



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique Et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



**Université Constantine 1 Frères Mentouri**  
**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**

**جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري**  
**كلية علوم الطبيعة والحياة**

**Département :** Biochimie et Biologie Moléculaire et Cellulaire

قسم : الكيمياء الحيوية والبيولوجيا الخلوية والجزئية

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master**

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière :** Sciences Biologiques

**Spécialité :** Biochimie

**N° d'ordre :**

**N° de série :**

Intitulé :

---

## **Etude phytochimique et évaluation des activités biologiques de l'extrait hydro-méthanolique de la plante *Moringa oleifera***

---

**Présenté par :** MAALEM Ikram

**Le :** 22/06/2025

ZAHTANI Aya

**Jury d'évaluation :**

**Présidente :** Dr. BENSARI Souhir (MCB- UConstantine 1 Frères Mentouri).

**Encadrante :** Dr. BIOUD Kenza (MCB- UConstantine 1 Frères Mentouri)

**Examinateuse :** Dr. AYECHE Amina (MCB- UConstantine 1 Frères Mentouri).

**Année universitaire  
2024 - 2025**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَقَدْ أَعْمَلُوا لَا فِي سَبَقٍ لِّلَّهِ أَعْمَلُوا إِنَّمَا يَعْمَلُونَ

وَلَا يُنْهَا إِلَّا مَا شَاءَ وَمَا شَاءَ لَهُ مُنْهَىٰ

صدق الله العظيم

الآية 105 - سورة التوبة -

## ***Remerciement***

*Avant tout, nous remercions Allah, le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la force, le courage, la santé et la patience pour mener à bien ce mémoire.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadrante, **Dr. BIOUD Kenza**, qui, par ses compétences scientifiques et pédagogiques ainsi que ses qualités humaines, nous a permis de mener à bien ce travail. Nous tenons également à la remercier pour sa confiance et son soutien constant. Merci de nous avoir accordé de votre temps, et d'avoir fait preuve d'une grande patience à notre égard.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements aux membres du jury, en particulier à **Dr. BENSARI Souhir**, Présidente du jury, et à **Dr. AYECHE Amina**, Examinateuse, pour avoir accepté d'évaluer notre travail.*

*Nos remerciements vont au **Dr. ZAOUI Heyem**, de l'Université Des frères Mentouri, Constantine 1, pour son aide, ses conseils, et sa générosité scientifique. Qu'elle trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.*

*Nos remerciements iront au professeur Mr le **Dr. BENSOUICI Chawki** de centre de recherche en biotechnologie, Constantine, pour leur aide et leur disponibilité*

*Enfin, à toutes celles et ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude et de nos remerciements.*

## **Dédicace**

*En signe de gratitude, je dédie ce travail :*

**À ma chère mère Djimeli Khadija**

*À mon soutien de la vie, à celle qui m'arrosée de tendresse et d'espoirs, à la source inépuisable d'amour. Elle n'a jamais cessé de me soutenir et de m'encourager par ses prières et ses sacrifices. Elle m'a toujours poussée et motivée dans mes études. Elle est toujours là et proche de moi, sans elle, je ne serais certainement pas arrivée jusqu'ici.*

*Je t'aime maman et je t'adore infiniment. Que dieu te protège, Qu'Il t'accorde la santé, le bonheur et une longue vie.*

*À mon idole, à mon amour éternel à celui qui a marqué mes premiers pas et qui m'a portée sur son dos et qui me porte toujours avec son cœur...*

*À mon seul héros que j'adore, mon cher papa Abdel Nasser*

**À ma famille**

*À mon cher frère : Mohamed Amine et mes chères sœurs Manel et fayrouz*

*À mes adorables neveux : Siraj Eddine, Imad Eddine, Rassime Braa Eddine et ma meilleure Aridj Tassnim.*

*Aucune dédicace ne pourrait exprimer pleinement mon amour et mon attachement pour vous... Je vous souhaite une vie remplie de bonheur, de santé et de réussite. Que tous vos rêves se réalisent.*

**À mes amis**

*À mes meilleures amies : Alkama Z, Assala Guerba, Aya kimouche Merci pour le courage, les sourires et les bons moments ensemble. Je vous aime et je vous souhaite une vie pleine de réussite, de santé et de bonheur.*

**À Ma binôme Maalem Ikram**

*Grâce à qui j'ai obtenu de magnifiques souvenirs et moments. Elle m'a soutenue tout au long de ce mémoire, dans les moments les plus difficiles, merci infiniment pour votre patience.*

## **Dédicace**

*Quoi de plus précieux que de pouvoir partager les plus beaux moments de sa vie avec ceux qui comptent le plus.*

*Je dédie ce travail, avec tout mon amour et ma gratitude :*

*À la mémoire de mon cher père « **Ramdane** » que Dieu ait son âme. Son absence est lourde, mais son souvenir et ses sacrifices m'accompagnent chaque jour.*

*À ma mère « **Dalila** », source inépuisable de tendresse, de force et de prières.*

*À mes frères « **Hamza et Saber** », pour leur présence rassurante et leur soutien.*

*À ma sœur « **Warda** », à qui je dédie tout particulièrement ce travail, pour son amour unique et la place précieuse qu'elle occupe dans mon cœur.*

*À mes sœurs « **Houda et Lamia** », pour leur complicité et leur affection.*

*À mes neveux et nièces : « *Hadeel, Iyad Abdelkayoum, Abdelmoujib, Mayssam, Rouya, Jihad et Rinad* » — vous êtes ma joie et mon inspiration.*

*À ma chère binôme et amie « **Aya Zahtani** », pour les fous rires, les moments de stress, le soutien mutuel et la belle complicité tout au long de ce travail. Merci d'avoir été là à chaque étape, avec ton calme, ton sérieux, et surtout ton amitié précieuse. Ce mémoire n'aurait pas été le même sans toi.*

*Avec tout mon respect et mon amour.*

**IKRAM**

## Résumé

Le présent travail s'intéresse à l'évaluation des activités biologiques de l'extrait hydro-méthanolique de la plante *Moringa oleifera*. Tout d'abord, notre étude a montré que l'extrait hydro-méthanolique de la plante *Moringa oleifera* est riche en polyphénols ( $179,09 \pm 0,68$  mg EAG/g d'extrait) et en flavonoïdes ( $28,47 \pm 0,00$  mg EQ/g d'extrait). Ces résultats soulignent le potentiel thérapeutique de l'extrait, car de nombreuses activités biologiques sont étroitement liées aux aspects quantitatifs et qualitatifs de ces biomolécules. Au cours de la deuxième étape, l'activité antioxydante a été évaluée à l'aide de trois tests : DPPH, ABTS, FRAP. Les résultats obtenus ont montré une activité modérée. Dans la dernière étape, l'étude de l'activité anti-inflammatoire *in vivo* a révélé une bonne activité anti-oedémateuse de l'extrait hydro-méthanolique de la plante *Moringa oleifera*. Les résultats de cette étude indiquent que l'extrait hydro-méthanolique de *Moringa oleifera* pourrait constituer une source naturelle efficace pour la prévention de diverses maladies, probablement en raison de sa teneur élevée en polyphénols et en flavonoïdes.

**Mots -clés :** *Moringa oleifera*, composés phénoliques, activité antioxydante, activité anti inflammatoire.

## Abstract

This work focuses on evaluating the biological activities of the hydro-methanolic extract of the plant *Moringa oleifera*. First, our study showed that the hydro-methanolic extract of *Moringa oleifera* is rich in polyphenols ( $179,09 \pm 0,68$  mg GAE/g extract) and flavonoids ( $28,47 \pm 0,00$  mg QE/g extract). These results highlight the therapeutic potential of the extract, as many biological activities are closely related to the quantitative and qualitative aspects of these biomolecules.

In the second phase, antioxidant activity was measured using three tests : DPPH, ABTS, and FRAP. The results showed moderate antioxidant activity. In the final phase, the in vivo study of anti-inflammatory activity revealed good anti-edematous effects of the hydro-methanolic extract of *Moringa oleifera*. The results of this study indicate that the hydro-methanolic extract of *Moringa oleifera* could be a promising natural source for the prevention of various diseases, probably due to its high content of polyphenols and flavonoids.

**Keywords :** *Moringa oleifera*, phenolic compound, antioxidant activity, anti-inflammatory activity

## الملخص

يهدف هذا العمل إلى تقييم الأنشطة البيولوجية للمستخلص الهيد رو-ميثانولي لنبات *Moringa oleifera* أولاً، أظهرت دراستنا أن المستخلص الهيد رو-ميثانولي لنبات *Moringa oleifera* غني بالبوليفينولات ( $179,09 \pm 0,68$  ملغ مكافئ حمض الغاليك/غرام من المستخلص) والفلافونويات ( $28,47 \pm 0,00$  ملغ مكافئ كيرسيتين / غرام من المستخلص). وتبين هذه النتائج الإمكانيات العلاجية للمستخلص، إذ ان العديد من الأنشطة البيولوجية ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالجوانب الكمية والنوعية لهذه الجزيئات الحيوية. في المرحلة الثانية، تم قياس النشاط المضاد للأكسدة باستخدام ثلاثة اختبارات: ABTS، DPPH، FRAP وقد أظهرت النتائج نشاطاً معتدلاً. اما في المرحلة الأخيرة، فقد كشفت الدراسة عن النشاط المضاد للالتهابات في الجسم الحي عن فعالية جيدة ضد الوذمة للمستخلص الهيد رو-ميثانولي لنبات *Moringa oleifera*. تشير نتائج هذه الدراسة الى ان المستخلص الهيد رو-ميثانولي لنبات *Moringa oleifera* قد يشكل مصدراً طبيعياً فعالاً للوقاية من عدة امراض، ويرجع ذلك على الأرجح إلى محتواه العالي من البوليفينولات والفلافونويات.

**الكلمات المفتاحية:** *Moringa oleifera*، المركبات الفينولية، النشاط المضاد للأكسدة، النشاط المضاد للالتهابات.

# ***Table des matières***

Résumés	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction .....	01
 <b><i>Première partie : Synthèse bibliographique</i></b>	
 <b>Chapitre I : La phytothérapie et plantes médicinales</b>	
I.1. Définition.....	05
I.2. Différent types de phytothérapie.....	05
I.3. Les avantages et les inconvénients de la phytothérapie.....	06
I.3.1.les inconvénients .....	06
I.3.2. Les avantages.....	06
I.4. Les plantes médicinales.....	06
I.4.1. Définition.....	06
I.4.2. Les méthodes de préparation des plantes médicinales.....	06
 <b>Chapitre II : Présentation de l'espèce étudiée</b>	
II.1. Origine et distribution.....	09
II.2. Systématique.....	10
II.3. Description botanique de la plante.....	10
II.4. Composition chimique et valeurs nutritionnelles des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	13
II.5. Les activités biologiques.....	13
II.5.1. Activité antioxydantes.....	13
II.5.2. Activité anti-inflammatoire .....	13
II.5.3. Activité antimicrobienne .....	14
II.5.4. Activité anti-hyper-glycémique .....	14

## **Chapitre III : Métabolites secondaires**

III.1. Composés phénoliques.....	16
III.1.1 Polyphénols.....	16
III.1.1.1. Définition.....	16
III.1.1.2. Classification.....	16
III.1.2. Les flavonoïdes.....	19
III.1.2.1. Définition.....	19
III.1.2.2. Structure.....	19
III.1.2.3. Classification.....	20
III.1.3. Tanins.....	23
III.1.3.1. Définition.....	23
III.1.4. Effets biologiques des polyphénols.....	24
III.2. Les alcaloïdes.....	24
III.2.1. Définition.....	24
III.2.2. Classification .....	24
III.2.3. Effets biologiques des alcaloïdes.....	25
III.3. Les terpenoides.....	25
III.3.1. Définition.....	25
III.3.2. Classification .....	26
III.3.3. Effets biologiques.....	27

## *Deuxième partie : Etude expérimentale*

### **I. Matériel et méthodes**

1. Etude in vitro.....	30
1.1. Matériel végétal.....	30
1.2. Préparation de l'extrait.....	30
1.3. Caractérisation quantitative des polyphénols et des flavonoïdes.....	32
1.3.1. Dosage des polyphénols totaux .....	32
1.3.2. Dosage des flavonoïdes totaux.....	32

1.4. Evaluation de l'activité antioxydante.....	33
1.4.1. Effet anti-radicalaire par le test au DPPH°.....	33
1.4.2. Test de décoloration du radical ABTS•+.....	34
1.4.3. Test du pouvoir réducteur.....	36
2. Etude in vivo.....	36
2.1. Evaluation de l'activité anti-inflammatoire.....	36
2.1.1. Induction de l'œdème dans la patte par le formol.....	36
2.1.2. Estimation du volume de l'œdème de la patte .....	37
3. Analyse statistique.....	37

## **II. Résultats**

II.1.Caractérisation quantitative de Moringa oleifera.....	38
II. 1.1. Teneur de l'extrait en polyphénols et flavonoïdes totaux.....	38
II.2.Evaluation de l'activité antioxydante in vitro.....	39
II.2.1. Le test de piégeage du radical DPPH.....	39
II.2.2. L'activité de Piégeage du radical cation ABTS•+.....	41
II.2.3. Pouvoir réducteur du fer (FRAP).....	42
II.3. Evaluation de l'activité anti inflammatoire in vivo.....	43

## **III. Discussion**

III.1. Discussion de l'étude expérimentale in vitro.....	45
III.2. Discussion de l'étude expérimentale in vivo.....	47
<b>Conclusion et perspectives.....</b>	49
<b>Références bibliographiques.....</b>	51

## Liste des abréviations

**GGPP** : géranyl géranyl pyro phosphate

**Cis** : comme dans le caoutchouc indien

**Trans** : comme dans la gutta-percha

**AlCl3** : trichlorure d'aluminium

**DPPH<sup>°</sup>** : 2,2'-diphenyle-1-picryl hydrazyl

**TCA** : tri-chloroacétique

**Oms** : Organisation Mondiale de la Santé

**CCL4** : Tétrachlorométhane

**ICP-MS** : Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif

**GGPP** : géranyl géranyl pyro phosphate

**C** : Carbone

**FeCl3** : chlorure ferrique

**TCA** : tri-chloroacétique

**IC50** : Concentration inhibitrice à 50%

**ABTS** : Sel d'ammonium de l'acide 2,2'-azinobis-3-éthylbenzothiazoline-6- sulfonique

**DPPH** : 2,2'-diphényle-1-picryl hydrazyl

**FRAP** : Pouvoir Antioxydant de Réduction du Fer Ferrique

**BHT** : Butylhydroxytoluène

**BHA** : Butylhydroxyanisole

**GGPP** : géranyl géranyl pyro phosphate

**Cis** : comme dans le caoutchouc indien

**Trans** : comme dans la gutta-percha

**AlCl3** : trichlorure d'aluminium

**DPPH<sup>°</sup>** : 2,2'-diphenyle-1-picryl hydrazyl

**TCA** : tri-chloroacétique

**Oms** : Organisation Mondiale de la Santé

**CCL4** : Tétrachlorométhane

**ICP-MS** : Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif

**GGPP** : géranyl géranyl pyro phosphate

**FeCl3** : chlorure ferrique

**TCA** : tri-chloroacétique

**IC50** : Concentration inhibitrice à 50%

**ABTS** : Sel d'ammonium de l'acide 2,2'-azinobis-3-éthylbenzothiazoline-6- sulfonique

**DPPH** : 2,2'-diphényle-1-picryl hydrazyl

**FRAP** : Pouvoir Antioxydant de Réduction du Fer Ferrique

**BHT** : Butylhydroxytoluène

**BHA** : Butylhydroxyanisole

**QE** = Quercétine équivalente

**GAE** =Gallic Acid Equivalent

**R<sup>2</sup>** =Coefficient de détermination

## Listes des figures

<b>Figure 01</b> : Répartition de <i>Moringa oleifera</i> dans le monde.....	09
<b>Figure 02</b> : Arbre de <i>Moringa oleifera</i> .....	10
<b>Figure 03</b> : Feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	11
<b>Figure 04</b> : Fleurs de <i>Moringa oleifera</i> .....	12
<b>Figure 05</b> : Fruits et graines de <i>Moringa oleifera</i> .....	12
<b>Figure 06</b> : Exemples des phénols simples .....	17
<b>Figure 07</b> : Les Types des acides phénoliques .....	17
<b>Figure 08</b> : Structure Des Flavonoïdes .....	19
<b>Figure 09</b> : Classes, sous-classes et sources naturelles de flavonoïdes .....	20
<b>Figure 10</b> : Types de tanins et leurs structures de base.....	23
<b>Figure 11</b> : La molécule d'isoprène.....	26
<b>Figure 12</b> : Feuilles de la plante <i>Moringa oleifera</i> .....	30
<b>Figure 13</b> : Etapes d'extraction de la plante <i>Moringa oleifera</i> .....	31
<b>Figure 14</b> : Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH .....	33
<b>Figure 15</b> : Formation et piégeage du radical ABTS <sup>•+</sup> par un antioxydant donneur de H <sup>•</sup> .....	35
<b>Figure 16</b> : Droit d'étalonnage d'acide gallique (Moyenne ± SD trois essais).....	38
<b>Figure 17</b> : Droit d'étalonnage de la quercétine (Moyenne ± SD trois essais).....	39
<b>Figure 18</b> : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction de la concentration d'extrait hydro-méthanolique de <i>Moringa oleifera</i> .....	40
<b>Figure 19</b> : Pourcentage d'inhibition du radical libre ABTS <sup>•+</sup> en fonction de la concentration d'extrait hydro-méthanolique de la plante <i>Moringa oleifera</i> . .....	41
<b>Figure 20</b> : Test de la réduction du Fer par l'extrait hydro-méthanolique de la plante <i>Moringa oleifera</i> et des standards (acide ascorbique, $\alpha$ -Tocophérol). .....	42
<b>Figure 21</b> : Effet de l'extrait de la plante <i>Moringa oleifera</i> et aspirine sur l'oedème induit par le formol.....	44

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b> : La systématique de <i>Moringa oleifera</i> .....	10
<b>Tableau 02</b> : Dérivés d'acide hydroxybenzoïque.....	18
<b>Tableau 03</b> : Dérivés de l'acide hydroxy cinnamiques.....	18
<b>Tableau 04</b> : Teneur en polyphénols totaux et des flavonoïdes.....	39
<b>Tableau 05</b> : Le pouvoir antioxydant du radical DPPH (exprimé par IC50 (en µg /ml)) des antioxydants de références et d'extrait testé.....	41
<b>Tableau 06</b> : Le pouvoir antioxydant du radical ABTS•+ (exprimé par IC50 (en µg /ml)) des antioxydants de références et d'extrait testé.....	42
<b>Tableau 07</b> : Le pouvoir réducteur du fer (exprimé par A0.5 (en µg /ml)) d'extrait testé et des antioxydants de références.....	43

# *INTRODUCTION*

Les plantes médicinales représentent une ressource précieuse pour une grande partie des populations rurales et urbaines en Afrique, et constituent le principal moyen par lequel les individus se soignent (**Badiaga, 2011**). Malgré les progrès de la pharmacologie, l'usage thérapeutique des plantes médicinales demeure très répandu dans plusieurs pays du monde, en particulier dans les pays en voie de développement (**Hadjadj et al., 2019**).

Selon l'OMS, environ 80 % des populations africaines ont recours à la médecine traditionnelle pour leurs soins de santé primaires. Grâce à son emplacement dans une zone à climat tropical et subtropical, l'Afrique est reconnue pour sa richesse en diversité biologique, elle compte environ 40 000 à 45 000 espèces de plantes, dont environ 5 000 sont des espèces médicinales (**Khumalo et al., 2022**).

Les plantes médicinales sont riches en composés antioxydants et possèdent un fort potentiel d'élimination des radicaux libres, attribué à la présence de divers phyto-constituants (**Kamalanathan et al., 2015**). L'identification des antioxydants d'origine végétale suscite une attention croissante en raison de leur importance dans la protection des cellules et des tissus contre les dommages causés par les radicaux libres (**Kumar et al., 2018 ; Atere et al., 2018**).

Parmi les plantes médicinales connues à ce jour, le *Moringa oleifera*, également surnommé « arbre de la vie », occupe une place particulière (**Alhakmani et al., 2013**).

Le *Moringa oleifera* est l'espèce la plus répandue de la famille des Moringaceae, cultivée dans de nombreux pays d'Asie et d'Afrique. Diverses parties de cet arbre, telles que les feuilles, les fleurs, les fruits et les jeunes gousses, sont couramment utilisées dans la préparation d'aliments traditionnels, de remèdes médicinaux et ainsi que dans diverses applications industrielles (**Sreelatha et Padma, 2009**).

Les feuilles de *Moringa oleifera* sont reconnues pour leur richesse en vitamines et minéraux, et possèdent une activité antioxydante notable, généralement attribuée à la présence de micronutriments et de composés phénoliques (**Coppin et al., 2013**).

Presque toutes les parties de cette plante « racine, écorce, gomme, feuille, fruit (gousses), fleurs, graines et huile de graines » ont été utilisées pour diverses affections dans la médecine traditionnelle d'Asie du sud, y compris le traitement de l'inflammation et des maladies infectieuses ainsi que de troubles cardiovasculaires, gastro- intestinaux, hématologiques et hépatorénaux (**Morimitsu et al., 2000**).

Dans ce contexte, le présent travail s'intéresse à l'évaluation des activités biologiques de l'extrait hydro-méthanolique de la plante *Moringa oleifera*.

Dans ce but, les objectifs poursuivis sont les suivants :

- Evaluation quantitative des polyphénols et flavonoïdes totaux.
- Evaluation de l'activité antioxydante in vitro en utilisant trois tests (DPPH, ABTS, pouvoir réducteur FRAP).
- Evaluation de l'activité anti-inflammatoire (anti-œdémateuse) in vivo.

- *Première partie : Synthèse bibliographique*
- *Chapitre I : La phytothérapie et plantes médicinales*
- *Chapitre II : Présentation de l'espèce étudiée*
- *Chapitre III : Métabolites secondaires*

# *CHAPITRE I: Synthèse bibliographique*

## **Chapitre I : La phytothérapie et plantes médicinales**

### **I.1. Définition de la phytothérapie**

Le terme de phytothérapie dérive du grec "phyton signifiant " ("plante") et "therapeia" signifiant ("traitement") (Roger Moatti, 1990). La phytothérapie correspond à l'utilisation de plantes dites "médicinales" pour raison thérapeutique de certaines pathologies bénignes. Cet empirique est ancestral et répandue dans le monde entier. Les patients opposent souvent cette thérapeutique à l'utilisation de la médecine conventionnelle (Solène, 2015).

### **I.2. Différent types de phytothérapie**

Il existe plusieurs types de phytothérapie :

- ❖ **L'aromathérapie** : Elle fait appel aux extraits de plantes, également connus sous le nom d'huiles essentielles. On obtient ces composés aromatiques par le procédé de la distillation. Toutefois, il est impératif d'employer l'aromathérapie avec prudence et de suivre les doses recommandées. L'application cutanée est l'usage le plus couramment pratiqué (Agroconsult Haiti, 2016).
- ❖ **Gemmothérapie** : La gemmothérapie est l'application des tissus embryonnaires végétaux (bourgeons, radicelles, pousses) qui sont toujours en croissance. Ces tissus sont mis en macération dans divers solvants pour produire un extrait connu sous le nom de macérât glycériné (Daniele Festy, 2011).
- ❖ **L'herboristerie** : C'est le genre de phytothérapie le plus traditionnel et le plus ancien. Elle utilise la plante, qu'elle soit fraîche ou séchée, entière ou en partie. La préparation d'herbes médicinales utilise généralement des techniques simples, souvent basées sur l'eau, comme les infusions, les décoctions ou les macérations. Ces préparations existent aussi sous forme plus moderne de gélule de poudre de plante sèche (Chabrier, 2010).
- ❖ **L'homéopathie** : Elle utilise principalement des plantes, mais elle peut également inclure, en très faibles quantités, des substances d'origine animale ou minérale (Agroconsult Haiti, 2016).
- ❖ **Phytothérapie pharmaceutique** : Elle repose sur l'utilisation des produits d'origine végétale obtenue après extraction et par dilution, en utilisant des doses suffisamment importantes pour assurer une action rapide et soutenue (Agroconsult Haiti, 2016).

### I.3. Les avantages et les inconvénients de la phytothérapie

Les médicaments phytothérapeutiques agissent plus lentement, et sont perçus comme plus doux (**Esteves et al., 2020**).

Certains avantages et inconvénients seront évoqués.

#### I.3.1. Les inconvénients

Selon une étude menée sur le réseau Fitocerrado, des erreurs dans la préparation et l'identification des espèces végétales, ainsi qu'un usage excessif de celles- ci, peuvent constituer un risque pour la santé : surdosage, inefficacité thérapeutique et survenue d'effets indésirables ont notamment été observés. Par ailleurs, la présence de saletés et de matières organiques étrangères en quantité supérieure aux normes acceptables a également été signalée (**Esteves et al., 2020**).

#### I.3.2. Les avantages

L'analyse met aussi en évidence les avantages de la phytothérapie dans divers processus corporels. Certaines plantes possèdent des propriétés antimicrobiennes prometteuses contre les pathologies buccales (**Dias JN et al., 2015**). Par ailleurs, la phytothérapie s'avère bénéfique dans la prise en charge des troubles rénaux (**Kuba G et al., 2015 ; Esteves et al., 2020**).

Une autre étude sur l'utilisation de la phytothérapie dans le traitement de l'ostéoporose chez les jeunes femmes montre les bénéfices des isoflavones et des dérivés du curcuma pour éviter la détérioration des structures osseuses (**Marques MAA et al., 2016 ; Esteves et al., 2020**).

### I.4. Les plantes médicinales

#### I.4.1 Définition

Les plantes médicinales sont définies comme celles qui possèdent des propriétés et des caractéristiques thérapeutiques capables de soigner certaines maladies chez l'homme. Une plante médicinale contient le principe actif dans une ou plusieurs de ses parties, et ces principes actifs peuvent être un ou plusieurs composés ayant des effets physiologiques dans la thérapie des maladies, soit sous leur forme pure après extraction, soit sous leur forme naturelle (fraîche, sèche ou partiellement extraite) (**Al-aghwani ,2024**).

#### I.4.2. Les méthodes de préparation des plantes médicinales

Il existe plusieurs méthodes de préparation des plantes médicinales, et cela selon l'usage que l'on veut en faire. Les modes de préparation les plus courants sont :

- **Infusion** : C'est la méthode de préparation la plus facile, qui consiste à verser de l'eau bouillante sur les parties de plantes fraîches ou séchées afin d'extraire leurs propriétés médicinales. Elle est appropriée pour l'extraction des parties sensibles ou finement découpées des plantes : feuilles, fleurs, graines, écorces et racines, qui contiennent des composés volatils ou thermolabiles tels que les huiles essentielles (**Karin Kraft et Christopher Hobbs, 2004**).
- **Décoction** : Cette méthode consiste à faire bouillir la partie en poudre de la plante avec un volume précis d'eau, après avoir déterminé les proportions adéquates de poudre et d'eau. La poudre est placée dans un récipient de cuisson, puis de l'eau chaude est ajoutée. Le mélange est porté à ébullition à feu doux pendant une durée ne dépassant pas une heure. Après refroidissement, il est filtré à l'aide d'un tissu fin pour recueillir le liquide extrait. Il peut être consommé immédiatement ou conservé au réfrigérateur pendant quelques jours (**Al-aghwani ,2024**).
- **La macération** : Elle consiste à immerger les parties actives de la plante dans un liquide et à les y laisser reposer pendant un certain temps. Lorsqu'elle se fait à l'eau, la durée ne doit pas dépasser une demi- journée (**Djerroumi et Nacef, 2012**).
- **Jus** : Il est possible d'extraire le jus des plantes, des fruits et des légumes, qui renferment une grande diversité de composants actifs en quantités intéressantes. Le principal avantage du jus réside dans sa simplicité de préparation et de consommation (**Al-aghwani ,2024**)
- **Compresse** : la plante peut être utilisée à l'état frais, après broyage et mélange avec une petite quantité d'eau tiède. Les parties séchées peuvent également être réduites en poudre, puis incorporées à un liant tel que la farine ou l'amidon de maïs. La préparation obtenue est ensuite placée dans un tissu fin et appliquée directement sur la peau (**Al-aghwani ,2024**).

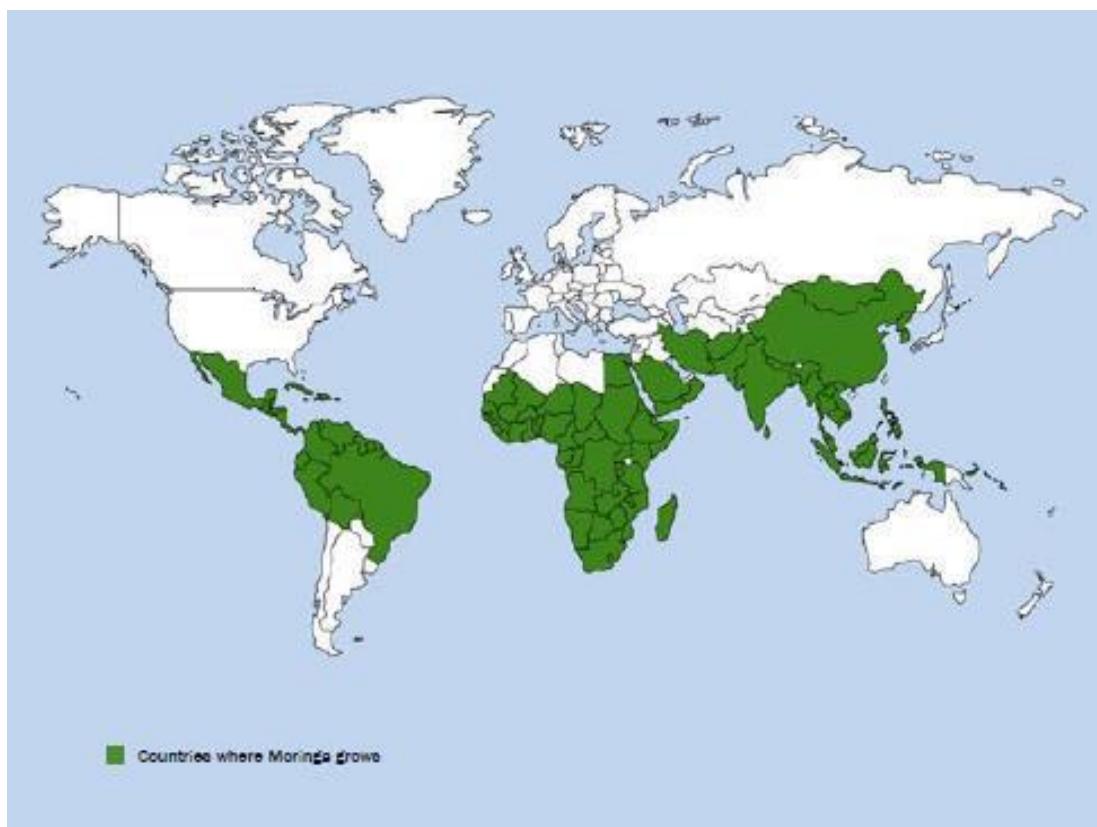
## *Chapitre II : Présentation de l'espèce étudiée*

## Chapitre II : Présentation de l'espèce étudiée

### II.1. Origine et distribution

*Moringa oleifera* est une espèce végétale originaire des régions situées aux frontières du Niger. Elle a été introduite dans diverses régions tropicales et subtropicales, où s'est souvent naturalisée, notamment en Afrique (Bosch, 2004 ; Vélez-Gavilán, 2017). L'espèce est actuellement cultivée à grande échelle en Ethiopie, dans les îles du Pacifique, en Floride, au Soudan, aux Caraïbes, aux Philippines, en Afrique du Sud, en Afrique de l'Ouest, en Amérique latine et en Asie. Reconnue pour sa diversité d'usage, elle est connue sous différents noms vernaculaires à travers le monde. L'étymologie du nom scientifique provient du mot tamoul "Moringa" (Olson, 2015).

L'Inde constitue le principal centre de production mondiale de *Moringa oleifera*, avec une production annuelle estimée entre 1,1 et 1,3 million de tonnes de fruits frais, sur environ 38000 hectares de terres cultivée (Rachana et al., 2020 ; Outani et al., 2023).



**Figure01 :** Répartition de *Moringa oleifera* dans le monde (Koul et Chase, 2015).

## II.2.Systématique

Tableau 01 : La systématique de *Moringa oleifera* (Laleye et al ., 2015).

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Capparales
Famille	Moringaceae
Division	Magnoliotype
Genre	<i>Moringa</i>
Espèce	<i>Moringa oleifera</i>

## II.3. Description botanique de la plante

*Moringa oleifera* est un arbre vivace à croissance rapide, pouvant mesurer entre 7 et 12 mètres de haut. Son tronc, généralement droit, a un diamètre de 20 à 40 cm (voir figure 02), bien qu'il puisse parfois être peu développé (Foidl et al., 2001).

L'arbre commence généralement à se ramifier à une hauteur de 1,5 à 2 mètres, mais peut exceptionnellement atteindre 3 mètres avant de se ramifier (Foidl et al., 2001). Les branches se développent de manière désordonnée, formant une canopée en forme de parasol (Foidl et al., 2001).



Figure 02 : Arbre de *Moringa oleifera* (Saint Sauveur et Broin, 2010).

### a/ les feuilles

Les feuilles sont disposées de manière alterne. Elles sont tripennées à leur base et Bipennées vers le sommet. Elles mesurent entre 20 et 70 cm de longueur, avec un long pétiole

Chaque feuille comprend 8 à 10 paires de pennes, chacune constituée de deux paires de folioles opposées, accompagnées d'une foliole terminale. Les folioles (voir figure03) sont de Forme ovale et mesurent entre 1 et 2 cm de long (**Morton, 1991**).



**Figure 03 :** Feuilles de *Moringa oleifera* (**Atakpama et al., 2014**).

### b/Fleurs

Les fleurs, mesurant environ 2,5 cm de diamètre, apparaissent sous forme de panicules axillaires et tombantes de 10 à 25 cm. Elles sont généralement nombreuses et diffusent une odeur agréable. Leur couleur varie du blanc au crème, avec des marques jaunes à la base (voir figure 04). Les cinq sépales, de forme lancéolée, sont symétrique, tandis que les cinq pétales, fins et en forme de spatule, sont presque tous symétriques, à l'exception du pétale inférieur. Ces pétales entourent cinq étamines (**Foidl et al., 2001**).



**Figure04** : Fleurs de *Moringa oleifera* (Rollof *et al.*, 2009).

### C /Fruits et graines

Les fruits prennent la forme de gousses trilobées, longues de 20 à 60 cm. Une fois sèches, Elles s'ouvrent en trois parties, libérant entre 12 et 35 graines. Celles- ci sont arrondies, munies d'ailes, et protégées par une coque brunâtre semi- perméable. Chaque graine pèse en moyenne 0,3g, dont 25% correspondent à la masse de la coque (Makkar et Becker, 1996 ; Laleye *et al.*, 2015) (voir figure 05).



**Figure 05** : Fruits et graines de *Moringa oleifera* (Delpha I., 2011 ; Atakpama *et al.*, 2014 )

## II.4. Composition chimique et valeurs nutritionnelles des feuilles de *Moringa oleifera*

Les feuilles de *Moringa oleifera* sont couramment consommées en Asie et en Afrique en raison de leur teneur élevée en protéines et en sels minéraux (**Atakpama et al., 2014**).

L'analyse des échantillons de feuilles a révélé une humidité comprise entre 3,06% et 3,34%, une teneur en lipides allant de 10,21% à 10,31%, en fibre de 7,29% à 9,46%, en cendres de 10,71% à 11,18%, en protéines brute de 10,74% à 11,48% et en glucides de 51,61% à 57,61%. L'analyse ICP-MS a identifié le calcium (2016,5 à 2620,5mg /100g), le Potassium (1817 à 1845mg/100g) et le magnésium (322,5 à 340,6mg/100g) comme les minéraux les plus abondants dans la poudre de feuilles (**Amabye et Gebrehiwot, 2015**).

## II.5. Les activités biologiques

### II.5.1. Activité antioxydante

Les antioxydants naturellement présents, notamment les polyphénols, sont les principaux composés végétaux capables de limiter les dommages oxydatifs au niveau des tissus, soit en renforçant les mécanismes cellulaires de défense, soit en neutralisant les radicaux libre. Il a été rapporté que les feuilles de *Moringa oleifera* présentent une activité antioxydante importante en raison de leur richesse en polyphénols (**Sreelatha et Padma, 2009 ; Verma et al., 2009**). Les extraits issus de feuilles matures et tendres de *Moringa oleifera* exercent une forte activité antioxydante contre les radicaux libres, préviennent les altérations oxydatives des biomolécules essentielles et offrent une protection notable contre le stress oxydatif (**Sreelatha et Padma, 2009 ; Abdull Razis et al., 2014**).

### II.5.2. Activité anti-inflammatoire

Les effets hépatoprotecteur de l'extrait de graines de *Moringa* ont été mis en évidence Dans l'étude antifibrotique menée par **Hamza , (2010)**, laquelle a démontré que *Moringa oleifera* possède aussi des propriétés anti-inflammatoires face aux lésions hépatiques et à la fibrose provoquée par le CCL4. Cette constatation a été appuyée par une baisse du taux de globuline sérique ainsi que de l'activité de la myéloperoxydase hépatique. En outre, l'examen histopathologique a mis en évidence une réduction des infiltrations cellulaires inflammatoires (**Abdull Razis et al ., 2014**).

### II.5.3. Activité antimicrobienne

Les divers extraits des parties morphologiques de la *Moringa*, telles que les cotylédons des graines, les enveloppes, l'écorce de la tige, les feuilles et l'écorce des racines, ont été signalés comme possédant une activité antimicrobienne (Arora *et al.*, 2013). Récemment, (Onsare *et al.*, 2013) ont publié des travaux préliminaires sur l'effet antimicrobien de l'extrait aqueux des cosses contre des bactéries pathogènes à Gram positif, Gram négatif, ainsi que contre certaines souches de levures. (Peixoto *et al.*, 2011) ont indiqué que dans leur étude, les extraits aqueux et éthanoliques des feuilles de *Moringa* ont révélé un potentiel intéressant comme traitement contre certaines infections bactériennes. L'activité antibactérienne de l'extrait de *Moringa* s'est avérée plus marquée contre les espèces à Gram positif (S. aureus et E. faecalis) que contre celles à Gram négatif (E. coli, Salmonella, P. aeruginosa, V. parahaemolyticus et A. caviae), ce qui a également été mentionné dans plusieurs autres recherches (Grosvenor *et al.*, 1995 ; Kudi *et al.*, 1999 ; Awadh *et al.*, 2001 ; Abdull Razis *et al.* ; 2014).

### II.5.4. Activité anti-hyper-glycémique

L'effet hypoglycémiant de *Moringa oleifera* a été confirmé, avec une action marquée dans la réduction du taux de glycémie. L'extrait méthanolique obtenu à partir de la poudre de ses fruits séchés a permis d'isoler des N- benzyl thiocarbamates, des N- benzyl carbamates, des benzyl nitriles ainsi qu'un composé benzyl. Ces substances ont montré une capacité significative à stimuler la sécrétion d'insuline par la cellule bêta pancréatique chez les rongeurs (Ajit *et al.*, 2003 ; Abdull Razis *et al.*, 2014).

## *Chapitre III : Métabolites secondaires*

## Chapitre III : Métabolites secondaires

Les métabolites secondaires regroupent un ensemble important de composés aux structures variées, dérivés soit des métabolites primaires, soit des intermédiaires intervenant dans les voies biosynthétiques de ces derniers (Piasecka *et al.*, 2015). En fonction de leurs voies biosynthétiques, les métabolites secondaires sont généralement répartis en plusieurs grandes familles moléculaires (Kessler et Kalske, 2018).

### III.1. Composés phénolique

#### III.1.1 Polyphénols

##### III.1.1.1. Définition

Les polyphénols sont des composés naturels produits uniquement par les plantes. Ils présentent des propriétés chimiques associées aux composés phénoliques et possèdent une forte activité antioxydante (Singla *et al.*, 2019).

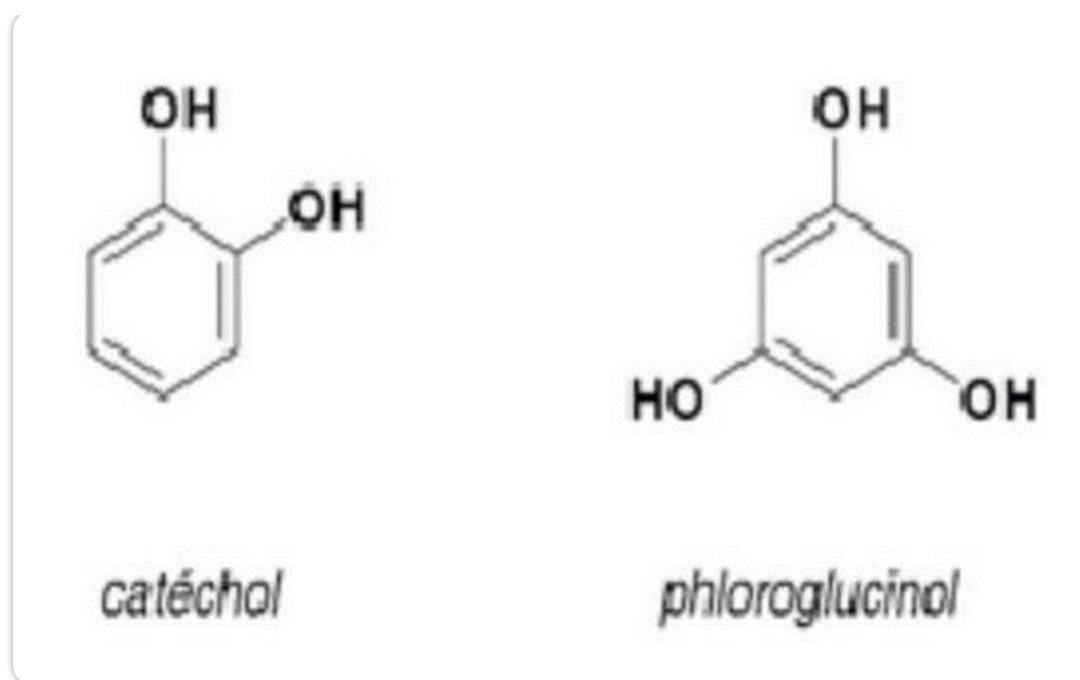
Ces molécules ou groupes de composés se retrouvent principalement dans les fruits (comme le raisin, la poire, la pomme, la cerise et diverses variétés de baies contenant jusqu'à 200 à 300mg de polyphénols pour 100g de poids frais), dans les légumes (en particulier le brocoli, l'oignon, et le chou), ainsi que dans le thé vert, les céréales complètes, les boissons d'origine végétales et le chocolat (Scalbert *et al.*, 2005 ; Pandey et Rizvi, 2009 ; Xiao et Hogger, 2015 ; Kim *et al.*, 2016 ).

##### III.1.1.2. Classification

###### a. Les phénols simples

Les phénols simples sont des composés caractérisés par la présence d'au moins un groupe hydroxyle fixé sur un noyau aromatique. Parmi eux, on distingue le catéchol, le résorcinol et le phloroglucinol (Daniel, 2006).

Ces composés (comme le catéchol et le phloroglucinol) sont relativement peu fréquents dans la nature, à l'exception notable de l'hydroquinone que l'on retrouve dans plusieurs familles végétales (Ericaceae, Rosaceae), le plus souvent sous forme de glucoside (arbutoside) ou de monométhyléther de diphénol (Bruneton, 2009).

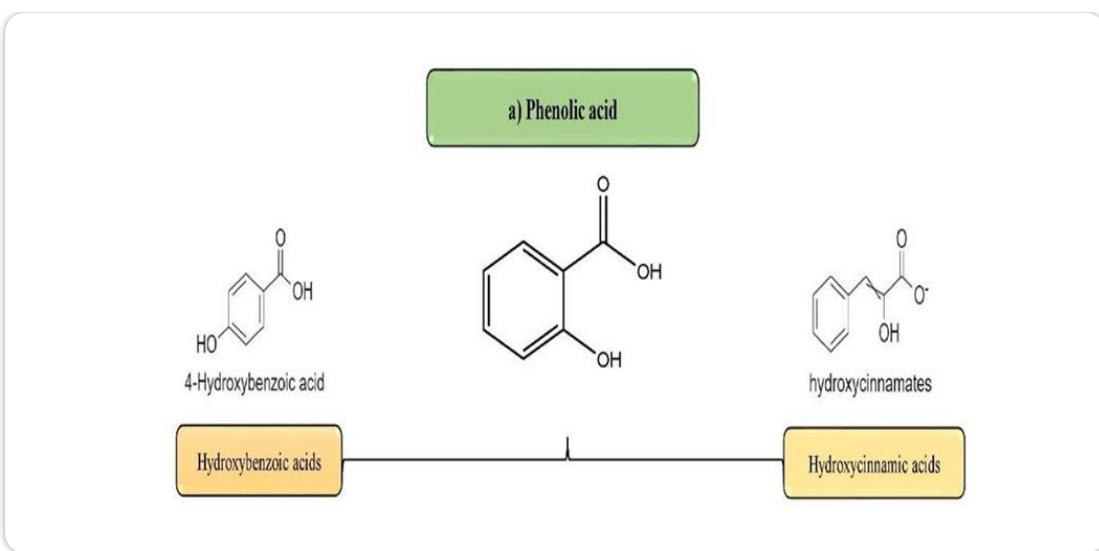


**Figure 06 :** Exemples des phénols simples (Bruneton, 2009).

### b. Les acides phénoliques

Les acides phénoliques sont des composés constitués d'un cycle aromatique portant un groupe acide carboxylique (-COOH). Ils représentent la principale classe de composés phénoliques d'origine végétale (Prabhu *et al.*, 2021).

Les acides phénoliques sont classés en deux principales catégories : les acides hydroxy benzoïque et acide hydroxy cinnamique, qui dérivent respectivement des molécules phénoliques benzène et acide cinnamique (Chen *et al.*, 2015).

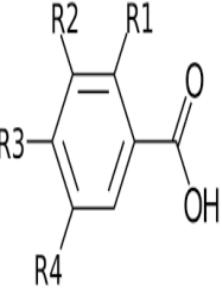


**Figure 07 :** Les Types des acides phénoliques (Prabhu *et al.*, 2021).

### ❖ Les acides hydroxy benzoïques

Sont des dérivés de l'acide benzoïque ont une structure de type (C6-C1) (**Ozcan et al., 2014**).

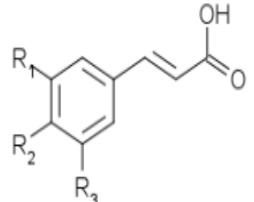
**Tableau 02:** Dérivés d'acide hydroxybenzoïque (**Macheix et al., 2005**).

	R1 =R2 =R3=R4=H	acide benzoïque (non phénolique)
	R1=R2=R4=H, R3=OH	acide p-hydroxybenzoïque
	R1=R4=H, R2=R3=OH	acide protocatéchinique
	R1=H, R2=R3=R4=OH	acide gallique
	R1=H, R2=R4=OCH <sub>3</sub> , R3=OH	acide syringique
	R1=OH, R2=R3=R4=H	acide salicylique
	R1=R4=OH, R2=R3=H	acide gentisique

### ❖ Les acides hydroxy cinnamiques

Représentent une classe très importante de composés phénolique d'origine naturelle, largement distibués dans les fruits, les légumes, les céréales, le café, le thé et le vin (**Sova et Saso ,2020**). Sur le plan structurel, ils sont caractérisés par un squelette carboné de type C6-C3 (**El-Seedi et al., 2018**).

**Tableau 03 :** Dérivés de l'acide hydroxy cinnamiques (**Macheix et al., 2005**).

	R1=R2=R3=H	acide cinnalique (non phénolique)
	R1=RH, R2=OH	acide p-cinnamique
	R1=R2=OH, R3 =H	acide caféique
	R1=OCH <sub>3</sub> , R2=OH, R3=H	acide férulique
	R1=R3=OCH <sub>3</sub> , R2=OH	acide sinapique

### III.1.2. Les flavonoïdes

#### III.1.2.1. Définition

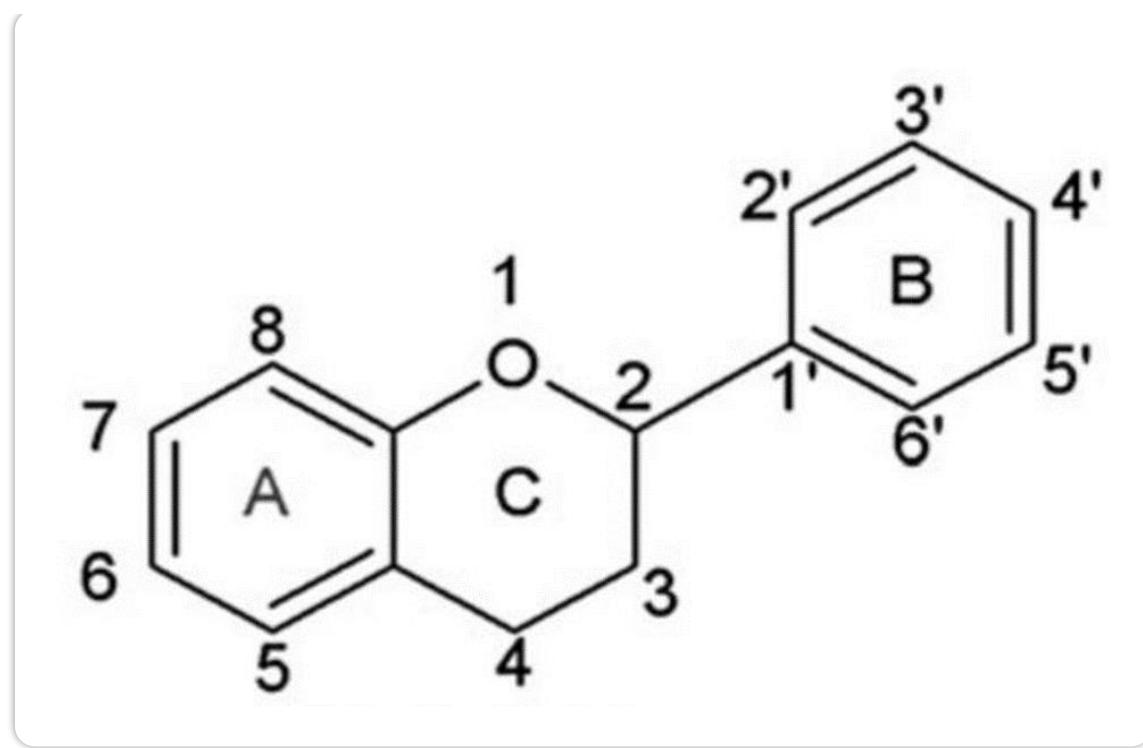
Les flavonoïdes représentent une catégorie essentielle de composés naturels. Ils font partie du groupe des métabolites secondaires végétaux et sont dotés d'une structure polyphénolique. On les retrouve en grande quantité dans les fruits, les légumes ainsi que dans certaines infusions. Ils se distinguent par leurs propriétés biochimiques et antioxydantes bénéfiques, jouant un rôle dans la prévention ou la réduction de pathologies telles que le cancer, la maladie d'Alzheimer et l'athérosclérose (**Burak et imen, 1999 ; Lee et al., 2009**).

Les flavonoïdes sont isolés à partir des plantes et localisés dans diverses parties de celles-ci, où ils participent à leur croissance et à leur protection contre les maladies (**Havsteen, 2002 ; Panche et al., 2016**).

#### III.1.2.2. Structure

Les flavonoïdes constituent un groupe important de métabolites produits par les plantes. Ils font partie de la famille des composés polyphénoliques. Leur structure chimique est composée de 15 atomes de carbone, organisés en deux cycles aromatiques reliés par une chaîne

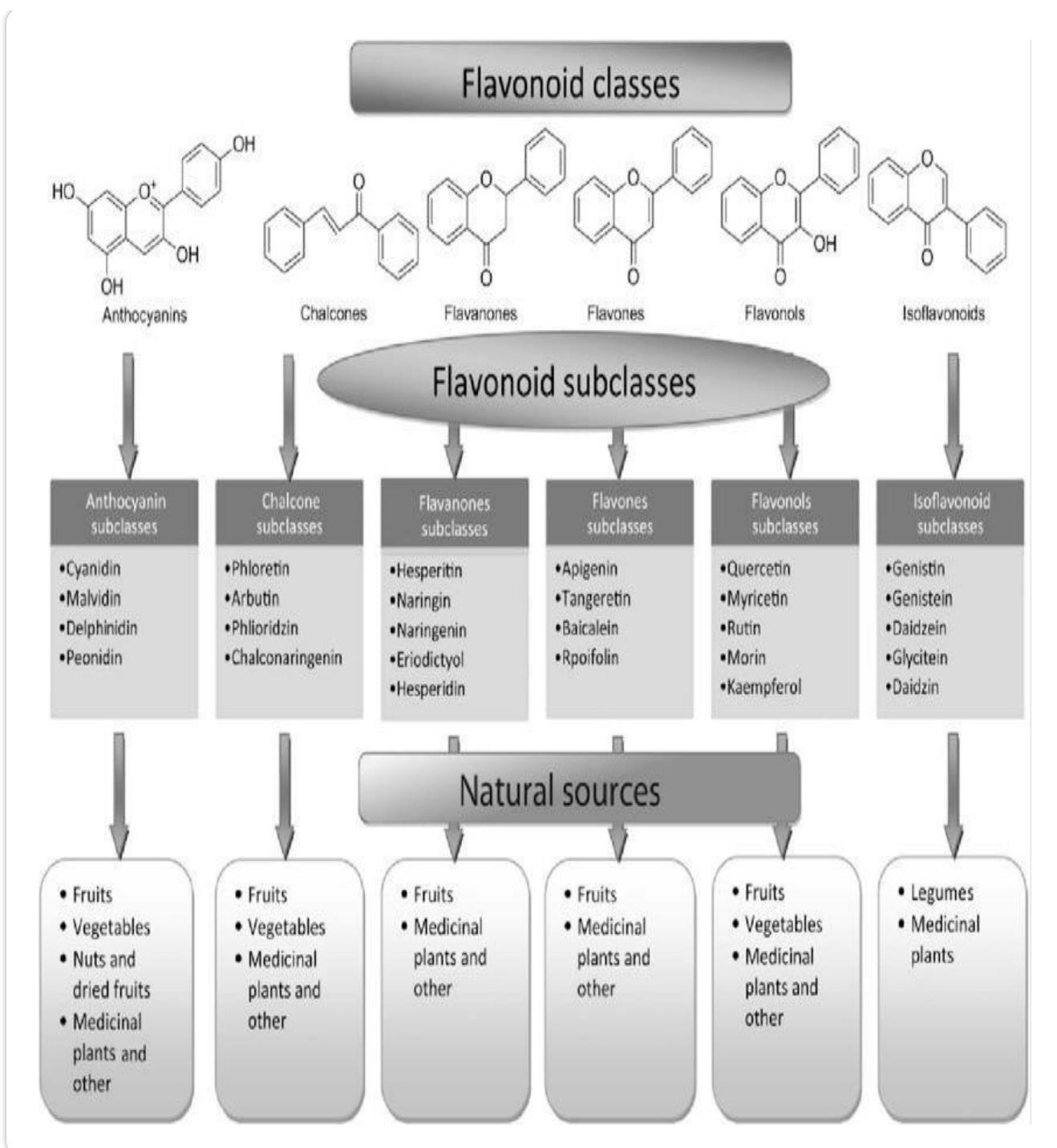
De trois atomes de carbone (**Harborne, 2013 ; Prabhu et al., 2021**).



**Figure 08 :** Structure Des Flavonoïdes (**Panche et al., 2016** ).

### III.1.2.3. Classification

Les flavonoïdes se classent en plusieurs sous- groupes selon la position de fixation de l'anneau B sur l'anneau C, ainsi que selon le niveau d'instauration et d'oxydation de ce dernier (**Panche et al., 2016**) (Figure 09).



**Figure 09 :** Classes, sous-classes et sources naturelles de flavonoïdes (**Panche et al., 2016**).

### ➤ Les Flavones

Les Flavones représentent l'un des sous-groupes essentiels des flavonoïdes.

Elles sont largement présentes dans les feuilles, les fleurs et les fruits sous forme de composés glucosylés. Le céleri, le persil, le piment doux, la camomille, la menthe et le ginkgo biloba figurent parmi les sources principales de flavones (**Panche et al., 2016**).

Les Flavones se caractérisent par une double liaison entre les atomes 2 et 3, ainsi qu'un groupe carbonyle en position 4 du cycle C. La majorité des flavones contenues dans les fruits et légumes possèdent un groupement hydroxyle en position 5 du cycle A, tandis que d'autres hydroxyles peuvent apparaître à diverses positions. Ils sont fréquemment situés en position 7 du cycle A ou en positions 3' et 4' du cycle B, selon la classification botanique de la plante ou du fruit en question (**Panche et al., 2016**).

### ➤ Les Flavonols

Les Flavonols représentent une sous-classe de la famille des flavonoïdes, définie par la présence d'une double liaison entre le carbone 2 et le carbone 3, ainsi qu'un groupement carbonyle en position 4. Ces flavonoïdes sont fréquemment retrouvés dans diverses espèces végétales, en particulier dans des fruits et légumes tels que le chou, l'oignon, la laitue et la tomate (**Sandu et al., 2017**).

Les données récentes issues d'études cliniques indiquent que ces flavonols pourraient jouer un rôle dans la prévention et le traitement précoce des affections cardiovasculaires, dans la régénération cellulaire, la prévention de la formation de caillots sanguins, la protection des gencives humaines, ainsi que dans d'autres pathologies liées au système cardiaque (**Singla et al., 2019 ;Behl et al., 2020 ; Prabhu et al., 2021**).

### ➤ Les Flavanones

Les Flavanones se distinguent par la présence d'une chaîne saturée constituée de trois atomes de carbone et d'un atome d'oxygène au niveau du carbone C4. Elles sont souvent associées à un glycoside composé d'un disaccharide en position C7. Les flavanones sont présentes en fortes concentrations principalement dans les fruits d'agrumes, mais on les retrouve aussi dans la tomate et certaines plantes aromatiques comme la menthe (**Ignat et al., 2011**).

### ➤ Les Isoflavones

Les Isoflavones possèdent une structure similaire à celle des œstrogènes, notamment par la présence de groupes hydroxyles en positions C7 et C4, comme dans la molécule d'estradiol. Ce sont des substances phytochimiques présentes dans diverses plantes et aliments d'origine végétale, soit sous leur forme libre dite « aglycone », soit conjuguées à des glucosides tels que l'acétyle ou le malonyle. Plusieurs effets bénéfiques sur la santé leur sont attribués, ce qui a conduit à proposer leur emploi dans la prévention ou le traitement de maladies répandues comme l'athérosclérose ou le cancer (**Ignat et al., 2011 ; Rasouli et al., 2017**).

Ainsi, malgré leurs nombreux bienfaits pour la santé, les isoflavones doivent être consommées avec modération et sous surveillance médicale (**Wong et al., 2008 ; Zaheer et al., 2017 ; Prabhu et al., 2021**).

### ➤ Les Anthocyanines

Les anthocyanines sont présentes dans l'ensemble des tissus végétaux, y compris les feuilles, les tiges, les racines, les fleurs et les fruits. Les anthocyanidines représentent la structure fondamentale des anthocyanines. Ces anthocyanidines (ou aglycones) sont constituées d'un cycle aromatique A relié à un cycle hétérocyclique C contenant un atome d'oxygène, lui-même connecté par une liaison carbone-carbone à un troisième cycle aromatique B (**Konczak et Zhang, 2004**). Lorsque les anthocyanidines sont associées à un groupement sucre (sous forme de glycoside), elles sont alors désignées sous le nom d'anthocyanines (**Ignat et al., 2011**).

### ➤ Flavanonols, flavan-3-ols ou catéchines

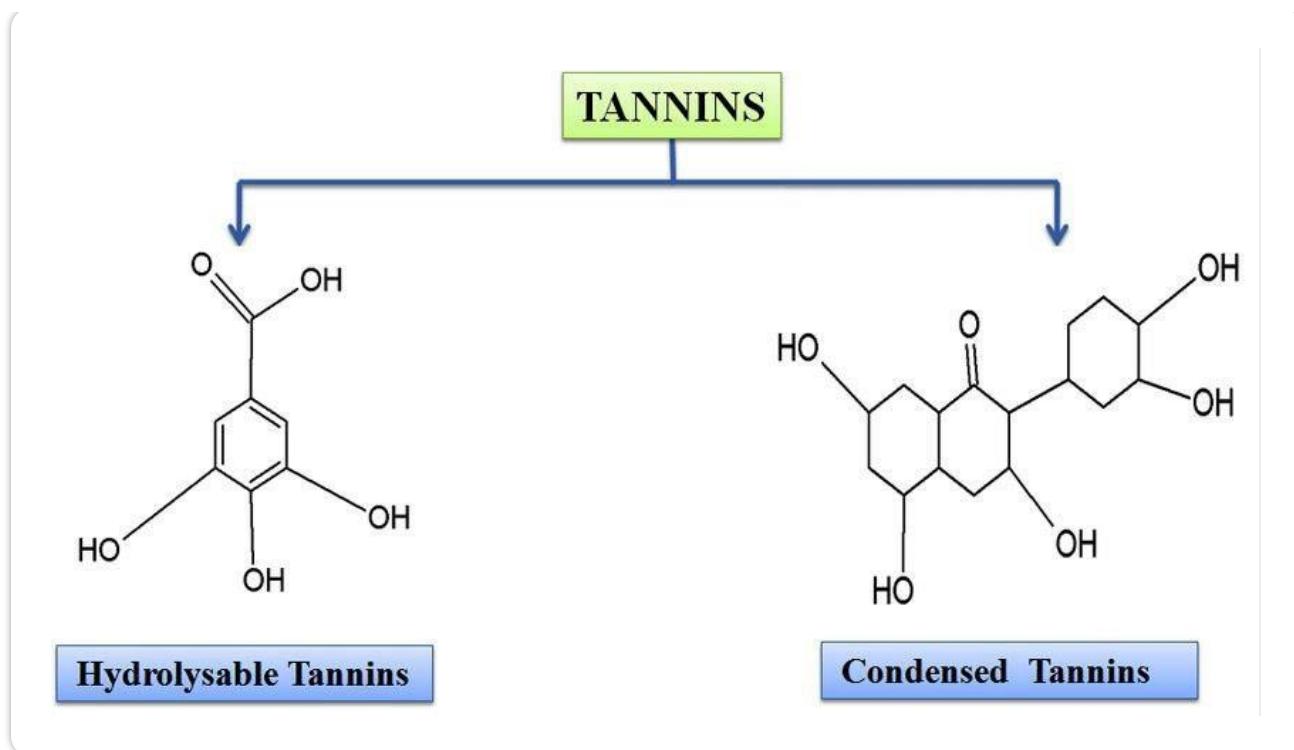
Les flavanonols, aussi appelés dihydroflavonols ou catéchines, sont des composés hydroxylés en position 3 dérivés des flavanones. Ils forment un groupe très varié et riche en substitutions (**Panche et al., 2016**).

Les flavanonols, connus également sous le nom de flavan-3-ols en raison de la présence d'un groupe OH en position 3 du cycle C, se distinguent des autres flavonoïdes par l'absence de double liaison entre les carbones 2 et 3. On les retrouve en grande quantité dans les fruits comme la banane, la pomme, la myrtille, la pêche et la poire (**Panche et al., 2016**).

### III.1.3. Tanins

#### III.1.3.1. Définition

Les tanins désignent un ensemble de polyphénols à structure complexe, incluant les tanins hydrolysables, les proanthocyanidines (également appelées tanins condensés) (**Suvanto et al., 2017 ; Bule et al., 2020**).



**Figure 10 :** Types de tanins et leurs structures de base (**Macheix et al., 2005**).

#### ➤ Tanins hydrolysables

Les tanins hydrolysables sont composés de liaisons esters hydrolysables reliant les principales structures chimiques. Ils se trouvent largement dans la nature et se distinguent par la présence de plusieurs esters d'acide gallique liés au glucose (**Blenn et al., 2011**). La structure des tanins contient généralement entre 5 et 7 cycles aromatiques, et inclut de 12 à 16 groupes phénoliques pour chaque 1000 unité de masse moléculaire relative (**Bule et al., 2020**).

#### ➤ Tanins condensées (tanins vrais ou tannoïdes)

Les Tanins condensés, aussi appelés proanthocyanidines, sont largement répandus dans l'alimentation humaine. Ils sont présents dans les graines de raisin, les pommes, les fruits rouges, le vin rouge, le chocolat, le cacao, entre autres. Comparés aux tanins hydrolysables, les tanins

condensés sont plus fréquents dans le règne végétal et présentent une structure plus élaborée (**Cai et al., 2017; Bule et al., 2020**).

Les Tanins condensés sont formés biosynthétiquement par l'enchaînement progressif des unités de base, donnant lieu à des chaînes contenant de deux à plus de cinquante unités (**Khanbabae et Van Ree, 2001**).

### III.1.4. Effets biologiques des polyphenols

En phytothérapie, les effets thérapeutiques de nombreuses plantes médicinales sont attribués, en totalité ou en partie, aux composés phénoliques qu'elles contiennent. Ces substances possèdent des propriétés biologiques qui contribuent au maintien de la santé humaine (**Gomez-Caravaca et al., 2006**).

Les polyphénols présentent des propriétés anti-inflammatoires et jouent un rôle immunostimulant en favorisant l'augmentation des lymphocytes T dans le sang (**Stefanova et al., 2007**).

Par ailleurs, certains polyphénols possèdent des activités cytostatiques. Les flavonoïdes, qui constituent une grande sous- catégorie des composés phénoliques, protègent les tissus contre les rayons ultraviolets grâce à leurs propriétés antioxydantes et anticancéreuses (**Martin et Andriantsitohaina, 2002**).

## III.2. Les alcaloïdes

### III.2.1. Définition

Un alcaloïde est une substance d'origine naturelle, principalement végétale, contenant de l'azote, présentant un caractère plus ou moins basique, à distribution limitée (**Merghem, 2009**).

### III.2.2. Classification

Les alcaloïdes sont classés en trois types principaux, couvrant l'ensemble de leurs structures chimiques. Cette classification se base principalement sur l'origine de l'atome d'azote et sa présence ou non dans un cycle hétérocyclique (**Hesse, 2002 ; Alimat, 2015**).

#### ❖ Alcaloïdes vrais (Alcaloïdes véritables)

L'atome d'azote provient d'un acide aminé et se trouve intégré dans un cycle hétérocyclique. La majorité des alcaloïdes appartiennent à ce groupe (**Bruneton, 1999**).

❖ **Alcaloïdes primaires (Proto -alcaloïdes)**

L'atome d'azote est également issu d'un acide aminé, mais il n'est pas inclus dans un cycle hétérocyclique (**Alimat, 2015**).

❖ **Pseudo- alcaloïdes**

L'atome d'azote ne provient pas d'un acide aminé, mais il fait partie d'un cycle hétérocyclique (**Biri et Lezbache ,2019**).

### III.2.3.Effets biologique des alcaloïdes

Les Plantes produisent de nombreux métabolites secondaires qui présentent une activité biologique. Parmi ces composés, les alcaloïdes montrent un large spectre d'activités. Dans la nature, ces substances ne sont pas uniquement produites pour se défendre contre les herbivores, mais également pour réduire les infections bactériennes ou fongiques. Par conséquent, ces composés possèdent un fort potentiel dans les domaines de la médecine, de la protection des plantes, de la médecine vétérinaire et de la toxicologie. C'est pourquoi la recherche sur ces substances et leurs propriétés se développe intensément dans de nombreux domaines (**Adamski et al., 2020**).

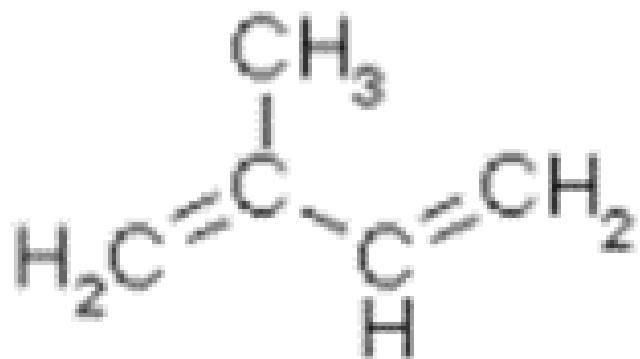
Le spectre d'activité des alcaloïdes est également très large, certains d'entre eux présentant des propriétés antivirales, antibactériennes, anti-inflammatoires et anticancéreuses. Ainsi, de nombreuses études s'intéressent aux aspects thérapeutiques des alcaloïdes ainsi qu'à leur mode d'action (**Adamski et al., 2020**).

## III.3. Les terpenoides

### III.3.1.Définition

Le mot " terpénoïde" désigne un ensemble de composés qui partagent l'ossature des terpènes, mais qui se distinguent par la présence d'une ou plusieurs fonctions chimiques, telles qu'un alcool, un aldéhyde, une cétone, un acide, une lactone,...etc (**Malecky, 2008**).

Les terpènes sont des composés hydrocarbonés naturels, possédant une structure soit cyclique, soit linéaire. Leur formule générale est  $(C_5H_x)_n$ , où x varie selon le niveau d'insaturation de la molécule, et n peut aller de 1 à 8, à l'exception des polyterpènes qui peuvent atteindre plus de 100 unités (comme dans le cas du caoutchouc). L'unité fondamentale est l'isoprène, de formule  $C_5H_8$  (**Malecky, 2008**).



**Figure 11** : La molécule d'isoprène (Malecky, 2008).

### III.3.2. Classification

Ils sont classés en :

- **Hémiterpènes**

Dans la nature, les composés naturels présentant une formule de C5 ramifiée sont rares. Parmi les composés naturels identifiés chez les plantes et pouvant être considérés comme des hémiterpènes, seul l'isoprène présente l'ensemble des caractéristiques biogénétiques propres aux terpènes (Loomis et Croteau, 1980 ; Malecky ,2008).

- **Monoterpènes**

Plus de 900 monoterpènes connus se trouvent principalement dans 3 catégories structurelles : les monoterpènes linéaires (acycliques), les monoterpènes avec un cycle unique (monocycliques) et ceux avec deux cycles (bicycliques). Ils résultent d'une fusion typique tête-à-queue des unités d'isoprène (Allen et al ., 1977 ; Malecky, 2008).

- **Sesquiterpènes**

C'est la famille la plus variée des terpènes, avec plus de 3000 composés.

Les sesquiterpènes se classent en différentes structures : linéaires, à un cycle, à deux cycles, à trois cycles, ou à cycles multiples (Malecky, 2008).

- **Diterpènes**

Les diterpènes sont des composés formés de 20 atomes de carbone (C20), construits à partir de quatre unités d'isoprène. Ils dérivent du précurseur géranyl géranyl pyro phosphate (GGPP). Ces substances se retrouvent principalement chez les plantes supérieures, dans les résines ou les gibberellines, ainsi que chez certains champignons (Malecky, 2008).

On dénombre environ 2700 diterpènes dans la nature, majoritairement sous forme cyclique. Parmi les diterpènes linéaires, on distingue la famille des Phytanes, dont le phytol est le représentant le plus connu, présent dans la chlorophylle ainsi que dans les vitamines K et E. Les diterpènes cycliques, quant à eux, sont des dérivés du cyclophytane. Le rétinol et le rétinal, deux formes de la vitamine A, figurent parmi les plus connus de cette catégorie (Malecky, 2008).

- **Triterpènes**

Les Triterpènes de type C30 sont produits à partir de deux unités de farnésylpyrophosphate par une réaction de condensation de type « tête-à-tête ». Plus de 1700 triterpènes ont été identifiés chez les êtres vivants, dont la majorité présente une structure tétracyclique ou pentacyclique, tandis que la forme linéaire est très rare (Malecky, 2008).

La Plupart des triterpènes sont des composés alcooliques, présents soit sous forme libre, glycosidique, ou sous forme estérifiée. Les triterpènes libres sont largement présents dans les résines ou le latex des plantes. La vitamine D2 est un dérivé issu des triterpènes (Malecky, 2008).

- **Tétraterpènes**

Un tétraterpène est une molécule naturelle formée de 40 atomes de carbone. Elle est composée de 8 unités d'isoprène. On les trouve dans les caroténoïdes, des pigments colorés (comme dans les carottes ou les tomates) (Merghem, 2009).

- **Les polyterpènes**

Sont des composés macromoléculaires constitués de plus de huit unités d'isoprène. Ce sont des hydrocarbures isoprénoides polymérisés comprenant entre 500 et 5000 unités isopréniques, disposées sous forme Cis (comme dans le caoutchouc indien) ou Trans (comme dans la gutta-percha) (Merghem, 2009).

### **III.3. 3. Effets biologiques**

En Plus de leur activité antitumorale, anti-inflammatoire, antibactérienne, antivirale, antipaludique, ainsi que de leur rôle dans la prévention et le traitement des maladies cardiovasculaires et de leur activité hypoglycémiante, les terpénoïdes possèdent également d'autres activités biologiques et pharmacologiques, telles que la résistance aux insectes, la régulation immunitaire, l'effet antioxydant, et la neuroprotection (**Yang et al., 2019**).

## ***Deuxième partie : Etude expérimentale***

### ➤ Matériel et Méthodes

- ✓ *Etude expérimentale in vitro*
- ✓ *Etude expérimentale in vivo*

### ➤ Résultats

- ✓ *Résultats de l'étude expérimentale in vitro*
- ✓ *Résultats de l'étude expérimentale in vivo*

### ➤ Discussion

- ✓ *Discussion de l'étude expérimentale in vitro*
- ✓ *Discussion de l'étude expérimentale in vivo*

## I. Matériel et méthodes

### 1. Etude in vitro

#### 1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal étudié dans ce travail est constitué de feuilles de la plante *Moringa oleifera* (voir Figure 06). La plante est achetée chez un herboriste à Oud el Atmania wilaya de MILA.

L'extraction des substances bioactives contenues dans cette plante est réalisée au niveau du laboratoire de Zoologie de l'Université Frères Mentouri Constantine 1.



**Figure12** : Feuilles de la plante *Moringa Oleifera*

#### 1.2. Préparation de l'extrait

Après le broyage de la plante (275g), la matière végétale obtenue est soumise à une macération trois fois pendant 72 h avec un mélange du méthanol-eau (70 : 30), le macérât obtenu est ensuite filtré puis concentré à sec sous pression (jusqu'à 39 °C) à l'aide d'un évaporateur rotatif. L'extrait sec concentré est conservé jusqu'à son utilisation.



a- Broyage



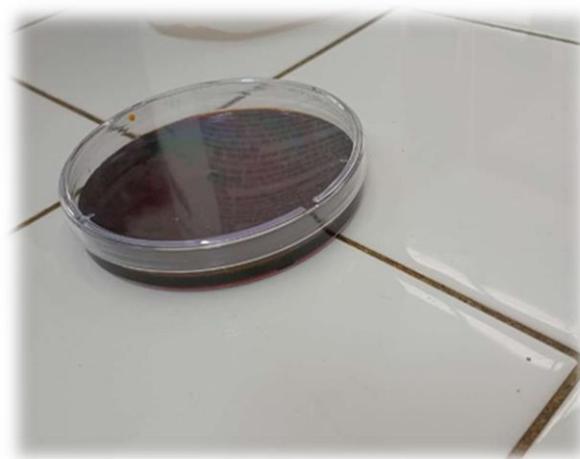
b- Macération



c- Filtration



d- Evaporation



e- Extrait brut

**Figure13** : Etapes d'extraction de la plante *Moringa oleifera*

### 1.3. Caractérisation quantitative des polyphénols et des flavonoïdes

#### 1.3.1. Dosage des polyphénols totaux

##### ➤ Principe

Le réactif de Folin-Ciocalteu est composé par un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et phosphomolibdique ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ), sous l'action des phénols il est réduit en un mélange d'oxyde bleu de tungstène ( $W_8O_{23}$ ) et de molybdène ( $Mo_8O_{23}$ ). La coloration, obtenue dont le maximum d'absorbance se situe entre 725 et 750 nm, est proportionnelle à la teneur en polyphénols présents dans les extraits végétaux (Harju et Martti, 2006).

##### ➤ Mode opératoire

La teneur en composés phénoliques totaux dans l'échantillon a été déterminée en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu selon la méthode de Dewanto et al., (2002). Un volume de 125 $\mu$ l d'extrait préalablement dilué est ajouté dans un tube contenant 500 $\mu$ l d'eau distillée, suivi de l'ajout de 125 $\mu$ l du réactif de Folin-Ciocalteu. Après une agitation vigoureuse suivie d'un repos de 3 min, on ajoute 1250 $\mu$ l d'une solution de carbonate de sodium ( $Na_2CO_3$ ) à 7%. Ensuite, le volume total du mélange est ajusté à 3ml avec l'eau distillée. Le tube est laissé au repos pendant 90 min à température ambiante et à l'abri de la lumière, puis l'absorbance est mesurée à 760 nm. Les concentrations des polyphénols totaux sont extrapolées à partir de l'équation de régression de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique, les valeurs sont exprimées en mg équivalent d'acide gallique par g d'extrait (mg GAE/ g d'extrait).

#### 1.3.2. Dosage des flavonoïdes totaux

##### ➤ Principe

Les flavonoïdes présentent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5, capable de réagir avec un groupement carbonyle (CO) pour former un complexe coloré en présence de chlorure d'aluminium. Ils peuvent également se lier aux métaux, tels que le fer ou l'aluminium, par chélation, donnant lieu à des complexes de teinte jaunâtre. Cette interaction reflète la capacité de l'aluminium à céder deux électrons pour se coordonner avec deux atomes d'oxygène issus de la structure phénolique des flavonoïdes, qui agissent comme donneurs d'électrons (Harju et Martti, 2006).

➤ Mode opératoire

Pour quantifier les flavonoïdes de l'extrait, une méthode basée sur l'utilisation du trichlorure d'aluminium ( $\text{AlCl}_3$ ) avec quelques ajustements, a été employée (Brighente *et al.*, 2007). En bref, 1 ml de la solution d'extraits est mélangé à 1 ml de chlorure d'aluminium (2% dans le Méthanol). Après une incubation de 60 min à température ambiante, l'absorbance est mesurée à 415 nm à l'aide d'un spectrophotomètre, en utilisant un blanc comme référence. La présence de flavonoïdes est indiquée par l'apparition d'une coloration jaune. Les échantillons ont été préparés en trois réplicats. La quantification des flavonoïdes a été effectuée à l'aide d'une courbe d'étalonnage établie à partir d'un flavonoïde standard, la quercétine. La teneur en flavonoïdes est exprimée en milligramme d'équivalent de quercétine par gramme d'extrait de la plante.

#### 1.4. Evaluation de l'activité antioxydante

##### 1.4.1. Effet anti-radicalaire par le test au DPPH°

➤ Principe

La réduction du radical libre DPPH° (2,2'-diphenyle-1-picryl hydrazyl) par un antioxydant peut être suivie par spectrophotométrie UV- Visible, en observant la diminution de l'absorbance à 517 nm induite par l'action des antioxydants. En présence des piégeurs de radicaux Libres, le composé violet 2,2 Diphenyl 1 picryl hydrazyl est réduit en 2,2 Diphenyl 1 picryl Hydrazine de couleur jaune (Molyneux, 2004).

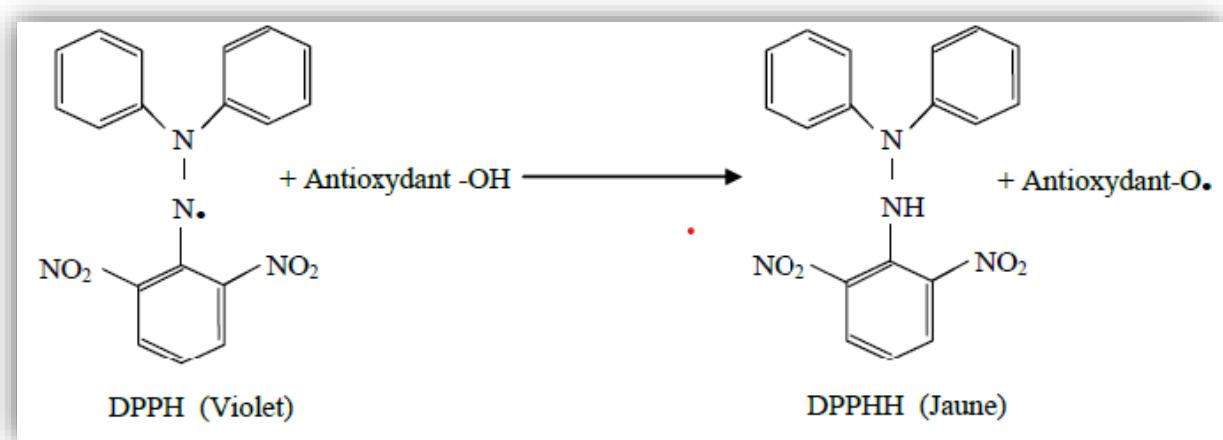


Figure 14 : Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH (Molyneux, 2004).

### ➤ Mode opératoire

L'activité anti-radicalaire libre est réalisée par la méthode décrite par **Blois, (1958)**. En bref, 160  $\mu$ L de solution de DPPH. (0.006%) a été mélangé avec 40  $\mu$ L de différentes dilutions d'extrait de plante. Après 30 minutes d'incubation à l'abri de la lumière et à température ambiante, l'absorbance est lue à 517 nm.

BHA, BHT et  $\alpha$ -tocophérol ont été utilisés comme contrôle ou standard positif. Le % d'inhibition de l'activité anti-radicalaire a été calculé en utilisant l'équation suivante :

$$\text{IC50 (\%)} = \frac{[(\text{Abs Contrôle} - \text{Abs extrait})]}{\text{Abs contrôle}} \times 100$$

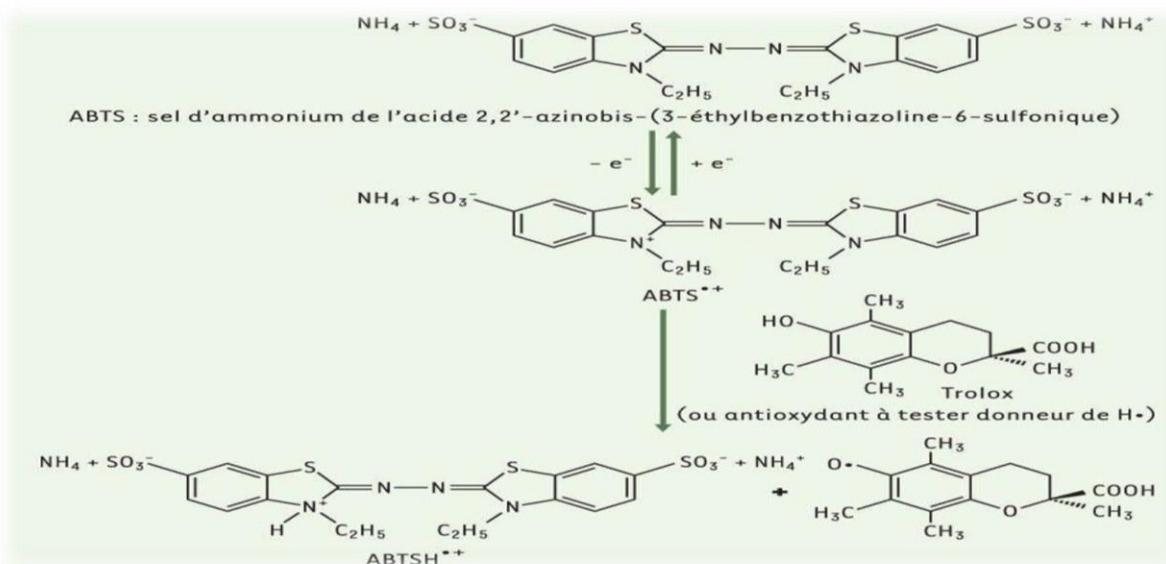
- Abs contrôle est l'absorbance de la réaction ne contenant que les réactifs.
- Abs Extrait est l'absorbance de la réaction contenant les réactifs et l'extrait.

Les résultats ont été donnés sous forme d'IC50 ( $\mu$ g/ml) correspondant à la concentration de 50% d'inhibition.

#### 1.4.2. Test de décoloration du radical ABTS<sup>•+</sup>

### ➤ Principe

Le radical ABTS<sup>•+</sup> est formé par arrachement d'un électron (e<sup>-</sup>) à un atome d'azote de la molécule d'ABTS. En présence d'un antioxydant donneur de (H<sup>•</sup>), cet atome d'azote capte un atome d'hydrogène, ce qui conduit à la régénération de L'ABTS et entraîne la décoloration de la solution (**Marc et al., 2004**).



**Figure15** : Formation et piégeage du radical ABTS<sup>•+</sup> par un antioxydant donneur de H<sup>•</sup> (Marc et al., 2004).

### ➤ Mode opératoire

La méthode de dosage utilisée est celle décrite par Re et al., (1999). La solution d'ABTS est préparée en dissolvant 19,2mg d'ABTS (7mM) dans 5ml d'eau distillée, puis en ajoutant 3,3mg de persulfate de potassium (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) (2,45mM). Ensuite, on complète le mélange avec 5ml supplémentaire d'eau distillée. La solution obtenue est incubée à l'abri de la lumière pendant 12 à 16 heures. L'absorbance finale est ajustée à l'aide d'eau distillée ou de méthanol à 0,700±0,020 à 734 nm avant l'usage.

En bref, 160 µl de solution ABTS ont été ajoutés à 40 µl de solution d'extrait dans le méthanol à différentes concentrations. Après 10 min, l'absorbance a été mesurée à 734 nm. Le méthanol a été utilisé comme témoin, le BHA et le BHT ont été utilisés comme des normes antioxydants pour la comparaison de l'activité d'extrait.

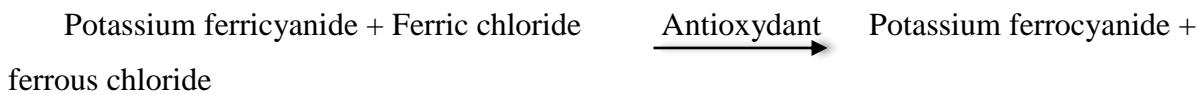
La capacité de piégeage de l'ABTS<sup>•+</sup> a été calculée en utilisant l'équation suivante :

$$IC50 (\%) = \frac{[(Abs \ Contrôle - Abs \ extrait)]}{Abs \ contrôle} \times 100$$

### 1.4.3. Test du pouvoir réducteur

#### ➤ Principe

Les substances ayant un pouvoir réducteur réagissent avec le ferricyanure de potassium (Fe3+), le réduisant en ferrocyanure de potassium (Fe2+). Ce dernier réagit ensuite avec le chlorure ferrique pour former un complexe du fer ferrique, dont l'absorption maximale se situe à 700 nm (**Oyaizu, 1986**).



#### ➤ Mode opératoire

Ce test a été réalisé selon la méthode décrite par **Oyaizu, (1986)**. Brièvement, 10 µL de solution d'échantillon à différentes concentrations ont été mélangés avec 40 µL de tampon phosphate pH (6,6) et 50 µL de ferricyanure de potassium (K3Fe(CN) 6) à 1%. Le mélange a été incubé à 50°C pendant 20 minutes. Ensuite, 50 µL de tri-chloroacétique (TCA) (10%), 40 µL d'H<sub>2</sub>O et 10 µL de chlorure ferrique (FeCl<sub>3</sub>) (0,1%) ont été ajouté au mélange.

L'absorbance a été mesurée à 700 nm à l'aide d'un lecteur de microplaques à 96 puits. L'acide ascorbique et α-tocopherol ont été utilisés comme standards.

## 2. Etude in vivo

### 2.1. Evaluation de l'activité anti-inflammatoire

#### 2.1.1. Induction de l'œdème dans la patte par le formol

L'expérience a été effectuée selon la méthode décrite par **Ardeshir et al., (2015)**. Elle a été réalisée sur des rats wistar Albino.

Les rats pesant (180- 300g) sont regroupés par lot de quatre. Ils ont été mis à jeun 12 heures avant l'administration des substances expérimentales et répartis en trois groupes :

**Groupe I contrôle négatif** : Les rats témoins qui reçoivent par voie intrapéritonéale l'eau physiologique à la dose de (5ml/kg).

**Groupe II contrôle positif** : Les rats recevant par voie intrapéritonéale l'aspirine à la dose de 300 mg/kg.

**Groupe III extrait** : les rats recevant l'extrait brut de *Moringa oleifera* à la dose de 100 mg/kg

Une demi- heure plus tard, l'inflammation a été provoquée par l'injection de 0.1 mL de formol 2,5% sous l'aponévrose plantaire de la patte postérieure droite des rats.

### **2.1.2. Estimation du volume de l'œdème de la patte**

La progression du volume de l'œdème de la patte droite des rats a été mesurée une demi-heure avant l'induction de l'œdème et à (1, 2, 3 ,4 et 5h) après l'injection de Formol en utilisant le vernier caliper numérique. L'œdème a été traduit par une augmentation en épaisseur des pattes (mm) due à l'effet inflammatoire. Pour chaque groupe traité, les diamètres moyens obtenus à ces différents relevés, extraits ou aspirine ( $D_t$ ) ont été comparés à celui obtenu avant tout traitement ( $D_0$ ), nous permettant ainsi de calculer les pourcentages d'œdème (pourcentage d'inhibition), à partir de la formule suivante :

$$\% \text{ inhibition} = (D_t - D_0 / D_0) \times 100$$

$D_0$  : Représente le diamètre de la patte à  $t=0$  (avant injection du formol).

$D_t$  : Représente le diamètre de la patte à un temps  $t$  quelconque.

## **3. Analyse statistique**

Les résultats ont été exprimés sous forme de moyens  $\pm$  écarts-types. L'analyse des résultats de l'étude in vitro a été réalisée par Microsoft® Office Excel 2013. L'évaluation de l'activité anti-inflammatoire a été effectuée par logiciel SPSS.

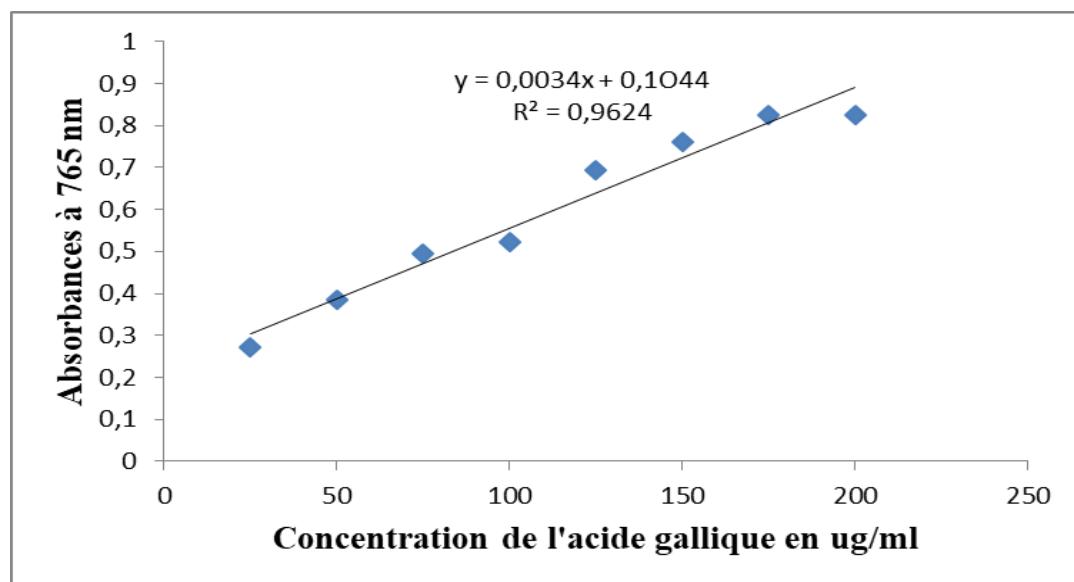
## II. Résultats

### II.1. Caractérisation quantitative de *Moringa oleifera*

#### II.1.1. Teneur de l'extrait en polyphénols et flavonoïdes totaux

##### ❖ Teneur en polyphénols totaux

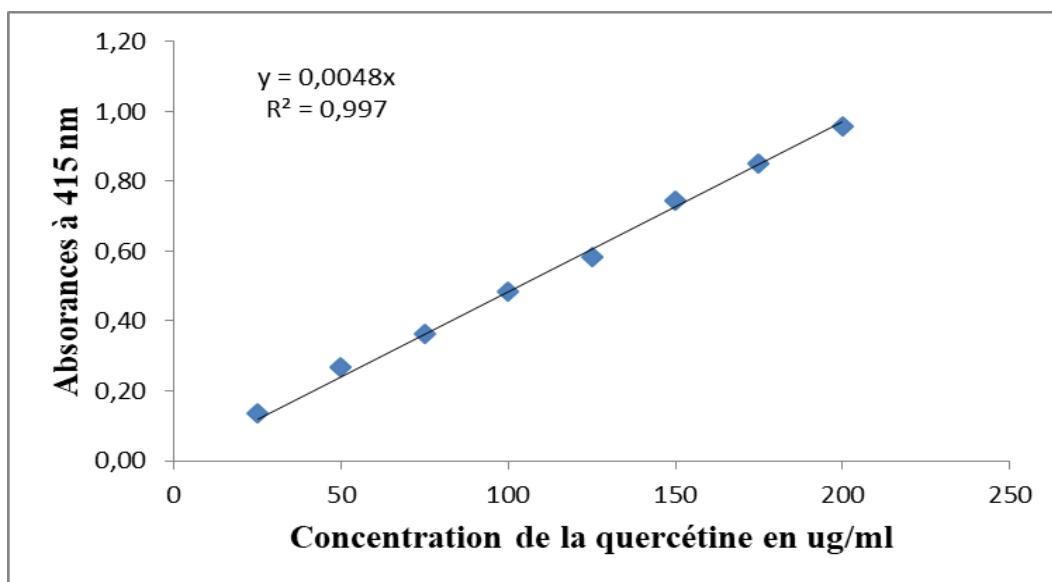
Les résultats sont représentés à l'aide d'une courbe d'étalonnage qui comporte une équation spécifique ( $y = 0,0034x + 0,1044$  ;  $R^2 = 0,9624$ ) (Figure16). Les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique par g d'extrait (mg EAG/ g d'extrait).



**Figure 16 :** Droite d'étalonnage d'acide gallique (Moyenne  $\pm$  SD trois essais).

##### ❖ Teneur en flavonoïdes totaux

Les flavonoïdes ont été dosés par utilisation de la méthode du trichlorure d'aluminium, tout en utilisant la quercétine comme standard. Les résultats sont représentés à l'aide d'une courbe d'étalonnage qui comporte une équation spécifique ( $y = 0,0048x$  ;  $R^2 = 0,997$ ) (Figure17). Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent de quercétine par gramme d'extrait de la plante (mg EQ/g d'extrait)



**Figure17** : Droite d'étalonnage de la quercétine (Moyenne  $\pm$  SD trois essais).

Les résultats présentés dans le tableau 4 indiquent que l'extrait de la plante étudiée possède une teneur en polyphénols et flavonoïde égale à  $179,09 \pm 0,68$  mg EAG/g EXT et  $28,47 \pm 0,00$  mg EQ/g EXT respectivement.

**Tableau 04** : Teneur en polyphénols totaux et des flavonoïdes

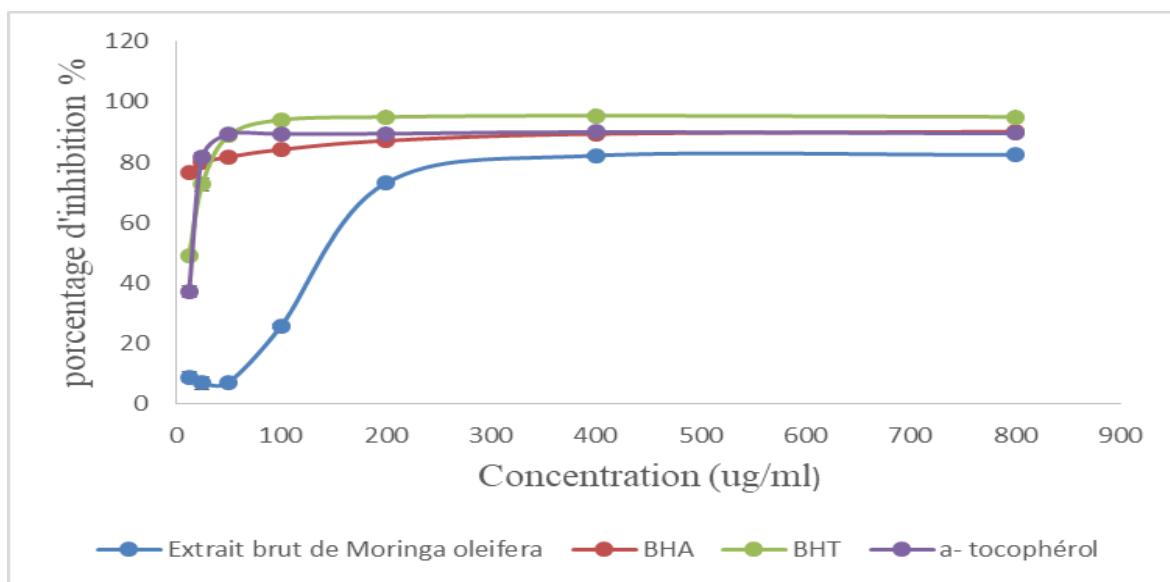
Extrait	Teneur en polyphénols	Teneur en flavonoïdes
	(mg EAG/g extrait)	(mg EQ/g extrait)
<b>Extrait hydro-méthanolique de <i>Moringa oleifera</i></b>	$179,09 \pm 0,68$	$28,47 \pm 0,00$

## II.2. Evaluation de l'activité antioxydante in vitro

L'évaluation de l'activité antioxydante a été réalisée à l'aide de trois tests visant à mesurer le pouvoir antioxydant de l'extrait hydro-méthanolique de la plante *Moringa oleifera*, comparé à celui de molécules de référence.

### II.2.1. Le test de piégeage du radical DPPH

D'après les résultats présentés dans la Figure 18, on observe que le taux d'inhibition du radical DPPH augmente proportionnellement à l'augmentation de la concentration, aussi bien pour les standards BHA, BHT et  $\alpha$ -Tocophérol ou pour l'extrait testé.



**Figure18 :** Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction de la concentration d'extract hydro-méthanolique de *Moringa oleifera*

Il a été constaté que, pour toutes les concentrations testées, le pourcentage d'inhibition du radical DPPH par l'extract étudié était inférieur à celui des standards. Par exemple, à une concentration de 100ug/ml, les pourcentages d'inhibition du radical DPPH étaient de 84,18% pour le BHA, 94% pour le BHT et 89,38% pour l'a-tocophérol. À la même concentration, l'extract hydro-méthanolique a révélé un pourcentage d'inhibition de 25,73%. Ceci témoigne d'une inhibition partielle, manifestée par le changement de couleur du violet au jaune pâle.

L'IC<sub>50</sub> (concentration inhibitrice 50) est inversement proportionnelle à l'activité antioxydante d'un composé, car elle indique la quantité nécessaire d'antioxydants pour réduire de 50% la concentration des radicaux libres. Ainsi, plus la valeur de l'IC<sub>50</sub> est faible, plus la capacité antioxydante du composé est élevée (Ismaili *et al.*, 2017).

La concentration nécessaire pour réduire de 50 % le radical libre DPPH a été déterminée à partir des équations de régression linéaire obtenues à partir des graphiques. Les résultats correspondants sont présentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 05** : Le pouvoir antioxydant du radical DPPH (exprimé par IC50 (en  $\mu\text{g}/\text{ml}$ ) des antioxydants de références et d'extrait testé.

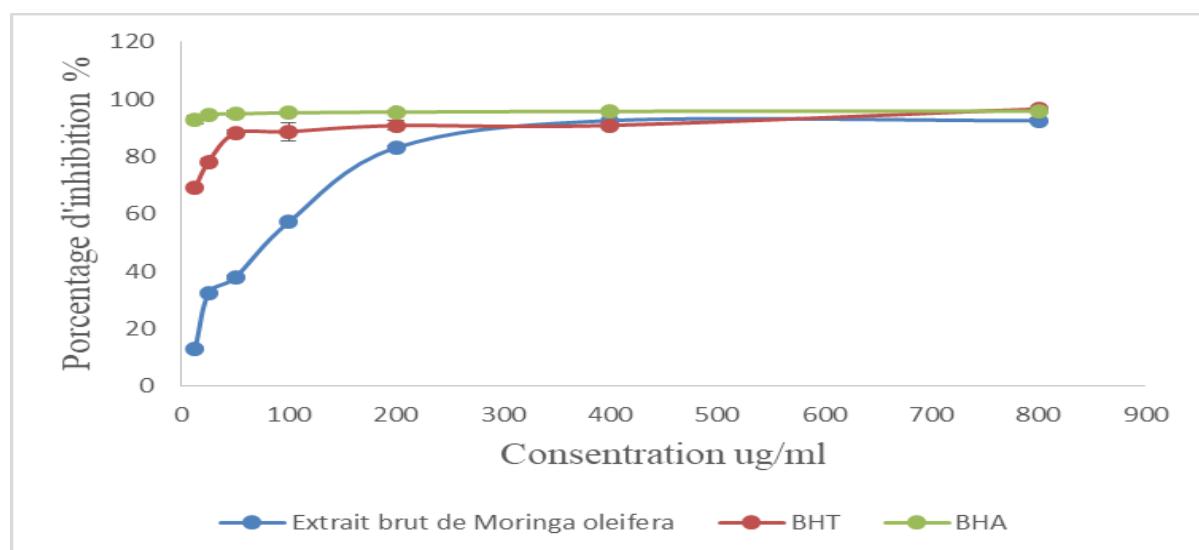
IC <sub>50</sub> ± Ecart type (En $\mu\text{g}/\text{ml}$ )	
<b>Extrait de <i>Moringa oleifera</i></b>	149,61±1,20
<b>BHA</b>	6.14±0.41
<b>BHT</b>	12.99±0.41
<b><math>\alpha</math>-Tocophérol</b>	13.02±5,17

Selon les données du tableau 5, l'extrait est doté d'un pouvoir antioxydant faible avec une IC<sub>50</sub> de 149,61±1,20  $\mu\text{g}/\text{ml}$  par rapport aux molécules de références BHA 6.14±0.41  $\mu\text{g}/\text{ml}$ , BHT 12.99±0.41  $\mu\text{g}/\text{ml}$  et  $\alpha$ -Tocophérol 13.02±5,17  $\mu\text{g}/\text{ml}$ .

### II.2.2. L'activité de Piégeage du radical cation ABTS<sup>•+</sup>

Les résultats illustrés dans la figure 19, indiquent une augmentation du taux d'inhibition du radical ABTS<sup>•+</sup> en fonction de l'augmentation de la concentration.

L'extrait hydro-méthanolique de la plante *Moringa oleifera* a présenté un pourcentage d'inhibition du radical ABTS<sup>•+</sup> nettement inférieur à ceux des standards de référence utilisés dans cette étude. À une concentration de 100 $\mu\text{g}/\text{ml}$  le BHA a montré un pourcentage d'inhibition du radical ABTS<sup>•+</sup> de 95.32%, suivi par le BHT 88,76 %. À la même concentration, l'extrait hydro-méthanolique a révélé un pourcentage d'inhibition de 57,20%.



**Figure 19** : Pourcentage d'inhibition du radical libre ABTS<sup>•+</sup> en fonction de la concentration d'extrait hydro-méthanolique de la plante *Moringa oleifera*.

**Tableau 06** : Le pouvoir antioxydant du radical ABTS<sup>•+</sup> (exprimé par IC50 (en µg /ml)) des antioxydants de références et d'extrait testé

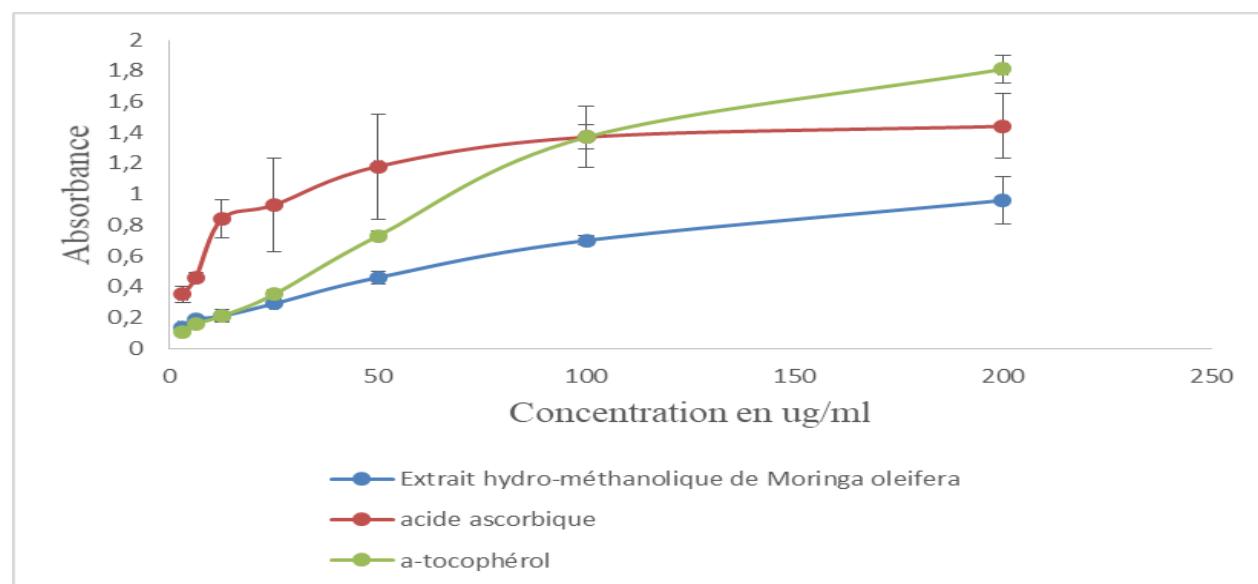
IC50 ±Ecart type (En µg /ml)	
<b>Extrait de <i>Moringa oleifera</i></b>	80,55±0,43
<b>BHA</b>	1,81±0,10
<b>BHT</b>	1,29±0,30

Selon les résultats illustrés dans le tableau 6, l'extrait est doté d'un pouvoir antioxydant faible avec une IC<sub>50</sub> égale à 80,55±0,43 µg/ml, par rapport aux standards le BHA (1,81±0,10 µg/ml) et le BHT (1,29±0,30 µg/ml).

### II.2.3.Pouvoir réducteur du fer (FRAP)

Les résultats présentés dans la figure 20 mettent en évidence une relation proportionnelle entre la réduction du fer et les concentrations utilisées. L'augmentation de l'absorbance reflète ainsi une élévation du pouvoir réducteur de l'extrait testé.

L'extrait de la plante étudiée a le pouvoir de réduire le fer ferrique (Fe<sup>3+</sup>) en fer ferreux Fe<sup>2+</sup> avec une valeur égal à 0,96±0,15nm à la concentration 200 ug/mL, ce qui représente une activité notable par rapport aux standards utilisés : acide ascorbique et  $\alpha$ -Tocopherol (1,44±0,21 nm et 1,81±0,09 nm) respectivement.



**Figure 20** : Test de la réduction du Fer par l'extrait hydro-méthanolique de la plante *Moringa oleifera* et des standards (acide ascorbique,  $\alpha$ -Tocophérol).

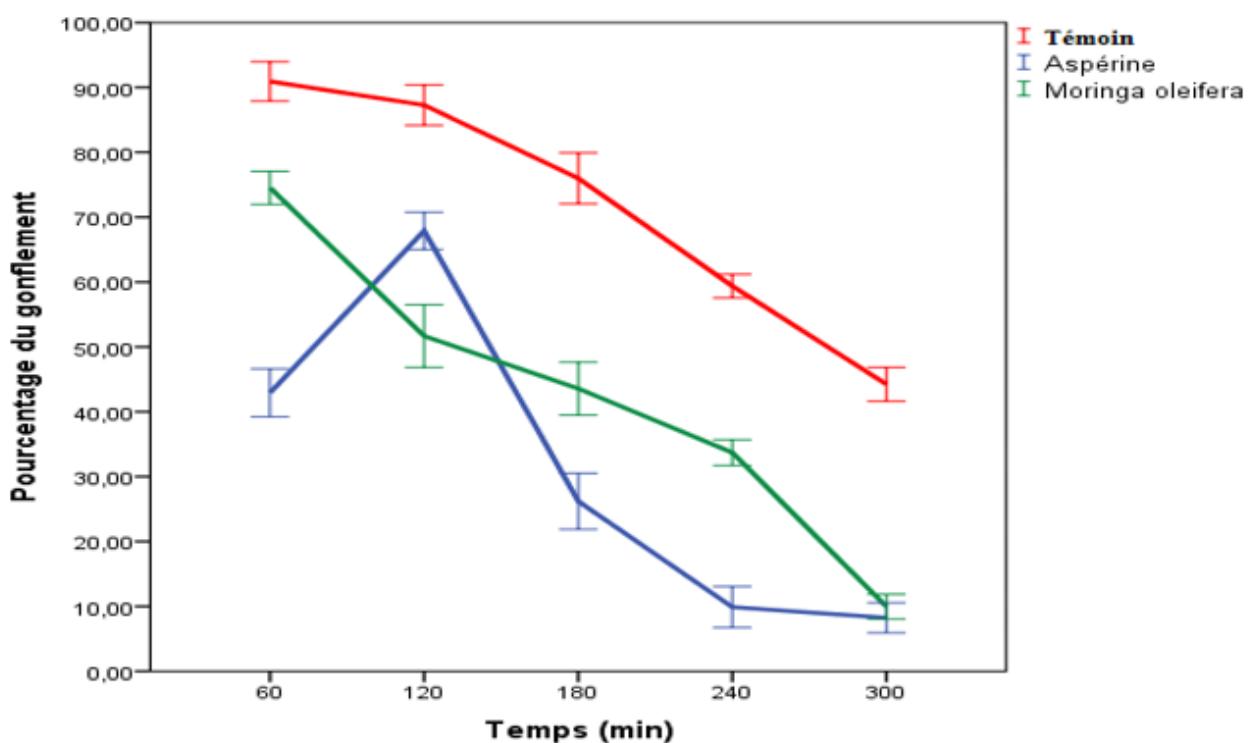
**Tableau 07** : Le pouvoir réducteur du fer (exprimé par A0.5 (en  $\mu\text{g}/\text{ml}$ ) d'extrait testé et des antioxydants de références.

A0.5 ± Ecart type (En $\mu\text{g}/\text{ml}$ )	
<b>Extrait de <i>Moringa oleifera</i></b>	62,08±2,67
<b><math>\alpha</math>-Tocophérol</b>	34.93±2.38
<b>Acide ascorbique</b>	6.77±1.15

Selon les résultats représentés dans le tableau 7, l'extrait hydro-méthanolique de la plante *Moringa oleifera* montre une activité réductrice intéressante, mais moindre que celles des composé de référence avec une valeur  $A0,5 = 62,08 \pm 2,67 \mu\text{g}/\text{ml}$  par rapport aux molécules de référence  $\alpha$ -tocophérol ( $A0,5 = 34,93 \pm 2,38 \mu\text{g}/\text{ml}$ ) et l'acide ascorbique ( $A0,5 = 6,77 \pm 1,15 \mu\text{g}/\text{ml}$ ).

### II.3. Evaluation de l'activité anti inflammatoire *in vivo*

Dans cette étude, nous avons utilisé un modèle d'œdème de la patte induit par le formol chez le rat afin d'évaluer l'efficacité anti-inflammatoire de l'extrait de *Moringa oleifera*. L'évolution du volume de la patte a été suivie à différents intervalles de temps pour mesurer la progression de l'œdème. L'extrait de *Moringa oleifera* a été administré par voie intrapéritonéale. Les résultats ont été comparés à ceux d'un groupe traité avec l'aspirine, un anti-inflammatoire non stéroïdien également administré par voie intrapéritonéale, ainsi qu'à un groupe témoin. Les données sont présentées dans la figure ci-dessous.



**Figure 21 :** Effet de l'extrait de la plante *Moringa oleifera* et aspirine sur l'oedème induit par le formol

La figure 21 présente l'effet anti-inflammatoire in vivo de l'extrait hydro- méthanolique de la plante *Moringa oleifera*. Pour le lot des témoins oedémateux, suite à l'induction de la réaction inflammatoire le pourcentage moyen de gonflement évolue de  $90,93 \pm 3,03\%$  après 60 min jusqu'à  $44,24 \pm 2,62\%$  après 300 min.

En présence de l'aspirine, on note une baisse significative des pourcentages moyens d'oedème comparativement à ceux des témoins oedémateux avec des pourcentages qui passe de  $42,93 \pm 3,69\%$  après 60 min à  $8,24 \pm 2,30\%$  après 300min.

Pour le lot traité par l'extrait de la plante *Moringa oleifera*, après 60 min et jusqu'à la fin de l'expérimentation, les pourcentages moyens d'oedème rapportés sont significativement inférieurs à ceux des témoins oedémateux avec des valeurs qui varient de  $67,76 \pm 7,72\%$  à 60 min et  $31,30 \pm 2,93\%$  à 300 min. Comparativement au lot aspirine, les pourcentages moyens de gonflement du lot de l'extrait hydro-méthanolique de la plante *Moringa oleifera* sont significativement supérieurs à ceux du l'aspirine.

### III. Discussion

#### III.1. Discussion de l'étude expérimentale in vitro

Les résultats de l'analyse quantitative révèlent que l'extrait hydro-méthanolique de la plante *Moringa oleifera* est riche en polyphénols ( $179,09 \pm 0,68$  mg EAG/g extrait) dont ( $28,47 \pm 0,00$  mg EQ/g extrait) sont sous forme de flavonoïdes cela suggère que les polyphénols présents ne sont pas tous des flavonoïdes, ce qui explique la présence d'autres composés phénoliques. Nos résultats sont en accord avec celles rapportés par **Naco et al., (2024)**. Ils ont montré que l'extrait hydro-méthanolique de *Moringa oleifera*. *Moringa oleifera Lam* présente une teneur élevée en composés phénoliques.

Nos résultats ont montré que l'extrait testé présente une activité antioxydante modérée, avec une  $IC_{50}$  de  $149,61 \pm 1,20$  ug /ml. Cette valeur est significativement plus élevée que celles obtenues pour les standards antioxydants de référence, indiquant une efficacité radicalaire inférieure. En effet, les  $IC_{50}$  mesurées pour le BHA, le BHT et  $\alpha$ -Tocophérol sont respectivement de  $6.14 \pm 0.41$  ug /ml,  $12.99 \pm 0.41$  ug/ml, et  $13.02 \pm 5,17$  ug/ml. Ces résultats confirment que les antioxydants standards possèdent une capacité bien plus marquée à neutraliser les radicaux libres comparativement à l'extrait testé. Tandis que l'étude menée par **Charoensin, (2014)** a rapporté une  $IC_{50}$  de  $2,31 \pm 0,02$  mg/mL. Cette différence pourrait s'expliquer par la nature des extraits utilisés : **Charoensin** ayant employé un extrait dichlorométhaniqe, tandis que nous avons utilisé un extrait hydro-méthanolique, ce qui implique une composition en métabolites secondaires différente et donc une variation dans l'efficacité antioxydante.

La méthode de piégeage des radicaux ABTS• est considérée comme l'une des plus fiables pour évaluer la disparition des radicaux libres (**Raghu Chandrashekhar et al., 2009**).

Elle repose sur la capacité d'une molécule à neutraliser le radical ABTS• initialement de couleur bleue, en le transformant en une forme stable et incolore (**Besbes Hlila et al., 2017**).

L'évaluation de l'activité antioxydante par le test ABTS• a révélé une capacité de piégeage des radicaux modérée pour l'extrait étudié avec une valeur d' $IC_{50}$  de  $80,55 \pm 0,43$  ug/ml. En comparaison, les antioxydaants de référence, le BHA et le BHT, ont présenté des  $IC_{50}$  beaucoup plus faible, respectivement de  $1.81 \pm 0.10$  ug/ml et  $1.29 \pm 0.30$  ug/ml, traduisant une activité antioxydante significativement plus élevée. Ces données montrent que bien que l'extrait possède un certain effet antiradicalaire, son efficacité reste inférieure à celle des composés standards. Par ailleurs, nos résultats sont supérieurs à ceux rapportés par **Hamed et al.,(2020)**, qui ont utilisé un extrait aqueux et obtenu une  $IC_{50}$  de  $62,24$  ug/ml , laquelle a diminué à  $53,56$  ug/ml sous l'effet de

la variation de température. Cette différence peut être attribuée à la nature de l'extrait utilisé, le solvant jouant un rôle déterminant dans l'extraction des composés antioxydants

Nos résultats ont montré que l'extrait testé présente une valeur d'  $A_{0.5}$  de  $62,08 \pm 2,67 \text{ ug/ml}$  indiquant une activité antioxydante modérée. En comparaison, l'acide ascorbique a présenté une  $A_{0.5}$  beaucoup plus faible, de  $6.77 \pm 1.15 \text{ ug/ml}$ , traduisant une activité antioxydante très élevée. L' $\alpha$ -tocophérol, quant à lui, a montré une  $A_{0.5}$  de  $34.93 \pm 2.38 \text{ ug/ml}$ . Bien que l'activité de l'extrait soit inférieure à celle de ce standard, il convient de noter qu'il conserve tout de même un pouvoir réducteur appréciable, ce qui souligne son potentiel antioxydant intéressant, notamment en comparaison avec. L' $\alpha$ -tocophérol. Par ailleurs, ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Hasim et al., (2025)** qui ont trouvé une  $A_{0.5}$  comprise entre 50,1 et 99,4  $\text{ug/ml}$  pour l'extrait éthanolique des feuilles de *Moringa oleifera*

### **III.2. Discussion de l'étude expérimentale in vivo**

L'inflammation est un processus biologique complexe impliquant une cascade d'événements cellulaires et moléculaires en réponse à une agression tissulaire. Le modèle d'inflammation aiguë induite par le formol chez le rat est largement utilisé en pharmacologie expérimentale pour évaluer l'activité anti-inflammatoire de nouvelles molécules (**Winter et al., 1962**). Ce modèle est caractérisé par deux phases distinctes : une première phase neurogénique rapide, suivie d'une phase inflammatoire plus tardive médiée par des cytokines, des prostaglandines et d'autres médiateurs chimiques (**Hunskaar et Hole, 1987**).

L'intensité de l'œdème et l'infiltration leucocytaire au site d'injection constituent des indicateurs fiables de l'activité inflammatoire (**Vinegar et al., 1969**). Dans le cadre de cette étude, l'analyse des paramètres observés permet de mieux comprendre l'effet du traitement étudié sur la modulation de la réponse inflammatoire induite par le formol.

Dans notre étude, les résultats obtenus dans ce modèle d'inflammation confirment l'efficacité de l'aspirine en tant qu'agent anti-inflammatoire, avec une réduction significative des signes inflammatoires par rapport au groupe toxique. Le traitement par l'extrait hydro-méthanolique de la plante *Moringa oleifera* (100 mg/kg) a également montré une activité anti-inflammatoire notable, bien que légèrement supérieur à celle de l'aspirine, suggérant la présence de composés bioactifs capables de moduler la réponse inflammatoire. Par ailleurs, l'absence de signes inflammatoires dans le groupe témoin confirme que l'inflammation observée est bien due à l'effet du formol.

Les résultats de cette étude suggèrent que l'extrait végétal à la dose de 100 mg/kg inhibe l'œdème induit par le formalin. Par conséquent, cela pourrait être en partie causé par la diminution

de la libération des médiateurs inflammatoires par les composés phytochimiques présent dans l'extrait. Nos résultats sont similaires à plusieurs d'autres études qui ont montré la capacité des composées phytochimiques à réduire l'inflammation induite par le formol (**Allagui et al., 2022** ; **Mohammad et al., 2017**).

## *Conclusion et perspectives*

## **Conclusion et perspectives**

*Moringa oleifera* est une plante médicinale largement reconnue pour ses nombreux bienfaits sur la santé. Dans cette étude, nous avons évalué les activités biologiques de l'extrait hydro-méthanolique des feuilles de cette plante, en mettant l'accent sur sa composition en composés phénoliques et son potentiel antioxydant et anti-inflammatoire.

Les analyses phytochimiques ont montré que l'extrait est riche en polyphénols ( $179,09 \pm 0,68$  mg EAG/g extrait) et en flavonoïdes ( $28,47 \pm 0,00$  mg EQ/g extrait). Ces composés sont importants car ils indiquent un large spectre d'activités biologiques.

L'évaluation de l'activité antioxydante à travers trois tests (DPPH, ABTS et FRAP) a révélé une activité modérée, ce qui confirme en partie le rôle des composés phénoliques dans la neutralisation des radicaux libres.

L'étude de l'activité anti-inflammatoire *in vivo* a montré une bonne activité contre l'œdème, suggérant un potentiel thérapeutique intéressant pour la gestion des états inflammatoires.

Les résultats obtenus montrent que l'extrait hydro-méthanolique de *Moringa oleifera* est une source naturelle prometteuse pour la prévention ou le traitement de diverses pathologies liées au stress oxydatif et à l'inflammation, probablement grâce à sa richesse en polyphénols et flavonoïdes.

Ces résultats ouvrent de nouvelles perspectives pour approfondir les bienfaits de cette plante et son potentiel d'application en médecine naturelle et dans le développement de produits pharmaceutiques.

## *Références bibliographiques*

## Les références bibliographiques

### A

- **Abdull Razis, A. F., Ibrahim, M. D., & Kntayya, S. B. (2014).** Health benefits of *Moringa oleifera*. *Asian pacific journal of cancer prevention*, 15(20), 8571-8576.
- **Adamski, Z., Blythe, L. L., Milella, L., & Bufo, S. A. (2020).** Biological activities of alkaloids: From toxicology to pharmacology. *Toxins*, 12(4), Article 256.
- **AGROCONSULT HAITI S A., (2016).** Analyse des Potentialités de l'Exploitation du *Moringa* en Haïti. Rapport. Banque de la république d'Haïti. p. 20.
- **Ajit, K., Choudhary, B. K., & Bandyopadhyay, N. G. (2002).** Comparative evaluation of hypoglycaemic activity of some Indian medicinal plants in alloxan diabetic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 84(2-3), 105–108.
- **Al-Aghwani, W. M. (2024).** Les plantes médicinales et leurs usages thérapeutiques (Série de la culture sanitaire, n° 198). Centre arabe pour la rédaction et la traduction des sciences de la santé. P. 4-5.
- **Alhakmani, F., Kumar, S., Okindra, A., et Khan, A. (2013).** Estimation of total phenolic content, in vitro antioxidant and anti-inflammatory activity of flowers of *Moringa oleifera*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicin*, 3(8):623-627.
- **Alimat, S. M. (2015).** Chimie des produits naturels – Les alcaloïdes. Amman, Jordanie : Dar Majdalawi pour l'édition et la distribution.
- **Allagui, I., Horchani, M., Zammel, N., Jalouli, M., Elfeki, A., Kallel, C., & Hcini, K. (2022).** Phytochemical characterization, antioxidant and anti-Inflammatory effects of *Cleome arabica* L. fruits extract against formalin induced chronic inflammation in female wistar rat: biochemical, histological, and in silico studies. *Molecules*, 28(1), 26.
- **Allen, K. G., Banthorpe, D. V., & Charlwood, B. V. (1977).** Metabolic pools associated with monoterpene biosynthesis in higher plants. *Phytochemistry*, 16(1), 79-83.
- **Amabye, T. G., & Gebrehiwot, K. (2015).** Chemical compositions and nutritional value of *Moringa oleifera* available in the market of Mekelle. *Journal of Food and Nutrition Sciences*, 3(5), 187-190.
- **Arora, D. S., Onsare, J. M., & Kuar, H. (2013).** Bioprospecting of *Moringa* (Moringaceae): Microbiological perspective. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 1(4), 193–215.

- **Arzi, A., Olapour, S., Yaghooti, H., & Karampour, N. S. (2015).** Effect of royal jelly on formalin induced-inflammation in rat hind paw. *Jundishapur journal of natural pharmaceutical products*, 10(1), e22466.
- **Atakpama, W., Kponor, E. G. E., Kanda, M., Dourma, M., Nare, M., Batawila, K., Akpagana, K., (2014).** *Moringa oleifera Lamarck (Moringaceae): Une ressource phytogénétique à usage multiple*. CAMES. Volume 2. p.p.: 6-14.82-2700.
- **Atereia T.G, Akinloyeb O.A, Ugbajab R.N, Ojoc D.A, Dealtryd G. (2018).** In vitro antioxidant capacity and free radical scavenging evaluation ofstandardized extract of *Costus afer* leaf, *Food Science and Human Wellness*, 7:266–272.
- **Awadh, A., Julich, W. D., Kusnick, C., et al. (2001).** Screening of Yemeni medicinal plants for antibacterial and cytotoxic activities. *Journal of Ethnopharmacology*, 74(2), 173–179.

**B**

- **Badiaga M. (2011).** Étude ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de *Nauclea latifolia* (Smith). Une plante médicinale africaine récoltée au Mali, Thèse de Doctorat, Université de Bamako, 137 p.
- **Behl, T., Bungău, S., Kumar, K., Zengin, G., Khan, F., Kumar, A., et al. (2020).** Pleiotropic effects of polyphenols in the cardiovascular system. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 130, 110714.
- **Besbes Hlila, M., Ben Saad, A., Ben Jannet, H., Aouni, M., Mastouri, M., & Selmi, B. (2017).** Etude chimique et biologique des extraits de la plante halophyte *Halocnemeum strobilaceum* (Pall.) Bieb. *Journal of Bioresources Valorization*, 42-48.
- **Biri, K.,Lezbache,W(2019).**Caractérisation biochimique et évaluation des activités biologiques des extraits phénoliques et des huiles fixes de l'espèce *Linum usitatissimum*.L.Mémoire Master : Biotechnologie végétale .Mila : Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf ,p75.
- **Blenn, C., Wyrsch, P., & Althaus, F. R. (2011).** The ups and downs of tannins as inhibitors of poly (ADP-ribose) glycohydrolase. *Molecules*, 16(2), 1854–1877
- **Blois, M. S. (1958).** Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181(4617) : 1199-1200.
- **Bosch, C. H. (2004).** *Moringa oleifera* Lam. In G. J. H. Grubben & O. A. Denton (Eds.), *PROTA 2: Vegetables/Légumes [CD-ROM]*. PROTA.

- **Brighente, I. M. C., et al. (2007).** Antioxidant activity and total phenolic content of some Brazilian species. *Pharmaceutical biology* 45.2: 156-161.
- **Bruneton, J., 2009.** Pharmacognosie phytochimie plantes médicinales. 4e Ed. Editions TEC et DOC (Lavoisier) Paris et Editions médicinales internationales. p. 274.
- **Bruneton, J. (1999).** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 3ème édition. *Journal of Medicinal Plant Research*, 8(7), 318-325.
- **Bule, M., Khan, F., Nisar, M. F., & Niaz, K. (2020).** *Analysis of polyphenolics: Tannins (hydrolysable tannins, condensed tannins, phlorotannins, flavono-ellagitannins)*. Ambo University; Tehran University of Medical Sciences; Cholistan University of Veterinary and Animal Sciences.
- **Burak, M., & Imen, Y. (1999).** Flavonoids and their antioxidant properties. *Turkiye Klinikleri Tip Bilimleri Dergisi*, 19, 296–304.

## C

- **Cai, Y., Zhang, J., Chen, N. G., & others. (2017).** Recent advances in anticancer activities and drug delivery systems of tannins. *Medicinal Research Reviews*, 37(4), 665–701
- **Čanadanović-Brunet, J., Ćetković, G., Šaponjac, V. T., Stajčić, S., Vulić, J., Djilas, S., ... & Popović, B. (2014).** Evaluation of phenolic content, antioxidant activity and sensory characteristics of Serbian honey-based product. *Industrial Crops and Products*, 62, 1-7.
- **Chabosseau, S., & Derbré, S. (2016).** Cancer du sein : recommandations sur l'usage de la phytothérapie. *Actualités Pharmaceutiques*, 55(552), 45-49.
- **Chabrier, J. Y. (2010).** Plantes médicinales et formes d'utilisation en phytothérapie (Doctoral dissertation, UHP-Université Henri Poincaré).
- **Charoensin, S. (2014).** Antioxidant and anticancer activities of *Moringa oleifera* leaves. *J. Med. Plants Res*, 8(7), 318-325.
- **Chen, C.-T., Wang, Z.-H., Hsu, C.-C., Lin, H.-H., & Chen, J.-H. (2015).** In vivo protective effects of diosgenin against doxorubicin-induced cardiotoxicity. *Nutrients*, 7(6), 4938- 4954.
- **Coppin, J. P., Xu, Y., Chen, H., Pan, M. H., Ho, C. T., Juliani, R., & Wu, Q. (2013).** Determination of flavonoids by LC/MS and anti-inflammatory activity in *Moringa oleifera*. *Journal of Functional Foods*, 5(4), 1892-1899.

## D

- **Daniel, M., 2006.** Medicinal plants chemistry and properties. Edition Taylor and Francis Group. p. 140.
- **Daniele Festy .(2011).** Ma bible, © 2020 Led. Paris – France.
- **Delpha I., (2011).** Le moringa (moringa oleifera lam.): utilisations actuelles et intérêt pharmacologique , 2011- 232page.
- **Deveci, E., Tel-Çayan, G., & Duru, M. E. (2018).** Phenolic profile, antioxidant, anticholinesterase, and anti-tyrosinase activities of the various extracts of Ferula elaeochytris and Sideritis stricta. International journal of food properties, 21(1), 771-783.
- **Dewanto, Veronica, et al. (2002).** Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. Journal of agricultural and food chemistry 50.10 3010-3014.
- **Dias, J. N., Silva, M. P. C. F., & Lima, I. P. C. (2015).** O uso de fitoterápicos à base de aroeira como coadjuvante no tratamento da gengivite: Revisão Sistemática. Revista brasileira de plantas medicinais, 17(4 suppl 3), 1187-1191.
- **Djerroumi, A., Nacef, M., (2012).** 100 plantes médicinales d'Algérie. l'imprimerie Houma- 34, lotissement la Bruyére Bouzaréah-Alger. Algérie. p. 159.

## E

- **El-Seedi, H. R., Taher, E. A., Sheikh, B. Y., Anjum, S., Saeed, A., Alajmi, M. F., Mostafa, M. S., Mousawi, S. M., Hegaz, M.F ., Khalifa, S & Göransson, U. (2018).** Hydroxycinnamic acids: Natural sources, biosynthesis, possible biological activities, and roles in Islamic medicine. Studies in natural products chemistry, 55, 269-292.
- **Esteves, C. O., Rodrigues, R. M., Martins, A. L. D., de Almeida Vieira, R., Barbosa, J. L., & Vilela, J. B. (2020).** Phytotherapeutic drugs: prevalence, advantages, and disadvantages of use in clinical practice, profile and evaluation of users. Revista de Medicina (São Paulo), 99(5), 463-472.

## F

- **Fadili k., Zerkani H., Amalich S., Zair T. (2017).** Etude phytochimique et evaluation de l'activite antioxydante des feuilles et des fruits du Capparis spinosa L. American Journal of Innovative Research and Applied Sciences, 5(2):108-118.
- **Foidl, N., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2001).** Potentiel de Moringa oleifera en agriculture et dans l'industrie. Actes du séminaire sur Moringa oleifera du, 29.

## G

- **Gómez-Caravaca, A. M., Gómez-Romero, M., Arráez-Román, D., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2006).** Advances in the analysis of phenolic compounds in products derived from bees. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41(4), 1220–1234.
- **Grosvenor, P. W., Gothard, P. K., William, M. C., et al. (1995).** Medicinal plants from Riau province, Sumatra, Indonesia. *Journal of Ethnopharmacology*, 45(1), 75–95.

## H

- **Hadjadj K., Benaissa M., Mahammedi M., Ouragh A& Rahmoune A. (2019).** Importance des plantes médicinales pour la population rurale du parc national de djebel Aissa (sud-ouest algérien), Lejeunia, *Revue de Botanique*, 199 : 0457-4184.
- **Hamed, Y. S., Abdin, M., Chen, G., Akhtar, H. M. S., & Zeng, X. (2020).** Effects of impregnate temperature on extraction of caffeoylquinic acid derivatives from *Moringa oleifera* leaves and evaluation of inhibitory activity on digestive enzyme, antioxidant, anti-proliferative and antibacterial activities of the extract. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(9), 3082-3090.
- **Hamza, A. (2010).** Ameliorative effects of *Moringa oleifera* Lam seed extract on liver fibrosis in rats. *Food and Chemical Toxicology*, 48(2), 345–355.
- **Harborne, J. B. (2013).** The flavonoids: Advances in research since 1980. Springer Science & Business Media.
- **Harju, Anni M., and Martti Venäläinen. (2006).** Measuring the decay resistance of Scots pine heartwood indirectly by the Folin-Ciocalteu assay. *Canadian journal of forest research* 36.7: 1797-1804.
- **Hasim, H., Tunnisa, F., Faridah, D. N., Saraswati, S., & Slameut, F. (2025).** Antioxidant, Lipase Inhibitory Potential, and UHPLC Profile of Different Fractions of *Moringa oleifera* Leaves. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 9(1).
- **Havsteen, B. (2002).** The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacology & Therapeutics*, 96(2–3), 67–202.
- **Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005).** The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(6), 1841-1856.
- **Hunskaar, S., & Hole, K. (1987).** The formalin test in mice: dissociation between inflammatory and non-inflammatory pain. *Pain*, 30(1), 103-114.

# I

- **Ignat, I., Wolf, I., & Popa, V. I. (2011).** A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 126(4), 1821–1835.
- **Ismaili, R., Houbairi, S., Sanâa, L., Khadija, M., & Abdeslam, L. (2017).** Etude de l'activité antioxydante des huiles essentielles de plantes aromatiques et médicinales marocaines. *European Scientific Journal, ESJ*, 13(12), 323.

# K

- **Kamalanathan D., Srinivasan R., Pratheeba T., Yuvarajan R., Natarajan D. (2015).** Antioxidant activities of leaf extracts of *Euphorbia fusiformis* Buch.-Ham. ex D. Don (Euphorbiaceae), *Free. Radic. Antioxid.* 5 (2):83.
- **Karin Kraft, Christopher Hobbs. (2004).** *Pocket guide to herbal medicine*, Thieme, ©2.
- **Kessler, André, and Aino Kalske. (2018).** "Plant secondary metabolite diversity and species interactions." *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 49, 115-138.
- **Khanbabae, K., & van Ree, T. (2001).** Tannins: Classification and definition. *Natural Product Reports*, 18(6), 641–649.
- **Khumalo., Gugulethu P., et al.(2022).** A review of the traditional use of Southern African medicinal plants for the treatment of inflammation and inflammatory pain." *Journal of Ethnopharmacology* , 283 : 114436.
- **Kim, Y., Keogh, J. B., & Clifton, P. M. (2016).** Polyphenols and glycemic control. *Nutrients*, 8(1), 17.
- **Konczak, I., & Zhang, W. (2004).** Anthocyanins – More than nature's colours. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2004(5), 239–240.
- **Koul, B., Chase, N., (2015).** *Moringa oleifera* Lam.: Panacea to several maladies. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. Volume 7(6). p.p.: 687-707.
- **Kuba, G., & Vattimo, M. D. F. F. (2015).** O uso de fitoterápicos orientais nas lesões renais : revisão integrativa. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 17(4 suppl 3), 1192-1198.
- **Kudi, A. C., Uhoh, J. U., & Eduvie, L. O. (1999).** Screening of some Nigerian medicinal plants for antibacterial activity. *Journal of Ethnopharmacology*, 67(3), 225–228.

- **Kumar V.,Sharma N., Sourirajan A., Khosla P.K., Dev K.(2018).** Comparative evaluation of antimicrobial and antioxidant potential of ethanolic extract and its fractions of bark and leaves of Terminalia arjuna from north-western Himalayas, India, *J. Tradit. Complement,Med.* 8 (1) : 100–106.

## L

- **Laleye, O. A. F., Ahissou, H., Olounlade, A. P., Azando, E. V. B., and Laleye, A. (2015).** "Etude bibliographique de trois plantes antidiabétiques de la flore béninoise: Khaya senegalensis (Desr) A. Juss (Meliaceae), Momordicacharantia Linn (Cucurbitaceae) et Moringa oleifera Lam (Moringaceae)." *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(5),
- **Lee, Y., Yuk, D., Lee, J., et al. (2009).** Epigallocatechin-3-gallate prevents lipopolysaccharide-induced elevation of  $\beta$ -amyloid generation and memory deficiency. *Brain Research*, 1250, 164–174.
- **Loomis, D., & Croteau, R. (1980).** Biochemistry of terpenoids: A comprehensive treatise. In P. K. Stumpf & E. E. Conn (Eds.), *the biochemistry of plants. Lipids: Structure and function* (Vol. 4, pp. 364–410). Academic Press.

## M

- **Macheix, J. J., Flouriet, A., Jay-Allemand, C. (2005).** Les composés phénoliques des végétaux un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Edition Press polytechniques et universitaires romandes. Lousanne. p. 192
- **Makkar, H., Becker, K. (1996).** Nutritional value and antinutritional components of whole and ethanol extracted *Moringa oleifera* leaves. *Animal Feed Science and Technology*, 63, 211-228.
- **Malecky, M. (2008).** The metabolism of terpenoids in caprins (Thèse de doctorat, AgroParisTech).
- **Marc, F., Davin, A., Deglène-Benbrahim, L., Ferrand, C., Baccanaud, M., & Fritsch, P. (2004).** Méthodes d'évaluation du potentiel antioxydant dans les aliments. *médecine/sciences*, 20(4), 458-463.
- **Martin, S., & Andriantsitohaina, R. (2002).** Mécanismes de la protection cardiaque et vasculaire des polyphénols au niveau de l'endothélium [Cellular mechanism of vasculo-protection induced by polyphenols on the endothelium]. *Annales de cardiologie et d'angéiologie*, 51, 304–315.

- **Merghem, R. (2009).** Éléments de biochimie végétale. Constantine, Algérie : Bahoueddine Editions.
- **Moatti, R. (1990).** La phytothérapie. Revue des Deux Mondes.P. 80.
- **Mohammad F, E., Hasan, W. A., & Mohamed, E. G. (2017).** Natural antioxidant flavonoids in formalin-induced mice paw inflammation; inhibition of mitochondrial sorbitol dehydrogenase activity. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 31(7), e21896.
- **Molyneux, Philip. (2004).** "The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity." *Songklanakarin J. sci. technol* 26.2: 211-219.
- **Morimitsu, Y., Hayashi, K., Nakagawa, Y., Fujii, H., Horio, F., Uchida, K., & Osawa, T. (2000).** Antiplatelet and anticancer isothiocyanates in Japanese domestic horseradish, wasabi. *Mechanisms of ageing and development*, 116(2-3), 125-134.
- **Morton, J. F. (1991).** The horseradish tree, *Moringa pterygosperma* (Moringaceae)—a boon to arid lands? *Economic botany*, 45, 318-333.
- **Mosquera, O. M., Correa, Y. M., Buitrago, D. C., & Niño, J. (2007).** Antioxidant activity of twenty-five plants from Colombian biodiversity. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 102, 631-634.

## N

- **Naco, M. E. B., Coulibaly, D. B., Tirera, H., Mariko, M., Koumare, B. Y., Ndiaye, B., ... & Diop, A. (2024).** Etude de la composition phytochimique et activités antioxydante des feuilles du *Moringa oleifera*. Lam (Moringaceae) dans les régions de Kita (Mali) et de Thiès (Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 18(4), 1554-1568.
- **Ncir M., Saoudi M., Sellami H., Rahmouni F., Lahyani A., Makni Ayadi F., El Feki A., Allagui MS. (2017).** In vitro and in vivo studies of *Allium sativum* extract against deltamethrin-induced oxidative stress in rats brain and kidney. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 124(3): 207-217.

## O

- **Olson, M. E. (2015).** Moringa frequently asked questions. In I International Symposium on Moringa 1158 (pp. 19-32).

- **Onsare, J. G., Kaur, H., & Arora, D. S. (2013).** Antimicrobial activity of *Moringa oleifera* from different locations against some human pathogens. *Journal of Medicinal Plants*, 1(3), 80–91.
- **Outani, B. A., Adamou, H., Mahamadou, A., & Delmas, P. (2023).** Moringa (Moringa oleifera Lam): A review on its importance worldwide. *East Afr. Sch. J. Agric. Life Sci*, 6, 112-120.
- **Oyaizu, M. (1986).** Studies on products of browning reactions: antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Japanese Journal of Nutrition*, 44, 307- 315
- **Ozcan, T., Akpinar-Bayizit, A., Yilmaz-Ersan, L., & Delikanli, B. (2014).** Phenolics in human health. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 5(5), 393.

**P**

- **Panche, An, Diwan, Ad, Chandra, Sr (2016).** Flavonoïdes : un aperçu. *Journal des sciences nutritionnelles*, 5(1) ,15.
- **Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009).** Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2(5), 270–278.
- **Paulsamy, S., & Karthika, K. (2012).** Screening of in vitro antioxidant activity of methanolic leaf and root extracts of *Hypochaeris radicata* L.(Asteraceae). *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2(7), 149-154.
- **Peixoto, J. R., Silva, G. C., Costa, R. A., & et al. (2011).** In vitro antibacterial effect of aqueous and ethanolic *Moringa* leaf extracts. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 4(3), 201–204.
- **Piasecka, Anna, Nicolas Jedrzejczak-Rey, and Paweł Bednarek. (2015).** "Secondary metabolites in plant innate immunity: conserved function of divergent chemicals." *New Phytologist*, 206(3), 948-964.
- **Prabhu, S., Molath, A., Choksi, H., Kumar, S., & Mehra, R. (2021).** Classifications of polyphenols and their potential application in human health and diseases. *International Journal of Physiology, Nutrition and Physical Education*, 6(1), 293-301.

**R**

- **Rachana, K. B., Jagginavar, S. B., & Prakash, H. T. (2020).** Studies on biology of drumstick leaf eating caterpillar, *Noorda blitealis* Walker. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(8), 623–630.

- **Raghu Chandrashekhar, H., Venkatesh, P., Arumugam, M., & Vijayan, P. (2009).** Estimation of total phenols with special emphasis to antioxidant potentials of few hypericum species. *Pharmacologyonline*, 1, 1.
- **Rasouli, H., Farzaei, M. H., & Khodarahmi, R. (2017).** Polyphenols and their benefits: A review. *International Journal of Food Properties*, 20(2), 1700–1741.
- **Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999).** Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*: 26(9-10), 1231-1237.
- **Rollof, H., Lang, U. and Stimm B. (2009).** “Enzyklopädie der Holzgewächse, Handbuch und Atlas der Dendrologie, 1.8.

## S

- **Saha, M. R., Hasan, S. M. R., Akter, R., Hossain, M. M., Alam, M. S., Alam, M. A., & Mazumder, M. E. H. (2008).** In vitro free radical scavenging activity of methanol extract of the leaves of *Mimusops elengi* Linn. *Bangladesh Journal of Veterinary Medicine*, 6(2), 197-202.
- **Saint Sauveur, A. D., & Broin, M. (2010).** Growing and processing moringa leaves.
- **Sandu, M., Bîrsă, L. M., & Bahrin, L. G. (2017).** Flavonoids – Small molecules, high hopes. *Acta Chemica Iasi*, 25(1), 6–23
- **Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2005).** Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(4), 287–306.
- **Singla, R. K., Dubey, A. K., Garg, A., Sharma, R. K., Fiorino, M., Ameen, S. R., Haddad, M. A., & Al-Hary, M. A. (2019).** Natural polyphenols: Chemical classification, definition of classes, subcategories, and structures. *Journal of AOAC International*, 102(5), 1397–1400.
- **Skandrani, I., Bouhlel, I., Limem, I., Boubaker, J., Bhouri, W., Neffati, A., ... & Ghedira-Chekir, L. (2009).** *Moricandia arvensis* extracts protect against DNA damage, mutagenesis in bacteria system and scavenge the superoxide anion. *Toxicology in vitro*, 23(1), 166-175.
- **Sova, M., & Saso, L. (2020).** Natural sources, pharmacokinetics, biological activities and health benefits of hydroxycinnamic acids and their metabolites. *Nutrients*, 12(8), 2190.

- **Sreelatha, S., & Padma, P. R. (2009).** Antioxidant activity and total phenolic content of *Moringa oleifera* leaves in two stages of maturity. *Plant foods for human nutrition*, 64, 303-311.
- **Stefanova, N., Reindl, M., Neumann, M., Kahle, P. J., Poewe, W., & Wenning, G. K. (2007).** Microglial activation mediates neurodegeneration related to oligodendroglial  $\alpha$ -synucleinopathy: Implications for multiple system atrophy. *Movement Disorders*, 22(15), 2196–2203.
- **Suvanto, J., Nohynek, L., Seppänen-Laakso, T., Rischer, H., Salminen, J. P., & Puupponen-Pimiä, R. (2017).** Variability in the production of tannins and other polyphenols in cell cultures of 12 Nordic plant species. *Planta*, 246(2), 227–241.

**V**

- **Vélez-Gavilán, J. (2017).** *Moringa oleifera* (horseradish tree).
- **Verma, A. R., Vijayakumar, M., Mathela, C. S., & Rao, C. V. (2009).** In vitro and in vivo antioxidant properties of different fractions of *Moringa oleifera* leaves. *Food and Chemical Toxicology*, 47(9), 2196–2201.
- **Vinegar, R., Schreiber, W., & Hugo, R. (1969).** Biphasic development of carrageenin edema in rats. *The Journal of pharmacology and experimental therapeutics*, 166(1), 96-103.

**W**

- **Winter, C. A., Risley, E. A., & Nuss, G. W. (1962).** Carrageenin-induced edema in hind paw of the rat as an assay for antiinflammatory drugs. *Proceedings of the society for experimental biology and medicine*, 111(3), 544-547.
- **Wong, M. C. Y., Emery, P. W., Preedy, V. R., & Wiseman, H. (2008).** Health benefits of isoflavones in functional foods? Proteomic and metabonomic advances. *Inflammopharmacology*, 16(5), 235–239.

**X**

- **Xiao, J. B., & Högger, P. (2015).** Dietary polyphenols and type 2 diabetes: Current insights and future perspectives. *Current Medicinal Chemistry*, 22(1), 23–38.

**Y**

- **Yang, W., Chen, X., Li, Y., Guo, S., Wang, Z., & Yu, X. (2020).** Advances in pharmacological activities of terpenoids. *Natural Product Communications*, 15(3), 1–13.

## **Z**

- **Zaheer, K., & Humayoun Akhtar, M. (2017).** An updated review of dietary isoflavones: Nutrition, processing, bioavailability and impacts on human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(6), 1280–1293.

<b>Année universitaire :</b> 2024-2025	<b>Présenté par :</b> MAALEM Ikram ZAHTANI Aya
<b>Etude phytochimique et évaluation des activités biologiques de l'extrait hydro-méthanolique de la plante <i>Moringa oleifera</i></b>	
<b>Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Biochimie</b>	
<b>Résumé</b>	
<p>Le présent travail s'intéresse à l'évaluation des activités biologiques de l'extrait hydro-méthanolique de la plante <i>Moringa oleifera</i>. Tout d'abord, notre étude a montré que l'extrait hydro-méthanolique de la plante <i>Moringa oleifera</i> est riche en polyphénols (<math>179,09 \pm 0,68</math> mg EAG/g d'extrait) et en flavonoïdes (<math>28,47 \pm 0,00</math> mg EQ/g d'extrait). Ces résultats soulignent le potentiel thérapeutique de l'extrait, car de nombreuses activités biologiques sont étroitement liées aux aspects quantitatifs et qualitatifs de ces biomolécules. Au cours de la deuxième étape, l'activité antioxydante a été évaluée à l'aide de trois tests : DPPH, ABTS, FRAP. Les résultats obtenus ont montré une activité modérée. Dans la dernière étape, l'étude de l'activité anti-inflammatoire <i>in vivo</i> a révélé une bonne activité anti-oedématueuse de l'extrait hydro-méthanolique de la plante <i>Moringa oleifera</i>. Les résultats de cette étude indiquent que l'extrait hydro-méthanolique de <i>Moringa oleifera</i> pourrait constituer une source naturelle efficace pour la prévention de diverses maladies, probablement en raison de sa teneur élevée en polyphénols et en flavonoïdes.</p>	
<b>Mots-clés :</b> <i>Moringa oleifera</i> , composés phénoliques, activité antioxydante, activité anti inflammatoire.	
<b>Laboratoires de recherche :</b> laboratoire de Zoologie. (U Constantine 1 Frères Mentouri).	
<b>Président du jury :</b> Dr.BENSARI Souhir (MCB- UConstantine1 Frères Mentouri).	
<b>Encadrante :</b> Dr.BIOUD Kenza (MCB-UConstantine1 Frères Mentouri).	
<b>Examinateuse :</b> Dr.AYECHE Amina (MCB- UConstantine1 Frères Mentouri).	