

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
جامعة عمار تليجي بالأغواط  
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUEAT  
كلية العلوم  
FACULTE DES SCIENCES  
قسم البيولوجيا  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



## Mémoire

*En vue de l'obtention du diplôme de Master*

*Filière : Sciences Biologiques*

*Option : Pharmacotoxicologie*

### THEME

---

**Etude comparative de l'activité anti radicalaire de  
quelques extraits d'origine végétale**

---

**Présenté par :**

- ALILI Nadjat
- HAMDY Saada

**Devant le jury composé de :**

|                      |  |               |
|----------------------|--|---------------|
| Mme. ZAKHROUF Zohra  | MAA (Université Amar Téliidji, Laghouat) | Président     |
| Mme. LAKEHAL Kheira  | MCB (Université Amar Téliidji, Laghouat) | Examineur     |
| Mme. NEBEG Halima    | MCB (Université Amar Téliidji, Laghouat) | Rapporteur    |
| Mme. ELHOUITI Fatiha | MCA (Université Amar Téliidji, Laghouat) | Co-Rapporteur |

**Soutenu publiquement le : 30/06/2025.**

## *Résumé*

Les plantes médicinales constituent une source essentielle de composés bioactifs à potentiel thérapeutique, notamment pour leurs propriétés antioxydantes. Dans ce contexte, l'étude vise à évaluer et à comparer l'activité antioxydante de huit extraits issus de quatre espèces (*Thymelaea microphylla*, *T. hirsuta*, *Helianthemum virgatum* et *H. lippii*), obtenus par extraction au méthanol et à l'acétate d'éthyle. Les analyses, réalisées à l'aide des tests DPPH et FRAP, ont montré que *Helianthemum virgatum* se distingue par une activité antioxydante remarquable, atteignant 130,93 mg/g en VCEAC avec l'extrait méthanolique dans le test DPPH, et des valeurs élevées en FRAP (10,39 mg/g avec le méthanol et 13,14 mg/g avec l'acétate d'éthyle). Le méthanol s'est globalement révélé être le solvant le plus performant. Ces résultats confirment le potentiel élevé de *H. virgatum* et soulignent son intérêt pour les applications phytothérapeutiques et la valorisation des composés bioactifs issus de la flore locale.

**Mots clés :** *Thymelaea microphylla*, *Thymelaea hirsuta*, *Helianthemum virgatum*, *H. lippii*, DPPH, FRAP, activité antioxydante.

## *Abstract*

Medicinal plants represent a vital source of bioactive compounds with therapeutic potential, particularly for their antioxidant properties. In this context, the study aims to evaluate and compare the antioxidant activity of eight extracts derived from four species (*Thymelaea microphylla*, *T. hirsuta*, *Helianthemum virgatum*, and *H. lippii*), obtained through methanol and ethyl acetate extraction. Analyses conducted using the DPPH and FRAP assays revealed that *Helianthemum virgatum* stands out for its remarkable antioxidant activity, reaching 130.93 mg/g in VCEAC with the methanolic extract in the DPPH test, and exhibiting high FRAP values (10.39 mg/g with methanol and 13.14 mg/g with ethyl acetate). Methanol was generally found to be the most effective solvent. These results confirm the high potential of *H. virgatum* and highlight its relevance for phytotherapeutic applications and the valorization of bioactive compounds from local flora.

**Keywords:** *Thymelaea microphylla*, *Thymelaea hirsuta*, *Helianthemum virgatum*, *Helianthemum lippii*, DPPH, FRAP, antioxidant activity.

## ملخص

تُعد النباتات الطبية مصدرًا أساسيًا للمركبات النشطة بيولوجيًا ذات الإمكانيات العلاجية، لا سيما بسبب خصائصها المضادة للأكسدة. وفي هذا السياق، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم ومقارنة النشاط المضاد للأكسدة لثمانية مستخلصات مستخلصة من أربع أنواع نباتية (*Thymelaea microphylla*، *T. hirsuta*، *Helianthemum virgatum* و *H. lippii*)، باستخدام طريقتي الاستخلاص بالميثانول والأسيتات الإيثيلية. أظهرت التحاليل، التي أجريت باستخدام اختباري DPPH و FRAP، أن *Helianthemum virgatum* يتميز بنشاط مضاد للأكسدة ملحوظ، حيث بلغ 130.93 ملغ/غ (مكافئ حمض الأسكوربيك) باستخدام المستخلص الميثانولي في اختبار DPPH، وسجل أيضًا قيمًا عالية في اختبار FRAP (10.39 ملغ/غ بالميثانول و 13.14 ملغ/غ بالأسيتات الإيثيلية). وقد تبين أن الميثانول هو المذيب الأكثر كفاءة بشكل عام. تؤكد هذه النتائج الإمكانيات العالية لنبات *H. virgatum* وتبرز أهميته في التطبيقات العلاجية النباتية وفي استثمار المركبات النشطة بيولوجيًا المستخلصة من النباتات المحلية.

**الكلمات المفتاحية:** *Thymelaea hirsuta*، *Thymelaea microphylla*، *Helianthemum virgatum*، *Helianthemum lipii*، DPPH، FRAP، النشاط المضاد للأكسدة.

## *Dédicaces*

*À nos chers parents...*

*À toute notre famille...*

*À ceux qui nous ont toujours encouragés à la réussite  
de nos études...*

## Remerciement

Avant tout, nous nous remercions Dieu de nous avoir donné le privilège, la chance d'étudier et d'avoir donnés la force, la patience et le courage pour accomplir ce travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à **Mme, NEBEG.H** pour sa confiance et son encadrement tout au long de ce projet, en soulignant son écoute, sa compréhension et ses compétences précieuses.

Nous remercions notre co-encadrante, **Mme, El Houiti Fatiha** pour l'orientation et ces conseils quelle nous prodigué tout au long de ce travail.

Nous tenons également à exprimer notre gratitude à l'ensemble de l'équipe du laboratoire de recherche de l'Université AMAR TELIDJI. Un merci particulier au professeur **YOUSFI Mohammed**, directeur du laboratoire des sciences fondamentales, pour nous avoir accueillis dans son laboratoire pendant la réalisation de notre projet de fin d'étude.

Nous remercions les enseignants du département de biologie de l'Université AMAR TELIDJI, ainsi que les membres du jury, **Mme, Zekhrouf.Z** et **Mme, Lakhel. K** pour leurs enseignements et leurs remarques enrichissantes.

Nos remerciements vont à **Mlle. Aissaoui Abir** pour son accompagnement exigeant, ses compétences scientifiques, sa disponibilité et ses contributions déterminantes à la réalisation du travail expérimental.

Finalement, Nous remercions nos familles pour leur soutien et leurs encouragements, ainsi que toutes les personnes ayant contribué, directement ou indirectement, à la réalisation de ce projet.

# Table des matières

|   |        |
|---|--------|
| Liste des figures .....   | VIII   |
| Liste de tableaux.....  | IX     |
| Liste des abréviations.....   | X      |
| Introduction .....  | - 2 -  |
| Partie 01 : Etude bibliographique.....                                      | - 5 -  |
| Chapitre 01 : Présentation des plante étudiées .....                        | - 5 -  |
| 1. Les plantes médicinales.....   | - 5 -  |
| 1.1. Intérêt de l'étude des plantes médicinales .....                       | - 5 -  |
| 2. La famille <i>Thymelaeaceae</i> .....                                    | - 6 -  |
| 3. La famille <i>Cistaceae</i> .....  | - 9 -  |
| 4. Études antérieures des plantes étudiées .....                            | - 11 - |
| Chapitre 02 : Les radicaux libres et les antioxydants .....                 | - 14 - |
| 1. Le stress oxydatif.....  | - 14 - |
| 2. Les radicaux libres .....  | - 14 - |
| 3. Les antioxydants .....   | - 15 - |
| Chapitre 03 : Les substances bioactives des plantes.....                    | - 18 - |
| 1. Les métabolites secondaires.....   | - 18 - |
| Partie 02 : partie expérimentale.....                                       | - 22 - |
| Chapitre 01 : matériels et méthodes .....                                   | - 22 - |
| 1. Méthodes expérimentales.....   | - 22 - |
| 1.1. Méthode d'extraction (Soxhlet).....                                    | - 22 - |
| 1.2. Méthodes d'évaluation <i>in vitro</i> de l'activité anti oxydante..... | - 23 - |
| Chapitre 02 : Résultats et discussion .....                                 | - 29 - |
| I .Évaluation de l'activité antioxydante .....                              | - 29 - |
| Conclusion et perspectives .....  | - 40 - |
| Références .....  | - 43 - |
| Annexe I.....   | - 54 - |
| Annexe II.....  | - 56 - |
| Annexe III .....  | - 57 - |

## Liste des figures

|   |      |
|---|------|
| Figure 1 : Photo illustre l'espèce <i>Thymelaea hirsuta</i> (Linné) Endlicher (Photos originales). A- feuilles cotonneuses. B- fleurs mâles. C- fleurs femelles ..... | 7 -  |
| Figure 2 : Photo illustre l'espèce <i>Thymelaea microphylla</i> .....   | 8 -  |
| Figure 3 : Photo représentative de L'espèce <i>Helianthemum lippii</i> .....  | 10 - |
| Figure 4 : Photo représentative de L'espèce <i>Helianthemum virgatum</i> .....  | 11 - |
| Figure 5 : Structure chimique de phénol .....   | 18 - |
| Figure 6 : Structure d'isoprène (2-méthyl-1,3-butadiène) .....  | 19 - |
| Figure 7 : Structures chimiques de quelques alcaloïdes .....  | 20 - |
| Figure 8 : Schéma d'extracteur Soxhlet .....  | 22 - |
| Figure 9 : Réaction de test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) .....   | 23 - |
| Figure 10 : Protocole de FRAP .....   | 27 - |
| Figure 11 : Courbe d'étalonnage de vitamine C (acide ascorbique) .....  | 29 - |
| Figure 12 : Courbe d'étalonnage de vitamine C .....   | 34 - |
| Figure 13 : Représentation graphique d'absorbance de FRAP en fonction des concentrations-   | 34 - |

## Liste de tableaux

|   |        |
|---|--------|
| <u>Tableau 1 : Classification systématique de <i>T.hirsuta</i> et <i>T.microphylla</i>.</u> ....                  | - 8 -  |
| <u>Tableau 2 : Classification systématique de <i>Helianthemum lippii</i> et <i>Helianthemum virgatum</i>.</u> ... | - 11 - |
| <u>Tableau 3 : Les systèmes de défense antioxydant.</u> .....   | - 16 - |
| <u>Tableau 4 : Préparation des dilutions des extraits.</u> .....  | - 25 - |
| <u>Tableau 5 : les résultats obtenus par le test DPPH</u> .....   | - 31 - |
| <u>Tableau 6 : les résultats obtenus par le test FRAP.</u> .....  | - 36 - |

## Liste des abréviations

AA : acide ascorbique.

ABTS : acide 2,2'-azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique).

AcOEt : acétate d'éthyle.

Céq : Concentration équivalente de la vitamine C.

CUPRAC: Cupric Ion Reducing Antioxidant Capacity.

DPPH: 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl.

Fe<sup>2+</sup>: fer ferreux.

Fe<sup>3+</sup> : fer ferrique.

FeCl<sub>3</sub> : Chlorure de fer.

FRAP: Ferric reducing antioxidant power.

*H.lippii: Helianthemum lippii.*

*H.virgatum: Helianthemum virgatum.*

MeOH: Méthanol.

ORAC: Oxygen Radical Absorbance Capacity.

PI% : pourcentage d'inhibition.

*T. hirsuta : Thymelaea hirsuta.*

*T. microphylla : Thymelaea microphylla.*

TPTZ : 2, 4,6-Tri (2-pyridyl)-1, 3,5-triazine.

VCEAC : Capacité antioxydante équivalente en vitamine C.

σ : écart type.

---

# *Introduction*

---

## Introduction

Les plantes ont toujours joué un rôle important dans le quotidien de l'homme, aussi bien au niveau de son alimentation que pour leur usage en thérapie. Elles sont utilisées pour soigner et soulager différents maux grâce à leurs activités biologiques et à leurs composés naturels bioactifs présents dans ces plantes connus sous le nom de métabolites secondaires (**Boudjouref, 2018**).

L'étude approfondie des métabolites secondaires des plantes médicinales a permis d'identifier et de caractériser de nombreux principes actifs responsables de leurs effets thérapeutiques. Ces connaissances précieuses ont contribué au développement de nombreux médicaments d'origine végétale (**Bouyahyaoui et al., 2019**). Ces substances représentent une source importante d'antioxydants naturels tels que les alcaloïdes, les terpènes et les composés phénoliques.

En effet, les composés phénoliques possèdent diverses activités biologiques dont le potentiel antioxydant contre le processus oxydatif induit par les radicaux libres, qui sont des molécules instables avec un électron célibataire, ce qui les rend hautement réactifs. Lorsque les radicaux libres réagissent avec d'autres molécules, ils peuvent endommager les cellules et les tissus tels que les protéines, les lipides et l'ADN, contribuant à l'apparition des diverses maladies et au processus de vieillissement. Ce qui entraîne un état de stress oxydatif (**Kotha, Tareq, Yildiz, & Luthria, 2022**).

Les antioxydants synthétiques utilisés dans l'industrie alimentaire pour la stabilisation des aliments ont des effets secondaires. Des études sur la toxicité exercée par des antioxydants synthétiques ont entraîné une augmentation de la demande des antioxydants naturels dans le secteur alimentaire pharmaceutique et cosmétique (**Shahidi & Ambigaipalan, 2015**). Pour résoudre ces problèmes, l'utilisation des plantes médicinales aux propriétés antioxydantes est l'une des approches les plus intéressantes à adopter (**Tagnaout et al., 2022**).

Dans ce contexte, nous sommes intéressés à évaluer et à comparer l'activité antioxydante de huit extraits obtenus de quatre plantes médicinales (*Helianthemum lippii*, *Helianthemum virgatum*, *Thymelaea microphylla* et *Thymelaea hirsuta*) en utilisant deux méthodes : le Test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) et le Test

FRAP (Ferric Reducing Antioxydant Power), afin de mesurer la capacité des extraits pour neutraliser les radicaux libres et à réduire les dommages oxydatifs.

Notre travail sera présenté comme suit :

La première partie est consacrée à l'étude bibliographique, Il est divisé en trois chapitres.

- Le premier chapitre a été essentiellement consacré aux données bibliographiques sur les plantes choisies.
- Le deuxième chapitre concerne les radicaux libres et les antioxydants.
- Le troisième chapitre décrit les substances bioactives des plantes.

La deuxième partie est rapportée sur la partie expérimentale. Elle est divisée en deux chapitres : le premier présente les matériels et les méthodes utilisés et le deuxième chapitre traite des résultats et de la discussion de chaque expérimentation de travail.

Finalement, ce travail a été complété par une conclusion et des références bibliographiques.

---

*Etude bibliographique*

---

## **Partie 01 : Etude bibliographique**

### **Chapitre 01 : Présentation des plante étudiées**

#### **1. Les plantes médicinales**

Les plantes médicinales sont définies par la pharmacopée française, comme les drogues végétales dont au moins une partie possède des propriétés médicamenteuses. Ces plantes contiennent une ou plusieurs substances pouvant être utilisées à des fins thérapeutiques pour prévenir, soulager ou traiter diverses maladies et affections (Sofowora, 2010).

Selon l'OMS plus de 20000 plantes utilisées dans le monde pour ses propriétés médicinales, seulement 2000 à 3000 plantes ont été étudiées au niveau scientifique. Ce qui constitue un large éventail de biodiversité utilisé par les êtres vivants (Boudoukha, 2020).

##### **1.1. Intérêt de l'étude des plantes médicinales**

La plupart des espèces végétales qui poussent dans le monde possèdent des propriétés thérapeutiques, car elles contiennent des principes actifs qui agissent directement sur l'organisme (Khenfer & Medjouel, 2016).

Ces molécules présentent un intérêt thérapeutique curatif ou préventif pour l'homme et l'animal, qui se trouve dans toutes les parties de la plante, mais de manière inégale et ils n'ont pas les mêmes propriétés (Ben Ammar *et al.*, 2008).

Aujourd'hui, L'étude des plantes est utile dans la découverte de nouveaux traitements. L'emploi de ces plantes est très valorisé dans toutes les traditions médicales, Leur utilisation et leurs effets ont donc été minutieusement étudiés, documentés et développés (Grünwald & Jänicke, 2006).

## 2. La famille *Thymelaeaceae*

C'est une famille voisine de celle du Laurier et des Magnolias. Les *Thymelaeaceae* sont des arbustes ou des plantes herbacées, dicotylédones à feuilles simples et entières, Les fleurs sont hermaphrodites regroupées en inflorescences, Les fruits sont les plus souvent une baie ou une drupe qui sont toxiques pour la plupart des espèces.

Les membres de cette famille sont répandus dans les zones tempérées et tropicales, avec une diversité plus marquée dans l'hémisphère sud, et sont absents seulement dans les régions aux climats les plus froids (**Borris, Blaskó, & Cordell, 1988**).

Cette famille comprend près de 1200 espèces réparties en 67 genres (**Dehimi, 2011**). L'un de ses genres les plus connus est le genre *Thymelaea*, qui se compose d'environ 31 espèces d'arbustes aux feuilles très petites et aux fleurs jaunâtre ou verdâtre (**Galicja-Herbada & Evolution, 2006**).

### 2.1. L'espèce *Thymelaea hirsuta*

Est une plante médicinale aromatique, utilisée depuis longtemps dans la médecine traditionnelle. Elle possède un effet anticancéreux, antioxydant, antifongique, antidiabétique et purgatif (**Ferrari, 2002**).

Cette plante est signalée comme très toxique, car elle contient des diterpènes très toxiques. Un simple contact avec la peau peut provoquer une réaction inflammatoire intense (**Brooks et al., 1990**).

#### 2.1.1. Description botanique

C'est un arbrisseau de 2 à 3 m de hauteur aux rameaux garnis (**Benghanem, 2010**), aux tiges très ramifiées. Les feuilles sont de forme ovale, épaisse et petites de 10 mm. Les fleurs sont de couleur jaunâtre de 4 mm de longueur (figure 1).



**Figure 1** : Photo illustre l'espèce *Thymelaea hirsuta* (Linné) Endlicher (Photos originales). A- feuilles cotonneuses. B- fleurs mâles. C- fleurs femelles

(<https://africanplantdatabase.ch/en/nomen/specie/154161/thymelaea-hirsuta-l-endl>)

### 2.1.2. Nomenclature

Nom Latin : *Thymelaea hirsuta*.

Nom français : Thymélées hirsute, Passerine hérissée.

Nom anglais : Hairy Thymelaea.

Nom arabe : Methnane, Methnane el akhdar (ADOUANE, 2016).

### 2.2. L'espèce *Thymelaea microphylla*

*Thymelaea microphylla* communément appelée en Algérie « Methnane el Abiad» est une plante médicinale qui pousse dans les pâturages arides et désertiques. C'est l'une des nombreuses autres plantes du Sahara algérien qui sont insuffisamment étudiées. Cette plante est traditionnellement utilisée pour ses propriétés anti-inflammatoires, anticancéreuses, antidiabétiques et anti oxydantes. Ses parties aériennes sont utilisées pour traiter les abcès, les douleurs abdominales et le rhumatisme (Dahamna *et al.*, 2015).

### 2.2.1. Description botanique

*Thymelaea microphylla* est une plante vivace très rameuse, poussant sous forme d'arbrisseau de 30 cm à 1 m de haut. A rameaux allongés, dressés et d'une coloration blanchâtres-soyeux. Feuilles sont très petites et espacées. Petites fleurs blanc- jaunâtre en glomérules, à 4 sépales soudés en tube sur les trois quarts de leur longueur (figure 2). (Ozenda, 2004).



**Figure 2** : Photo illustre l'espèce *Thymelaea microphylla*

(<https://africanplantdatabase.ch/fr/nomen/specie/154167/thymelaea-microphylla-coss-durieu-ex-meisn>)

### 2.2.2. Systématique de *T.hirsuta* et *T.microphylla*

**Tableau 1** : Classification systématique de *T.hirsuta* et *T.microphylla*. (Dupont & Guignard, 2007)

|               |                          |                              |
|---------------|--------------------------|------------------------------|
| Règne         | Plantae                  |                              |
| Embranchement | Phanérogames             |                              |
| Classe        | Eudicots                 |                              |
| Ordre         | Malvales                 |                              |
| Famille       | <i>Thymelaeaceae</i>     |                              |
| Genre         | <i>Thymelaea</i>         |                              |
| Espèce        | <i>Thymelaea hirsuta</i> | <i>Thymelaea microphylla</i> |

### 3. La famille *Cistaceae*

La famille *Cistaceae* constitue une petite famille de plantes dicotylédones, herbacées ou arbustes à feuilles persistantes (Heywood, Brummitt, Culham, & Seberg, 2007) Leur nom provient de celui des Cistes devient de mot grec «*kistos*» qui signifie capsule.

Les plantes de cette famille sont originaires des régions tempérées et subtropicales. On la trouve dans l'hémisphère nord (Arrington & Kubitzki, 2003). Certaines espèces sont adaptées à des environnements arides et peuvent tolérer des sols pauvres en nutriments.

C'est une famille qui comprend environ 170 à 200 espèces regroupées en 8 genres. La plupart des membres de cette famille sont très parfumés faisant un élément bien appréciable en industrie des parfums (Ferrandis, Herranz, & Martínez-Sánchez, 1999). De plus, plusieurs espèces ont des propriétés médicinales grâce à leur richesse en composés phénoliques qui leur attribuent des activités anti-oxydantes et antimicrobiennes.

#### 3.1. L'espèce *Helianthemum lippii*

*Helianthemum lippii*, appelée aussi en Algérie «*Rguig* », est une plante bien adaptée aux climats chauds. Cette espèce fait des associations symbiotiques mycorhiziennes avec des truffes (Turgeman *et al.*, 2011). Les mycorhizes offrent à la plante la possibilité d'obtenir davantage d'eau et de nutriments et augmentent son adaptation au stress abiotique, ce qui la rend résistante à la sécheresse et à la salinité (Arenas, López-García, Berná, Morte, & Navarro-Ródenas, 2022).

Cette plante présente un intérêt pharmacologique en traitant les problèmes dermatologiques, que ce soit sous forme de poudre ou en compresse appliquée sur la zone affectée.

### 3.1.1. Description botanique

C'est un petit arbrisseau vivace à nombreuses branches dont la taille et la forme sont différentes selon l'environnement dans lequel il se développe. Ses tiges raides et en partie lignifiées, ses feuilles opposées allongées et couvertes de très courts poils de couleur vert blanchâtre, comportent deux stipules. De minuscules fleurs jaunes en grappes comportant cinq pétales (figure 3). (Deghiche-Diab & Deghiche, 2016).



**Figure 3** : Photo représentative de L'espèce *Helianthemum lippii*

(<https://africanplantdatabase.ch/en/nomen/specie/12073/helianthemum-lippii-l-dum-cours>)

### 3.2. L'espèce *Helianthemum virgatum*

C'est une plante herbacée ou sous-arbrisseau de 10 à 50 cm de hauteur, bien adaptée aux environnements arides et ensoleillés. Elle possède des tiges fines et ramifiées, des feuilles opposées, ses fleurs violettes parfois blanchâtres à cinq pétales (figure 4). Elle est distribuée dans les régions méditerranéennes, en Afrique du Nord, en Europe du Sud et en Asie occidentale. Cette plante joue un rôle important dans la biodiversité des garrigues et des maquis méditerranéen. (Battandier & Trabut, 1888).



**Figure 4 :** Photo représentative de L'espèce *Helianthemum virgatum*

(<https://africanplantdatabase.ch/fr/nomen/specie/135407/helianthemum-virgatum-desf-pers>)

### 3.2.1. Systématique de *Helianthemum lippii* et *Helianthemum virgatum*

**Tableau 2 :** Classification systématique de *Helianthemum lippii* et *Helianthemum virgatum* (Deghiche-Diab & Deghiche, 2016).

|               |                              |                            |
|---------------|------------------------------|----------------------------|
| Règne         | Plantae                      |                            |
| Embranchement | Streptophyta                 |                            |
| Classe        | Equisetopsida                |                            |
| Ordre         | Malvales.                    |                            |
| Famille       | <i>Cistaceae</i>             |                            |
| Genre         | <i>Helianthemum</i>          |                            |
| Espèce        | <i>Helianthemum virgatum</i> | <i>Helianthemum lippii</i> |

## 4. Études antérieures des plantes étudiées

### 4.1. *Thymelaea hirsuta*

L'évaluation du pouvoir antioxydant des extraits (chloroforme, acétate d'éthyle et n-butanol) par le test DPPH a montré que la plante possède un fort potentiel antioxydant, ce qui appuie son usage en médecine traditionnelle pour traiter les troubles digestifs et les infections. (Belkararroubi et Boussaid, 2017).

L'étude d' (Akrouit *et al.*, 2011) a évalué les activités antioxydantes et antitumorales des extraits éthanol-eau et hexanique de *Thymelaea hirsuta* et *Artemisia*

*campestris* issues du sud tunisien. Bien que *T. hirsuta* présente une activité antioxydante inférieure à celle d'*A. Campestris*, ses extraits ont montré un effet antitumoral significatif sur les cellules cancéreuses HT-29, soulignant son potentiel en tant qu'agent antiprolifératif.

L'évaluation des effets d'isolats d'un extrait méthanolique de *T. hirsuta* sur le carcinome hépatocellulaire (CHC) confirme que la plante possède un intérêt comme source potentielle d'agent antitumoral ciblant le carcinome hépatocellulaire (**Badawy et al., 2021**).

#### **4.2. *Thymelaea microphylla***

L'analyse de l'activité antioxydante des extraits (aqueux, éthanol, acétone et hexane) de *T. microphylla* originaire de M'sila par trois méthodes : DPPH, ABTS et ORAC. Ce qui ouvre la voie à l'utilisation de la plante pour soigner les infections cutanées. (**Dehimi et al., 2016**).

Les travaux de (**Noman et al., 2017**) à des fins d'isolation d'un nouveau composé de type benzimidazole ainsi que de six autres composés connus à partir de *Thymelaea microphylla*. Ces substances ont été évaluées pour leurs activités antiproliférative (contre les cellules tumorales) et antioxydante, révélant un potentiel prometteur pour des applications thérapeutiques futures dans le traitement du cancer et la gestion du stress oxydatif.

L'exploration des constituants phytochimique des fractions chloroforme et acétate d'éthyle de l'extrait hydroéthanolique des parties aériennes de *T. microphylla* originaire d'Algérie révélant la richesse en métabolites secondaires et le potentiel bioactif de cette plante (**Mekhelfi et al., 2014**).

#### **4.3. *Helianthemum lippii***

L'étude de l'activité antiradicalaire de l'extrait aqueux par la méthode de DPPH a révélé que la plante montre un intérêt médical promoteur contre le stress oxydatif et l'inflammation. (**Laib & Djahra, 2022**).

L'évaluation des activités analgésiques et anti-inflammatoires de *Helianthemum lippii* et *Launaea resedifolia* d'origine libyenne sur l'œdème de la patte induit par le carraghénane chez le rat montre que la plante *H. lippii* offre un potentiel thérapeutique intéressant justifiant la poursuite d'études pour isoler et caractériser les composés actifs responsables de ces effets. (Ermeli et al., 2012).

Les résultats de l'étude des propriétés phytochimiques, antioxydantes, antimicrobiennes, anti-inflammatoires et antiulcéreuses de l'extrait méthanolique de *H.lippii*, collecté en Libye par (Alsabri et al., 2013), indiquent que cet extrait présente un fort potentiel en tant qu'agent gastroprotecteur pour traiter les maladies gastriques.

#### **4.4. *Helianthemum virgatum***

L'évaluation du pouvoir antifongique par Bentouati et al. (2024) d'extrait hexanique et acétate d'éthyle de l'*Helianthemum virgatum* contre trois souches de *Fusarium* pathogène suggère que la plante présente une activité antifongique indiquant son intérêt comme fongicide naturel en agriculture.

## Chapitre 02 : Les radicaux libres et les antioxydants

### 1. Le stress oxydatif

Le stress oxydatif est défini comme un déséquilibre de la balance antioxydants/radicaux libres dans l'organisme.

C'est un phénomène complexe impliquant une production excessive des radicaux libres (pro-oxydants) et une insuffisance des défenses antioxydantes, entraînant de graves dommages à la structure des macromolécules (lipides, protéines et ADN) et des lésions tissulaires (Apak, Özyürek, Güçlü, Çapanoğlu, & chemistry, 2016). Ces anomalies sont impliquées dans le développement des maladies cardiovasculaires, du cancer, des complications du diabète et encore des affections neurodégénératives (Favier, 1997).

### 2. Les radicaux libres

Un radical libre est une espèce chimique, molécule, ou bien atome, qui possède un ou plusieurs électrons célibataires (électrons non appariés sur une orbitale) (Goudable & Favier, 1997).

Donc le radical libre a la propriété d'être instable, très réactif avec une durée de vie très courte. Pour devenir stable, il peut réagir avec des molécules les plus stables pour appairer son électron, il peut arracher un électron (comme un oxydant), soit en cédant un électron (agissant comme un réducteur)(Beddek & Hedjar, 2018). Il est produit d'une manière continue au sein de notre organisme, au cours de nombreux phénomènes biologiques tels que la respiration cellulaire et la phagocytose (Marfak, 2003).

#### 2.1. Sources des radicaux libres

Les radicaux libres sont produits continuellement à l'intérieur et à l'extérieur de la cellule par divers mécanismes. Donc, on parle de deux sources exogènes et endogènes.

### 2.1.1. Sources endogènes

Les cellules du système immunitaire comme les macrophages sont une source interne des radicaux libres dans le cadre de la réponse immunitaire. D'autres sources proviennent de la respiration cellulaire et de la réaction des cellules à des processus inflammatoires, et peuvent augmenter la génération des radicaux libres contre les agressions extérieures telles que les infections bactériennes et les rayons ultraviolets (Pelletier & Campbell, 2004).

### 2.1.2. Sources exogènes

Les radicaux libres sont également produits par des phénomènes extérieurs à notre organisme comme l'exposition aux rayons ultraviolets, aux pollutions diverses, aux produits chimiques ainsi qu'aux contaminations par des métaux lourds (Nassima & Ramzi, 2015). L'ozone lui-même est un oxydant puissant également producteur de radicaux libres toxiques (Antoine & Lachapelle, 1990).

## 3. Les antioxydants

Le terme « antioxydant » est dérivé du grec « anti », qui signifie contre, et de l'anglais « oxydant », qui signifie une substance qui peut provoquer une oxydation et des dommages causés par les radicaux libres (Hechtman, 2019).

Les antioxydants sont des substances naturelles ou synthétiques qui agissent sur les fonctions physiologiques de l'homme en empêchant l'oxydation des matières oxydables en éliminant les radicaux libres et en diminuant le stress oxydatif (Lee, Kim, Lee, Lee, & chemistry, 2003).

La signification du terme est variée selon le domaine dans lequel il est utilisé. En médecine, les antioxydants sont des enzymes ou des molécules organiques capables d'inhiber les effets néfastes des radicaux libres. Dans l'industrie alimentaire, les antioxydants sont définis comme des composés naturels ou synthétiques qui préviennent les dommages causés par les radicaux libres (Watson & Preedy, 2012).

### 3.1. Classification des antioxydants

Les antioxydants sont des systèmes de défense enzymatiques et non enzymatiques.

**Tableau 3** : Les systèmes de défense antioxydant

| Système enzymatique   |  | Références  |
|---|--|---|
| Ce système est constitué d'enzymes ou d'agents réducteurs : le superoxyde dismutase, la catalase, la glutathion peroxydase et la glutathion réductase sont considérés comme la première ligne de défense de notre organisme contre les radicaux libres par leur transformation en molécules stables et non réactives. |  | (Garait, 2006)  |
| Système non-enzymatique   |  |   |
| Les antioxydants endogènes  |  |   |
| <b>La glutathion</b>  | C'est un antioxydant hydrosoluble et l'un des antioxydants les plus puissants produits par le corps humain, qui protège les cellules contre les lésions oxydatives et il agit comme un réducteur pour régénérer d'autres antioxydants.   | (de Almeida Torres, dos Anjos Ferreira, Luchini, de Almeida Torres, & Correa, 2022) |
| <b>L'acide urique</b>   | L'acide urique est le produit final du métabolisme de la purine (protéine) qui est éliminé par les urines. C'est l'un des meilleurs antioxydants du plasma, ce qui lui donne un effet protecteur. Si la concentration d'acide urique est très élevée dans le sang, il peut être responsable de douleurs articulaires ou de calculs rénaux. | (Johnson et al., 2009)  |
| Les antioxydants exogènes (Naturels)  |  |   |
| <b>La vitamine C (L'acide ascorbique)</b>   | est un nutriment essentiel bien connu pour ses propriétés bénéfiques pour la santé. C'est un antioxydant hydrosoluble qui inhibe l'oxydation des lipides en protégeant nos cellules contre les dommages des radicaux libres.   | (Nimse & Pal, 2015)   |

|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>La vitamine E (alpha-tocophérol)</b>         | est un antioxydant liposoluble. Elle se fixe aux membranes et protège des cellules contre les dommages associés aux radicaux libres en réagissant avec les radicaux pyroxyles pour former un radical tocophéryle.  | <b>(Rahman, 2007)</b>  |
| <b>Les caroténoïdes</b>                         | Les caroténoïdes sont des substances naturelles responsables des couleurs jaunes à rouges dans les fruits et légumes qui agissent comme antioxydants pour prévenir le vieillissement cellulaire et certaines maladies dégénératives. Certains <b>caroténoïdes</b> peuvent se transformer en vitamine A.                                | <b>(Roberfroid, 2002)</b>  |
| <b>Les polyphénols</b>                          | En particulier, les flavonoïdes apparaissent parmi les antioxydants végétaux les plus efficaces quant à leurs effets protecteurs de l'organisme. Les polyphénols offrent une protection contre le stress oxydatif même à faibles concentrations et agissent indirectement en préservant les enzymes antioxydantes naturelles du corps. | <i>(Rice-Evans, Miller, Paganga, &amp; medicine, 1996)</i><br><br><b>(Weichselbaum &amp; Buttriss, 2010)</b> |
| <b>Les oligo-éléments</b>                       | Ce sont des éléments minéraux qui exercent indirectement un rôle antioxydant en agissant comme des cofacteurs. Ainsi, le cuivre, le zinc et le fer sont des cofacteurs pour le superoxyde dismutase, le fer est également un cofacteur pour la catalase et le sélénium est le cofacteur du glutathion-peroxydase.                      | <b>(Delattre, Durand, &amp; Jardillier, 2003)</b>  |
| <b>Les antioxydants exogènes (Synthétiques)</b> |  |  |
|   | Les antioxydants synthétiques sont fréquemment utilisés en tant qu'additifs pour prévenir le rancissement oxydatif des aliments, des produits pharmaceutiques et des produits commerciaux. car ils sont efficaces et moins chers que les antioxydants naturels, tels que le butylhydroxyanisole (BHA) et le butylhydroxytoluène (BHT). | <b>(Freitas &amp; Fatibello-Filho, 2010)</b>   |

## Chapitre 03 : Les substances bioactives des plantes

### 1. Les métabolites secondaires

Les métabolites secondaires appelés composés bioactifs qui sont des entités chimiques synthétisées par les végétaux à partir des métabolites primaires par diverses voies (Singh, Devaraj, & Jialal, 2005). Ce sont des composés de faible poids moléculaire avec diverses structures chimiques et activités biologiques. Ces métabolites jouent un rôle important dans la protection et le développement des plantes.

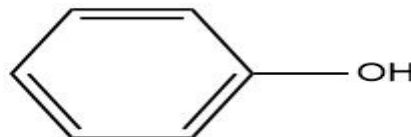
#### 1.2. Principales classes de métabolites secondaires

Les métabolites secondaires peuvent être classés en fonction de leur structure chimique, de leur composition et de leur solubilité (Tiwari, Rana, & Science, 2015)

##### 1.2.1. Les polyphénols

Les polyphénols ou bien les composés phénoliques, ce sont des composants chimiques synthétisés par les plantes, constituent un groupe important de substances naturelles présentes dans le règne végétal. Structurellement, ils ont au moins un cycle aromatique lié à un groupe hydroxyle.

Ces substances jouent un rôle important dans la défense des plantes contre les agents pathogènes et contribuent à la prévention de différentes maladies (Achat, 2013; Maqsood *et al.*, 2013).

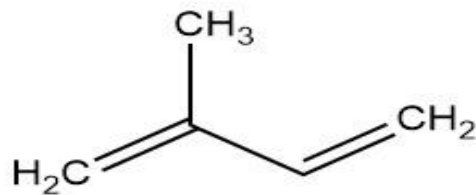


**Figure 5** : Structure chimique de phénol

### 1.2.2. Les terpénoïdes

Les terpénoïdes, également connus sous le nom d'isoprénoïdes, sont des hydrocarbures aromatiques dérivés d'unités d'isoprène à cinq atomes de carbone, qui est l'unité de base. Selon leur nombre d'unités isopréniques, ils sont classés en monoterpènes (2 unités d'isoprènes), sesquiterpènes et polyterpènes. Un grand nombre de monoterpènes constituent les essences végétales odorantes (géraniol, limonène, menthol,...).

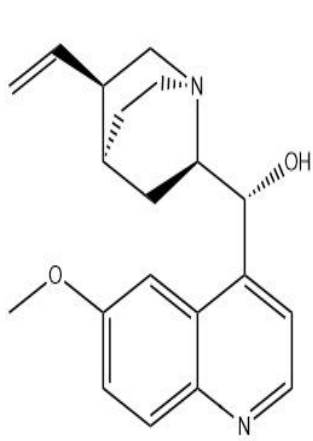
Ils servent à protéger les plantes contre les stress environnementaux. En outre, ils possèdent des effets antioxydants, anti-inflammatoires et anticancéreux (**Sauvion, Calatayud, Thiéry, & Marion-Poll, 2013**)



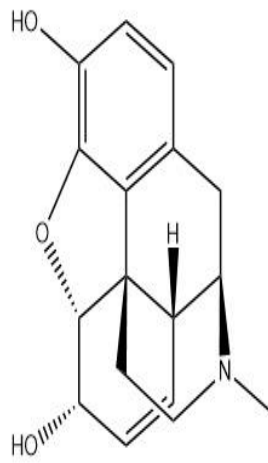
**Figure 6 :** Structure d'isoprène (2-méthyl-1,3-butadiène)

### 1.2.3. Les alcaloïdes

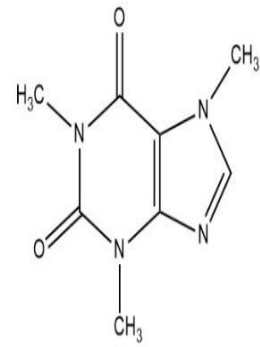
Ce sont des molécules organiques hétérocycliques comportant un ou plusieurs atomes d'azote, qui sont stockées dans les plantes en tant que produits de différentes voies biosynthétiques à partir des acides aminés tels que l'ornithine, la tyrosine, le tryptophane et autres (**Jost, 2016**). Ils constituent une classe de produits naturels présentant une grande diversité structurale tels que la morphine, la nicotine, la cocaïne, la quinine. Ils sont caractérisés par leurs propriétés analgésique (morphine), stimulant (caféine) ou antipaludique (quinine).



**Quinine**



**Morphine**



**caféine**

**Figure 7 : Structures chimiques de quelques alcaloïdes**

---

# *Matériels et Méthodes*

---

## Partie 02 : partie expérimentale

### Chapitre 01 : matériels et méthodes

Notre étude expérimentale a été menée dans le laboratoire de recherche des sciences fondamentales du département de biologie de l'Université Amar Telidji de Laghouat.

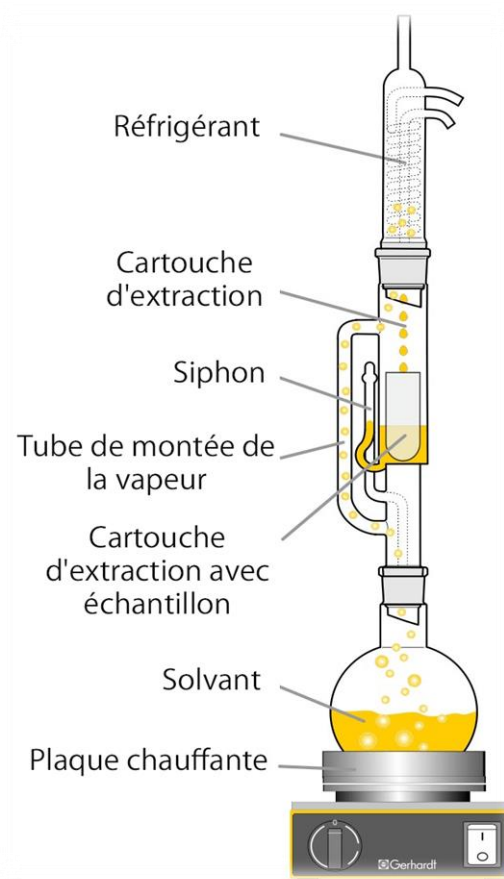
#### 1. Méthodes expérimentales

Les extraits méthanolique et d'acétate d'éthyle des plantes étudiées ont été préparés au préalable, sans notre intervention dans les procédures d'extraction en laboratoire.

##### 1.1. Méthode d'extraction (Soxhlet)

C'est une technique classique largement utilisée dans les laboratoires pour l'extraction des composés organiques semi-volatils à partir des échantillons solides. Elle est inventée par Franz Von Soxhlet en 1879.

L'extraction est effectuée à l'aide d'un appareil spécialisé avec une chambre d'extraction, un conduit de vapeur, un réfrigérant et un tube siphon. Il consiste à circuler un solvant dans un échantillon solide de manière répétée. Le solvant est chauffé jusqu'à son ébullition, générant une vapeur qui se condense dans un réfrigérant. Il tombe dans le ballon et solubilise la substance à extraire, puis le solvant est accumulé et ensuite évacué par un siphon vers le ballon inférieur. Cette opération est répétée plusieurs cycles pour une extraction complète. À la fin, le produit obtenu a été centrifugé pour séparer l'extrait et les précipités solides (Kou & Mitra, 2003).



**Figure 8** : Schéma d'extracteur Soxhlet

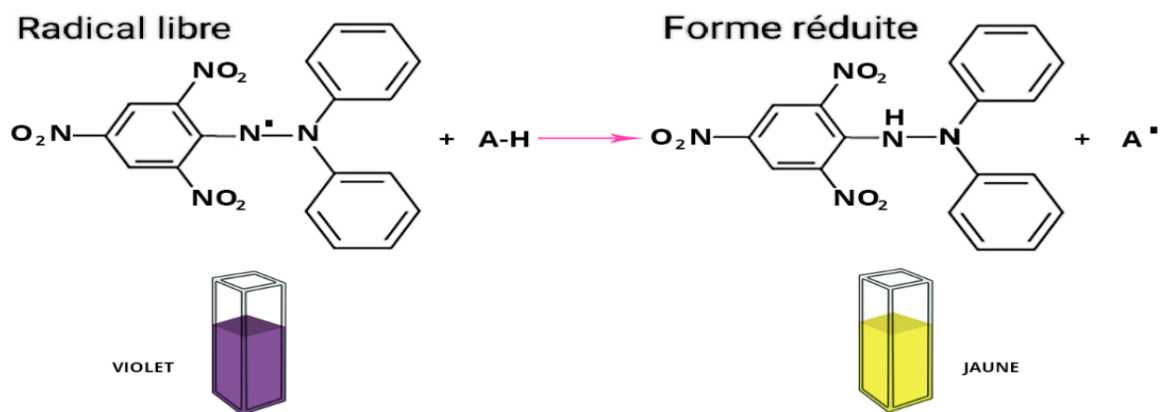
(<https://www.gerhardt.de/fr>)

## 1.2. Méthodes d'évaluation *in vitro* de l'activité anti oxydante

### 1.2.1. Test de piégeage du radical DPPH

#### A. Principe du test

Le test du 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH) est l'un des tests antioxydants les plus utilisés pour quantifier l'activité de piégeage des radicaux libres. Le DPPH est un radical libre stable découvert en 1920 par Goldschmidt et Renn et développé pour la première fois par Blois en 1958 (Avelino, 2024). Il présente une couleur violette lorsqu'il réagit avec une substance antioxydante qui peut donner un atome d'hydrogène, donnant lieu à la forme réduite (l'hydrazine DPPH-H). Cela provoque un changement de la couleur de la solution du violet au jaune. Ce changement est mesuré par spectrophotomètre à 517 nm pour contrôler le changement de couleur et déterminer le potentiel antioxydant de l'échantillon testé (Molyneux, 2004).



**Figure 9** : Réaction de test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle)

(<http://www.chimactiv.agroparistech.fr>)

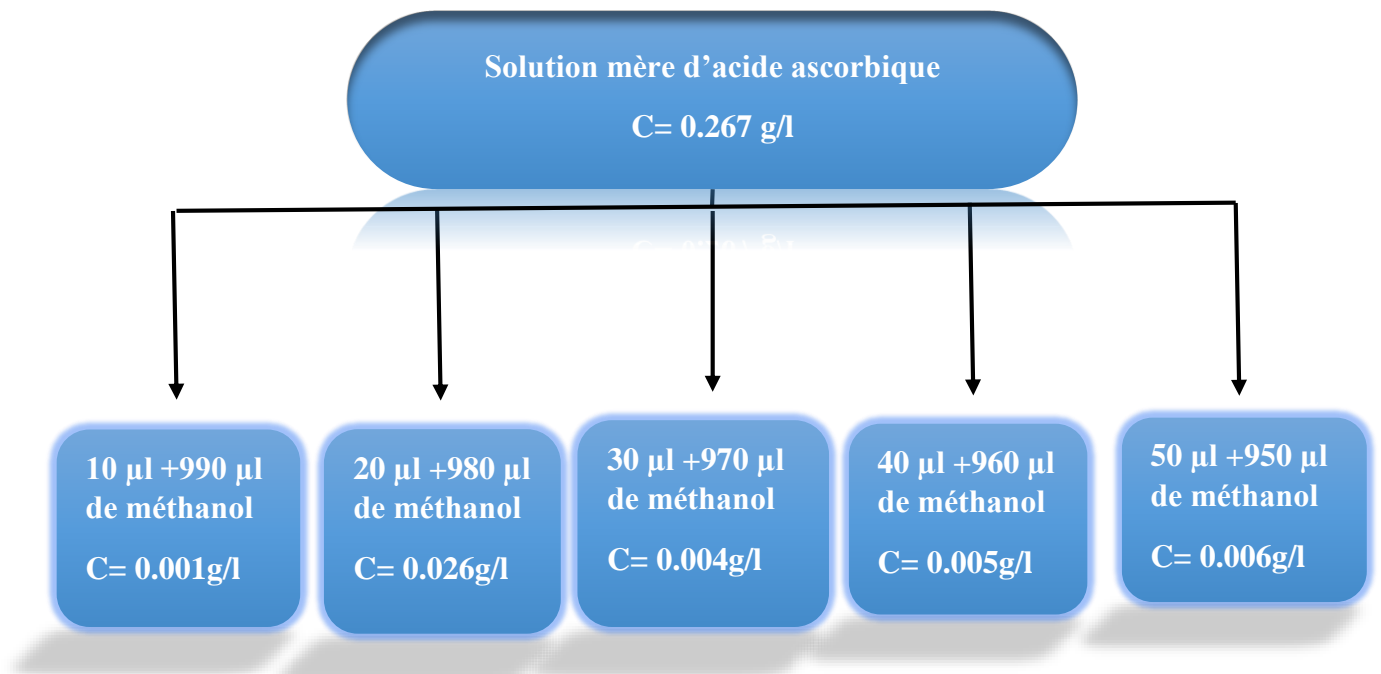
#### B. Mode opératoire

Le protocole expérimental de DPPH consiste à préparer les solutions à l'avance pour tracer la courbe d'étalonnage antioxydant de référence (**vitamine C**), qui

représente le pourcentage d'inhibition (**I %**) en fonction de la concentration de l'antioxydant en g/l.

**Solution de DPPH** : On dissout 1,9g du DPPH dans 200 ml de méthanol, puis on fait l'agitation pendant une heure.

**Solution de vitamine C** : on dissout 2,67 mg de vitamine C dans 10 ml de méthanol. Dans un tube, on met 200  $\mu$ l de cette dernière avec 1800  $\mu$ l de méthanol (solution mère). Ensuite, on prépare différentes dilutions de solution mère, comme illustré dans la figure suivante :



- Pour chaque tube, on ajoute 1 ml de solution DPPH avec agitation par le vortex. Un blanc a été préparé en parallèle (1 ml de méthanol + 1 ml de DPPH). Après incubation des tubes à l'obscurité pendant 30 min, les absorbances sont mesurées par spectrophotomètre UV-visible à 517 nm.

Pour évaluer l'activité antiradicalaire de différents extraits (méthanoliques et acétate d'éthyle de *Thymelaea microphylla*, *Thymelaea hirsuta*, *Helianthemum lippii* et *Helianthemum virgatum*). On fait plusieurs dilutions pour tracer la courbe pourcentage d'inhibition (**I %**) en fonction des concentrations en g/l.

**Tableau 4** : Préparation des dilutions des extraits.

| Les plantes           | Les extraits | Dilutions                            |
|-----------------------|--------------|--------------------------------------|
| <i>T. microphylla</i> | AcOEt        | 10 µL d'extrait +990 µL de méthanol  |
|                       | MeOH         | 10 µL d'extrait +990 µL de méthanol  |
| <i>T.hirsuta</i>      | AcOEt        | 50 µL d'extrait +950 µL de méthanol  |
|                       | MeOH         | 10 µL d'extrait +990 µL de méthanol  |
| <i>H.lippii</i>       | AcOEt        | 100 µL d'extrait +900 µL de méthanol |
|                       | MeOH         | 10 µL d'extrait +990 µL de méthanol  |
| <i>H.virgatum</i>     | AcOEt        | 80 µL d'extrait +920 µL de méthanol  |
|                       | MeOH         | 10 µL d'extrait +990 µL de méthanol  |

Dans chaque mélange réactionnel, on ajoute 1 ml de solution du DPPH avec agitation par vortex, puis ils sont incubés à l'obscurité pendant 30 minutes. La lecture a été effectuée au spectrophotomètre à 517 nm. Ce protocole est répété trois fois pour une même dilution pour tous les extraits.

Le pouvoir antioxydant des extraits est évalué par le pourcentage d'inhibition qui est donné par la formule suivante :

$$PI \% = \frac{(\text{Absorbance de DPPH sans extrait} - \text{Absorbance de l'extrait avec DPPH})}{\text{Absorbance de DPPH sans extrait}} \times 100$$

### 1.2.2. Test de réduction du fer (FRAP)

#### A. Principe du test

Il s'agit d'une technique colorimétrique qui repose sur la réduction du TPTZ (2, 4,6-tri (2-pyridyl)-1, 3,5-triazine) de couleur jaune pour produire du TPTZ de couleur bleue en présence des réducteurs dans les composés à tester. Le changement de la couleur peut être évalué en mesurant et en surveillant l'augmentation de la densité optique par spectrophotomètre à 593 nm. (Habibou, Idrissa, Ikhiri Khalid, & Benjamin, 2019).

La formation du complexe TPTZ indiquera un pouvoir réducteur qui détermine la capacité d'un composé à se comporter comme un antioxydant.

On détermine le pouvoir réducteur des extraits via le calcul du pourcentage d'inhibition selon la formule suivante :

$$PI \% = \frac{(\text{Absorbance de l'extrait avec FRAP})}{A0} \times 100$$

**A0** : Valeur d'absorbance lorsque la cinétique de réduction atteint une phase stationnaire.

### B. Mode opératoire

Dans un premier temps, on prépare la solution du FRAP contenant

- FeCl<sub>3</sub> (20 mM)
- TPTZ (10 mM) Un tampon acétate de sodium/acide acétique à pH 3,6.  
Les réactifs sont soigneusement dosés : FeCl<sub>3</sub> (0,162 g dissous dans 50 ml), TPTZ (0,312 g dans 10 ml de HCl 40 mM).
- Le tampon préparé en mélangeant 0,62 g d'acétate de sodium avec 3,2 ml d'acide acétique, complétés à 200 ml.

Finalement, la solution de travail FRAP est réalisée en mélangeant les trois solutions : 10 ml du tampon, 1 ml de FeCl<sub>3</sub> et 1 ml de TPTZ. L'acide ascorbique (AA) est utilisé comme contrôle positif (1,71 g/l). La courbe de ce dernier est obtenue après avoir fait des dilutions (20 µl, 40 µl, ... 300 µl). 50 µl de chaque dilution est ensuite ajouté à 1 ml de solution FRAP. La lecture des absorbances se fait à 593 nm par le spectrophotomètre. Le protocole expérimental de FRAP pour évaluer l'activité antioxydante des extraits est représenté dans l'organigramme suivant :

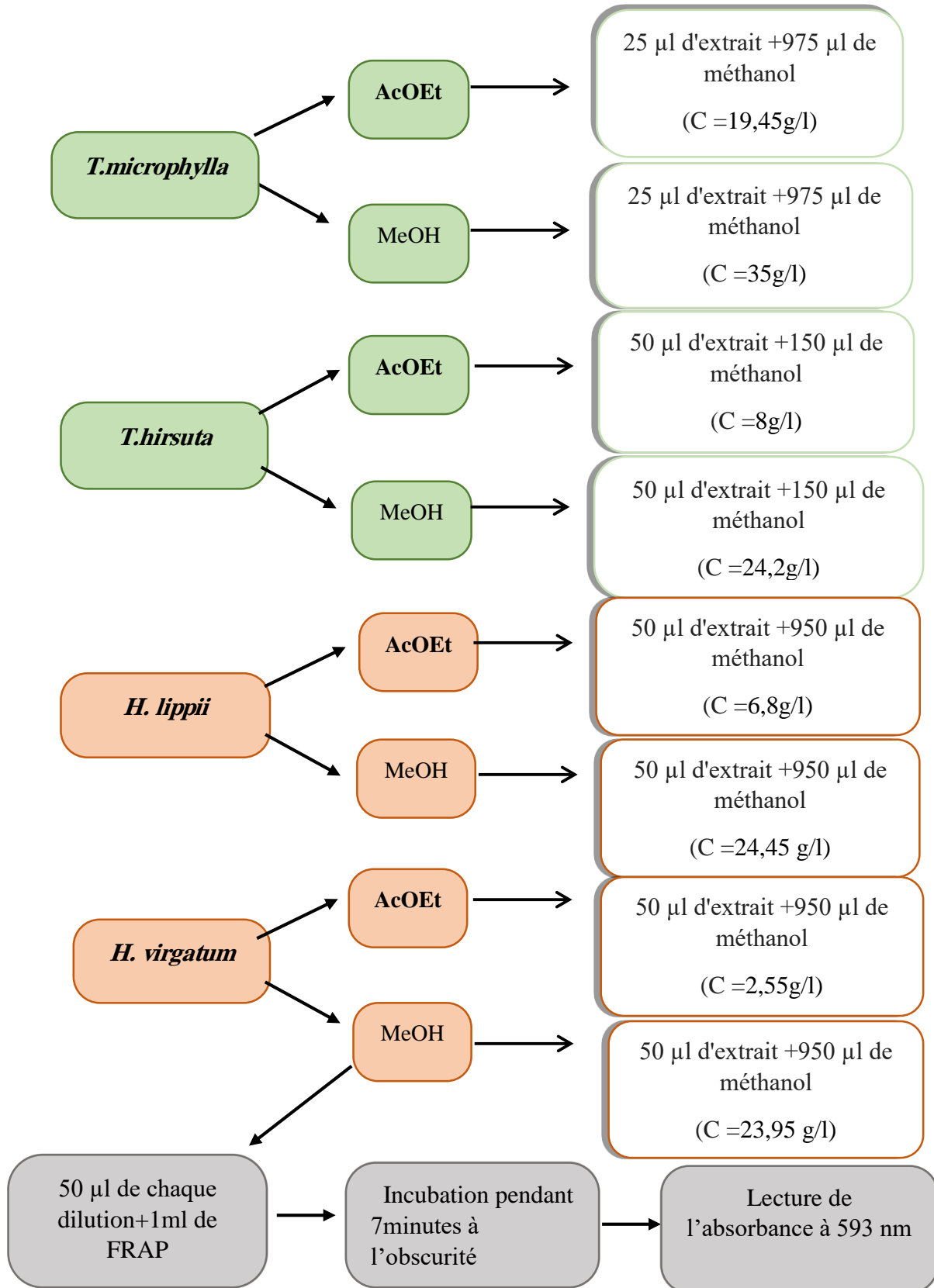


Figure 10 : Protocole de FRAP

---

## *Résultats et discussion*

---

## Chapitre 02 : Résultats et discussion

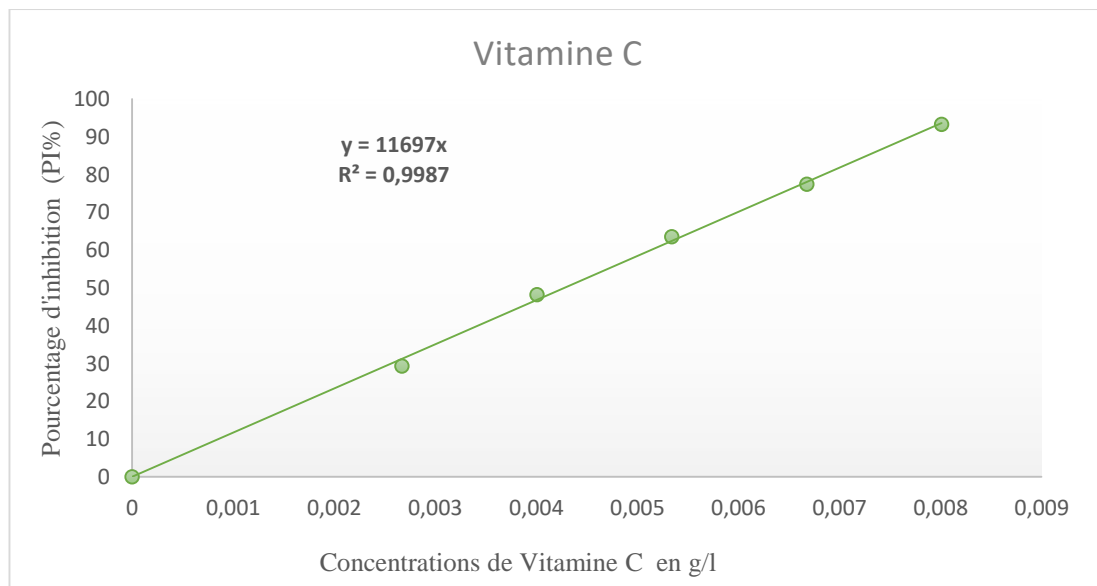
### I.Évaluation de l'activité antioxydante

L'évaluation du pouvoir antioxydant des extraits (de méthanol et d'acétate d'éthyle) pour quatre plantes a été réalisée par deux méthodes : le test de DPPH et le test FRAP.

#### 1. Test de piégeage du radical libre DPPH

Le radical à piéger utilisé dans ce test est le DPPH. Ce radical est souvent utilisé en raison de sa stabilité en forme radicalaire et de la simplicité de l'analyse. Il est utilisé pour l'évaluation de l'activité antioxydante par spectrophotométrie en suivant la réduction de ce radical, qui s'accompagne de son passage de la couleur violette (DPPH) à la couleur jaune (DPPH-H) mesurable à 517 nm.

Les résultats obtenus par le test du DPPH permettent de tracer la courbe d'étalonnage, qui représente le pourcentage d'inhibition (PI%) en fonction des concentrations de vitamine C exprimées en g/l, qui sont représentées dans la figure 12.



**Figure 11 :** Courbe d'étalonnage de vitamine C (acide ascorbique)

D'après les résultats obtenus dans la courbe, on constate que le pourcentage d'inhibition du radical libre augmente avec l'augmentation de la concentration.

L'activité antioxydante de nos extraits est exprimée par deux valeurs :

- VCEAC (mg/g d'extrait) qui est définie comme la quantité en mg de vitamine C possédant la même activité antioxydante que 1 g d'extrait. Plus la valeur de VCEAC est élevée, plus l'activité antioxydante est importante.
- Le rapport (R) entre la concentration de l'extrait après dilution (Cf) et la concentration équivalente de la vitamine C (Céq) : plus le rapport est petit, plus l'activité antioxydante est grande.

Les résultats sont illustrés dans le tableau 6 :

**Tableau 5** : les résultats obtenus par le test DPPH

| Espèce                | Extrait | Moyen de (PI%) | C (vit c) | Rapport (R) | VCEAC (mg/g) | $\sigma$ |
|-----------------------|---------|----------------|-----------|-------------|--------------|----------|
| <i>T. microphylla</i> | AcOEt   | 44,34          | 0,0038    | 25,65       | 38,98        | 0,64     |
|                       | MeOH    | 48,13          | 0,0041    | 21,26       | 47,03        | 0,63     |
| <i>T.hirsuta</i>      | AcOEt   | 46,14          | 0,0039    | 50,70       | 19,72        | 0,60     |
|                       | MeOH    | 56,78          | 0,0049    | 24,92       | 40,12        | 0,32     |
| <i>H.lippii</i>       | AcOEt   | 40,20          | 0,0034    | 98,92       | 10,11        | 0,60     |
|                       | MeOH    | 89,72          | 0,0077    | 7,97        | 125,49       | 0,63     |
| <i>H.virgatum</i>     | AcOEt   | 82,46          | 0,0071    | 14,47       | 69,12        | 0,64     |
|                       | MeOH    | 91,69          | 0,0078    | 7,64        | 130,93       | 0,19     |

Selon les valeurs mentionnées dans le tableau, nous avons observé que l'extrait méthanolique de *Thymelaea microphylla* présente une activité antioxydante plus élevée, avec une valeur de VCEAC de 47,03 mg/g, comparativement à l'extrait d'acétate d'éthyle de la même espèce, dont la VCEAC est de 38,98 mg/g. Ce résultat propose que le méthanol est un solvant plus efficace pour extraire les composés antioxydants dans cette espèce.

En ce qui concerne *Thymelaea hirsuta*, l'extrait méthanolique affiche une capacité de piégeage des radicaux DPPH plus forte (VCEAC = 40,12 mg/g) par rapport

à l'extrait d'acétate d'éthyle (VCEAC = 19,72 mg/g), ce qui met en évidence la variabilité possible selon les conditions d'extraction.

Par ailleurs, l'extrait méthanolique d'*Helianthemum lippii* se distingue avec une valeur de VCEAC de 125,49 mg/g, nettement supérieure à celle de son extrait à l'acétate d'éthyle (10,11 mg/g). Cette forte différence souligne l'efficacité du méthanol dans l'extraction des composés actifs de cette espèce.

De son côté, *Helianthemum virgatum* montre une activité antiradicalaire remarquable, l'extrait méthanolique ayant une valeur de VCEAC de 130,93 mg/g, contre 69,12 mg/g pour l'extrait d'acétate d'éthyle. Il en résulte que cette espèce possède une bioactivité particulièrement élevée.

En comparant les extraits méthanoliques de *T. microphylla* et *T. hirsuta*, la première espèce présente une activité antioxydante légèrement plus forte de 47,03 mg/g que la deuxième espèce de 40,12 mg/g, ce qui pourrait s'expliquer par une composition différente en métabolites secondaires.

Quant aux deux espèces du genre *Helianthemum*, on remarque que l'extrait méthanolique de *H. virgatum* (130,92 mg/g) est plus performant que celui de *H. lippii* (69,12 mg/g). Ce qui indique clairement que *H. virgatum* possède un potentiel antioxydant supérieur au sein de ce genre.

Nous concluons que l'extrait méthanolique de *H. virgatum* est plus fort que les autres extraits, qu'il possède une capacité antioxydante équivalente en vitamine C la plus élevée (VCEAC de 130,93 mg/g) et un rapport plus faible ( $R = 7,64$ ). Ce qui indique que l'extrait possède une activité antiradicalaire plus élevée par rapport aux autres extraits.

La forte activité antiradicalaire de *Helianthemum virgatum* pourrait être attribuée à une teneur plus élevée en polyphénols, qui sont reconnus pour leur effet protecteur contre le stress oxydatif.

L'étude menée par **Schneider et al. (2023)** a évalué l'activité antioxydante de l'extrait méthanolique de *Nassauvia dentata* Griseb (*Asteraceae*) à l'aide de deux tests : ABTS et DPPH. Les résultats du test DPPH ont montré que cet extrait présente une

activité antioxydante significative, avec une équivalence en vitamine C de  $98,90 \pm 8,14$  mg/g, ce qui le rend intéressant pour des applications potentielles en pharmaceutique et en produits naturels.

L'étude de **(Chunglok, Utaipan, Somchit, Lertcanawanichakul, & Sudjaroen, 2014)** s'est intéressée à l'évaluation de l'activité antiradicalaire des extraits méthanoliques des graines et péricarpes de trois fruits tropicaux : *Tamarindus indica* (Tamarin), *Litchi chinensis* (Litchi) et *Nephelium lappaceum* (Ramboutan) à l'aide du test DPPH. Les résultats montrent que l'extrait méthanolique de graine de tamarin possède la plus forte activité, avec une valeur équivalente en vitamine C de 535,85 mg/g, ce qui témoigne d'un fort pouvoir antiradicalaire. Les graines de *litchi* (511,03 mg/g) et le péricarpe de *litchi* (512,29 mg/g) présentent également des activités élevées, bien qu'inférieures à celle du tamarin. En revanche, les extraits de *Ramboutan* affichent des valeurs plus faibles : 383,38 mg/g pour la graine et 334,77 mg/g pour le péricarpe, indiquant une activité antioxydante modérée. Ces résultats placent l'extrait méthanolique de la graine de tamarin comme l'extrait le plus efficace pour neutraliser les radicaux DPPH parmi tous ceux étudiés.

L'étude menée sur les extraits méthanoliques de trois espèces toxiques du genre *Euphorbia* : *E. biumbellata*, *E. terracina* et *E. dendroides* par **(Zeghad, Djilani, Djilani, & Dicko, 2016)** a révélé une activité antioxydante significative, mesurée par deux tests : DPPH et ABTS. L'analyse par DPPH montre que *E. biumbellata* possède la plus forte capacité antioxydante, avec une équivalence en vitamine C de 1,065 g VCEAC/100 g, suivie de *E. dendroides* à 1,044 g VCEAC/100 g, tandis que *E. terracina* présente la valeur la plus faible de 0,7285 g VCEAC/100 g. Bien que ces plantes, réputées pour leur toxicité, révèlent un potentiel biologique remarquable justifiant leur exploration encadrée pour des usages thérapeutiques et cosmétiques.

Selon **Djeridane et al. (2007)**, l'activité antioxydante de composés phénoliques extraits de 11 plantes médicinales de l'Atlas algérien a été évaluée à l'aide du test ABTS, les résultats étant exprimés en équivalents Trolox (TEAC). Parmi ces espèces, *Thymelaea hirsuta* a présenté une capacité antioxydante modérée (TEAC = 0,225 mmol TE/g de matière sèche). Bien que cette activité soit inférieure à celle observée chez d'autres plantes étudiées, la présence de composés phénoliques tels que la quercétine

suggère un potentiel thérapeutique intéressant et souligne la nécessité d'investigations pharmacologiques complémentaires.

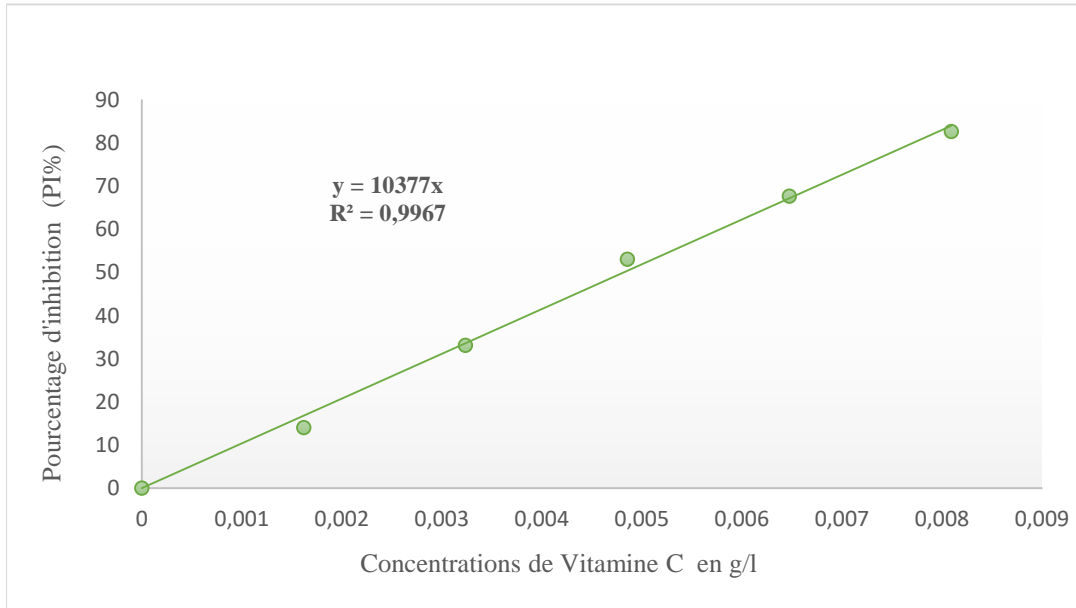
La différence d'activité antioxydante par le test DPPH observée dans les extraits méthanoliques et d'acétate d'éthyle peut être attribuée à la solubilité des composés bioactifs dans les plantes à analyser et à la composition chimique des extraits (les extraits méthanoliques contiennent une grande diversité de polyphénols, ce qui indique une activité antiradicalaire plus élevée) (Sultana, Anwar, & Ashraf, 2009).

## 2. Test de pouvoir réducteur (FRAP)

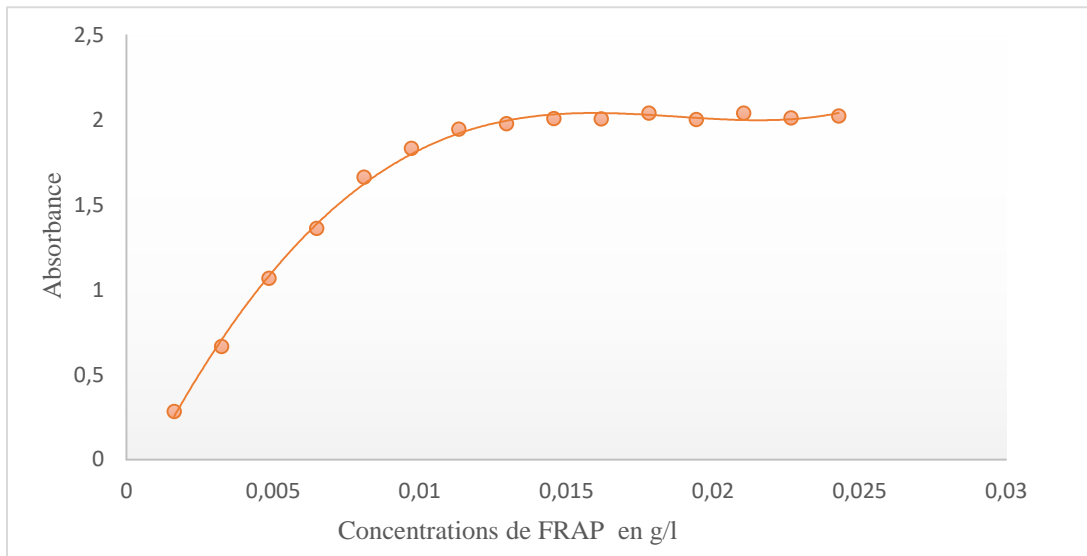
Le test du pouvoir réducteur met en évidence la capacité d'une molécule à réduire le fer ferrique  $Fe^{+3}$  de couleur jaune en fer ferreux  $Fe^{+2}$ . Il est basé sur une réaction d'oxydoréduction dans laquelle les antioxydants agissent comme réducteurs.

C'est une technique rapide, simple et reproductible, considérée comme un indicateur significatif de l'activité antioxydante potentielle des végétaux.

Les résultats de pouvoir réducteur des extraits et de l'acide ascorbique sont représentés dans la figure (13), qui représente la variation de pouvoir réducteur (pourcentage d'inhibition) des extraits et du standard en fonction des concentrations en g/l.



**Figure 12 :** Courbe d'étalonnage de vitamine C



**Figure 13 :** Représentation graphique d'absorbance de FRAP en fonction des concentrations

À partir des résultats mentionnés dans la figure, nous remarquons que l'absorbance augmente au fur et à mesure que la concentration s'élève, ce qui signifie que le pouvoir réducteur augmente avec l'augmentation des concentrations.

Selon les résultats rapportés dans la figure, nous avons remarqué que tous les extraits testés possèdent des activités antioxydantes qui varient considérablement d'un extrait à un autre.

Les résultats ont également été exprimés en :

- VCEAC mg/ g d'extrait. Plus la valeur de la VCEAC est élevée, plus l'activité antioxydante de l'extrait est significative.

- Rapport concentration de l'extrait après dilution (Cf) par la concentration équivalente de la vitamine C (Céq). plus la valeur de R est petite, plus l'activité anti radicalaire de l'extrait est élevée.

**Tableau 6 :** les résultats obtenus par le test FRAP

| Espèce                | Extrait | Moyen de (PI%) | C (vit c) | Rapport (R) | VCEAC (mg/g) | $\sigma$ |
|-----------------------|---------|----------------|-----------|-------------|--------------|----------|
| <i>T. microphylla</i> | AcOEt   | 17,19          | 0,0017    | 293,55      | 3,41         | 0,04     |
|                       | MeOH    | 26,87          | 0,0026    | 337,97      | 2,96         | 0,14     |
| <i>T.hirsuta</i>      | AcOEt   | 56,44          | 0,0054    | 367,70      | 2,72         | 0,11     |
|                       | MeOH    | 22,01          | 0,0021    | 712,94      | 1,40         | 1,30     |
| <i>H.lippii</i>       | AcOEt   | 17,04          | 0,0016    | 828,22      | 1,21         | 0,04     |
|                       | MeOH    | 71,54          | 0,0069    | 177,32      | 5,64         | 0,35     |
| <i>H.virgatum</i>     | AcOEt   | 17,39          | 0,0017    | 76,09       | 13,14        | 0,04     |
|                       | MeOH    | 64,53          | 0,0062    | 96,29       | 10,39        | 0,42     |

D'après les résultats rapportés dans le tableau, nous avons observé que les deux espèces du genre *Thymelaea* montrent une activité antioxydante modérée, mais distincte. Pour *T. microphylla*, l'extrait à l'acétate d'éthyle montre une VCEAC de 3,41 mg/g avec un rapport de 293,5, tandis que l'extrait méthanolique affiche une VCEAC de 2,96 mg/g pour un rapport de 337,9. En revanche, L'espèce *T. hirsuta* est moins performante. Son extrait d'acétate d'éthyle présente une VCEAC de 2,72 mg/g avec un rapport de 367,7, et son extrait méthanolique chute à 1,40 mg/g accompagné d'un

rapport beaucoup plus élevé ( $R=712,9$ ) traduisant une efficacité plus faible. Ces données montrent que *T. microphylla* se distingue par une meilleure capacité antioxydante et une extraction plus efficace, notamment avec l'acétate d'éthyle.

Concernant le genre *Helianthemum*, l'extrait méthanolique de l'espèce *H. lippii* atteint une VCEAC de 5,64 mg/g avec un rapport de 177,3, tandis que l'extrait d'acétate d'éthyle est nettement moins performant avec une valeur de 1,21 mg/g et  $R=828,2$ . En comparaison, L'extrait acétate d'éthyle de *H. virgatum* affiche la meilleure VCEAC de l'ensemble des échantillons avec 13,14 mg/g et un rapport très favorable de 76,1, suivi de son extrait méthanolique avec 10,39 mg/g et un rapport de 96,3. Ces résultats révèlent que *H. virgatum* est la plus active et la plus prometteuse de ce genre grâce à son extrait à l'acétate d'éthyle.

Il ressort de cette comparaison que le genre *Helianthemum*, en particulier *H. virgatum*, se distingue par une bioactivité nettement supérieure associée à des rapports faibles qui indiquent une extraction efficace et un potentiel antioxydant élevé.

Les extraits méthanoliques sont généralement plus performants, sauf pour *H. virgatum* où l'acétate d'éthyle semble le plus efficace.

Ces résultats confirment non seulement l'intérêt de *H. virgatum* comme source végétale prometteuse d'antioxydants naturels, mais aussi l'intérêt de coupler une approche comparative interspèces avec une sélection pertinente des solvants pour optimiser la valorisation phytothérapeutique.

L'analyse de la composition phénolique et de l'activité antioxydante de cidres produits à Villaviciosa en Espagne (Lobo *et al.*, 2009), en analysant des échantillons au moyen des tests DPPH et FRAP. Le pouvoir antioxydant de différents composés phénoliques par le test FRAP à deux moments (4 min et 40 min) révèle que la majorité de ces composés augmente leur pouvoir réducteur avec le temps. L'épicatéchine montre la plus forte activité réductrice, atteignant 1,5 mmol/VCEAC à 4 min et 2,3 mmol/VCEAC à 40 min. L'acide hydrocaféique affiche également une activité notable de 1,2 à 1,3 mmol entre les deux temps. L'acide chlorogénique et l'acide caféique voient leur pouvoir antioxydant doubler entre 4 min (0,7 mmol) et 40 min (1,2 mmol). Ces

résultats montrent que la structure chimique influence la cinétique réductrice. Cette étude met en évidence l'intérêt du cidre comme source naturelle d'antioxydants.

Le travail de (Verzelloni, Tagliazucchi, & Conte, 2007) sur l'étude des propriétés antioxydantes du vinaigre balsamique traditionnel en les comparant à celles d'autres types de vinaigre et de vins rouges à l'aide des tests ABTS et FRAP (Nero d'Avola). Les résultats de l'activité antiradicalaire par le test FRAP sont exprimés en mg VCEAC/100 ml. Le vinaigre balsamique traditionnel (TBV) affiche la valeur la plus élevée avec  $218,85 \pm 6,86$  mg VCEAC/100 ml, suivi du vin rouge Nero d'Avola ( $196,03 \pm 5,70$  mg VCEAC/100 ml). Par contre, le vinaigre de vin rouge (RWV) présente la plus faible capacité avec  $46,18 \pm 2,00$  mg VCEAC/100 ml. Ces résultats montrent que les vinaigres riches en polyphénols aident à protéger contre l'oxydation des lipides pendant la digestion.

L'étude par (Yoo, Kim, Lee, & biotechnology, 2007) examine les différentes méthodes *in vitro* (DPPH, FRAP et ABTS) afin de mesurer l'activité antioxydante dans les aliments. L'activité antiradicalaire de différents légumes selon la méthode FRAP exprimée en  $\mu\text{mol}$  équivalents Trolox/g. Les résultats montrent une grande variabilité. Les carottes présentent une valeur exceptionnellement élevée de  $3160 \pm 4,7$   $\mu\text{mol TE/g}$ . Le poivron vert ( $157 \pm 58$   $\mu\text{mol TE/g}$ ) et le radis ( $86 \pm 29$   $\mu\text{mol TE/g}$ ) affichent également une activité modérée. Tandis que l'oignon ( $174 \pm 4$   $\mu\text{mol TE/g}$ ) et les haricots verts ( $204 \pm 13$   $\mu\text{mol TE/g}$ ) montrent une capacité réductrice plus faible. Ces mesures mettent en évidence que le test FRAP permet d'estimer la capacité réductrice de composés antioxydants, mais ne permet pas à lui seul de refléter l'efficacité globale contre le stress oxydatif. Il est recommandé de compléter le test par d'autres approches analytiques.

L'étude menée par (Zhou, Sun, Chen, & Li, 2011) vise à évaluer l'activité antioxydante et la composition phénolique des extraits méthanoliques et éthanoliques des fleurs de néflier (*Eriobotrya japonica*) à l'aide de différents tests DPPH, ABTS et FRAP. Le test FRAP appliqué aux différentes parties florales du *E. japonica* révèle que les pétales possèdent la plus forte activité antioxydante ( $4,24 \pm 0,04$  mg VCEAC/g DW). Les pistils avec étamines présentent une activité intermédiaire, tandis que les sépales et pédoncules affichent les valeurs les plus faibles. Ces résultats confirment l'utilité du test FRAP comme indicateur du potentiel antioxydant de cette plante.

Les recherches sur l'activité antioxydante des extraits méthanoliques et d'acétate d'éthyle sont nombreuses. Les résultats sont différents d'une étude à l'autre, et cela peut être expliqué par plusieurs facteurs : la méthode d'extraction, la polarité des solvants utilisés pour l'extraction, la composition chimique des plantes testées et les conditions expérimentales (pH, température,...). **(Jayaprakasha et Patil, 2007).**

---

## *Conclusion et perspectives*

---

## Conclusion et perspectives

L'intérêt attribué à l'étude scientifique du pouvoir thérapeutique des plantes médicinales réside dans leur richesse en composés bioactifs, qui contribuent à l'avancement de la recherche de nouvelles sources d'antioxydants naturels.

Dans notre étude, nous sommes intéressés à l'étude comparative de l'activité antiradicalaire de huit extraits isolés à partir de quatre plantes (*T. microphylla*, *T. hirsuta*, *H. virgatum* et *H. lippii*). L'exploration de l'activité antioxydante se fait par deux méthodes, le test de DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) et le test FRAP (Ferric reducing antioxidant power).

Dans la première méthode (DPPH), les extraits étudiés présentent une activité antioxydante variable. Selon les valeurs de VECAC, l'extrait méthanolique s'est révélé être le solvant d'extraction le plus performant pour les composés antioxydants, avec des VCEAC nettement plus élevées que celles obtenues avec l'acétate d'éthyle dans toutes les espèces étudiées. L'espèce *H. virgatum*, en particulier, se distingue avec une valeur maximale de 130,93 mg/g, confirmant l'intérêt du méthanol pour une extraction optimisée en phytothérapie.

Ces résultats sont liés à la présence des polyphénols, qui sont des molécules antioxydantes capables de neutraliser les radicaux libres.

Les résultats obtenus par la méthode FRAP renforcent ceux issus de l'analyse DPPH, en confirmant le potentiel antioxydant élevé de *Helianthemum virgatum*. Cette espèce se distingue comme l'espèce la plus active par la capacité antioxydante avec des VCEAC les plus élevées tant pour l'extrait méthanolique (10,39 mg/g) que pour l'extrait à l'acétate d'éthyle (13,14 mg/g). Cette double performance indique que, quelle que soit la méthode d'extraction utilisée, *H. virgatum* témoigne de la richesse en composés antioxydants et souligne son intérêt particulier dans la valorisation des composés bioactifs et justifie son positionnement en tant que candidat prioritaire pour des applications phytothérapeutiques.

La comparaison des valeurs de VECAC confirme cette supériorité, une valeur de VECAC plus forte indiquant une inhibition plus efficace des radicaux libres.

L'ensemble de ces résultats montre que les extraits isolés à partir des plantes étudiées donnent une bonne activité antiradicalaire (capacité de piégeage des radicaux libres et réduction du fer).

Il est nécessaire de mener des recherches supplémentaires afin de compléter ce travail.

Valorisation et exploitation de ces plantes pour la recherche des substances naturelles bioactives.

Des études approfondies et complémentaires de l'activité antioxydante.

Évaluation de l'activité antioxydante par d'autres méthodes (ABTS, ORAC, CUPRAC, ...).

---

*Références bibliographiques*

---

## Références

### A

**Achat, S.** (2013). *Polyphénols de l'alimentation: extraction, pouvoir antioxydant et interactions avec des ions métalliques*. Université d'Avignon; Université Abderrahmane Mira-Bejaïa (Bejaïa, Algérie),

**ADOUANE, S.** (2016). *Etude ethnobotanique des plantes médicinales dans la région méridionale des Aurès*. Université Mohamed Khider-Biskra,

**Akrout, A., Gonzalez, L. A., El Jani, H., Campra Madrid, P.**(2011). Antioxidant and antitumor activities of *Artemisia campestris* and *Thymelaea hirsuta* from southern Tunisia. *Food and Chemical Toxicology*, 49(2), 342–347.

**Alsabri, S. G., Rmeli, N. B., Zetrini, A. A., Mohamed, S. B., Meshri, M. I., Aburas, K. M., . . . Phytochemistry.** (2013). Phytochemical, anti-oxidant, anti-microbial, anti-inflammatory and anti-ulcer properties of *Helianthemum lippii*. 2(2).

**Antoine, J., & Lachapelle, J. J. L. N. d.** (1990). Les radicaux libres en dermatologie. I, Les radicaux libres et leur implication en pathologie cutanée. 9(10), 812-819.

**Apak, R. a., Özyürek, M., Güçlü, K., Çapanoğlu, E. J. J. o. a., & chemistry, f.** (2016). Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays. 64(5), 997-1027.

**Arenas, F., López-García, Á., Berná, L. M., Morte, A., & Navarro-Ródenas, A. J. M.** (2022). Desert truffle mycorrhizosphere harbors organic acid releasing plant growth-promoting rhizobacteria, essentially during the truffle fruiting season. 32(2), 193-202.

**Arrington, J., & Kubitzki, K.** (2003). Cistaceae. In *Flowering Plants· Dicotyledons: Malvales, Capparales and Non-betalain Caryophyllales* (pp. 62-70): Springer.

**Avelino, F.** (2024). *Antioxidant Methods: A guideline for understanding and determining antioxidant capacity*: Elsevier.

## B

**Badawy, A., Hassanean, H., Ibrahim, A. K., Habib, E. S., El-Magd, M. A., & Ahmed, S. A. J. N. p. r.** (2021). Isolates from thymelaea hirsuta inhibit progression of hepatocellular carcinoma in vitro and in vivo. *35*(11), 1799-1807.

**Battandier, J. A., & Trabut, L.** (1888). Flore de l'Algérie [...] Dicotylédones.

**Beddek, M., & Hedjar, L.** (2018). *Etude phytochimique et activités biologiques d'une plante médicinale du bassin méditerranéen le romarin «Rosmarinus officinalis L»*. Université Mouloud Mammeri

**Belkararroubi, A., Boussaid, S.**(2017) Étude phytochimique et activité biologique des parties aériennes (feuilles, fleurs et brindilles) de *Thymelaea hirsuta*. mémoire de master. Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.

**Ben Ammar, R., Kilani, S., Bouhlel, I., Ezzi, L., Skandrani, I., Boubaker, J., . . . Toxicology, C.** (2008). Antiproliferative, antioxidant, and antimutagenic activities of flavonoid-enriched extracts from (Tunisian) *Rhamnus alaternus* L.: Combination with the phytochemical composition. *31*(1), 61-80.

**Bentouati, R., Brague, K., Haddoudi, A.** (2024). Évaluation de l'activité antifongique de quelques extraits d'origine végétale (plantes locales) . Mémoire de master, Université Amar Telidji de Laghouat.

**Borris, R. P., Blaskó, G., & Cordell, G. A. J. J. o. e.** (1988). Ethnopharmacologic and phytochemical studies of the Thymelaeaceae. *24*(1), 41-91.

**Boudjouref, M.** (2018). *Etude de l'activité antioxydante et antimicrobienne d'extraits d'Artemisia campestris L.*

**Boudoukha, N. E. H.** (2020). *Contribution à une étude ethnobotanique des plantes médicinales en Algérie: synthèse bibliographique*. Université Mouloud Mammeri,

**Brooks, G., Evans, A. T., Aitken, A., Evans, F. J., Rizk, A.-F. M., Hammouda, F. M., . . . Ismail, S. E. J. P.** (1990). Daphnane diterpenes of *Thymelaea hirsuta*. *29*(7), 2235-2237.

**Brooks, G., Evans, A. T., Aitken, A., Evans, F. J., Rizk, A.-F. M., Hammouda, F. M., . . . Ismail, S. E. J. P.** (1990). Daphnane diterpenes of *Thymelaea hirsuta*. *29*(7), 2235-2237.

## C

**Chunglok, W., Utaipan, T., Somchit, N., Lertcanawanichakul, M., & Sudjaroen, Y. J. S. M.** (2014). Antioxidant and antiproliferative activities of non-edible parts of selected tropical fruits. *43*(5), 689-696.

**Cuvier, F.** (1825). *Des dents des mammifères, considérées comme caractères zoologiques*: FG Levrault.

## D

**Dahamna, S., Dehimi, K., Merghem, M., Djarmouni, M., Bouamra, D., Harzallah, D., & Khennouf, S. J. I. J. P. N. I.** (2015). Antioxidant, antibacterial and hypoglycemic activity of extracts from *Thymelaea microphylla* Coss. et Dur. *2*, 15.

**de Almeida Torres, R. J., dos Anjos Ferreira, A. L., Luchini, A., de Almeida Torres, R. J., & Correa, C. R. J. F. D. C. C. R.** (2022). The role of non-enzymatic antioxidants on age-related macular degeneration. *5*, 1-19.

**Deghiche-Diab, N., & Deghiche, L.** (2016). *Flore spontanée des oasis des Ziban*: Éditions universitaires européennes.

**Dehimi, K.** (2011). *Etude de quelques propriétés des extraits de Thymelaea microphylla Coss. et Dur.* université mohamed khider-biskra,

**Dehimi, K., Speciale, A., Saija, A., Dahamna, S., Raciti, R., Cimino, F., & Cristani, M. J. P. m.** (2016). Antioxidant and anti-inflammatory properties of Algerian *Thymelaea microphylla* Coss. and Dur. extracts. *12*(47), 203

**Delattre, J., Durand, G., & Jardillier, J. J. M.-S. F., Paris.** (2003). Biochimie pathologique.

**Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Vidal, N., Lesgards, J., Stocker, P. J. E. F. R., & Technology.** (2007). Screening of some Algerian medicinal plants for the phenolic compounds and their antioxidant activity. *224*, 801-809.

**Dupont, F., & Guignard, J.-L.** (2007). *Botanique: systématique moléculaire*: Elsevier masson.

## E

**Ermeli, N. B., Alsabri, S. G., Bensaber, S. M., Mohamed, S. B., Zetrini, A. A., Aburas, K. M., Fitouri, S. R., Jaeda, M. I., Mrema, I. A., Hermann, A., Ghaj, A. M.** (2012). Screening of analgesic and anti-inflammatory activities for two Libyan medicinal plants: *Helianthemum lippii* and *Launaea resedifolia*. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, *4*(9), 4201–4205.

## F

**Ferrandis, P., Herranz, J. M., & Martínez-Sánchez, J. J. J. P. E.** (1999). Effect of fire on hard-coated Cistaceae seed banks and its influence on techniques for quantifying seed banks. *144*, 103-114.

**Ferrari, J.** (2002). *Contribution à la connaissance du métabolisme secondaire des Thymelaeaceae et investigation phytochimique de l'une d'elles: "Gnidia involucrata" Steud. ex A. Rich.* Université de Lausanne, Faculté des sciences,

**Freitas, K. H. G., & Fatibello-Filho, O. J. T.** (2010). Simultaneous determination of butylated hydroxyanisole (BHA) and butylated hydroxytoluene (BHT) in food samples using a carbon composite electrode modified with  $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$  immobilized in polyester resin. *81*(3), 1102-1108.

## G

**Galicía-Herbada, D. J. P. S., & Evolution.** (2006). Origin and diversification of Thymelaea (Thymelaeaceae): inferences from a phylogenetic study based on ITS (rDNA) sequences. *257*, 159-187.

**Garait, B.** (2006). *Le stress oxydant induit par voie métabolique (régimes alimentaires) ou par voie gazeuse (hyperoxie) et effet de la GliSODin®*. Université Joseph-Fourier-Grenoble I,

**Goudable, J., & Favier, A. J. N. c. e. m.** (1997). Radicaux libres oxygénés et antioxydants. *11*(2), 115-120.

**Grünwald, J., & Jänicke, C.** (2006). *Guide de la phytothérapie*: Marabout.

## H

**Habibou, H. H., Idrissa, M.,IKhiri, K., Ouedraogo,B., Adamou,R** (2019) Activité antioxydante des extraits méthanoliques de différents organes de *Detarium microcarpum* Guill & Perr. *European Scientific Journal*,15(12),159-173.

**Heywood, V. H., Brummitt, R. K., Culham, A., & Seberg, O.** (2007). *Flowering plant families of the world* (Vol. 88): Firefly books Ontario.

**Hechtman, L** (2019) *Clinical Naturopathic Medicine*. Second edition.p267.

## J

**Jayaprakasha, G. K., Patioli, B. S.** (2007). *In vitro* evaluation of the antioxidant activities in fruit extracts from citron and blood orange. *Food Chemistry*, 101(1), 410–418

**Johnson, R. J., Sautin, Y. Y., Oliver, W. J., Roncal, C., Mu, W., Gabriela Sanchez-Lozada, L., . . . Benner, S. A. J. J. o. c. p. B.** (2009). Lessons from comparative physiology: could uric acid represent a physiologic alarm signal gone awry in western society? , *179*, 67-76.

**Jost, J.-P. J.-Y.-C.** (2016). *Stratégie de défense des plantes contre les maladies et les parasites (et quelques applications pratiques)*: Connaissances & Savoirs.

## K

**KHENFER, S., & MEDJOUEL, M.** (2016). *Optimisation des conditions d'extraction des composés phénoliques d'une plante médicinale de la région sud du Sahara Algérien*. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA,

**Kotha, R. R., Tareq, F. S., Yildiz, E., & Luthria, D. L. J. A.** (2022). Oxidative stress and antioxidants—A critical review on in vitro antioxidant assays. *11*(12), 2388.

**Kou, D., & Mitra, S. J. S. p. t. i. a. c.** (2003). Extraction of semivolatile organic compounds from solid matrices. *162*, 139-182.

## L

**Laib, I., & Djahra, A. B. J. I. J. o. S. M.** (2022). Phytochemical investigation of *Helianthemum lippii* l. aerial Dum. Cours part and evaluation for its antioxidant activities. *9*(2), 229-237.

**Lee, K. W., Kim, Y. J., Lee, H. J., Lee, C. Y. J. J. o. a., & chemistry, f.** (2003). Cocoa has more phenolic phytochemicals and a higher antioxidant capacity than teas and red wine. *51*(25), 7292-7295.

**Lobo, A. P., García, Y. D., Sanchez, J. M., Madrera, R. R., Valles, B. S. J. J. o. f. c., & analysis.** (2009). Phenolic and antioxidant composition of cider. *22*(7-8), 644-648.

## M

**Maqsood, S., Benjakul, S., Shahidi, F.** (2013). Emerging role of phenolic compounds as natural food additives in fish and fish products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *53*(2), 162–179.

**Marfak, A.** (2003). *Radiolyse gamma des flavonoïdes: étude de leur réactivité avec les radicaux issus des alcools.*

**Mekhelfi, T., Kerbab, K., Guella, G., Zaiter, L., Benayache, S., & Benayache, F. J. P. L.** (2014). Phytochemical constituents of *Thymelaea microphylla* Coss. et Dur. from Algeria. 6, 152-156.

**Molyneux, P.** (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 26(2), 211–219.

## N

**Nassima, B., & Ramzi, B.** (2015). Activité antioxydante et anti-inflammatoire de la plante médicinale Algérienne *Anethium graveolens* et leur effet cardioprotectrice contre la toxicité de la.

**Nimse, S. B., & Pal, D. J. R. a.** (2015). Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms. 5(35), 27986-28006.

**Noman, L., Oke-Altuntas, F., Zellagui, A., Sahin Yaglioglu, A., Demirtas, I., M Cardoso, S., . . . Rhouati, S. J. N. p. r.** (2017). A novel benzimidazole and other constituents with antiproliferative and antioxidant properties from *Thymelaea microphylla* Coss. et Dur. 31(17), 2032-2041.

## O

**Ozenda, P.**(2004). Flore du Sahara. 2ème Ed. C. N. R. S. Paris. 662p.

## P

**Pelletier, É., & Campbell, P. G.** (2004). *Écotoxicologie moléculaire: Principes fondamentaux et perspectives de développement*: PUQ.

## R

**Rahman, K. J. C. i. i. a.** (2007). Studies on free radicals, antioxidants, and co-factors. 2(2), 219-236.

**Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., Paganga, G. J. F. r. b., & medicine.** (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. 20(7), 933-956.

**Roberfroid, M.** (2002). *Aliments fonctionnels*. Paris: Lavoisier.

Rouane, M. I. (2023). *Contribution à l'étude de pouvoir thérapeutique de quelques plantes médicinales (Thymelaea et allium)*. Université Ibn Khaldoun,

## S

**Sauvion, N., Calatayud, P.-A., Thiéry, D., & Marion-Poll, F.** (2013). *Interactions insectes-plantes*: Editions Quae.

**Schneider, C., Zepata, P., Gonzalez-Reves, M** (2023) Evaluation of the antioxidant properties and antifungal activity of méthanolic extracts obtained from *Nassauvia dentata* Griseb (Asteraceae). *Pakistan Journal of Botany*, 55(3), 1041-1049.

**Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. J. J. o. f. f.** (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. 18, 820-897.

**Singh, U., Devaraj, S., & Jialal, I. J. A. R. N.** (2005). Vitamin E, oxidative stress, and inflammation. 25(1), 151-174.

**Sofowora, A.** (2010). *Plantes médicinales et médecine traditionnelle d'Afrique*: KARTHALA Editions.

**Sultana, B., Anwar, F., & Ashraf, M. J. M.** (2009). Effect of extraction solvent/technique on the antioxidant activity of selected medicinal plant extracts. 14(6), 2167-2180.

## T

**Tagnaout, I., Zerkani, H., Hadi, N., El Moumen, B., El Makhoukhi, F., Bouhrim, M., . . . Zair, T. J. P.** (2022). Chemical composition, antioxidant and antibacterial activities of *Thymus broussonetii* Boiss and *Thymus capitatus* (L.) Hoffmann and Link essential oils. *11*(7), 954.

**Tiwari, R., Rana, C. J. I. J. o. E. R., & Science, G.** (2015). Plant secondary metabolites: a review. *3*(5), 661-670.

**Turgeman, T., Ben Asher, J., Roth-Bejerano, N., Kagan-Zur, V., Kapulnik, Y., & Sitrit, Y. J. M.** (2011). Mycorrhizal association between the desert truffle *Terfezia boudieri* and *Helianthemum sessiliflorum* alters plant physiology and fitness to arid conditions. *21*, 623-630.

## V

**Verzelloni, E., Tagliazucchi, D., & Conte, A. J. F. c.** (2007). Relationship between the antioxidant properties and the phenolic and flavonoid content in traditional balsamic vinegar. *105*(2), 564-571.

## W

**Watson, R. R., & Preedy, V. R.** (2012). *Bioactive food as dietary interventions for liver and gastrointestinal disease: bioactive foods in chronic disease states*: Academic Press.

**Weichselbaum, E., & Buttriss, J. J. N. B.** (2010). Polyphenols in the diet. *35*(2).

## Y

**Yoo, K.-M., Kim, D.-O., Lee, C.-Y. J. F. s., & biotechnology.** (2007). Evaluation of different methods of antioxidant measurement. *16*(2), 177-182.

**Z**

**Zeghad, F., Djilani, S. E., Djilani, A., & Dicko, A. J. T. J. P. S.** (2016). Antimicrobial and antioxidant activities of three Euphorbia species. *13*(1), 47-56.

**Zhou, C., Sun, C., Chen, K., & Li, X. J. I. j. o. m. s.** (2011). Flavonoids, phenolics, and antioxidant capacity in the flower of Eriobotrya japonica Lindl. *12*(5), 2935-2945

**Site Web**

<https://africanplantdatabase.ch/en/nomen/specie/154161/thymelaea-hirsuta-l-endl>

<https://africanplantdatabase.ch/fr/nomen/specie/154167/thymelaea-microphylla-coss-durieu-ex-meisn>

<https://africanplantdatabase.ch/en/nomen/specie/12073/helianthemum-lippii-l-dum-cours>

<https://africanplantdatabase.ch/fr/nomen/specie/135407/helianthemum-virgatum-desf-pers>

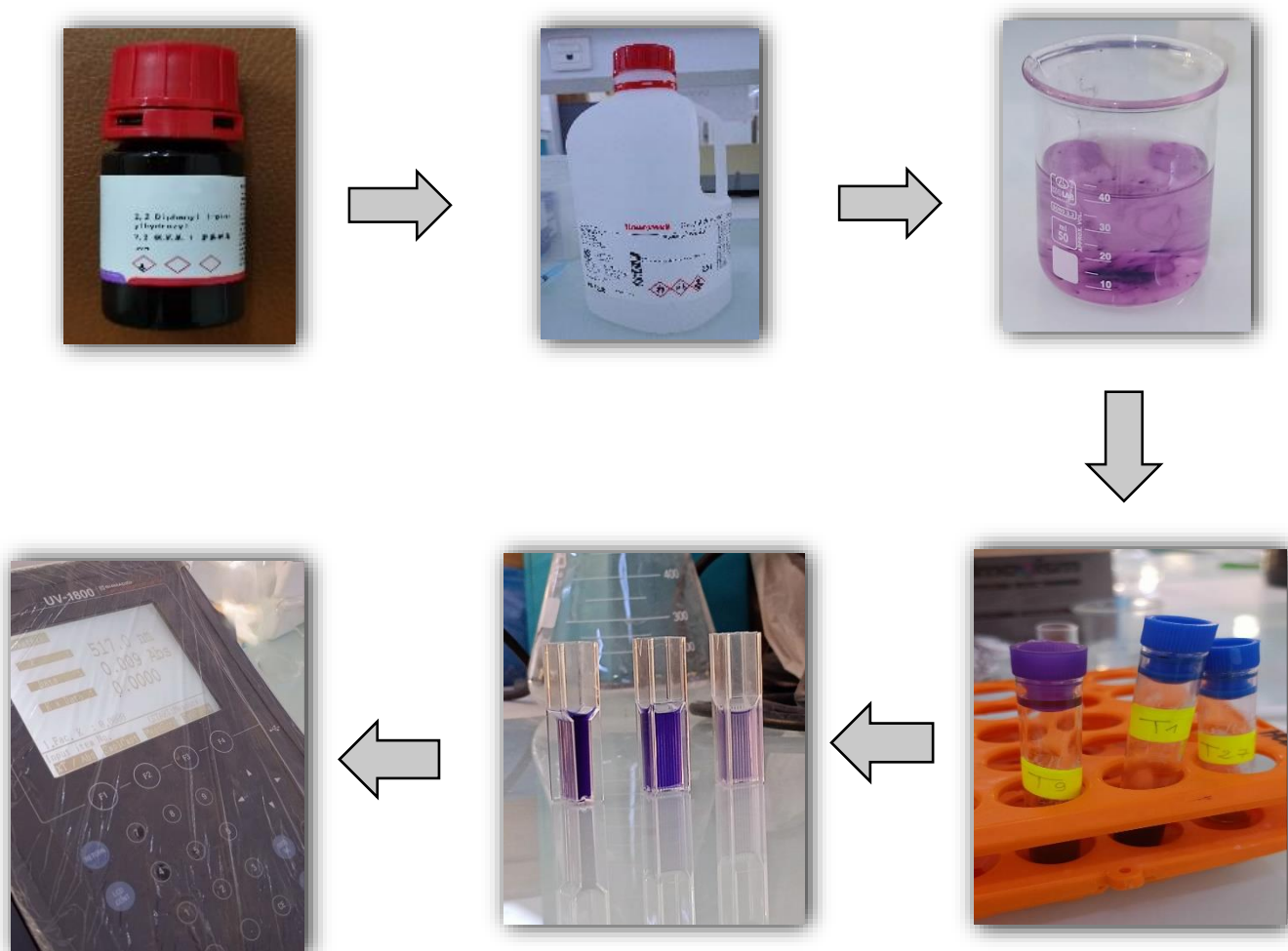
<https://www.gerhardt.de/fr>

<http://www.chimactiv.agroparistech.fr>

# *Annexes*

## Annexe I

## Protocole expérimentale du DPPH



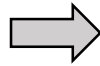
Évaluation du pouvoir antioxydant des extraits par le pourcentage d'inhibition

$$PI \% = \frac{(\text{Absorbance de DPPH sans extrait} - \text{Absorbance de l'extrait avec DPPH})}{\text{Absorbance de DPPH sans extrait}} \times 100$$

## Protocole expérimentale du FRAP



1 volume



1 volume



10 volume



Lecture d'absorbance à 593 nm

Évaluation du pouvoir antioxydant des extraits par le pourcentage d'inhibition

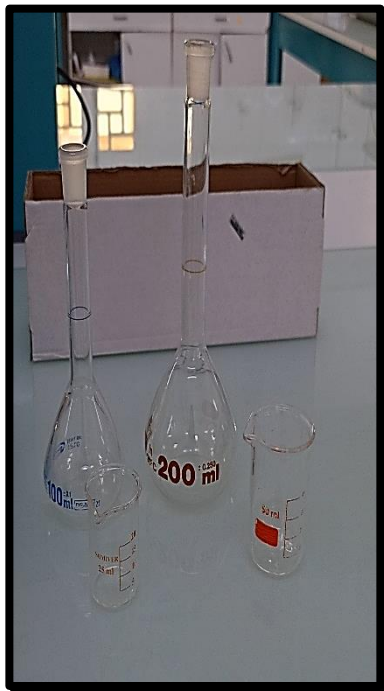
$$PI \% = \frac{(\text{Absorbance de l'extrait avec FRAP})}{A_0} \times 100$$

## Annexe II

### Les matériels et les instruments utilisés



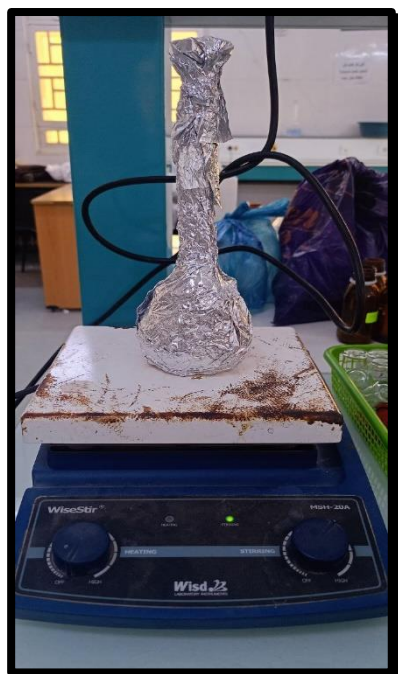
**Balance de précision**



**Fiole jaugée et b cher**



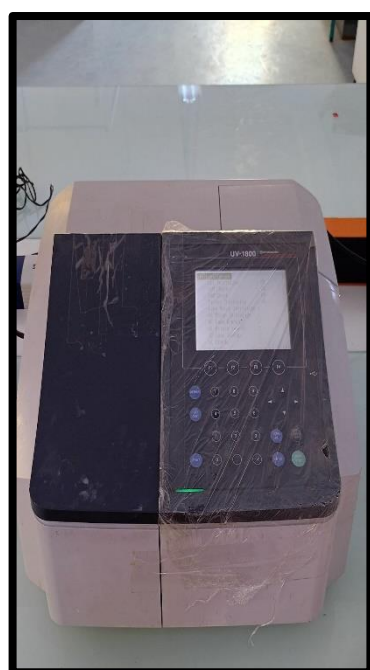
**micropipettes**



**Agitateur magnétique**



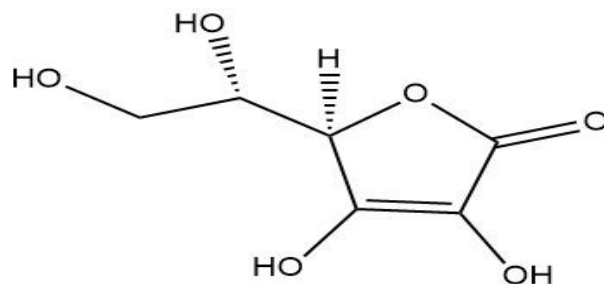
**Agitateur manuel (vortex)**



**Spectrophotomètre   UV**

## Annexe III

### Structure chimique de composé standard



Acide ascorbique (vitamine C)

### Les formules utilisées

$$C(Vit) = \frac{Pi}{K(a)}$$

K = La pente

$$R = \frac{Cf}{Ceq(vit c)}$$

$$VCEAC = \frac{1}{R} \times 1000$$