kouadio, K. K., Kouadio, Y. J., & Kouadio, K. K. (2020). Pouvoir antibactérien des extraits aqueux et hydroéthanolique du mélange d'écorces de tronc d'*Albizia gummosa* (J.F. Gmel.) C.A. Sm. et *Spathodea campanulata* P. Beauv. *Journal of Applied Biosciences*, 149, 15238–15247. <https://www.researchgate.net/publication/348672562>
- ♦ Kregiel, D., Pawlikowska, E., Antolak, H., Ulanowska, K., & Wróbel-Biedrawa, D. (2018). Antioxidant and cytotoxic activity of *Urtica dioica* L. extracts. *Industrial Crops and Products*, 115, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.011>
- ♦ Kumar, V., Abbas, A. K., Aster, J. C. (2015). Robbins and Cotran pathologic basis of disease (9th ed.). Elsevier.
- ♦ Kwon, Y. S., Choi, W. G., Kim, W. J., Kim, W. K., Kim, M. J., Kang, W. H., & Kim, C. M. (2002). Antimicrobial constituents of *Foeniculum vulgare*. *Archives of pharmacal research*, 25, 154-157.
- ♦ Lakkab, I.; El Hajaji, H.; Lachkar, N.; Lefter, R.; Ciobica, A.; El Bali, B.; Lachkar, M. *Ceratonia siliqua* L. (2019). seed peels: Phytochemical profile, antioxidant activity, and effect on mood disorders. *J. Funct. Foods*, 54, 457–465.
- ♦ Lavallée, P., 1962. « Le caroubier, son utilisation dans l'alimentation du bétail en Algérie et en Tunisie ». Alger, 47p.

Références bibliographiques

- ◆ Lee, C. H., Sung, B. K., & Lee, H. S. (2006). Acaricidal activity of fennel seed oils and their main components against *Tyrophagus putrescentiae*, a stored-food mite. *Journal of Stored Products Research*, 42(1), 8-14.
- ◆ Lumbu, S., Kahumba, B., Kahambwe, T., Mbayo, T., Kalonda, M., Mwamba, M., & Penge, O. (2005). Contribution à l'étude de quelques plantes médicinales anti diarrhéiques en usage dans la ville de Lubumbashi et ses environs. *Annales de Pharmacie*, 3(1), 75-86.
- ◆ Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., & Stahl, D. A. (2022). *Brock Biology of Microorganisms* (16e éd.). Pearson.
- ◆ Mahdad, Y. M., & Gaouar, S. B. S. (2023). Origin, distribution and domestication of the carob tree (*Ceratonia siliqua* L.). *TURKISH JOURNAL OF BOTANY*, 47(2), 89–96. <https://doi.org/10.55730/1300-008x.2748>
- ◆ Majedi, S., Abdulsattar Faraj, T., Jalal Ahmed, H., & HS Hussain, F. (2021). A review of biochemical structures of *Urtica dioica* metabolites and their pharmaceutical effects. *Chemical Review and Letters*.
- ◆ Mansouri, F.E.; Silva, J.C.E.; Cacciola, F.; Asraoui, F.; Tayeq, H.; Ben Amar, Y.M.; Lovillo, M.P.; Chouaibi, N.; Brigui, J. (2022). Evaluation of Different Extraction Methods on the Phenolic Profile and the Antioxidant Potential of *Ceratoniasiliqua* L. Pods Extracts. *Molecules*, 27, 6163.
- ◆ Martemucci, G., Costagliola, C., Mariano, M., D'andrea, L., Napolitano, P., et D'Alessandro, A. G. (2022). Free Radical Properties, Source and Targets, Antioxidant Consumption and Health. *Oxygen*, 2(2), 48–78.
- ◆ Mathieu, M., Guimezanes, A., (2012). Séminaire Ketty Schwartz: Inflammation et maladies : clés de compréhension. Rapport. Paris : Inserm, 2012, 72 p.
- ◆ Mechri, A., Labbaci, F., & Djabou, N. (2024). Phytochemical assessment and antioxidant activity of *Foeniculum vulgare* stalks. *Journal of Medicinal Plants Research*, 18(2), 98–106.
- ◆ Mérens, A., & Servonnet, A. (2010). Mécanismes et épidémiologie de la résistance aux fluoroquinolones en 2010. *Revue Francophone Des Laboratoires*, 2010(422), 33–41. [https://doi.org/10.1016/s1773-035x\(10\)70508-6](https://doi.org/10.1016/s1773-035x(10)70508-6)
- ◆ Merzouk, L., & Chibane, O. (2023). L'utilisation topique d'huile essentielle diluée obtenue à partir des graines de coriandre comme traitement des infections cutanées

Références bibliographiques

- superficielles et des dermatites associées à *Streptococcus pyogènes* . Université Akli Mohand Oulhadj – Bouira.
- ◆ Mimica-Dukić, N., Kujundžić, S., Soković, M., & Couladis, M. (2003). Essential oil composition and antifungal activity of *Foeniculum vulgare* Mill. obtained by different distillation conditions. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 17(4), 368-371.
 - Modarresi-Chahardehi, A., Ibrahim, D., Fariza-Sulaiman, S., & Mousavi, L. (2012). Screening antimicrobial activity of various extracts of *Urtica dioica*. *Revista de biología tropical*, 60(4), 1567-1576.
 - ◆ Moro, C., Palacios, I., Lozano, M., D'Arrigo, M., Guillamón, E., Villares, A., ... & García-Lafuente, A. (2012). Anti-inflammatory activity of methanolic extracts from edible mushrooms in LPS activated RAW 264.7 macrophages. *Food chemistry*, 130(2), 350-355.
 - Moumen, B. E., Bouzoubaa, A., Drioiche, A., Eddahmouny, M., Al Kamaly, O., Shahat, A. A., ... & Zair, T. (2025). Unveiling the Chemical Composition, Antioxidant, and Antimicrobial Potentials of *Foeniculum vulgare* Mill: A Combined In Vitro and In Silico Approach. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(10), 4499.
 - ◆ Mucha P, Skoczyńska A, Małecka M, Hikisz P, Budzisz E (2021). Overview of the antioxidant and anti-inflammatory activities of selected plant compounds and their metal ions complexes. *Molecules*, 26 (16) : 4886
 - ◆ Muckensturm, B., Foechterlen, D., Reduron, J. P., Danton, P., & Hildenbrand, M. (1997). Phytochemical and chemotaxonomic studies of *Foeniculum vulgare*. *Biochemical systematics and ecology*, 25(4), 353-358.
 - ◆ Murphy, K., & Weaver, C. (2016). *Janeway's immunobiology* (9th ed.). Garland Science.
 - ◆ Mustafa, D. (2005). Médicaments de l'inflammation. *EMC-Stomatologie*, 1(1), 21-29.
 - Namazi, N., et al. (2022). Nettle extract modulates inflammation and HSP70 expression in a mouse model of multiple sclerosis. *Phytochemistry Reviews*, 24, 1591–1628.
 - ◆ Napoli, E. M., Curcuruto, G., & Ruberto, G. (2010). Screening the essential oil composition of wild Sicilian fennel. *Biochemical Systematics and Ecology*, 38(2), 213-223.

Références bibliographiques

- ◆ Ngezahayo, J., Munyaneza, D., Uwimana, A., & Habimana, S. (2022). Pharmacological effects of *Urtica dioica* L.: A comprehensive review of recent studies. *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy*, 14(1), 11–19. <https://doi.org/10.5897/JPP2021.0658>
- ◆ Niaz, M., Abrar, H., Ashfaq, S., Khan, N., e Baseerat, N., Jadoon, R., & Abrar, A. (2024). Qualitative Phytochemical Analysis of Roots, Stem, and Leaves Extracts of *Urtica Dioica*. *Phytopharmacology Research Journal*, 3(1), 24-30.
- ◆ Noreen, S., Tufail, T., Badar Ul Ain, H., & Awuchi, C. G. (2023). Pharmacological, nutraceutical, functional and therapeutic properties of fennel (*Foeniculum vulgare*). *International journal of food properties*, 26(1), 915-927.
- ◆ Oktay, M., Gülçin, İ., & Küfrevoğlu, Ö. İ. (2003). Determination of in vitro antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extracts. *LWT-Food Science and Technology*, 36(2), 263-271.
- ◆ Oleszek, W. A. (2002). Chromatographic determination of plant saponins. *Journal of chromatography A*, 967(1), 147-162.
- ◆ Oniha, M., Eni, A., Akinnola, O., Omonigbehin, E. A., Ahuekwe, E. F., & Olorunshola, J. F. (2021). In vitro antifungal activity of extracts of *Moringa oleifera* on phytopathogenic fungi affecting *Carica papaya*. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 9(A), 1081-1085.
- ◆ Oroian, M., & Escriche, I. (2015). Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. *Food Research International*, 74, 10-36.
- ◆ Pahwa, R., Goyal, A., & Jialal, I. (2022). Chronic inflammation.[updated 2021 sep 28]. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- ◆ Parekh, J., & Chanda, S. (2007). Antibacterial and phytochemical studies on twelve species of Indian medicinal plants. *African Journal of Biomedical Research*, 10(2), 175–181.
- ◆ Phytothérapie. <https://doi.org/10.1007/s10298-015-0976-5>
- ◆ Pisoschi M, Pop A (2015). The Role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European journal of medicinal chemistry*, 97: 55 – 74.
- ◆ Poole, K. (2004). Resistance to β -lactam antibiotics. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 61(17), 2200–2223.
- ◆ Raffo, A., Nicoli, S., & Leclercq, C. (2011). Quantification of estragole in fennel herbal teas: implications on the assessment of dietary exposure to estragole. *Food and Chemical Toxicology*, 49(2), 370-375.

Références bibliographiques

- ◆ Rasheed,D.M.;El-Kersh,D.M.;Farag,M.A. (2020).Ceratoniasiliqua(carob-locustbean)outgoingandpotentialtrendsofphytochemical, economic and medicinal merits. In Wild Fruits: Composition, Nutritional Value and Products, 1st ed.; Mariod, A.A., Ed.; Springer Nature: Cham, Switzerland; pp. 481–498.
- ◆ Rathaur, H., Juyal, D., Mukhopadhyay, S., & Pokhriyal, A. C. (2023). Extraction and Phytochemical evaluation of *Urtica dioica*. *Tujin Jishu/J. Propuls. Technol.*, 44(3).
- ◆ Rawson, A., Hossain, M. B., Patras, A., Tuohy, M., & Brunton, N. (2013). Effect of boiling and roasting on the polyacetylene and polyphenol content of fennel (*Foeniculum vulgare*) bulb. *Food Research International*, 50(2), 513-518.
- ◆ Rebey, I. B., Sriti, J., Besbess, B., Mkaddmini Hammi, K., Hamrouni Sellami, I., Marzouk, B., & Ksouri, R. (2016). Effet de la provenance et du solvant d'extraction sur la teneur en composés phénoliques et les potentialités antioxydantes des graines de fenouil (*Foeniculum vulgare Mill.*) *Journal of New Sciences. J New Sci*, 27, 1478-1487
- ◆ Richane,A.;Rim,B.M.;Riadh,K.;Khaoula,A.;Nizar,M.;Hanen,B.I.(2022).Variabilityofphenoliccompoundsandantioxidantactivities of ten *Ceratonia siliqua* L. provenances. *Biochem. Syst. Ecol.* 104, 104486.
- ◆ rnoon N. (2018). Ascorbic acid metabolism and functions: A comparison of plants and mammals. *Free Radical Biology and Medicine*.122:116-29.
- ◆ Rodríguez, S., Rocha, J., Fernandes, M., Ravishankar, A. P., Steinbrück, N., Cruz, R., Bacelar, E., Kickelbick, G., Anand, S., Crespí, A. L., Casal, S., & De Zea Bermudez, V. (2021). The Surfaces of the *Ceratonia siliqua* L. (Carob) Leaflet: Insights from Physics and Chemistry. *Langmuir*, 37(6), 2011–2028. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.0c02806>
- ◆ Rtibi, K., Selmi, S., Grami, D., Amri, M., Eto, B., El-Benna, J., ... & Marzouki, L. (2017). Chemical constituents and pharmacological actions of carob pods and leaves (*Ceratonia siliqua* L.) on the gastrointestinal tract: A review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 93, 522-528.
- ◆ Salem, M. Z. M., Hassan, A. G. A., Amer, A. M. E., et al. (2025). Bio-based chemical analysis of extracts from the biomass residues of *Ceratonia siliqua* and *Ziziphus spinchristi* with their bioactivities against molecularly identified fungi. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-025-06651-0>

Références bibliographiques

- ♦ Salmi, D., Debouba, M., & Hazzoumi, Z. (2021). Antibacterial and antioxidant activities of endophytic fungi and nettle (*Urtica dioica L.*) leaves as their host. *Cellular and Molecular Biology*, 67(3), 204–211. <https://doi.org/10.14715/cmb/2021.67.3.33>
- ♦ Samia,O.;Nesrine,M.;Feten,Z.K.;Riadh,K(2022). Tunisian *Ceratonia siliqua*: Phytochemical Analysis, Antioxidant Activity, Preparation and Characterization of Carob Emulsion System. *Eur. J. Nutr. Food Saf.* 14, 41–52.
- ♦ Sebai, H., Souli, A., Chehimi, L., Rtibi, K., Amri, M., El-Benna, J., & Sakly, M. (2013). In vitro and in vivo antioxidant properties of Tunisian carob (*Ceratonia siliqua L.*). *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(2), 85–90. [https://doi.org/10.5897/JMPR12.915:contentReference\[oaicite:0\]{index=0}](https://doi.org/10.5897/JMPR12.915:contentReference[oaicite:0]{index=0})
- ♦ Serhan, C. N., Ward, P. A., & Gilroy, D. W. (Eds.). (2010). *Fundamentals of inflammation*. Cambridge University Press.
- ♦ Shahriari, S., Monajjemi, M., & Zare, K. (2018). Increasing the efficiency of some antibiotics on penetrating bacteria cell membrane. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 671–679. https://doi.org/10.15421/2018_265
- ♦ Sharifi-Rad, M., Anil Kumar, N. V., Zucca, P., Varoni, E. M., Dini, L., Panzarini, & Sharifi-Rad, J. (2020). Lifestyle, oxidative stress, and antioxidants: back and forth in the pathophysiology of chronic diseases. *Frontiers in physiology*, 11, 694.
- ♦ Shibamoto T, (2014). Measuring the Antioxidant Activity of Food Components in Bartosz G., *Food Oxidants and Antioxidants Chemical, Biological, and Functional Properties*, CRC Press, Etats unis, 550 pages
- ♦ Silhavy, T. J., Kahne, D., & Walker, S. (2010). The bacterial cell envelope. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 2(5), a000414. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a000414>
- ♦ Silva, F., Ferreira, S., Queiroz, J. A., & Domingues, F. C. (2013). Coriander (*Coriandrum sativum L.*) essential oil: its antibacterial activity and mode of action evaluated by flow cytometry. *Journal of Medical Microbiology*, 62(9), 1474–1480.
- ♦ Singh, G., Maurya, S., De Lampasona, M. P., & Catalan, C. (2006). Chemical constituents, antifungal and antioxidative potential of *Foeniculum vulgare* volatile oil and its acetone extract. *Food control*, 17(9), 745-752.
- ♦ Singh, M., & Sengar, B. (2021). *Urtica dioica L.* (Stinging Nettle): Morphological, phytochemical, cultivation practices and biological potential: A review. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 13(2), 1–7. <https://www.ijppr.com>

Références bibliographiques

- ♦ Siouda, W., Sehari, N. H., Slama, K., Kirouani, A., & Abdennour, C. (2022). Total phenolic, flavonoid and tannin contents and antioxidant activities of extracts of *Urtica dioica* L. by different extraction techniques. *Natural Resources and Sustainable Development*, 12(1), 113–125. <https://doi.org/10.31924/nrsd.v12i1.094>
- ♦ Spizzirri, U.G.; Abduvakhidov, A.; Caputo, P.; Crupi, P.; Muraglia, M.; Oliviero Rossi, C.; Clodoveo, M.L.; Aiello, F.; Restuccia, D. (2022). Kefir enriched with carob (*Ceratonia siliqua* L.) leaves extract as a new ingredient during a gluten-free bread-making process. *Fermentation*, 8, 305
- ♦ Srećec S., Vlerija D., Kremer D & Bolaric S. (2020). *Taksonomoja, ekologija I u poraba rogaca (Ceratonia siliqua L.) i lovora (Laurus nobilis L.) u hrvatskoj*. Hrvatska Akademija, Rad Koprivnicko-Krizevacke Zupanije U Krizevicima. 24-37 p.
- ♦ Subba, S., & Pradhan, K. (2022). A comprehensive review on common plants with remarkable medicinal properties: *Urtica dioica*. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 10(6), 87–91. <https://doi.org/10.22271/plants.2022.v10.i6b.1492>
- ♦ Sutcliffe, I. C., Harrington, D. J., & Roberts, A. P. (2023). Gram-positive bacteria: Cell envelope and surface structures. *Microbiology Spectrum*, 11(1), e02124-22. <https://doi.org/10.1128/spectrum.02124-22>
- ♦ Tabari, M. A., Golmakani, M. T., & Tajik, H. (2021). Nutritional and therapeutic properties of *Urtica dioica* seed oil. *Food Bioscience*, 41, 100933. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100933>
- ♦ Taheri, Y., Quispe, C., Herrera-Bravo, J., Sharifi-Rad, J., Ezzat, S. M., Merghany, R. M., Shaheen, S., Azmi, L., Mishra, A. P., Sener, B., Kılıç, M., Sen, S., Acharya, K., Nasiri, A., Cruz-Martins, N., Fokou, P. V. T., Ydyrys, A., Bassygarayev, Z., Daştan, S. D., . . . Cho, W. C. (2022). *Urtica dioica*-Derived Phytochemicals for pharmacological and therapeutic applications. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 2022, 1–30. <https://doi.org/10.1155/2022/4024331>
- ♦ Taïba, I., Boumahrat, M., Boulifa, A. (2017). Evaluation de l'activité anti inflammatoire, analgésique, antioxydante et antipyrrétique de la plante médicinale Algérienne *Salvia Officina-lis*.L. Mémoire de Master en Biologie spécialité : Toxicologie. Université Frères Mentourie. Constantine. 2-14.
- ♦ Tarasevičienė, Ž., Laukagalė, V., & Viškelis, P. (2023). Wild Stinging Nettle (*Urtica dioica* L.) Leaves and Roots Chemical Composition and Phenols Extraction. *Plants*, 12(2), 309. <https://doi.org/10.3390/plants12020309>

Références bibliographiques

- ◆ Thomas, P. A., Garcia-Martí, X., Mukassabi, T. A., & Tous, J. (2024). International Biological Flora: *Ceratonia siliqua*. *Journal of Ecology*, 112(8), 1885–1922. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.14325>
- ◆ Tous J, Romero A, Batlle I (2013). The Carob Tree: Botany, Horticulture, and Genetic Resources. *Horticultural Reviews*, Vol 41, 1st Edition. Jules Janick, pp. 385-456. <https://doi.org/10.1002/9781118707418.ch08>
- ◆ Vaubourdolle, M., & Farinotti, R. (2007). *Médicaments* (Vol. 4). Wolters Kluwer France.
- ◆ Ventola, C. L. (2015). The antibiotic resistance crisis: Part 1: Causes and threats. *Pharmacy and Therapeutics*, 40(4), 277–283. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4378521>
- ◆ Venugopala, K. N., Rashmi, V., & Odhav, B. (2013). Review on natural coumarin lead compounds for their pharmacological activity. *BioMed research international*, 2013(1), 963248.
- ◆ Viruel J, Le Galliot N, Pironon S, Nieto-Feliner G, Suc JP et al. (2020). A strong east–west Mediterranean divergence supports a new phylogeographic history of the carob tree (*Ceratonia siliqua*, Leguminosae) and multiple domestications from native populations. *Journal of Biogeography* 47: 460–471. <https://doi.org/10.1111/jbi.13726>
- ◆ Weill, B., & Batteux, F. (2003). *Immunopathologie et réactions inflammatoires*. De Boeck Supérieur.
- ◆ Wichtl, M. (2021). *Herbal Drugs and Phytopharmaceuticals: A Handbook for Practice on a Scientific Basis* (3rd ed.). Medpharm Scientific Publishers.
- ◆ Williams, L. A. D., et al. (2008). The in vitro anti-denaturation effects induced by natural products and non-steroidal compounds in heat-treated bovine serum albumin as a screening assay for anti-inflammatory activity. *West Indian Med J*, 57(4), 327–331.
- ◆ Yahiaoui, K.; Bouchenak, O.; Boumaza, S.; Toubal, S.; Blizak, D.; Nouani, A.; Arab, K. (2021). Characterization and assessment of the antimicrobial function of total polyphenol extracts from pulps, leaves and seeds of two *Ceratoniasiliqua* L. varieties. *Alger. J. Envir. Sci. Tech.* 7, 3429–3438.
- ◆ Yeşil-Celiktas, Ö., Sevimli, C., Bedir, E., & Vardar-Sukan, F. (2021). Inhibitory effects of *Urtica dioica* extracts on the proliferation of cancer cell lines and their antioxidant activities. *Phytotherapy Research*, 35(2), 743–750. <https://doi.org/10.1002/ptr.6832>

Références bibliographiques

- ♦ Yougbaré-Ziébrou, M. N., Ouédraogo, N., Lombo, M., Bationo, H., Yaro, B., Gnoula, C., ... & Guissou, I. P. (2016). Activités anti-inflammatoire, analgésique et antioxydante de l'extrait aqueux des tiges feuillées de *Saba senegalensis* Pichon (Apocynaceae). *Phytothérapie*, 14(4), 213-219.
- ♦ Zidorn, C., Jöhrer, K., Ganzen, M., Schubert, B., Sigmund, E. M., Mader, J., ... & Stuppner, H. (2005). Polyacetylenes from the Apiaceae vegetables carrot, celery, fennel, parsley, and pars-nip and their cytotoxic activities. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(7), 2518-2523.
- ♦ Zitouni, A., 2010. « Monographie et perspectives d'avenir du caroubier (*Ceratonia siliqua*) en Algérie. Th. Ing. Agro. INA, El-Harrach, 201 p.
- ♦ Zoubiri, S., Baaliouamer, A., Seba, N., & Chamouni, N. (2014). Chemical composition and larvicidal activity of Algerian *Foeniculum vulgare* seed essential oil. *Arabian Journal of Chemistry*, 7(4), 480-485.

Nom et Prénom : AIDI Zayneb
Nom et Prénom : BAOUCHE Yousra
Nom et prénom : BENDJAZIA Madjda Malak

Date de soutenance : 22/06/2025

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master académique en Biotechnologie
et biothérapie**

Thème : **Investigation Biologique De Trois Plantes Médicinales** (*Urtica dioica L, Ceratonia siliqua, Foeniculum Vulgare Mill*)

Résumé :

Ce mémoire porte sur l'étude phytochimique et l'évaluation des activités biologiques de trois plantes médicinales *Urtica dioica*, *Ceratonia siliqua* et *Foeniculum vulgare*. À travers une double approche expérimentale et bibliographique, les auteurs ont identifié une richesse en composés bioactifs tels que les polyphénols, flavonoïdes, tanins et huiles essentielles. Les analyses quantitatives ont révélé une forte concentration de ces métabolites dans certains extraits, notamment ceux issus des parties florales. Les tests biologiques in vitro ont montré une activité anti-inflammatoire notable, traduite par une inhibition marquée de la dénaturation des protéines, ainsi qu'une activité antimicrobienne efficace contre plusieurs souches bactériennes (Gram+ et Gram-) et fongiques. Ces résultats confirment les usages traditionnels de ces plantes et suggèrent leur potentiel pour des applications futures dans les domaines pharmaceutiques et cosmétique.

Mots clés : *Urtica dioica*, *Foeniculum vulgare* , *Ceratonia siliqua* ,**Screening phytochimique** ,
Dosage , **Extraction** , **Activité anti-inflammatoire** , **Activité antimicrobienne**.

Président : Dr. CHERFIA Radia
Rapporteur : Dr. MADI Aicha
Examinateur(s): Dr. HALMI Sihem

(MCB – U Constantine 1 Frères Mentouri)
(MCA - U Constantine 1 Frères Mentouri)
(MCA – U Constantine 1 Frères Mentouri)