

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*  
Université A. MIRA - Bejaïa

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des sciences biologiques de l'environnement  
Spécialité Biochimie appliquée



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle  
En vue de l'obtention du diplôme

**MASTER**

*Thème*

Effets antioxydants et anti hémolytique de quatre plantes  
médicinales.

Présenté par :  
Gherbi romaïssa et Bedreddine sabrina  
Soutenu le :03/07/2024

Devant le jury composé de :

M. Adel AMIROUCHE	MCA	Président
Mme. Bachra KHETTAL	Professeur	Encadreur
Melle. Hassiba METROUH EPSE AMIR	MCA	Examinatrice

**Année universitaire : 2023 / 2024**

# *Remerciements*

Avant tout, nous remercions Dieu le Tout-Puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

À notre professeure encadrante, Bachra Khettal, nous vous remercions énormément pour votre patience, votre aide, vos conseils avisés et votre rigueur scientifique.

Nous remercions également l'ensemble des enseignants qui nous ont enseigné depuis notre entrée à l'université.

Nous souhaitons exprimer notre reconnaissance à nos collègues et amis pour leur complicité, leur soutien moral et le partage de leurs connaissances.

Un grand merci à nos familles, particulièrement à nos parents, pour leur amour et leurs encouragements tout au long de notre vie.

# *Dédicace*

**Je remercie profondément Dieu, source de ma force et mon inspiration.**

**Je dédie ce travail:**

**À ma mère, dont l'amour et la bienveillance m'ont toujours guidé. Ta force et ton soutien sont ma plus grande inspiration, et je m'efforcerai toujours de te rendre fière je t'aime maman.**

**À mon père, pilier de ma vie, dont la sagesse et l'encouragement constant m'ont motivé à chaque étape. Ce mémoire marque le début d'un nouveau chapitre, et je m'engage à te rendre fier pour toujours. Merci pour tes sacrifices, je t'aime papa.**

**À mes sœurs chéries, ILHAM, AMEL, IKHLES, et CELINE, qui rendent ma vie plus lumineuse par leur complicité et leur affection. Ainsi qu'à mes deux grands-mères IMA HOURIA ET DJIDA, que Dieu vous garde toujours près de moi.**

**À mes chers oncles, SALIM, ZOUBIR, KARIM, AYOUB, et YACINE leurs générosités et leurs présences bienveillantes ont été des réconforts précieux dans ma vie.**

**À ma chère tante YASMA, malgré la distance qui nous sépare, ton soutien et ton aide précieux sont toujours présents dans ma vie. Je t'aime infiniment et je suis reconnaissante d'avoir une tante aussi spéciale que toi. Sans oublier ma chère Tata RACHIDA et Tonton HAKIM, votre encouragement constant a été une source de motivation et de force. Je vous apprécie énormément.**

**A TOUFIK mon cher compagnon, je souhaite dédie ce mémoire. Avec toi à mes côtés, j'ai trouvé la force et l'inspiration nécessaire pour atteindre mes objectifs. Merci d'être la source de bonheur et de soutien.**

# *Dédicace*

Avant toute chose, je remercie Dieu pour Son aide dans ma vie et je Lui demande le meilleur en tout.

À mes chers parents, merci pour vos sacrifices constants que parfois nous ne voyons pas et dont nous ne connaissons pas toujours la valeur. Merci papa Abdelkader bedreddine , merci maman Merazga salima.

À mes frères et sœur, Abderahim, Redouane, et Meriem, je remercie Dieu pour votre présence essentielle dans ma vie. Je prie Dieu de vous guider et de vous accorder le bonheur dans ce monde et dans l'au-delà, et de préserver toujours notre bonne relation ensemble.

À mes grands-mères, Ouadah zahra et Bessai l'Djida que Dieu vous donne le plus hauts du paradis. Vous me manquez énormément. J'ai les larmes aux yeux quand je repense que vous n'êtes plus ici maintenant..

À mes oncles et tantes, louange à Dieu pour votre présence dans ma vie.

---

## Liste des Abréviations

---

**DPPH** : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl

**ERN** : Espèces réactifs Nitrogénique

**ERO** : Espèces réactifs de l'oxygène

**NADPH** : Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate

**Eq.AG**: Equivalent Acide Gallique

**Eq.AT**: Equivalent Acide Tannique

**Eq.C**: Equivalent Catéchine

**Eq.Q**: Equivalent Quercétine

**FRAP**: Ferric Reduction antioxidant Power

**H2O2**: Peroxyded'hydrogène

**IC50**: Inhibitory Concentration 50%

**HPLC**: High-Performance Liquid Chromatography

**TCA**: Trichloroacetic Acid

**TPBS**: Tampon salin phosphate

---

## Liste des figures

---

<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Figure N°1</b>	Déséquilibre de la balance entre pro-oxydants et antioxydants	<b>02</b>
<b>Figure N°2</b>	Pathologies associés au stress oxydant	<b>03</b>
<b>Figure N°3</b>	Formation d'un radical libre	<b>04</b>
<b>Figure N°4</b>	Sources endogènes et exogènes des radicaux libres	<b>06</b>
<b>Figure N°5</b>	Production des ERO à partir des électrons produits par la chaîne respiratoire mitochondriale	<b>07</b>
<b>Figure N°6</b>	Structure du noyau flavane des flavonoïdes	<b>10</b>
<b>Figure N°7</b>	Classes des flavonoïdes et leurs structures	<b>10</b>
<b>Figure N°8</b>	Plantes utilisées dans l'étude	<b>17</b>
<b>Figure N°9</b>	Le sang utilisé dans l'étude (photo originale)	<b>18</b>
<b>Figure N°10</b>	Formation d'un complexe entre le flavonoïde et l'AlCl <sub>3</sub> .	<b>20</b>
<b>Figure N°11</b>	Formation du complexe tanin-vanilline	<b>21</b>
<b>Figure N°12</b>	Réaction du test DPPH	<b>22</b>
<b>Figure N°13</b>	Réaction de réduction du complexe ferricyanide ferrique Fe (III) par antioxydant (ArOH)	<b>23</b>
<b>Figure N°14</b>	Histogramme représentant les rendements d'extraction à l'eau par décoction	<b>25</b>
<b>Figure N°15</b>	Histogramme représentant les taux des polyphénols totaux des extraits des plantes étudiées.	<b>26</b>
<b>Figure N°16</b>	Histogramme représentant les taux des flavonoïdes des extraits des plantes étudiées.	<b>27</b>
<b>Figure N°17</b>	Histogramme représentant les teneurs en tanins hydrosolubles des extraits des plantes étudiées.	<b>28</b>

<b>Figure N°18</b>	Histogramme représentant les teneurs en tanins condensés des extraits des plantes étudiées.	<b>29</b>
<b>Figure N°19</b>	Courbes représentant les taux de réduction de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> à différentes concentrations des extraits aqueux des plantes testées	<b>32</b>
<b>Figure N°20</b>	Histogrammes représentant le taux d'inhibition de l'hémolyse induite par H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> des hématies traitées avec 5mg/ml d'extrait aqueux de thym, cannelle, romarin et anis étoilé.	<b>33</b>

---

## Liste des tableaux

---

<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Pg</b>
<b>Tableau N°I</b>	Différents types d'ERO et de ERN	<b>05</b>
<b>Tableau N°II</b>	Fonctions des principales enzymes antioxydantes	<b>08</b>
<b>Tableau N°III</b>	Taux d'inhibition du radical DPPH par les extraits aqueux de Thym, Romarin, Anis Etoilée et Cannelle	<b>30</b>
<b>Tableau N°IV</b>	Absorbance à 700 nm du fer réduit par les extraits aqueux des plantes à différentes concentrations	<b>30</b>
<b>Tableau N°V</b>	IC50 de réduction du radical H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> par les extraits aqueux de Thym, Romarin, Anis Etoilé et Cannelle	<b>32</b>



---

# Table des matières

---

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
<b>Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>I. Stress oxydant, radicaux libres et antioxydants</b> .....	<b>2</b>
I.1 Stress oxydant .....	2
I.2. Radicaux libres et espèces réactives à l’oxygène (ERO) .....	3
I.2.1. Généralité.....	3
I.2.2. Espèces réactives de l’oxygène ERO .....	5
I.2.3. Sources des ERO.....	6
I.3. Système de défense antioxydants .....	7
I.3.1. Système antioxydants enzymatique .....	8
I.3.2. Système antioxydants non enzymatique .....	8
<b>II. Les flavonoïdes</b> .....	<b>9</b>
II.1. Généralité .....	9
II.2. Structure et classification des flavonoïdes .....	9
II.3. Propriétés thérapeutiques des flavonoïdes .....	10
II.4. Activités antioxydants des flavonoïdes .....	11
<b>III. Plantes à potentiels antioxydants</b> .....	<b>11</b>
III.1. <i>Thymus Vulgaris</i> (Le thym) .....	12
III.1.1. Taxonomie et Description .....	12
III.1.2. Métabolites bioactifs du thym.....	12
III.1.3. Utilisation traditionnelle et propriétés pharmacologiques .....	12
III.2. <i>Rosmarinus officinalis L.</i> (Le Romarin).....	13
III.2.1. Taxonomie et Description .....	13
III.2.2. Métabolites bioactifs du <i>Rosmarinus officinalis L.</i> .....	13
III.2.3. Utilisation traditionnelle et propriétés pharmacologiques .....	13
III.3. <i>Illicium verum</i> (anis étoilé) .....	14
III.3.1. Taxonomie et Description .....	14
III.3.2. Métabolites bioactifs d’ <i>Illicium verum</i> .....	14
III.3.3. Utilisation traditionnelle et propriétés pharmacologiques .....	14
III.4. <i>Cinamomum aromaticum</i> (La cannelle) .....	15

III.4.1. Taxonomie et Description .....	15
III.4.2. Métabolites bioactifs du <i>Cinnamomum aromaticum</i> .....	15
III.4.3. Utilisation traditionnelle et propriétés pharmacologiques .....	15
<b>I. Matériel.....</b>	<b>17</b>
I.1. Plantes .....	17
I.2. Sang .....	17
<b>II. Méthodes .....</b>	<b>18</b>
II.1. Extraction à l'eau par méthode de décoction .....	18
II.2. Dosage des composés phénoliques .....	18
II.2.1. Dosage des polyphénols totaux .....	18
II.2.2. Dosage des flavonoïdes .....	19
II.2.3. Dosage des tanins hydrolysables .....	20
II.2.4. Dosage des tanins condensés.....	20
II.3. Evaluation de l'activité antioxydante.....	21
II.3.1. Evaluation de l'activité anti radicalaire par le test DPPH .....	21
II.3.2. Pouvoir réducteur du Fer par le test FRAP .....	22
II.3.3. Test de neutralisation du peroxyde d'hydrogène .....	23
II.3.4. Evaluation de l'Effet anti-hémolyse induite par H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	24
<b>III. Résultats et discussions .....</b>	<b>25</b>
III.1. Rendement d'extraction.....	25
III.2 Taux des composés phénoliques.....	26
III.2.1. Taux des polyphénols totaux .....	26
III.2.2 Taux des flavonoïdes .....	27
III.2. 3. Taux des tanins .....	27
III.3. Potentiel antioxydants des extraits aqueux .....	29
III.3.1. Activité anti radicalaire.....	29
III.3.2 Pouvoir réducteur .....	30
III.3.3 Taux d'inhibition de radical H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	31
III.4. Activité anti-hémolytique .....	33
<b>Conclusion et perspectives .....</b>	<b>35</b>
Références bibliographiques :.....	36
Annexes	
Résumé	

### Introduction

Depuis des millénaires, l'humanité utilise les plantes trouvées dans la nature pour traiter diverses maladies (Mansour, 2015). Ces dernières années, l'intérêt pour l'étude des plantes et de leurs propriétés antioxydantes, bénéfiques pour l'alimentation et la santé, a considérablement augmenté. Les composés phénoliques présents dans ces plantes suscitent particulièrement l'attention des chercheurs en alimentation, chimie et médecine en raison de leur potentiel prometteur (Kalia *et al.*, 2008).

Les plantes aromatiques et médicinales constituent une riche source de molécules biologiquement actives, leur conférant des effets bénéfiques et correctifs (Yusoff *et al.*, 2020). Parmi ces molécules, les composés phénoliques retiennent de plus en plus l'attention des thérapeutes grâce à leurs puissantes propriétés antioxydantes et leurs effets marqués dans la prévention de diverses maladies liées au stress oxydatif, notamment les maladies cardiovasculaires, le cancer et le vieillissement prématuré (Sebbar *et al.*, 2023).

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail, réalisé dans le cadre d'un projet de mémoire de master en biochimie appliquée. Notre étude se concentre sur l'évaluation *in vitro* des propriétés antioxydantes des extraits phénoliques de quatre plantes médicinales spécifiques : la cannelle (*Cinnamomum aromaticum*), le thym (*Thymus vulgaris*), le romarin (*Rosmarinus officinalis*) et l'anis étoilé (*Illicium verum*) par méthode de décoction . De plus, nous examinons les effets antihémolytique de ces extraits.

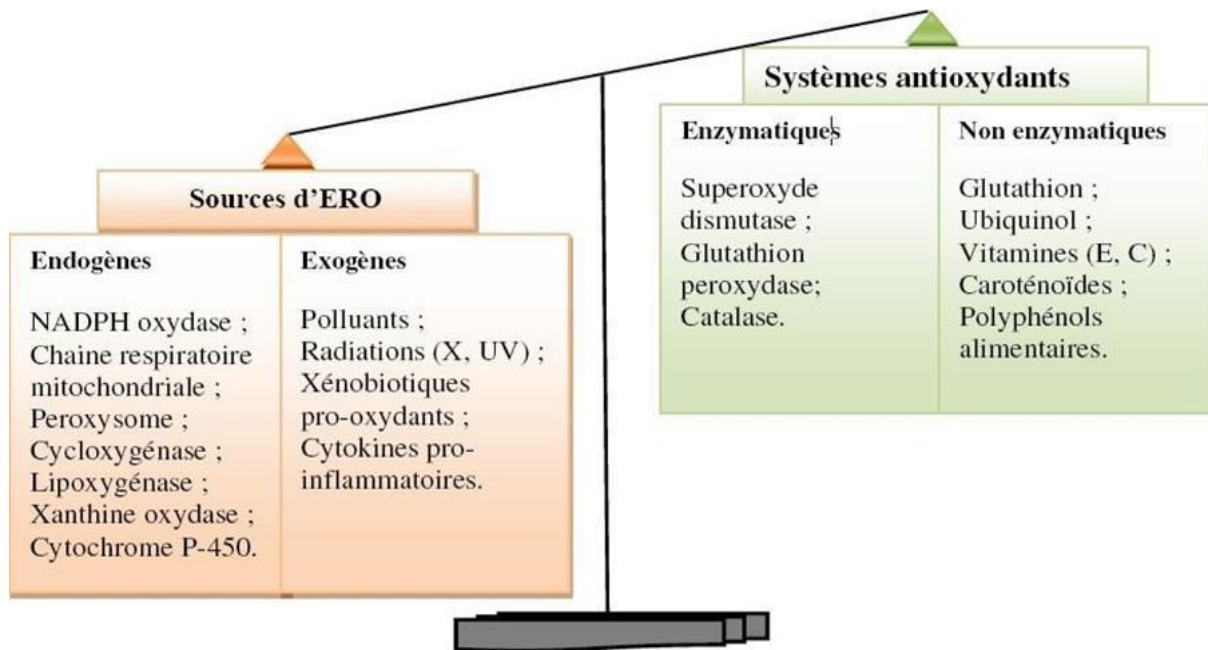
Le manuscrit est divisé en deux parties distinctes : la première partie synthétise les connaissances sur le stress oxydatif, les antioxydants enzymatiques et non enzymatiques, ainsi que les propriétés thérapeutiques des composés phénoliques, incluant une revue des plantes sélectionnées pour l'étude. La seconde partie détaille le matériel expérimental utilisé, les méthodes employées et offre une analyse approfondie des résultats obtenus, accompagnée de discussions des résultats.

# **Synthèse bibliographique**

## I. Stress oxydant, radicaux libres et antioxydants

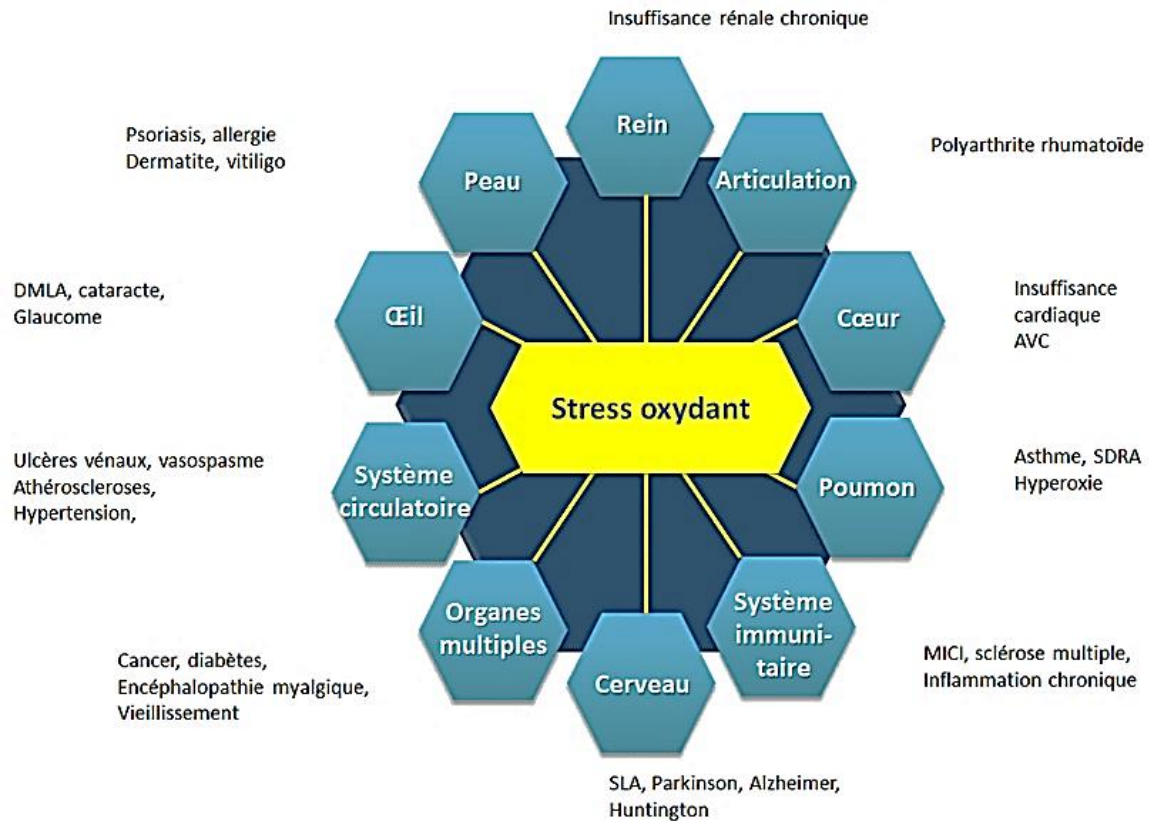
### I.1 Stress oxydant

Le stress oxydant se manifeste par une attaque des composants cellulaires due aux espèces réactives oxygénées et azotées oxydantes, qui endommagent les membranes, les protéines et l'ADN (Peltier et *al.*, 2004). Ce phénomène se produit lorsque les cellules sont submergées par un excès de radicaux libres à neutraliser ou lorsque leurs défenses antioxydantes ne sont pas suffisantes, (Niki, 2018) (Tu et *al.*, 2019). Le stress oxydatif résulte donc d'un déséquilibre entre les molécules pro-oxydantes (espèces réactives oxygénées) et les molécules antioxydantes de protection (vitamines, enzymes) au niveau cellulaire (Figure 01).(Peltier et *al.*, 2004).



**FigureN°01:** Déséquilibre de la balance entre pro-oxydants et antioxydants (Rahman et *al.*, 2012).

De nombreuses affections, telles que les maladies neurologiques, les cancers, les processus inflammatoires et le vieillissement prématuré, sont associées à ce phénomène (Favier, 2003) (Figure 02). Pour contrebalancer cet effet, l'organisme met en place divers systèmes antioxydants (Migdaland Serres, 2011).

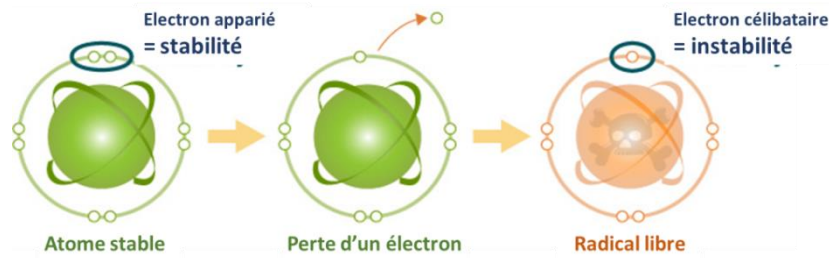


**Figure N°02** : Pathologies associés au stress oxydant (Cassagnes, 2015).

## I.2. Radicaux libres et espèces réactives à l'oxygène (ERO)

### I.2.1. Généralité

Un radical libre (RL) est une espèce chimique, qui peut être une molécule ou un atome, très réactif et instable, de quelques nano à des millisecondes, contenant un ou plusieurs électrons non appariés sur leur couche externe. Un RL a donc la capacité de capter ou de céder un électron à une autre molécule de son entourage pour être stable, également caractérisé par une durée de vie qui est courte (Figure 03). Les radicaux libres sont capables d'initier des réactions en chaîne qui aboutissent à la formation d'un nouveau radical. (Delattre *et al.*, 2005).



**Figure N°03:** Formation d'un radical libre (*Les radicaux libres, qu'est-ce que c'est ? | Penser Santé, s. d.*).

Les radicaux libres se forment généralement par l'acquisition d'un électron à partir de l'O<sub>2</sub>. Les radicaux dérivés de l'oxygène sont en réalité la classe prédominante d'espèces radicalaires, produites dans les systèmes vivants en raison de l'importance de métabolisme aérobie. Cependant, il convient également de prendre en compte d'autres espèces radicalaires, telles que les espèces réactives de l'azote (Valko et al., 2007).

Il existe différentes espèces radicalaires susceptibles de se former dans les cellules, avec des distinctions importantes selon (Favier, 2003):

- **Radicaux primaires** : ils proviennent de l'oxygène par des réductions à un électron, tels que l'anion super oxyde O<sub>2</sub><sup>-</sup> et le radical hydroxyle OH<sup>•</sup>, ou de l'azote comme le monoxyde d'azote NO<sup>•</sup>.
- **Radicaux secondaires** : ils se forment par la réaction des radicaux primaires avec les composés biochimiques de la cellule.
- **Espèces actives de l'oxygène** : telles que l'oxygène singulet <sup>1</sup>O<sub>2</sub>, le peroxyde d'hydrogène H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ou le nitroperoxyde ONOOH. Bien qu'elles ne soient pas des radicaux libres, elles restent réactives et peuvent agir comme des précurseurs de radicaux.

L'ensemble des radicaux libres et de leurs précurseurs est désigné sous le terme d'espèces réactives de l'oxygène (ERO), en anglais sous l'acronyme ROS (Reactive Oxygen Species).

**Tableau N°I:** Different types d'ERO et de ERN (Halliwell & Gutteridge, 2015).

Espèces réactives	Radicalaire	Non radicalaire
Espèces réactives de l'oxygène (ERO)	<p><b>O<sub>2</sub><sup>•-</sup></b> anion superoxyde</p> <p><b>•OH</b> Radical hydroxyle</p> <p><b>•OOH</b> Radical peroxyde</p>	<p><b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b> Peroxyde d'hydrogène</p> <p><b><sup>1</sup>O<sub>2</sub></b> Oxygène singulet</p> <p><b>ONOO<sup>-</sup></b> Peroxynitrite</p>
Espèces réactives de l'azote (ERN)	<p><b>NO<sup>•</sup></b> Oxyde nitrique</p> <p><b>NO<sub>2</sub><sup>•</sup></b> Dioxyde d'azote</p> <p><b>NO<sub>3</sub><sup>•</sup></b> radical nitrate</p>	<p><b>HN0<sub>2</sub></b> Acide nitreux</p> <p><b>N<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b> Peroxyde d'azote</p>

### I.2.2. Espèces réactives de l'oxygène ERO

Les différentes espèces oxygénées sont engendrées par une variété de processus physiologiques et apportent des bienfaits à des niveaux adéquats. Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) jouent un rôle crucial dans la protection et la régulation des cellules, contribuant ainsi à l'équilibre redox de l'organisme. Cependant, une production excessive de ces ERO peut entraîner des dommages cellulaires. Elles sont impliquées dans des réactions de peroxydation qui peuvent altérer les glucides, les lipides, les protéines et l'ADN cellulaires (Migdal & Serres, 2011).

L'anion superoxyde (O<sub>2</sub><sup>•-</sup>) est peu réactif par lui-même (Baudin, 2020). Il est produit à partir de l'oxygène moléculaire par réaction de réduction selon la réaction :

$O_2 + e^- \rightarrow O_2^{\bullet-}$  Il agit comme le précurseur de la plupart des ERO et déclenche les réactions d'oxydation en chaîne. Il peut soit réagir avec l'ion ferrique (Fe<sup>3+</sup>) et donner l'ion ferreux (Fe<sup>2+</sup>) et de l'oxygène ( $O_2^{\bullet-} + Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+} + O_2$ ) ou soit être catalysé via la superoxyde dismutase et former du peroxyde d'hydrogène et de l'oxygène ( $2O_2^{\bullet-} + 2H^+ \rightarrow O_2 + H_2O_2$ ) (Sordillo & Aitken, 2009).

A l'inverse du superoxyde, le peroxyde est stable et non chargé ce qui lui permet de passer à travers les membranes cellulaires et agir au niveau de différents compartiments de la cellule. Sa toxicité est principalement dû à sa capacité à se réduire en ion hydroxyle OH<sup>-</sup> inoffensif et radical hydroxyle HO<sup>•</sup>, en impliquant la conversion du fer ferreux en fer ferrique (Réaction de Fenton :  $H_2O_2 + Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + HO^- + HO^\bullet$ ) (Béguel et al., 2013).



Le radical hydroxyle ( $\text{OH}^\bullet$ ) engendré à partir du peroxyde d'hydrogène selon la réaction de Fenton ou celle d'Haber-Weiss ( $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2^\bullet \rightarrow \text{OH}^\bullet + \text{OH}^- + \text{O}_2$ ). L'hydroxyle radical est hautement plus réactif et peut réagir avec tous types de molécules engendrant la peroxydation des acides gras polyinsaturés (AGPI), l'oxydation de l'ADN nucléaire et/ou mitochondrial, de l'ARN et des protéines (Béguel et al., 2013). Le radical hydroxyle ( $\text{OH}^\bullet$ ) présente un danger considérable en raison de sa capacité à déclencher des réactions en chaîne, ce qui en fait l'une des menaces les plus importantes parmi les radicaux libres. En revanche, l'anion superoxyde ( $\text{O}_2^{\bullet-}$ ) et le peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ne sont pas assez réactifs pour provoquer ces réactions en chaîne (Lau et al., 2008); (Aprioku, 2013). Ainsi, le radical hydroxyle apparaît comme l'espèce réactive principalement responsable de la cytotoxicité des radicaux libres (Gutteridge & Halliwell, 1993), car il est à l'origine de la génération de radicaux libres "secondaires" suite à ses réactions avec divers composés cellulaires (Boubekri, 2014).

L'oxyde nitrique (NO) est une espèce radicalaire formée à partir de la L-arginine via l'action de l'oxyde nitrique synthase. Sa réaction avec l'anion superoxyde ( $\text{NO} + \text{O}_2^{\bullet-} \rightarrow \text{ONOO}^-$ ) forme le peroxydinitrite ( $\text{ONOO}^-$ ). Ce dernier est oxydant puissant diffusible, capable de réagir avec les lipides, les protéines et l'ADN engendrant des changements dans les fonctions enzymatiques et de transduction des signaux mais aussi des dommages de l'ADN (Agarwal et al., 2012).

### 1.2.3. Sources des ERO ou ROS

Les radicaux libres RL sont générés dans le corps par divers mécanismes, à la fois internes et externes (Figure 04) (Afonso et al., 2007; Halliwell, 2006).

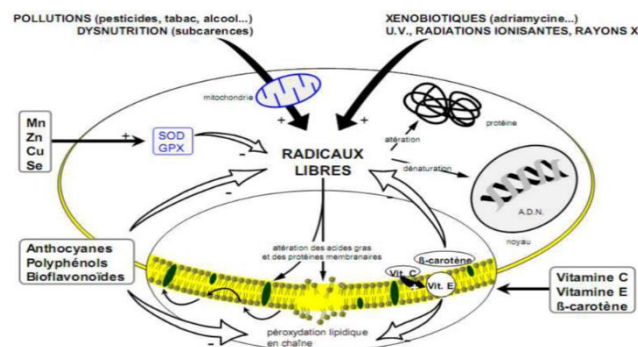
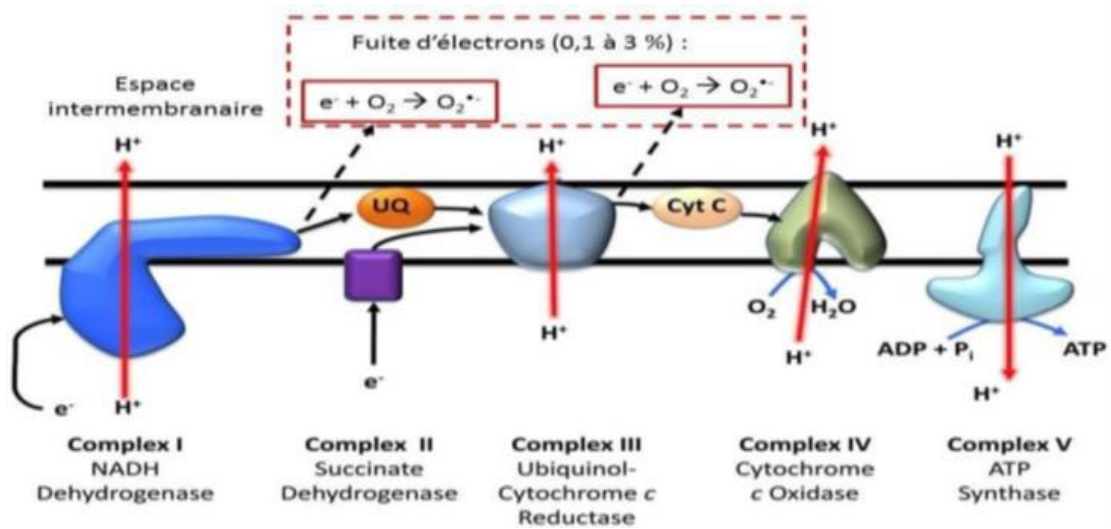


Figure N°04: Sources endogènes et exogènes des radicaux libres (Afonso et al., 2007).

#### A. Sources internes

Le processus principal de production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) in vivo est la respiration cellulaire, notamment la chaîne respiratoire mitochondriale (Figure 05) (Al Ghoulh et al., 2011), les peroxysomes, la membrane plasmique (via la NADPH oxydase) et le

réticulum endoplasmique sont les principaux sites de libération d'ERO (Barouki & Morel, 2001).



**Figure N°05 :** Production des ERO à partir des électrons produits de la chaîne respiratoire mitochondriale. D'après Al Ghouleh et *al.*, (2011).

## B. Sources exogènes

Les principales sources exogènes à l'origine de la production des ERO sont les xénobiotiques comme les toxines, pesticides, herbicides, métaux lourds (Vadgama, 2021), les rayonnements (UV, X ou  $\gamma$ ) (Tsai et *al.*, 2017), ainsi que les polluants de l'air, comme la fumée des cigarettes et les contaminants industriels (Al-Gubory, 2014).

La surproduction de ROS peut être aussi liée à des carences en certains nutriments essentiels (vitamines, oligoéléments) (Priyadarsini, 2005).

### I.3. Système de défense antioxydants

Un antioxydant est une substance qui, à faible concentration, prévient, retarde ou supprime les dommages oxydatifs subis par une molécule cible (Halliwell & Gutteridge, 2015). Les antioxydants agissent en neutralisant les radicaux libres instables en leur cédant, les stabilisant ainsi et les empêchant de causer des dommages supplémentaires aux cellules et aux tissus (Pincemail et *al.*, 2002). Ils peuvent être inhibiteurs des radicaux libres, décomposeurs des peroxydes, désactivateurs des ions métalliques, ou des piègeurs d'oxygènes (Dziezak, 1986).

L'organisme dispose de mécanismes antioxydants, qui peuvent être endogènes, produits naturellement par le corps, ou exogènes, apportés par l'alimentation et les suppléments.

(Vertuani et *al.*, 2004). Les systèmes de défense sont soit enzymatiques, soit non enzymatiques (Niki, 2010).

### I.3.1. Système antioxydants enzymatique

Les antioxydants enzymatiques sont des enzymes dotées d'un métal de transition au centre de leur structure, capable de changer de valence pendant le transfert d'électrons lors du processus de détoxification. Les principales enzymes antioxydants sont la superoxyde dismutase, la glutathion peroxydase et la catalase (Tableau II) (Vertuani et *al.*, 2004)

**Tableau N°II:** Fonctions des principales enzymes antioxydantes (Huchzermeyer et *al.*, 2022)

Enzymes	Réaction catalysée	Fonction
Superoxyde dismutase (SOD)	$2\text{O}_2^{\cdot-} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$	L'enzyme à cofacteur Zn/Cu, Fe ou Mn catalyse la Conversion du radical superoxyde en peroxyde d'hydrogène, qui est ensuite neutralisé par d'autres enzymes comme la catalase ou la glutathion peroxydase.
Catalase (CAT)	$2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$	L'enzyme à cofacteur Fe décompose le peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène, pour éviter l'accumulation de peroxyde d'hydrogène toxique dans les cellules.
Glutathion peroxydase (GPX)	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{GSH} \rightarrow \text{GSSG}$	Cette enzyme utilise le glutathion comme cofacteur pour détoxifier les peroxydes organiques et réduire les dommages cellulaires causés par les radicaux libres.

### I.3.2. Système antioxydants non enzymatique

Deux catégories d'antioxydants peuvent être identifiées dans ce groupe ; les antioxydants endogènes, produits naturellement par l'organisme comme le glutathion, l'acide urique, la bilirubine et les dérivés thiols ; les antioxydants exogènes, provenant de sources principalement alimentaires comme les vitamines, les oligoéléments et les polyphénols (Ribeiro et *al.*, 2001). Les tocophérols (Vit E), les rétinoïdes (Vit A), les flavonoïdes, l'ubiquinol, la bilirubine et la mélatonine sont liposolubles et interviennent spécifiquement dans la protection des lipides en empêchant les réactions en chaîne lors de la peroxydation lipidique (De Moffarts et *al.*, 2005). Les antioxydants hydrophiles comme le glutathion, l'acide ascorbique, l'acide urique et les dérivés thiols interviennent tant dans la protection de l'oxydation des lipides, des protéines et

de l'ADN (De Moffarts et *al.*, 2005). À cela s'ajoute les oligo-éléments comme le sélénium (SE), le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le manganèse (Mn) qui agissent comme cofacteurs dans les réactions enzymatiques antioxydantes, à savoir la GPx et les SOD.

D'autres molécules peuvent jouer le rôle de chélateurs de métaux nécessaires pour la formation de radicaux hydroxyles. C'est le cas pour la ferritine, la transferrine, la céruloplasmine, l'albumine, la lactoferrine (Terman & Kurz, 2013).

## II. Flavonoïdes

### II.1. Généralité

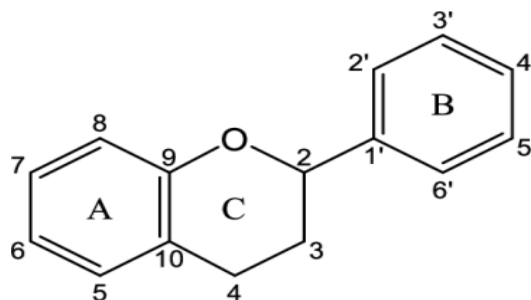
Les polyphénols sont une famille de molécules largement répandues dans les plantes et issus de leur métabolisme secondaire, ils peuvent se trouver dans les différentes parties de la plante allant des racines aux fruits. Ce sont des métabolites secondaires qui n'ont pas de rôle direct dans les fonctions vitales des plantes telles que la croissance, comme indiqué par Yusuf (2006). Ils présentent une diversité de structures chimiques, allant des acides phénoliques aux tannins condensés, avec les flavonoïdes étant la famille la plus abondante chez les humains selon (Galleano et *al.*, 2010).

Les flavonoïdes, également appelés "les médicaments tendres de la nature", sont des composés phénoliques présents dans les plantes qui possèdent une large gamme d'activités biologiques et pharmacologiques bénéfiques pour la santé, notamment des effets anticancéreux, antimicrobiens, antiviraux et anti-inflammatoires (B. Havsteen, 1983).

Les flavonoïdes sont responsables de la couleur variée des fleurs et des fruits et représentent une source importante d'antioxydants dans notre alimentation. Ils forment une sous-classe des polyphénols (Emeraux, 2019).

### II.2. Structure et classification des flavonoïdes

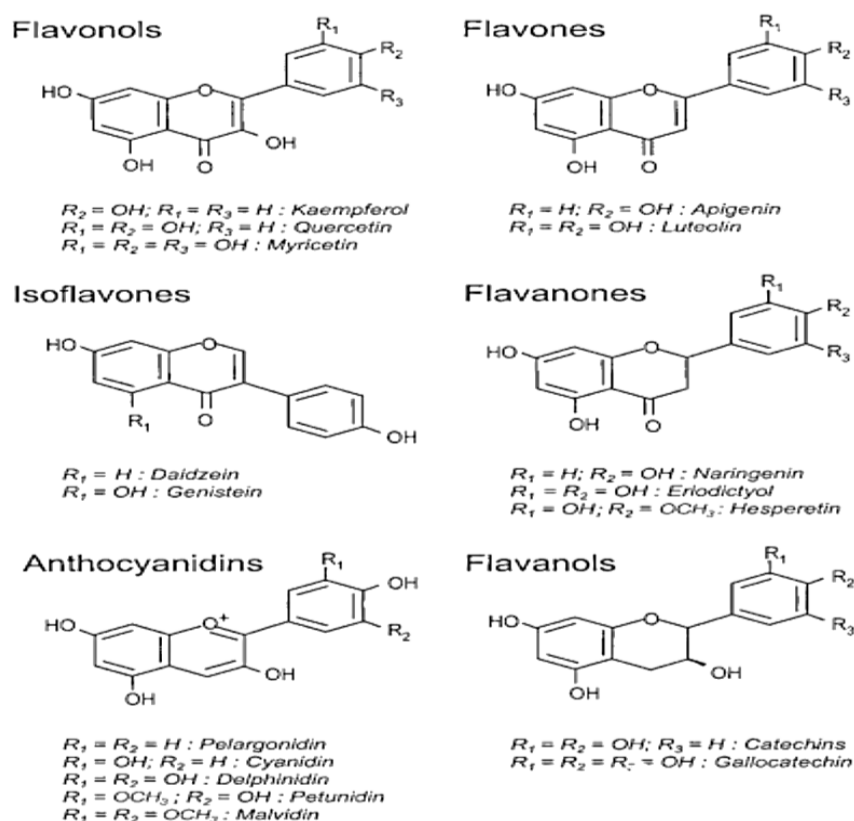
La structure des flavonoïdes est caractérisée par un squelette de base, le noyau flavane, comprenant 3 cycles fusionnés : deux cycles A et B aromatiques et un cycle hétérocyclique C (Figure 06) à partir du lequel la plupart des flavonoïdes sont dérivés (Šamec et *al.*, 2021).



**Figure N°06:** Structure du noyau flavane des flavonoïdes (Kumar & Pandey, 2013).

En plus de ce squelette de base, les flavonoïdes peuvent être modifiés par des substitutions sur les cycles aromatiques ou le cycle pyrane. Ces substitutions peuvent inclure des groupes hydroxyles (-OH), des groupes méthoxyles (-OCH<sub>3</sub>), des glycosides (sucre attaché), des acyles, des prényls, et d'autres groupes fonctionnels. Ces modifications structurales confèrent aux flavonoïdes leurs diversités biologiques et leurs propriétés physico-chimiques variées.

Les flavonoïdes prédominants sont le plus souvent divisés en six sous-classes : Les flavones, les flavonols, flavan-3-ols, les flavanones, les isoflavones et anthocyanidines (Karabin et al., 2015) (Figure 07).

**Figure N°07:** Classes des flavonoïdes et leurs structures (Manach et al., 2004).

### II.3. Propriétés thérapeutiques des flavonoïdes

Les études sur les composés phénoliques, particulièrement les flavonoïdes ont suscitait un intérêt considérable en raison de leur potentiel thérapeutique bénéfique pour la santé humaine. Plusieurs études ont démontré que les flavonoïdes ont des effets anti-inflammatoires, antioxydants, antibactériens, antiviraux, antifongique, antiparasitaire, anticancéreux, hépto-

protecteurs cardio-protecteurs, anti-âge, protecteurs vasculaire (Jucá et *al.*, 2020) (Dias et *al.*, 2021).

#### II.4. Activités antioxydants des flavonoïdes

Les effets thérapeutiques des flavonoïdes sont attribués à leurs capacités à agir comme des antioxydants. Ces composés interagissent avec le processus redox dans le corps, ce qui signifie qu'ils peuvent neutraliser les radicaux libres, piéger les oxygènes réactifs, chélater les ions métalliques comme le fer et le cuivre, décomposer les peroxydes, inhiber la peroxydation lipidique et inhiber les enzymes qui produisent des ROS. Ils ont la capacité d'exercer une action inhibitrice sur plusieurs espèces oxydantes telles que le superoxyde ( $O_2^{\cdot-}$ ) et radicaux hydroxyles (Kamboh et *al.*, 2019). En agissant de cette manière les flavonoïdes aident à protéger les cellules et les tissus contre les dommages oxydatifs, ce qui peut contribuer à prévenir diverses maladies et à promouvoir la santé globale (Nijveldt et *al.*, 2001).

L'activité antioxydante est liée à la structure du flavonoïde, donc en fonction du nombre de substituant hydroxyles qu'il présente dans sa constitution (B. H. Havsteen, 2002). Les flavones, principalement les catéchines, présentent une puissante protection de l'organisme contre les radicaux issus de la réaction d'anabolisme et de catabolisme (Tapas et *al.* 2008). Les flavanols, comme la quercétine possèdent des capacités de chélation du fer et par leurs multiples groupes hydroxyles, sont particulièrement efficaces pour piéger les radicaux libres et réduire le stress oxydatif. Les flavonoïdes sont révélés avoir la capacité d'inhiber des enzymes importantes telles que le NADH oxydase dans la respiration mitochondriale (Nijveldt et *al.*, 2001). En combinant ces mécanismes, les flavonoïdes protègent les cellules et les tissus contre les dommages oxydatifs, aidant ainsi à prévenir de nombreuses maladies (Ghedira, 2005).

### III. Plantes à potentiels antioxydants

Au cours des dernières années, il y a eu un intérêt croissant pour l'exploration des propriétés antioxydants des plantes médicinales. Les effets correctifs bénéfiques des matières végétales sont principalement dus aux polyphénols (flavonoïdes, coumarines, tanins...) largement répartis dans le règne végétal. Ces derniers ont un très grand nombre de résidus hydroxyles qui contribue à la réduction des radicaux libres ou d'empêcher la lyse des

érythrocytes par la répartition de ces composées phénoliques dans leurs membranes (Portier et *al.*, 2007).

Dans cette section des exemples de plantes de la pharmacopée algérienne qui présente un potentiel antioxydant sont décrits.

### **III.1. *Thymus Vulgaris* (Le thym)**

#### **III.1.1. Taxonomie et Description**

Le Thym commun (*Thymus vulgaris* L.) le genre *Thymus* comprend un total de 928 espèces (Nabavi et *al.*, 2015). En cuisine, on l'appelle simplement « thym ». C'est un sous-arbrisseau commun des steppes du sud de l'Europe et du Nord de l'Afrique. *Thymus vulgaris* est un petit sous-arbrisseau vivace, touffu et très aromatique de 7 à 30 cm de hauteur, d'un aspect grisâtre ou vert-grisâtre. Ces tiges ligneuses et très rameuses sont regroupées en touffe ou en buisson très dense. Ses feuilles sont très petites, ovales, lancéolées, à bord roulés en dessous à nervures latérales distinctes, obtuses au sommet, ponctuées supérieurement, au pétiole extrêmement court, et blanchâtres à leur face inférieure. Les fleurs sont presque roses ou presque blanches, font de 4 à 6 mm de longueur, sont pédicellées et réunies ordinairement au nombre de trois à l'aisselle des feuilles supérieures (Stahl-Biskup & Venskutonis, 2012).

#### **III.1.2. Métabolites bioactifs du thym**

Les composés actifs du thym sont les huiles essentielles, les saponines et les tanins. La composition des tanins est de 9,7 %, celle des huiles volatiles de 21,1 % et celle des saponines de 59,2 % dans les extraits de thym. Les stéroïdes sont présents dans les extraits de feuilles de *T. Vulgaris*. Les flavonoïdes sont présents dans les extraits de méthanol et de butanol. De plus, les saponines sont présentes dans l'acétate d'éthyle ainsi que dans les extraits de butanol. Les principaux composants des huiles essentielles du thym sont le thymol (55,3 %), le carvacrol (8,7 %), le p-cymène (11,2 %) et le  $\beta$ caryophyllène (4,2 %) Les autres composés essentiels étaient l'isobornéol (2,3 %), le  $\gamma$ -terpinène (3,4 %), l'acétovanillone (1,7 %) et le linalol (1,7 %) (Rizwan, 2021).

#### **III.1.3. Utilisation traditionnelle et propriétés pharmacologiques**

*Thymus vulgaris* L. présente plusieurs activités biologiques. La plante est largement utilisée en médecine traditionnelle et bon nombre de ses activités pharmacologiques sont scientifiquement validées. En médecine traditionnelle, la plante est utilisée contre diverses

pathologie telles que divers troubles respiratoires, troubles gastro-intestinaux et hypertension (Salehi et al., 2018).

*T. vulgaris* est une excellente source de métabolites bioactifs à potentiels pharmacologiques divers comprenant des activité antioxydants, antimicrobiens, anti-inflammatoires et anticancéreux ainsi que des propriétés hépato protectrices (Patil et al., 2021). Ils permettent à *T. vulgaris* d'avoir un grand nombre d'applications telles qu'agent expectorant, agent anti-acnéique, fongicide, médicament antiviral, répulsif contre les parasites (Patil et al., 2021).

### **III.2. *Rosmarinus officinalis* L. (Le Romarin)**

#### **III.2.1. Taxonomie et Description**

Romarin, aussi connu sous le nom scientifique *Rosmarinus officinalis* L., est un arbuste de la famille des labiées originaire des régions méditerranéennes et l'une des plantes les plus populaires en Algérie (Boudjda, 1996). Il peut atteindre jusqu'à 1,5 mètre de hauteur. Les feuilles fraîches et séchées du romarin ont été utilisées depuis longtemps pour leur arôme caractéristique dans les préparations culinaires ou sous forme d'une tisane, tandis que les extraits du romarin servent couramment d'un antioxydant naturel pour augmenter la durée de conservation des aliments périssables (Habtemariam, 2016).

#### **III.2.2. Métabolites bioactifs du *Rosmarinus officinalis* L.**

L'huile essentielle de Romarin officinal (*Rosmarinus officinalis*) constitue environ 1 à 2% du poids total de la plante. Parmi les composés phénoliques prédominants présents dans le romarin, on trouve l'acide rosmarinique, l'acide caféique, l'acide gallique et l'acide vanillique (Sarni-Manchad & Cheynier, 2006).

En 2006 Almela et ses collaborateurs (Almela et al., 2006) ont identifié par HPLC, dans des extraits méthanoliques du romarin issus de différentes matières, des composés en trois groupes : les diterpènes, les flavonoïdes et les acides phénoliques. En plus de ces composés on trouve 18 éléments minéraux qui ont été identifié par (Arslan & Özcan, 2008).

#### **III.2.3. Utilisation traditionnelle et propriétés pharmacologiques**

Le romarin est souvent utilisé en médecine naturelle pour ses nombreux bienfaits. En application externe, on l'utilise en faisant infuser ses parties supérieures dans de l'alcool pour soigner des problèmes comme les contusions ou les affections de la peau (Bousbia, 2011). Pris par voie interne, il aide à soulager les troubles digestifs et les fermentations intestinales en agissant comme un stimulant (Bousbia, 2011). Dans la cuisine, le romarin est une herbe



méditerranéenne classique. On l'utilise pour prévenir la détérioration des aliments grâce à ses propriétés antioxydantes (Lara et al., 2011).

### **III.3. *Illicium verum* (anis étoilé)**

#### **III.3.1. Taxonomie et Description**

La badiane de Chine, membre de la famille des Illiciaceae (Wang et al., 2011), est à la fois un arbre ornemental et aromatique. Il peut atteindre environ dix mètres de hauteur, reste toujours vert mais peu rustique, tolérant des températures descendant jusqu'à -5°C (Brown et al., 1992). Son feuillage est d'un vert foncé, ses fleurs sont relativement grandes et souvent solitaires, de couleur rose ou jaune. Le fruit, une fois séché, prend une teinte marron-rouge et se présente sous la forme d'une étoile à 5 à 10 branches, généralement huit, avec des rayons mesurant de 1 à 3 cm de longueur sur 3 à 5 mm de largeur. Les carpelles de taille similaire sont disposés de manière régulière autour d'un pédicule central ; chaque branche de l'étoile se fusionne à maturité, révélant une graine unique d'un brun brillant. Le péricarpe du fruit, distinct de la graine, dégage une odeur anisée intense et agréable, accompagnée d'une saveur douce légèrement sucrée (Brown et al., 1992).

#### **III.3.2. Métabolites bioactifs d'*Illicium verum***

L'Anis étoilé (*Illicium verum*) est une épice riche en métabolites bioactives. Le principal composant est l'anéthole représentant environ 85-90% de la composition totale, conférant à l'anis étoilé son arôme caractéristique. Un autre composant significatif est l'acide shikimique qui constitue environ 5-7% de la composition. En plus de ces composants majeurs, l'anis étoilé contient du linalol, présent à hauteur de 0,5-1%, ainsi que du limonène, qui représente environ 1-2% de la composition. Lesafrole, bien que présent en très petites quantités, constitue moins de 0,5% de la composition. Enfin, l'eugénol est un autre composant important, présent à une concentration de 0,1-0,5% (Zheng & Wang, 2001).

#### **III.3.3. Utilisation traditionnelle et propriétés pharmacologiques**

L'Anis étoilé (*Illicium verum*) est largement utilisé en médecine traditionnelle asiatique, principalement en Chine, sous diverses formulations telles que le fruit entier, les poudres et les huiles essentielles (Wang et al., 2011). Ses applications internes incluent le traitement des troubles gastro-intestinaux tels que les colites, les entérocolites et les dyspepsies, ainsi que la stimulation de la sécrétion biliaire et l'atténuation des spasmes de la vessie et des douleurs liées aux calculs rénaux (Sung et al., 2012). Il est également reconnu pour ses propriétés régulatrices sur le système cardiovasculaire, y compris la tension artérielle, et pour son effet bénéfique sur

les troubles hormonaux comme les bouffées de chaleur associées à la ménopause (Sung et *al.*, 2012). L'Anis étoilé est utilisé pour diminuer la fatigue physique, l'asthénie, l'anxiété, la dépression et stimuler la libido (Sung et *al.*, 2012). En usage externe, il aide à fluidifier les sécrétions nasales en cas de rhinopharyngites et apaise les douleurs articulaires et lombalgies en rhumatologie (Sung et *al.*, 2012). Sur le plan biologique, ses huiles essentielles possèdent des propriétés insecticides bien documentées (Matos et *al.*, 2020) (Park et *al.*, 2016), ainsi qu'une activité antimicrobienne attribuée à l'anéthol, son composant principal, reconnu pour son effet antifongique (Wang et *al.*, 2011).

### **III.4. *Cinnamomum aromaticum* (La cannelle)**

#### **III.4.1. Taxonomie et Description**

*Cinnamomum aromaticum* également connue sous le nom de cannelle cassia ou simplement cassia, appartenant à la famille des Lauraceae. Le cannelier est un arbre qui peut atteindre environ 18 à 20 mètres de haut, avec un tronc d'environ 40 à 60 cm de largeur et une écorce grise à marron, épaisse de 13 à 15 mm une fois mûre et qui pousse dans le sud-est Asie célèbre pour son écorce qui sent bon et son goût sucré (Ravindran et *al.*, 2003). Les feuilles des arbres de ce genre sont simples et poussent en spirale, tandis que leurs fleurs sont blanches avec six pétales, rassemblées en grappes très ramifiées. Le fruit ressemble à celui du laurier noble (Ravindran et *al.*, 2003).

#### **III.4.2. Métabolites bioactifs du *Cinnamomum aromaticum***

La cannelle contient plusieurs composants bioactifs principaux. Le cinnamaldéhyde constitue environ 60-80% de l'huile essentielle de cannelle, ce qui lui confère ses propriétés antibactériennes et antifongique (Zhang et *al.*, 2016). L'eugénol, représentant jusqu'à 10% possède des propriétés antiseptiques et analgésique. La coumarine, présente en quantités variable, est connue pour ses propriétés anticoagulantes. L'acide cinnamique offre des propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. Enfin, le linalol, même en petites quantités contribue à l'arôme et possède des effets calmants (Zhang et *al.*, 2016).

#### **III.4.3. Utilisation traditionnelle et propriétés pharmacologiques**

En usage interne, la cannelle est employée contre la diarrhée, les inflammations de l'estomac et de l'intestin, la fièvre et la grippe. À signaler néanmoins qu'un usage médical de la cannelle est déconseillé pendant la grossesse (St-Jean., 2006).

Il ressort d'études récentes que la cannelle fait baisser le taux de glucose dans le sang. (St-Jean, 2006).

Des essais ont en outre montré que l'écorce de cannelle infusée peut prévenir la formation d'ulcères de l'estomac (St-Jean., 2006).

La cannelle est également utilisée dans la fabrication de stomachiques aromatiques qui stimulent l'appétit, elle est aussi utilisée dans la fabrication de boissons gazeuses et de liqueurs ainsi que pour l'hygiène buccale et dans l'industrie cosmétique (Iserin et *al.*, 2001).

# **Matériel et Méthodes**

## I. Matériel

### I.1. Plantes

Pour réaliser le travail expérimental dans cette étude quatre plantes ont été utilisées dont : l'écorce de la cannelle (*Cinnamomum aromaticum*), la partie aérienne du Thym (*Thymus vulgaris*), les feuilles de romarin (*Rosmarinus Officinalis*), et le bouton floral de l'anis étoilé (*Illicium verum*) (Figure N°08). Les plantes ont été achetées chez un herboriste de la ville de Bejaia sous forme sèche et ont subi un séchage supplémentaire pendant 24 à 48 heures dans une étuve aérée à 37°C pour éliminer toute trace d'humidité résiduelle.

La Cannelle  
(*Cinnamomum aromaticum*).



Le Thym  
(*Thymus vulgaris*).



Le Romarin  
(*Rosmarinus officinalis*)



L'anis étoilé  
(*Illicium verum*).



FiguresN°08 : Plantes utilisées dans l'étude (photos originales).

### I.2. Sang

Le sang utilisé dans la présente étude provient d'un donneur sain et a été généreusement fourni par le centre de transfusion sanguine de Sidi Ali Labher. Il a été acheminé dans des conditions stériles (Glacière), puis conservé à une température de 4°C jusqu'à utilisation.



**Figure N°9** : Le sang utilisé dans l'étude (photo originale).

## II. Méthodes

### II.1. Extraction à l'eau par méthode de décoction

L'objectif est d'extraire les molécules bioactives hydrosolubles présentes dans les quatre plantes choisies, notamment les composés phénoliques polaires.

Le protocole d'extraction utilisé est celui décrit par Chavan, et *al* (2001). 10g de chacune des plantes séchées et réduites en petits morceaux ont été mis dans 100 ml d'eau distillée puis portés à ébullition pendant 15 min. La décoction a été rapidement refroidie, puis filtrée à travers du papier filtre. Le filtrat obtenu a ensuite été concentré par évaporation dans une étuve réglée à 40 degrés pendant une période de 5 jours.

Calcul du rendement :

$$\text{Rendement d'extraction (\%)} = \frac{\text{Poids de l'extract sec (mg)}}{\text{Poids de la quantité de plante initiale (mg)}} \times 100$$

### II.2. Dosage des composés phénoliques

#### II.2.1. Dosage des polyphénols totaux

➤ **Principe :**

Le dosage des polyphénols totaux présents dans les extraits a été déterminé par spectrophotométrie, selon la méthode colorimétrique utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu. Le réactif de Folin-Ciocalteu est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique (H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub>) et phosphomolibdique (H<sub>3</sub>PMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub>), il est réduit par les phénols en un mélange d'oxydes bleus de tungstène (W<sub>8</sub>O<sub>23</sub>) et de molybdène (Mo<sub>8</sub>O<sub>23</sub>). L'intensité est

proportionnelle aux taux de composés phénoliques présents dans les échantillons (Ghedadba et *al.*, 2015).

### ➤ **Protocol**

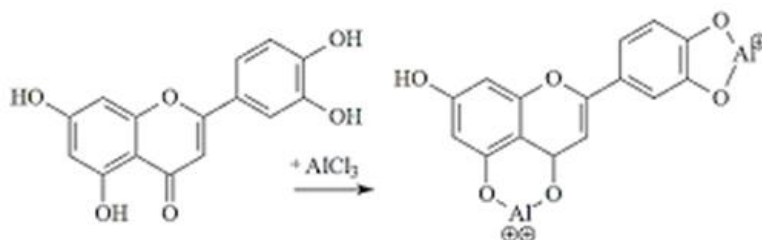
Le protocole utilisé est basé sur celui décrit par Coe et *al.*, (2013) en y apportant quelques modifications. différentes concentrations de l'extrait de plante ont été mélangé avec 100  $\mu\text{l}$  de Folin-Ciocalteu (0,5N) puis incubé directement à l'obscurité pendant 5 min. Ensuite, 300  $\mu\text{l}$  de carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) à 7,5% sont ajouté et le mélange est réincubé pendant une heure à l'abri de la lumière. Les absorbances sont ensuite lues contre un blanc à l'aide d'un spectrophotomètre à 720 nm.

Les teneurs en polyphénols totaux ont été exprimées en milligramme équivalent d'acide gallique par gramme de matière sèche (mgEqAG/gMS) en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions avec l'acide gallique comme phénol standard (Annexe N°02).

## II.2.2. Dosage des flavonoïdes

### ➤ **Principe**

Le dosage des flavonoïdes a été réalisé par la méthode de trichlorure d'aluminium ( $\text{AlCl}_3$ ). Il est basé sur la formation d'une liaison entre les groupements hydroxyles du flavonoïde et l'ion  $\text{Al}^{3+}$  du chlorure d'aluminium pour former un complexe de couleur jaune-orange (figure N°10), qui absorbe à 460nm et dont l'intensité est proportionnelle à la quantité de flavonoïde (Dif et *al.*, 2015).



**Figure N°10:** Formation d'un complexe entre le flavonoïde et l' $\text{AlCl}_3$  (Shi et *al.*, 2022).

### ➤ **Protocol**

Le protocole de dosage des flavonoïdes utilisé est celui décrit par Hebi & Eddouks, (2016) avec quelques modifications. Des concentrations différentes d'extraits aqueux de plantes ont

été mélangé avec 1ml de solution trichlorure d'aluminium  $AlCl_3$  2% et laisser incuber 10min à température ambiante. L'absorbance a été ensuite mesurée à 460nm.

Les taux de flavonoïdes contenus dans les extraits ont été déterminés par référence à une courbe d'étalonnage réalisée avec la quercétine comme standard et exprimés en mg équivalent du quercétine /g de matière sèche (mg Eq.Q/g MS) (Annexe N°01).

### II.2.3. Dosage des tanins hydrolysables

#### ➤ Principe

La teneur en tanins hydrolysables a été déterminée par la méthode du chlorure ferrique. Les tanins hydrolysables réagissent avec le chlorure ferrique et donnent une coloration bleue dont l'intensité d'absorbance mesurée par spectrophotométrie est proportionnelle à leurs concentrations (Dif et *al.*, 2015).

#### ➤ Protocol

Le protocole utilisé est celui décrite par Mole & Waterman, (1987) légèrement modifié. ( $2,5 \times 10^{-3}$  mg/ml) d'extrait (50mg/ml) ont été ajoutés à 3,5 ml du chlorure ferrique (0,01%) ( $FeCl_3$ ), et 800  $\mu$ l de méthanol 50%. La solution obtenue a été vigoureusement mélangée avec un vortex, et laissée reposer quelques minutes puis l'absorbance a été lue à 660nm contre un blanc préparé de la même façon sans extraits.

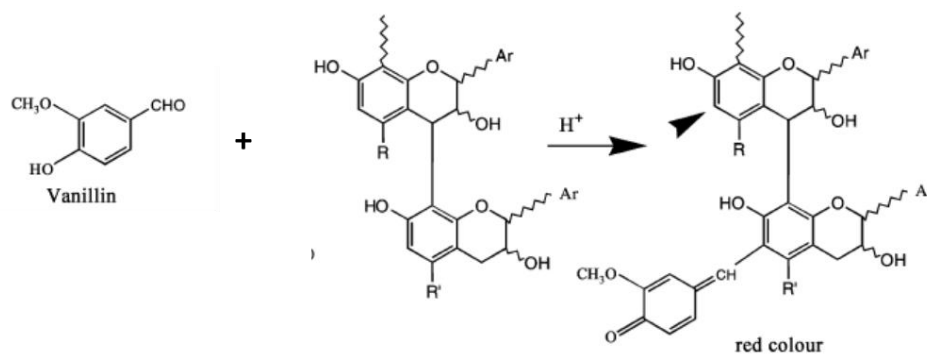
Les taux de tanins hydrolysables contenus dans les différents extraits ont été calculés en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide tannique comme standard (annexe N°03), et ils sont exprimés en mg équivalent d'acide tannique/g matière sèche végétal (mg Eq. AT/g MS).

### II.2.4. Dosage des tanins condensés

#### ➤ Principe

Le dosage des tanins condensés est réalisé en utilisant la méthode colorimétrique à la vanilline-HCl. C'est une méthode qui repose sur la réaction entre la vanilline et les monomères catéchiques et les unités terminales des proanthocyanidines pour former un complexe chromophore rouge qui absorbe à 500 nm (Hebi & Eddouks, 2016).





**Figure N° 11:** Formation du complexe tanin-vanilline (Shi *et al.*, 2022)

### ➤ Protocol

Le dosage des tanins condensés a été réalisé en suivant le protocole décrit par Ghedadba *et al.*, (2015) légèrement modifié. Une concentration de 0,005mg/ml de l'extrait a été rajouté à 1,5 de vanilline 5,8% et de l'HCl 0,001M. La solution a été ensuite mélangée vigoureusement puis l'absorbance a été mesurée à 500nm contre un blanc qui ne contient pas d'extrait.

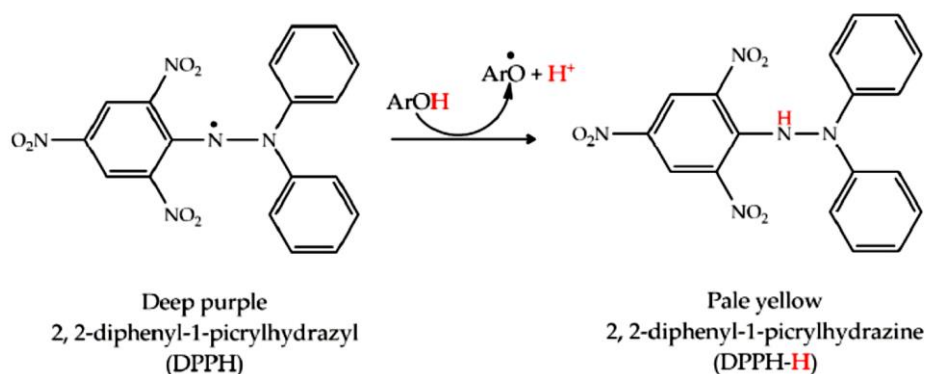
Le taux des tanins condensés a été calculé en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée avec catéchine comme standard, et exprimé en mg équivalent de catéchine /g matière sèche végétal (mg Eq. Q/g MS).

## II.3. Evaluation de l'activité oxydante

### II.3.1. Evaluation de l'activité anti radicalaire par le test DPPH

#### ➤ Principe

Le test vise à évaluer la capacité des molécules antioxydantes à réduire le radical DPPH° (2,2-Diphényl-1-picrylhydrazyl Radical) qui est un composé stable de couleur violet foncé qui absorbe intensivement à 515nm. En présence d'un antioxydant, le radical DPPH° est réduit en DPPH de couleur jaune. (Figure N° 12) qui n'absorbe pas à 515 nm. (Popovici *et al.*, 2009).



**Figure N°12:** Réaction du test DPPH (Popovici et *al.*, 2009).

### ➤ **Protocol**

Le test anti-radical DPPH a été réalisé selon le protocole décrit par Moussa et *al.* (2022) légèrement modifié. La réaction a été réalisée dans un volume total de 1,2 ml contenant 100  $\mu$ l d'extraits et 25 $\mu$ l d'une solution de DPPH solubilisé dans le méthanol compléter avec de l'eau distillé jusqu'à 1,2 ml. Les mélanges obtenus ont été incubés à l'obscurité pendant 30min puis l'absorbance a été mesurée à 515nm. Le control a été réalisé en absence d'extrait dans les mêmes conditions.

Le pourcentage d'inhibition (% I) du radical DPPH par l'extrait est calculé comme suit :

Avec :

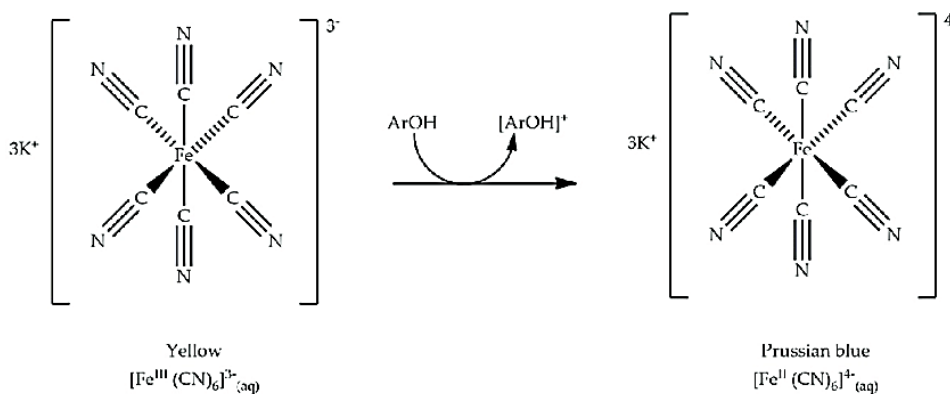
$$I = [(AbsC - AbsE) / AbsC] \times 100$$

- ✓ **AbsC:** absorbance en absence de l'extrait.
- ✓ **AbsE:** absorbance en présence de l'extrait.

### II.3.2. Pouvoir réducteur du Fer par le test FRAP

#### ➤ **Principe**

Le test du pouvoir réducteur du fer, souvent appelé le test du Potassium Ferricyanide est une méthode utilisée pour évaluer la capacité d'un antioxydant à réduire les ions ferriques ( $Fe^{3+}$ ) en ions ferreux ( $Fe^{2+}$ ) (Que et *al.*, 2006).



**Figure N°13:** Réaction de réduction du complexe ferricyanide ferrique Fe (III) par antioxydant (ArOH) (Que et *al.*, 2006).

### ➤ Protocole

Le protocole suivi est celui de (Habibou et *al.*, 2019) avec quelques modifications. Pour chaque volume d'extrait, 1,25 ml de tampon phosphate buffer 2M, pH= 6,6 et 1,25 ml de ferricyanure de potassium 1% ont été ajoutés. Après 20 minutes d'incubation à 50°C, 1,25 ml d'une solution aqueuse de TCA (10%) a été ajouté au milieu réactionnel. Après agitation et centrifugation à 3000rpm pendant 10 min, 1,25 ml d'eau distillé et 250µl de FeCl3 0,1% ont été ajoutés à 1,25 ml du surnageant et l'absorbance mesurée à 700 nm. L'augmentation de l'absorbance correspond à une augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés. Le contrôle négatif a été réalisé dans les mêmes conditions sans extrait et le taux de réduction du Fe (III) en Fe (II) est exprimé en (%) inhibition.

### II.3.3. Test de neutralisation du peroxyde d'hydrogène

L'une des méthodes les plus courantes pour évaluer la capacité de piégeage de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> est basée sur l'absorption intrinsèque de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dans la région UV. À mesure que la concentration de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> diminue par des composés piègeurs, la valeur d'absorbance à 230 nm est également diminué (Chelliah et *al.*, 2022).

La capacité des extraits à neutraliser le peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a été déterminée en suivant la méthode décrite par El-haci et *al.*, (2013) avec quelques modifications. Une quantité de 1 ml de solution de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(100mM) préparée dans du tampon phosphate (Ph7,4) a été mélangée avec différentes volume d'extraits de plantes (50mg/ml) puis compléter à 4ml avec du tampon phosphate. Après une incubation de 15 minutes à température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 240 nm. Un blanc a été préparé de la même manière mais sans H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Le taux de piégeage de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en % a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Taux de piégeage du H}_2\text{O}_2 (\%) = \frac{[\text{Abs Control} - \text{Abs Essai}]}{\text{Abs Control}} \times 100$$

#### II.3.4. Evaluation de l'Effet anti-hémolyse induite par H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

##### A. Préparation de la suspension érythrocytaire à 10%

Le sang frais est centrifugé à 3000rpm pendant 10 minutes pour éliminer le plasma, suivi du lavage du culot trois fois avec du tampon PBS (pH 7,4) 0,85% de NaCl. Les érythrocytes obtenus sont ensuite re-suspendus dans un volume total de PBS correspondant à 9 volumes de PBS pour 1 volume d'érythrocytes, pour obtenir un hématocrite de 10%.

##### B. Quantification de l'hémolyse par spectrophotométrie

La méthode utilisée pour quantifier le taux d'hémolyse est celle décrite par Li et Liu (2008) en présence d'une substance hémolytique (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 0,3%). Les hématies sont lysées, libérant ainsi l'hémoglobine et rendant le surnageant rouge. Les hématies qui restent intactes sédimentent. Le taux d'hémolyse est proportionnel à la quantité d'hémoglobine libérée quantifiée par mesure de l'absorbance à 540 nm.

##### ➤ Protocol

Le protocole expérimental consiste à évaluer l'activité antihémolytique des extraits en présence de peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 0,3%) sur des globules rouges. Pour cela, 0,5 ml de solution de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ont été mélangés avec 0,1 ml de l'extrait et pré-incubés pendant 15 minutes. Ensuite, 0,25 ml de suspension érythrocytaire à 10% ont été ajoutés à ce mélange, suivi d'une incubation de 2 heures et 30 minutes à 37°C dans un bain-marie agitateur pour induire potentiellement l'hémolyse. Après cette période, l'échantillon a été centrifugé à 3000rpm pendant 10 minutes, afin de séparer les globules rouges lysés du surnageant. Enfin, 3 ml de tampon PBS (NaCl 0,85%) ont été ajoutés au surnageant récupéré pour stabiliser l'échantillon avant de mesurer l'absorbance à 540 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Cette mesure permet d'évaluer le degré d'hémolyse induite par le H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et l'efficacité de l'extrait à protéger les globules rouges contre ce stress oxydatif simulé.

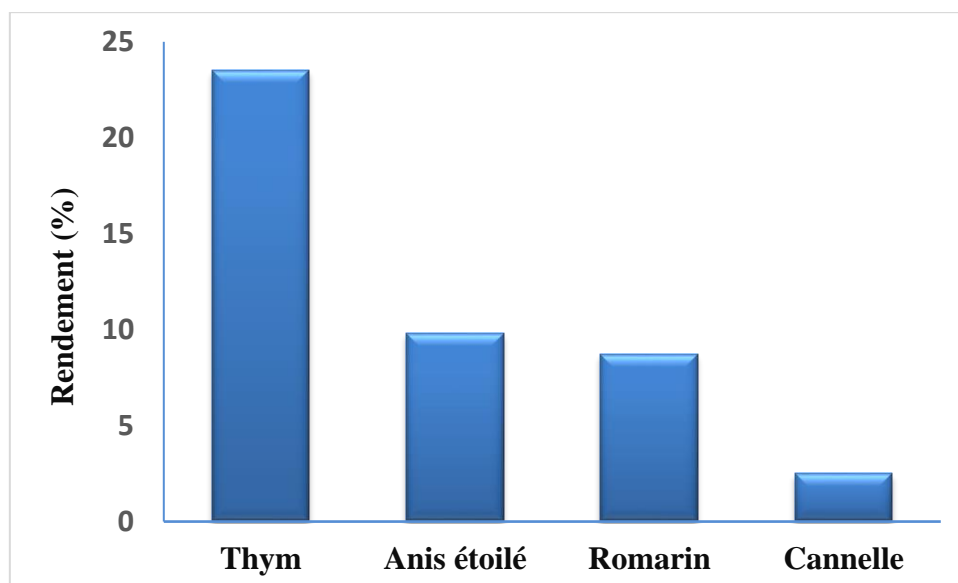
## **Résultats et discussions**

### III. Résultats et discussions

#### III.1. Rendement d'extraction

Dans cette étude, nous avons opté pour une extraction solide /liquide par la méthode de décoction. Les pourcentages d'extraction ont été évalués par rapport aux petits morceaux végétaux des quatre plantes initiales.

Il convient de noter que dans notre démarche, nous avons délibérément évité de réduire le matériel végétal en poudre, afin de conserver de petits morceaux semblables à ceux utilisés pour la préparation de tisanes maison. Les résultats obtenus sont présentés dans la (figure N°14) ci-dessus :



**Figure N°14** :Histogramme représentant les rendements d'extraction à l'eau par décoction.

Les rendements d'extraction des principes actifs de différentes plantes montrent que: *Thymus vulgaris* (Thym) se distingue avec un rendement élevé de 23,5 %, en revanche, *Cinnamomum aromaticum* affiche un rendement plus modeste de 2,5 %. *Rosmarinus officinalis* et *Illicium verum* montrent des rendements intermédiaires de 8,7 % et 9,8 % respectivement. La différence en rendement d'extraction par le même solvant est probablement due au fait que les plantes utilisées soient des espèces différentes et que même les parties des plantes utilisées sont différentes (Haddouchi et *al.*, 2016).

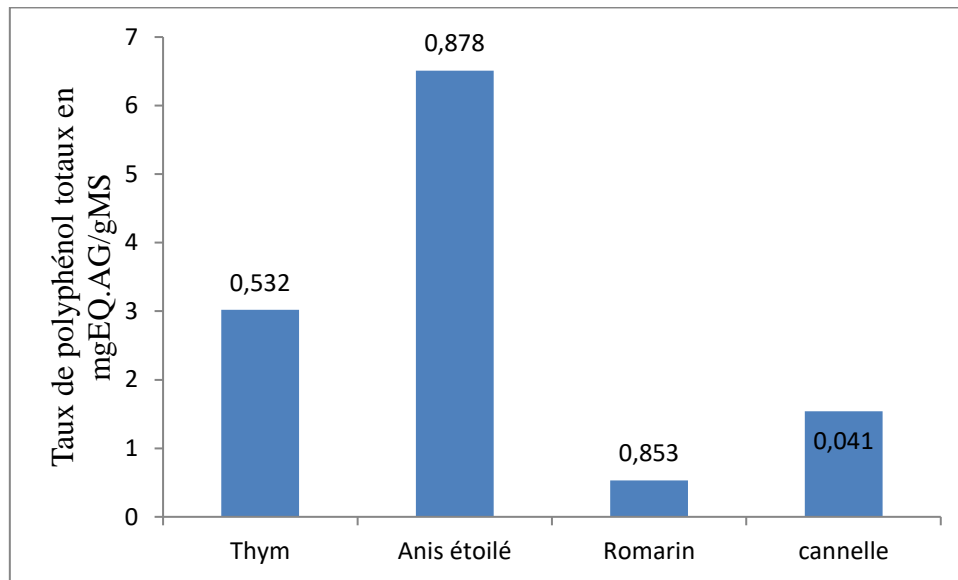
En règle générale, plusieurs facteurs influencent les rendements d'extraction des métabolites bioactifs des plantes, notamment les conditions d'extraction, l'espèce végétale et

son origine géographique, la partie de la plante utilisée ainsi que son stade de maturité, la période de récolte, et enfin, les conditions et la durée de stockage (Haddouchi et *al.*, 2016).

### III.2 Taux des composés phénoliques

#### III.2.1. Taux des polyphénols totaux

Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure N°15 :

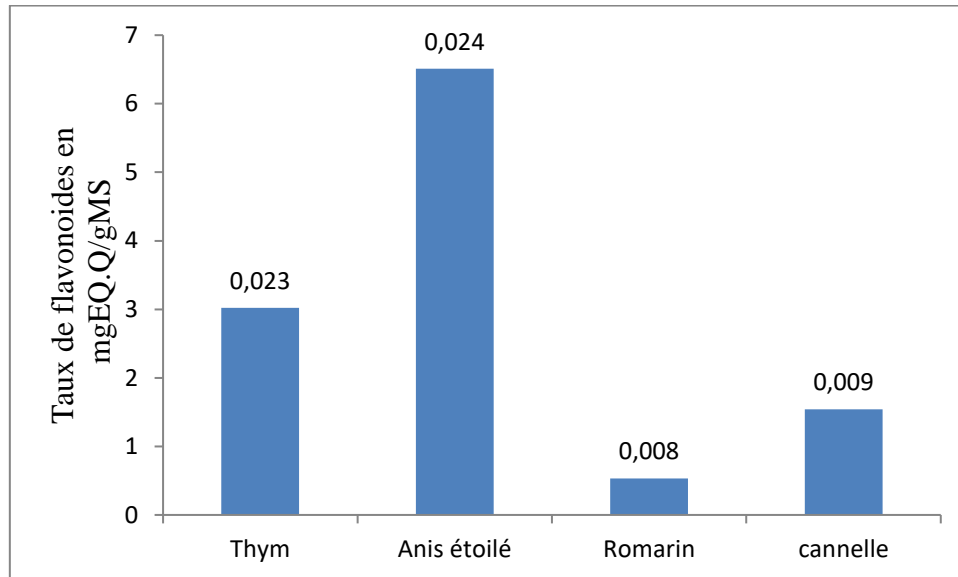


**FigureN°15:** Histogramme représentant les taux des polyphénols totaux des extraits des plantes étudiées.

Les teneurs en polyphénols totaux varient entre les quatre plantes étudiées. L'extrait de racine de Thym présente la teneur la plus élevée, avec  $72,944 \pm 0,532$  mg Eq.AG/gMS. En comparaison, l'extrait de Romarin montre une teneur de  $33,64 \pm 0,853$  mg Eq.AG/gMS, tandis que celui d'Anis étoilé affiche une valeur de  $9,31 \pm 0,878$  mg Eq.AG/gMS. En revanche, l'extrait de cannelle présente la teneur la plus faible, avec seulement  $1,906 \pm 0,041$  mg Eq.AG/gMS. Les quantités de polyphénols totaux mesurées peuvent être surestimées car le réactif Folin-Ciocalteu, utilisé pour leur dosage, n'est pas exclusif aux polyphénols ; il peut également réagir avec d'autres composés présents dans les extraits végétaux, tels que les protéines et les sucres, conduisant ainsi à des niveaux de polyphénols apparents plus élevés.(Bakchiche & Gherib, 2014)

### III.2.2 Taux des flavonoïdes

Les flavonoïdes, largement présents dans de nombreuses plantes, sont reconnus pour leurs propriétés antioxydantes et leurs bénéfices pour la santé. Les résultats fournissent des informations sur la concentration de flavonoïdes dans les échantillons :



**Figure N°16 :** Histogramme représentant les taux des flavonoïdes des extraits des plantes étudiées.

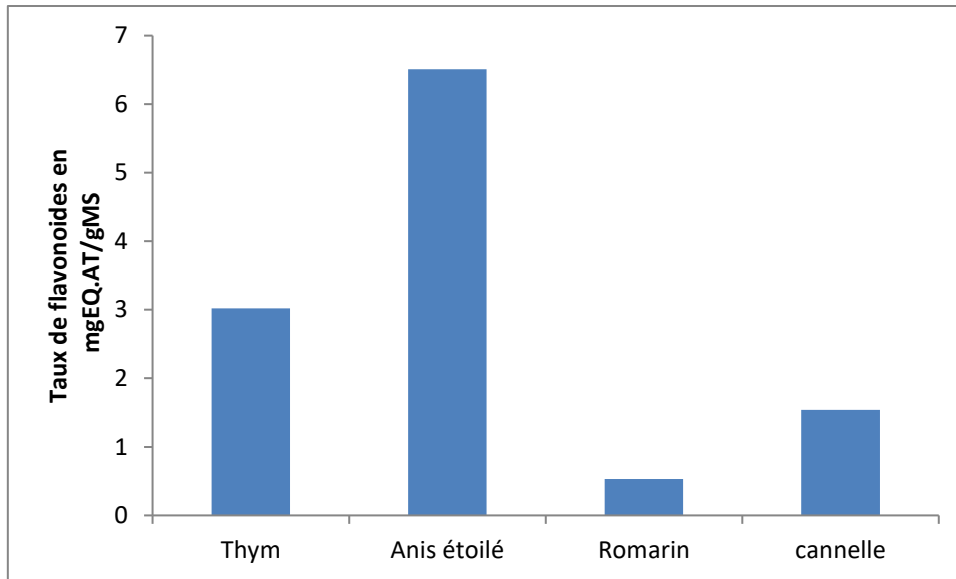
Les teneurs en flavonoïdes totaux varient significativement entre les différents extraits aqueux des 4 plantes. Thym présente la teneur la plus élevée, avec  $2,987 \pm 0,023$  mg Eq.Q/gMS, suivie par Romarin avec  $0,721 \pm 0,008$  mg Eq.Q/gMS. Les concentrations les plus faibles sont observées successivement pour les extraits d'Anis étoilé ( $0,389 \pm 0,024$  mg Eq.Q/gMS) et de cannelle ( $0,056 \pm 0,009$  mg Eq.Q/gMS).

### III.2. 3. Taux des tanins

#### A. Tanins hydrolysables

Les teneurs en tannins hydrosolubles exprimés en  $\mu\text{g Eq.AT/g MS}$  sont représentées dans la figure N°17 :





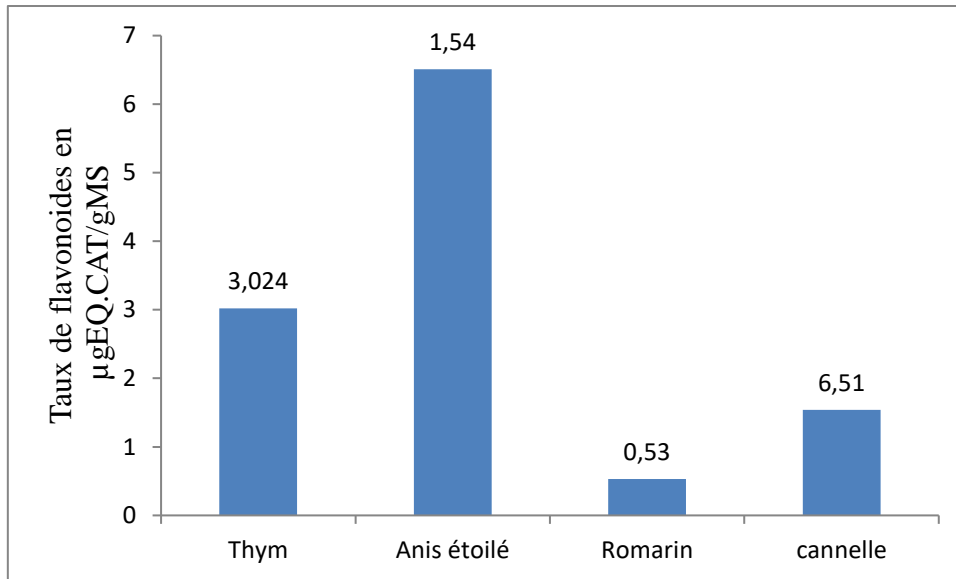
**Figure N°17 :** Histogramme représentant les teneurs en tanins hydrosolubles des extraits des plantes étudiées.

Les concentrations en tanins hydrolysables varient selon les extraits analysés. Thym présente le taux le plus élevé avec 24,11 mg Eq. AT/gMS, suivi par *Romarin* à 8,274 mg Eq. AT/gMS. L'extrait d'anis étoilé montre un taux de tanin hydrolysable de 3,26 mg Eq. AT/gMS. En revanche, l'extrait de cannelle affiche la concentration la plus basse, à 5,07 mg Eq.AT/gMS.

Les différences observées entre les extraits peuvent être expliquées par la composition chimique propre à chaque plante. Le niveau de tanins dans ces extraits, est susceptible d'être affecté par divers facteurs tels que les pratiques agricoles, le stade de développement des plantes, les caractéristiques du sol (notamment la fertilité et la composition minérale des sols arides souvent sablonneux et peu fertiles), ainsi que les conditions climatiques au moment de la récolte, incluant la température et la quantité de précipitations (Laurent, 1975).

### **B. Tannins condensés**

Les résultats exprimés en équivalents de l'acide tannique par gramme de matière sèche ( $\mu\text{g Eq.CAT/g MS}$ ) sont représentés dans la figure N°18.



**FigureN°18 :** Histogramme représentant les teneurs en tanins condensés des extraits des plantes étudiées.

Les concentrations en tanins condensés varient selon les extraits étudiés. L'extrait d'Anis étoilé présente la concentration la plus élevée, à 6,51 µg Eq.CAT /g MS, suivi par Thym avec 3,02 µg Eq.AT /g MS, puis par l'extrait de cannelle à 1,54 µg Eq.CAT /g MS. En revanche, la concentration la plus basse est observée avec l'extrait de Romarin, qui atteint 0,53 µg Eq.CAT/g MS.

### III.3. Potentiel antioxydants des extraits aqueux

#### III.3.1. Activité anti radicalaire

La capacité anti radicalaire des extraits de quatre plantes a été évaluée envers le radical DPPH par méthode colorimétrique. Cette méthode mesure la réduction du radical DPPH, observée par le changement de sa couleur du violet au jaune, ce qui correspond à une diminution de l'absorbance (Majhenič et al., 2007). Cette méthode est couramment employée pour évaluer le potentiel antioxydant en raison de sa simplicité, de sa rapidité et de sa sensibilité (Jayaprakasha et Pati, 2007).

Les résultats obtenus (tableau N°III) indiquent qu'à une concentration inférieure à 5 mg/ml d'extrait aqueux, aucun effet inhibiteur n'a été observé sur le radical DPPH pour les extraits de romarin, anis étoilé et cannelle. En revanche, un taux d'inhibition de 19 % du radical DPPH a été mesuré pour l'extrait de Thym à 5 mg/ml.

**Tableau N°III :** Taux d'inhibition du radical DPPH par les extraits aqueux de Thym, Romarin, Anis Etoilée et Cannelle.

	Extrait aqueux du Thym	Extrait aqueux Romarin	Extrait aqueux de la Cannelle	Extrait aqueux de l'anis étoilé
% d'inhibition du radical DPPH à 5 mg/ml d'extrait.	19	00	02	00

### III.3.2 Pouvoir réducteur

Les propriétés réductrices des extraits aqueux ont été évaluées en utilisant une méthode basée sur leur capacité à convertir le fer ferrique  $Fe^{3+}$  en fer ferreux  $Fe^{2+}$ , ce qui se traduit par une augmentation de l'intensité de la couleur bleue dans le milieu réactionnel, mesurée par la variation de l'absorbance à 700 nm (Habibou et *al.*, 2019).

Dans cette étude, nous avons utilisé ce test pour évaluer l'activité antioxydants de nos extraits aqueux obtenus par décoction à partir de 4 plantes différentes. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau N°IV

**Tableau N°IV :** Absorbance à 700 nm du fer réduit par les extraits aqueux des plantes à différentes concentrations

Concentration	Extrait DeCannelle	Extrait DeRomarin	Extrait DeThym	Extrait D'Anis étoile
5 mg/ml	$\geq 2,5$	$\geq 2,5$	$\geq 2,5$	$\geq 2,5$
2 mg/ml	$\geq 2,5$	$\geq 2,5$	$\geq 2,5$	2,247
1mg/ml	$\geq 2,5$	$\geq 2,5$	2,159	1,601
0.250mg/ml	1,542	0,956	1,606	

Selon les résultats obtenus, le test de réduction du fer a montré que les extraits aqueux de Romarin et d'Anis étoilé et de la Cannelle présentent pratiquement une même efficacité à réduire le fer réducteur. À une concentration de 250  $\mu$ g/ml, la réduction du fer se traduit par des absorbances de 1,54 (cannelle), 0.95 (romarin) et 1,6 (thym). L'extrait de l'anis étoilé présente une activité réductrice du fer similaire aux trois autres extraits aqueux mais à concentration 4

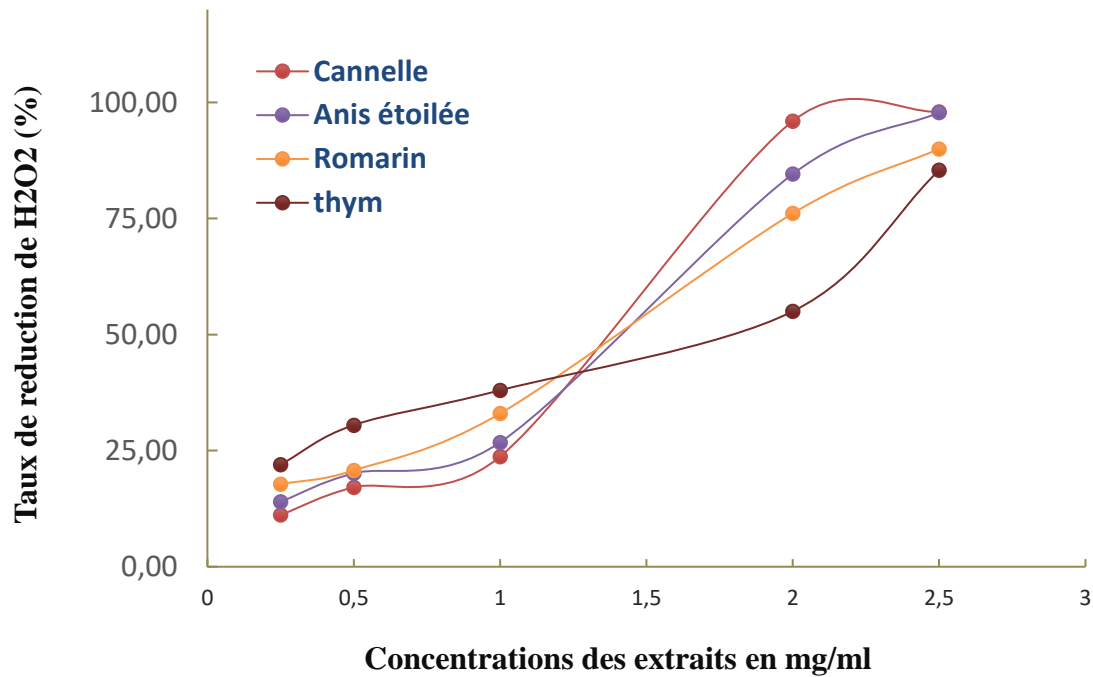
fois plus élevée. En effet, une absorbance de 1,6 est obtenue pour une concentration de 100 µg/ml d'extrait.

Le pouvoir réducteur des extraits aqueux pourrait être attribué à la présence de groupements hydroxyles dans les composés phénoliques, qui agissent comme donateurs d'électrons. Les polyphénols sont capables de réduire le Fe (III) en Fe (II) par transfert d'électrons, s'oxydant en semiquinones (Pan et *al.*, 2022).

### III.3.3 Taux d'inhibition de radical H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Pour évaluer l'effet neutralisant du H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> par les extraits aqueux de nos plantes, nous avons utilisé le test d'inhibition du radical H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, une méthode couramment employée pour mesurer l'activité antioxydante des substances (Halliwell, 1991). Les résultats obtenus fourniront des informations sur le potentiel des extraits à protéger contre les dommages oxydatifs (Kumaran & Karunakaran, 2007).

Les résultats obtenus représentés dans la figure N°19 montrent que les extraits des 4 plantes réduisent à 100% le peroxyde d'hydrogène à 50 mg/ml. L'effet réducteur du H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> par les extraits aqueux des 4 plantes est concentration-dépendant. En effet, le piégeage du radical H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> augmente avec l'augmentation de la concentration des extraits (figure N°19). Ces résultats suggèrent que les composés présents dans ces extraits, notamment les métabolites secondaires tel que les polyphénols et les flavonoïdes qui sont connus par leur rôle antioxydant, sont efficaces pour réduire les niveaux de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, potentiellement en le convertissant en eau (H<sub>2</sub>O) et en oxygène (O<sub>2</sub>), produits non toxiques, par un mécanisme de transfert d'électrons des flavonoïdes ou des polyphénols vers le H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Rice-Evans et *al.*, 1996).



**Figure N°19:** Courbes représentant les taux de réduction de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à différentes concentrations des extraits aqueux des plantes testées.

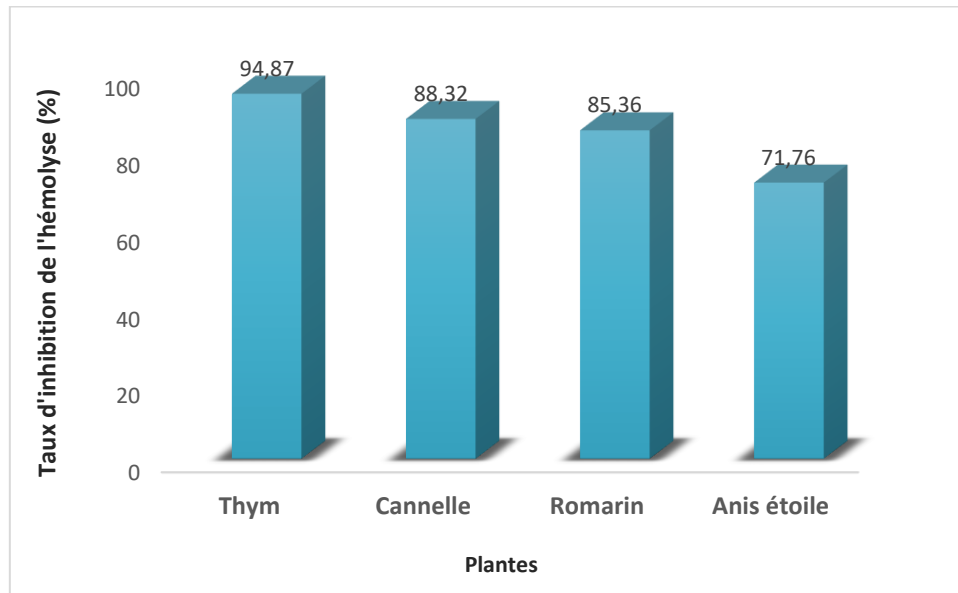
Les valeurs calculées de l'IC<sub>50</sub>, concentration effectrice qui permet de réduire le H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 50%, (Tableau N°V) montrent que les extraits aqueux de Thym, romarin, camomille ou anis étoilée ont des efficacités neutralisantes de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à des IC<sub>50</sub> de 1,8mg/ml ; 1,4mg/ml ; 1,35 mg/ml et 1,4mg/ml, respectivement. Cependant, leurs efficacités est plus faible que celle d'antioxydant purs comme BHA et l' $\alpha$ -tocophérol qui ont des efficacités réductrices de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> avec des IC<sub>50</sub> d'une centaine de  $\mu$ g/ml (El-Haci et *al.*, 2013).

**Tableau N°V:** IC<sub>50</sub> de réduction du radical H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> par les extraits aqueux de Thym, Romarin, Anis Etoilée et Cannelle.

Les extraits.	Extrait aqueux du Thym	Extrait aqueux Romarin	Extrait aqueux de la Cannelle	Extrait aqueux de l'anis étoilé
IC <sub>50</sub> de réduction du radical H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1,8mg/ml	1,4mg/ml	1,35mg/ml	1,4mg/ml

### III.4. Activité anti-hémolytique

L'étude de l'activité anti-hémolytique a été réalisée avec une concentration de 5mg/ml de l'extrait aqueux des 4 plantes étudiées. Les résultats obtenus montrent que les 4 extraits plantes inhibe l'action l'hémolytique induite par l'H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> avec des taux de 71 à 95 % (figure N°20).



**Figure N°20 :** Histogrammes représentant le taux d'inhibition de l'hémolyse induite par H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> des hématies traitées avec 5mg/ml d'extrait aqueux de thym, cannelle, romarin et anis étoilé.

Les métabolites extraits par décoction du thym affichent le meilleur taux d'anti-hémolyse, à 94,87% ± 0,926. Ceux de la cannelle et du romarin montrent des efficacités respectives de 88,32% ± 1,952 et 85,36% ± 0,580, démontrant une capacité notable à protéger les érythrocytes contre l'oxydation, bien que légèrement inférieure à celle du thym. En revanche, les métabolites de l'anis étoilé enregistrent la plus faible efficacité anti-hémolytique, avec un taux de 71,76% ± 0,375.

En ce qui concerne les taux d'anti-hémolyse obtenus à une concentration de 5 mg/ml d'extrait, les extraits aqueux des plantes étudiées ont tous une grande efficacité à préserver l'intégrité des globules rouges contre le stress oxydatif induit par le peroxyde d'hydrogène.

L'hémolyse induite par le peroxyde d'hydrogène à faibles concentrations résulte des dommages oxydatifs causés à la membrane cytoplasmique en raison de la peroxydation lipidique des acides gras polyinsaturés (AGPI) (Singh & Rajini, 2008). Lorsque le H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> traverse cette membrane, il peut provoquer la dégradation de l'hème de l'hémoglobine et la

libération d'ions  $Fe^{2+}$ , générant ainsi le radical hydroxyle hautement réactif par la réaction de Fenton. Ces radicaux déclenchent une chaîne de peroxydation lipidique aboutissant à la lyse des érythrocytes (Okoko & Ere, 2012). En revanche, à des concentrations élevées, les taux d'hémolyse diminuent, ce qui peut être attribué à l'insolubilité de l'hémoglobine due à sa polymérisation et à l'agrégation des érythrocytes (Masuoka et *al.*, 2006).

### Conclusion

La présente recherche a évalué les effets antioxydants et antihémolytiques de quatre plantes qui sont : la cannelle, l'anis étoilé, le romarin et le thym, en utilisant des extraits aqueux obtenus par décoction.

La quantification des teneurs en composés phénoliques dans ces extraits a montré que ces plantes sont riches en polyphénols totaux, flavonoïdes et tanins. L'évaluation de l'activité antioxydant par divers tests *in vitro* (test FRAP, piégeage de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ont révélés que toutes les plantes étudiées possèdent des propriétés antioxydantes.

L'analyse des extraits aqueux a révélé que le romarin et le thym présentaient les niveaux les plus élevés en flavonoïdes et en polyphénols, les extraits des quatre plantes ont démontré une efficacité très prononcée dans la protection des globules rouges contre la lyse induite par des agents oxydants.

Ces résultats suggèrent que les extraits aqueux de cannelle, anis étoilé, romarin et thym peuvent être utilisés comme sources naturelles de composés antioxydants et antihémolytiques. Leur utilisation pourrait contribuer à la prévention des dommages oxydatifs et à la protection des cellules sanguines, offrant ainsi un potentiel thérapeutique dans la gestion du stress oxydatif et des maladies associées.

Les implications de cette étude suggèrent plusieurs perspectives telles que d'évaluer l'activité antioxydante par d'autres tests complémentaires et de réaliser d'autres test *in vivo* sur modèle animal, réalisation des études qui nous permettra de comprendre le mécanisme de protection des membranes cellulaires, et de faire une identification par technique d'hématographie la nature des métabolites présents dans ces plantes.



## References

1. Afonso, V., Champy, R., Mitrovic, D., Collin, P., & Lomri, A. (2007). Radicaux libres dérivés de l'oxygène et superoxydes dismutases : Rôle dans les maladies rhumatismales. *Revue du rhumatisme*, 74(7), 636-643.
2. Agarwal, A., Aponte-Mellado, A., Premkumar, B. J., Shaman, A., & Gupta, S. (2012). The effects of oxidative stress on female reproduction : A review. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 10(1), 49. <https://doi.org/10.1186/1477-7827-10-49>
3. Al Ghouleh, I., Khoo, N. K., Knaus, U. G., Griendling, K. K., Touyz, R. M., Thannickal, V. J., Barchowsky, A., Nauseef, W. M., Kelley, E. E., & Bauer, P. M. (2011). Oxidases and peroxidases in cardiovascular and lung disease : New concepts in reactive oxygen species signaling. *Free Radical Biology and Medicine*, 51(7), 1271-1288.
4. Al-Gubory, K. H. (2014). Environmental pollutants and lifestyle factors induce oxidative stress and poor prenatal development. *Reproductive biomedicine online*, 29(1), 17-31.
5. Almela, L., Sánchez-Muñoz, B., Fernández-López, J. A., Roca, M. J., & Rabe, V. (2006). Liquid chromatographic–mass spectrometric analysis of phenolics and free radical scavenging activity of rosemary extract from different raw material. *Journal of Chromatography A*, 1120(1-2), 221-229.
6. Aprioku, J. S. (2013). Pharmacology of free radicals and the impact of reactive oxygen species on the testis. *Journal of reproduction & infertility*, 14(4), 158.
7. Arslan, D., & Özcan, M. M. (2008). Evaluation of drying methods with respect to drying kinetics, mineral content and colour characteristics of rosemary leaves. *Energy Conversion and Management*, 49(5), 1258-1264.
8. Bakchiche, B., & Gherib, A. (2014). Activités antioxydantes des polyphénols extraits de plantes médicinales de la pharmacopée traditionnelle d'Algérie [Antioxidant activities of polyphenol extracts from medicinal plants in Algerian traditional pharmacopoeia]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 9(1), 167.
9. Barouki, R., & Morel, Y. (2001). Repression of cytochrome P450 1A1 gene expression by oxidative stress : Mechanisms and biological implications. *Biochemical pharmacology*, 61(5), 511-516.
10. Baudin, B. (2020). Stress oxydant et protections antioxydantes. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2020(522), 22-30.
11. Béguel, J.-P., Huvet, A., Quillien, V., Lambert, C., & Fabioux, C. (2013). Study of the antioxidant capacity in gills of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in link with its reproductive investment. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part C: Toxicology and Pharmacology*, 157(1), 63. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2012.10.004>
12. Boubekri, C. (2014). *Etude de l'activité antioxydante des polyphénols extraits de Solanum melongena par des techniques électrochimiques* [PhD Thesis, Université Mohamed Khider Biskra]. <http://thesis.univ-biskra.dz/62/>
13. Boudjda, S. (1996). Connaissance avec le Romarin. *Le foret algérien*, 1.
14. Bousbia, N. (2011). *Extraction des huiles essentielles riches en anti-oxydants à partir de produits naturels et de co-produits agroalimentaires* [PhD Thesis, Université d'Avignon]. <https://theses.hal.science/tel-00915117/>
15. Brown, S. A., Biggerstaff, J., & Savidge, G. F. (1992). Disseminated intravascular coagulation and hepatocellular necrosis due to clove oil. *Blood coagulation & fibrinolysis*, 3(5), 665-668.

16. Cassagnes, L.-E. (2015). *Cycle redox quinone-quinone réductase 2 et conséquences sur la production d'espèces oxygénées réactives dans le contexte cellulaire* [PhD Thesis, Université Paul Sabatier-Toulouse III]. <https://theses.hal.science/tel-01284055/>
17. Chavan, U. D., Shahidi, F., & Naczk, M. (2001). Extraction of condensed tannins from beach pea (*Lathyrus maritimus* L.) as affected by different solvents. *Food chemistry*, 75(4), 509-512.
18. Chelliah, R., Banan-MwineDaliri, E., & Oh, D.-H. (2022). Screening for Antioxidant Activity : Hydrogen Peroxide Scavenging Assay. In D. Dharumadurai (Éd.), *Methods in Actinobacteriology* (p. 461-462). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1728-1\\_65](https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1728-1_65)
19. Coe, S., Fraser, A., & Ryan, L. (2013). Polyphenol bioaccessibility and sugar reducing capacity of black, green, and white teas. *International Journal of Food Science*, 2013. <https://www.hindawi.com/journals/ijfs/2013/238216/abs/>
20. De Moffarts, B., Kirschvink, N., Art, T., Pincemail, J., & Lekeux, P. (2005). Effect of oral antioxidant supplementation on blood antioxidant status in trained thoroughbred horses. *The Veterinary Journal*, 169(1), 65-74.
21. Delattre, J., Beaudoux, J.-L., & Bonnefont-Rousselot, D. (2005). *Radicaux libres et stress oxydant (aspects biologiques et pathologiques)* (p. XIV, 549 p). Editions Tec & Doc.
22. Dias, M. C., Pinto, D. C., & Silva, A. M. (2021). Plant flavonoids : Chemical characteristics and biological activity. *Molecules*, 26(17), 5377.
23. Dif, M. M., Benchiha, H., Mehdadi, Z., Benali-Toumi, F., Benyahia, M., & Bouterfas, K. (2015). Étude quantitative des polyphénols dans les différents organes. *Phytothérapie*, 13, 314-319.
24. Dziejak, J. D. (1986). Preservatives : Antioxidants. *Food Technol*, 40(9), 94-102.
25. El-Haci, I. A., Bekkara, F. A., Mazari, W., Hassani, F., & Didi, M. A. (2013). Screening of biological activities of *Polygonum maritimum* L. from Algerian coast. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 3(8), 611-616.
26. Emeraux, E. (2019). *Propriétés biologiques des flavonoïdes : Étude bibliographique et évaluation de l'activité antioxydante* [PhD Thesis, Université de Lorraine]. <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-03297878>
27. Favier, A. (2003). Le stress oxydant. *L'actualité chimique*, 108(10), 863-832.
28. Galleano, M., Verstraeten, S. V., Oteiza, P. I., & Fraga, C. G. (2010). Antioxidant actions of flavonoids : Thermodynamic and kinetic analysis. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 501(1), 23-30.
29. Ghedadba, N., Hambaba, L., Ayachi, A., Aberkane, M. C., Bousselsela, H., & Oueld-Mokhtar, S. M. (2015). Polyphénols totaux, activités antioxydante et antimicrobienne des extraits des feuilles de *Marrubium deserti* de Noé. *Phytothérapie*, 13(2), 118-129.
30. Ghedira, K. (2005). Les flavonoïdes : Structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie*, 3(4), 162-169.
31. Gutteridge, J. M. C., & Halliwell, B. (1993). Invited Review Free Radicals in Disease Processes : A Compilation of Cause and Consequence. *Free Radical Research Communications*, 19(3), 141-158. <https://doi.org/10.3109/10715769309111598>
32. Habibou, H. H., Idrissa, M., Ikhiri Khalid, P., & Benjamin, O. (2019). Activité Antioxydante des extraits méthanoliques de différents organes de *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. *Eur Sci J*, 15(12), 1857-7881.

33. Habtemariam, S. (2016). The Therapeutic Potential of Rosemary ( *Rosmarinus officinalis* ) Diterpenes for Alzheimer's Disease. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2016*, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2016/2680409>
34. Haddouchi, F., Chaouche, T. M., & Halla, N. (2016). Screening phytochimique, activités antioxydantes et pouvoir hémolytique de quatre plantes sahariennes d'Algérie. *Phytothérapie*. <https://doi.org/10.1007/s10298-016-1086-8>
35. Halliwell, B. (2006). Oxidative stress and neurodegeneration : Where are we now? *Journal of Neurochemistry, 97*(6), 1634-1658. <https://doi.org/10.1111/j.1471-4159.2006.03907.x>
36. Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. (2015). *Free radicals in biology and medicine*. Oxford university press, USA. [https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=3DIKCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Halliwell+et+Gutteridge,+2015&ots=bqij5YuokT&sig=sfGH40c7QXhMZ93pzwPNT6PjH\\_g](https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=3DIKCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Halliwell+et+Gutteridge,+2015&ots=bqij5YuokT&sig=sfGH40c7QXhMZ93pzwPNT6PjH_g)
37. Havsteen, B. (1983). Flavonoids, a class of natural products of high pharmacological potency. *Biochemical pharmacology, 32*(7), 1141-1148.
38. Havsteen, B. H. (2002). The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacology & therapeutics, 96*(2-3), 67-202.
39. Hebi, M., & Eddouks, M. (2016). Évaluation de l'activité antioxydante de Stevia rebaudiana. *Phytothérapie, 14*(1), 17-22. <https://doi.org/10.1007/s10298-015-0999-y>
40. Huchzermeyer, B., Menghani, E., Khardia, P., & Shilu, A. (2022). Metabolic pathway of natural antioxidants, antioxidant enzymes and ROS providence. *Antioxidants, 11*(4), 761.
41. Iserin, P., Masson, M., Restellini, J. P., Ybert, E., De Laage de Meux, A., Moulard, F., Zha, E., De la Roque, R., De la Roque, O., & Vican, P. (2001). Larousse des plantes médicinales identification, préparation, soins. *Editions Larousse, Paris, 15*.
42. Jucá, M. M., Cysne Filho, F. M. S., De Almeida, J. C., Mesquita, D. D. S., Barriga, J. R. D. M., Dias, K. C. F., Barbosa, T. M., Vasconcelos, L. C., Leal, L. K. A. M., Ribeiro, J. E., & Vasconcelos, S. M. M. (2020). Flavonoids : Biological activities and therapeutic potential. *Natural Product Research, 34*(5), 692-705. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1493588>
43. Kamboh, A. A., Leghari, R. A., Khan, M. A., Kaka, U., Naseer, M., Sazili, A. Q., & Malhi, K. K. (2019). Flavonoids supplementation-An ideal approach to improve quality of poultry products. *World's poultry science journal, 75*(1), 115-126.
44. Karabin, M., Hudcova, T., Jelinek, L., & Dostalek, P. (2015). Biotransformations and biological activities of hop flavonoids. *Biotechnology advances, 33*(6), 1063-1090.
45. Kumar, S., & Pandey, A. K. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids : An overview. *The scientific world journal, 2013*. <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2013/162750/abs/>
46. Kumaran, A., & Karunakaran, R. J. (2007). In vitro antioxidant activities of methanol extracts of five Phyllanthus species from India. *LWT-Food Science and Technology, 40*(2), 344-352.
47. Lara, M. S., Gutierrez, J. I., Timón, M., & Andrés, A. I. (2011). Evaluation of two natural extracts (*Rosmarinus officinalis* L. and *Melissa officinalis* L.) as antioxidants in cooked pork patties packed in MAP. *Meat Science, 88*(3), 481-488.
48. Lau, A. T. Y., Wang, Y., & Chiu, J. (2008). Reactive oxygen species : Current knowledge and applications in cancer research and therapeutic. *Journal of Cellular Biochemistry, 104*(2), 657-667. <https://doi.org/10.1002/jcb.21655>

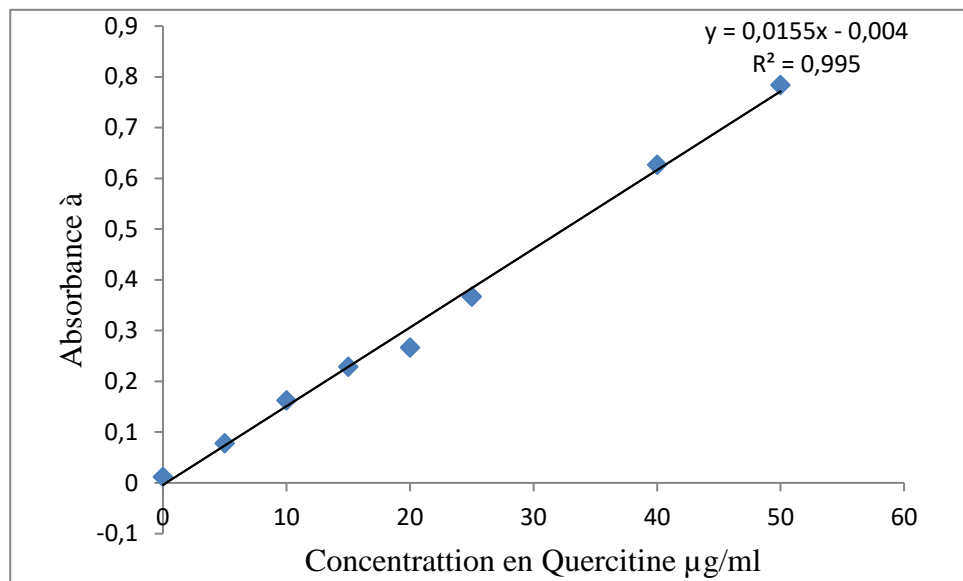
49. Laurent, S. (1975). Étude comparative de différentes méthodes d'extraction et de dosage des tannins chez quelques ptéridophytes. *Archives Internationales de Physiologie et de Biochimie*, 83(4), 735-752. <https://doi.org/10.3109/13813457509081892>
50. *Les radicaux libres, qu'est-ce que c'est ? | Penser Santé*. (s. d.). Consulté 30 juin 2024, à l'adresse <https://www.pensersante.fr/les-radicaux-libres-quest-ce-que-cest>
51. Li, G.-X., & Liu, Z.-Q. (2008). The protective effects of ginsenosides on human erythrocytes against hemin-induced hemolysis. *Food and chemical toxicology*, 46(3), 886-892.
52. Majhenič, L., Škerget, M., & Knez, Ž. (2007). Antioxidant and antimicrobial activity of guarana seed extracts. *Food Chemistry*, 104(3), 1258-1268. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.074>
53. Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols : Food sources and bioavailability. *The American journal of clinical nutrition*, 79(5), 727-747.
54. Masuoka, N., Sugiyama, H., Ishibashi, N., Wang, D.-H., Masuoka, T., Kodama, H., & Nakano, T. (2006). Characterization of acatalasemic erythrocytes treated with low and high dose hydrogen peroxide : Hemolysis and aggregation. *Journal of Biological Chemistry*, 281(31), 21728-21734.
55. Matos, L. F., da Cruz Lima, E., de Andrade Dutra, K., Navarro, D. M. do A. F., Alves, J. L. R., & Silva, G. N. (2020). Chemical composition and insecticidal effect of essential oils from *Illicium verum* and *Eugenia caryophyllus* on *Callosobruchus maculatus* in cowpea. *Industrial Crops and Products*, 145, 112088.
56. Migdal, C., & Serres, M. (2011). Espèces réactives de l'oxygène et stress oxydant. *médecine/sciences*, 27(4), 405-412.
57. Mole, S., & Waterman, P. G. (1987). A critical analysis of techniques for measuring tannins in ecological studies : I. Techniques for chemically defining tannins. *Oecologia*, 72(1), 137-147. <https://doi.org/10.1007/BF00385058>
58. MOUSSA, M. T. B., CHERIF, R. A., LEKHAL, S., BOUNAB, A., & HADEF, Y. (2022). *Dosage des composés phénoliques et détermination de l'activité antioxydante des extraits méthanoliques de Brocchia cinerea VIS de l'Algérie (Sud-Est)*. <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/436/4/1/191082>
59. Nabavi, S. M., Marchese, A., Izadi, M., Curti, V., Daglia, M., & Nabavi, S. F. (2015). Plants belonging to the genus *Thymus* as antibacterial agents : From farm to pharmacy. *Food chemistry*, 173, 339-347.
60. Nijveldt, R. J., Van Nood, E. L. S., Van Hoorn, D. E., Boelens, P. G., Van Norren, K., & Van Leeuwen, P. A. (2001). Flavonoids : A review of probable mechanisms of action and potential applications. *The American journal of clinical nutrition*, 74(4), 418-425.
61. Niki, E. (2010). Assessment of antioxidant capacity in vitro and in vivo. *Free Radical Biology and Medicine*, 49(4), 503-515.
62. Niki, E. (2018). Oxidative stress and antioxidants : Distress or eustress? *Free Radical Biology and Medicine*, 124, 564.
63. Okoko, T., & Ere, D. (2012). Reduction of hydrogen peroxide-induced erythrocyte damage by *Carica papaya* leaf extract. *Asian Pacific journal of tropical biomedicine*, 2(6), 449-453.
64. *Park et al., 2016 Illicium—Google Scholar*. (s. d.). Consulté 25 juin 2024, à l'adresse [https://scholar.google.fr/scholar?hl=fr&as\\_sdt=0%2C5&q=Park+et+al.%2C+2016+Illicium&btnG=](https://scholar.google.fr/scholar?hl=fr&as_sdt=0%2C5&q=Park+et+al.%2C+2016+Illicium&btnG=)

65. Patil, S. M., Ramu, R., Shirahatti, P. S., Shivamallu, C., & Amachawadi, R. G. (2021). A systematic review on ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacological aspects of *Thymus vulgaris* Linn. *Heliyon*, 7(5). [https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440\(21\)01157-9.pdf](https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440(21)01157-9.pdf)
66. Peltier, J.-B., Ytterberg, A. J., Sun, Q., & Van Wijk, K. J. (2004). New functions of the thylakoid membrane proteome of *Arabidopsis thaliana* revealed by a simple, fast, and versatile fractionation strategy. *Journal of Biological Chemistry*, 279(47), 49367-49383.
67. Pincemail, J., Bonjean, K., Cayeux, K., & Defraigne, J.-O. (2002). Mécanismes physiologiques de la défense antioxydante. *Nutrition clinique et métabolisme*, 16(4), 233-239.
68. Popovici, C., Saykova, I., & Tytkowski, B. (2009). Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de génie industriel*, 4(8).
69. Portier, K., Kirschvink, N., Fellmann, N., Coudert, J., & Lekeux, P. (2007). Paramètres influençant la structure et la fonction du globule rouge chez le cheval. *Annales de Médecine Vétérinaire*, 151(2). <https://orbi.uliege.be/handle/2268/6680>
70. Priyadarsini, K. (2005). Molecular mechanisms involving free radical reactions of antioxidants and radioprotectors. *lipids*, 2, 20.
71. Que, F., Mao, L., & Pan, X. (2006). Antioxidant activities of five Chinese rice wines and the involvement of phenolic compounds. *Food Research International*, 39(5), 581-587.
72. Rahman, T., Hosen, I., Islam, M. M. T., & Shekhar, H. U. (2012). *Oxidative stress and human health. 2012*. <https://doi.org/10.4236/abb.2012.327123>
73. Ravindran, P. N., Nirmal-Babu, K., & Shylaja, M. (2003). *Cinnamon and cassia : The genus Cinnamomum*. CRC press. [https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=KZa8aPxR\\_-wC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Ravindran+P.N.,+Nirmal-Babu,+K.+and+Shylaja,+M.+\(2004\)+Cinnamon+and+Cassia,+The+genus+Cinnamomum%C2%BB,+Medicinal+and+Aromatic+Plants+Industrial+Profiles,+Ed.+CRC+PRESS,+New+York.&ots=poJhv9w710&sig=rp7ePIXakN9MHbUZ6U6d4ofu02E](https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=KZa8aPxR_-wC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Ravindran+P.N.,+Nirmal-Babu,+K.+and+Shylaja,+M.+(2004)+Cinnamon+and+Cassia,+The+genus+Cinnamomum%C2%BB,+Medicinal+and+Aromatic+Plants+Industrial+Profiles,+Ed.+CRC+PRESS,+New+York.&ots=poJhv9w710&sig=rp7ePIXakN9MHbUZ6U6d4ofu02E)
74. Ribeiro, M. A., Bernardo-Gil, M. G., & Esquivel, M. M. (2001). Melissa officinalis, L. : Study of antioxidant activity in supercritical residues. *The Journal of Supercritical Fluids*, 21(1), 51-60.
75. Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., & Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*, 20(7), 933-956. [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(95\)02227-9](https://doi.org/10.1016/0891-5849(95)02227-9)
76. Rizwan, B. (2021). *Therapeutic potential of Thymus vulgaris : A Review*. <https://osf.io/preprints/3fzvt/>
77. Salehi, B., Mishra, A. P., Shukla, I., Sharifi-Rad, M., Contreras, M. del M., Segura-Carretero, A., Fathi, H., Nasrabadi, N. N., Kobarfard, F., & Sharifi-Rad, J. (2018). Thymol, thyme, and other plant sources : Health and potential uses. *Phytotherapy research*, 32(9), 1688-1706.
78. Šamec, D., Karalija, E., Šola, I., Vujčić Bok, V., & Salopek-Sondi, B. (2021). The role of polyphenols in abiotic stress response : The influence of molecular structure. *Plants*, 10(1), 118.
79. Sarni-Manchad, P., & Cheynier, V. (2006). Les polyphénols en agroalimentaire, Éd Tec & Doc. *Coll. Sci. & Techn. Agroaliment., Lavoisier, Paris*.
80. Shi, L., Zhao, W., Yang, Z., Subbiah, V., & Suleria, H. (2022). Extraction and characterization of phenolic compounds and their potential antioxidant activities. *Environmental Science and Pollution Research*, 29. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23337-6>

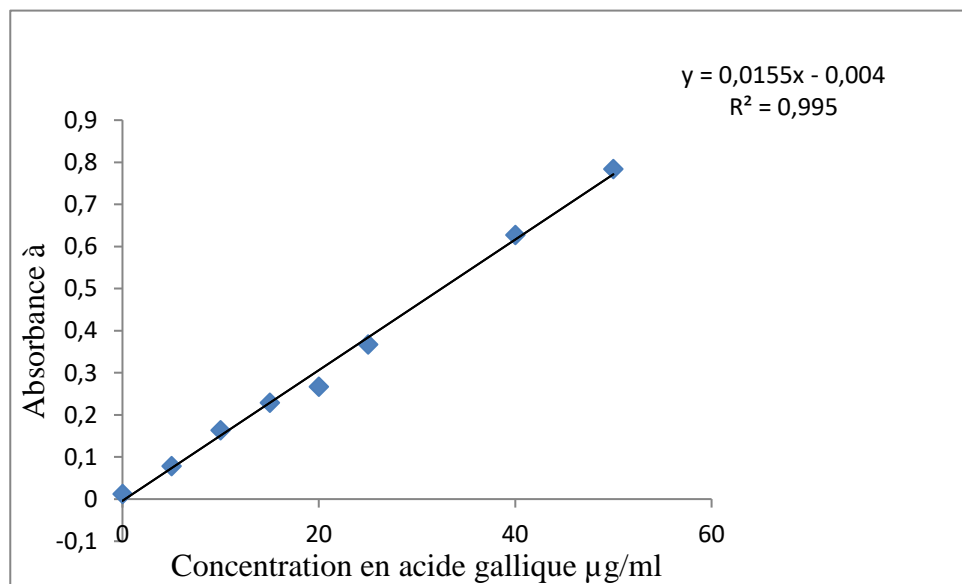
81. Singh, N., & Rajini, P. S. (2008). Antioxidant-mediated protective effect of potato peel extract in erythrocytes against oxidative damage. *Chemico-Biological Interactions*, 173(2), 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2008.03.008>
82. Sordillo, L. M., & Aitken, S. L. (2009). Impact of oxidative stress on the health and immune function of dairy cattle. *Veterinary immunology and immunopathology*, 128(1-3), 104-109.
83. Stahl-Biskup, E., & Venskutonis, R. P. (2012). Thyme. In *Handbook of herbs and spices* (p. 499-525). Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978085709039350027X>
84. Sung, Y.-Y., Kim, Y. S., & Kim, H. K. (2012). Illicium verum extract inhibits TNF- $\alpha$ -and IFN- $\gamma$ -induced expression of chemokines and cytokines in human keratinocytes. *Journal of Ethnopharmacology*, 144(1), 182-189.
85. Terman, A., & Kurz, T. (2013, janvier 28). *Lysosomal Iron, Iron Chelation, and Cell Death* (140 Huguenot Street, 3rd Floor New Rochelle, NY 10801 USA) [Review-article]. <https://Home.Liebertpub.Com/Ars>; Mary Ann Liebert, Inc. 140 Huguenot Street, 3rd Floor New Rochelle, NY 10801 USA. <https://doi.org/10.1089/ars.2012.4885>
86. Tsai, Y.-C., Wang, Y.-H., & Liu, Y.-C. (2017). Overexpression of PCNA attenuates oxidative stress-caused delay of gap-filling during repair of UV-induced DNA damage. *Journal of nucleic acids*, 2017.
87. Tu, W., Wang, H., Li, S., Liu, Q., & Sha, H. (2019). The anti-inflammatory and anti-oxidant mechanisms of the Keap1/Nrf2/ARE signaling pathway in chronic diseases. *Aging and disease*, 10(3), 637.
88. Vadgama, P. (2021). Oxidative Free Radicals and Other Species : Selective Messengers with a Reactive Capacity for Unselective Tissue Damage. *Chemosensors*, 9(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/chemosensors9050089>
89. Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T. D., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 39(1), 44-84. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2006.07.001>
90. Vertuani, S., Angusti, A., & Manfredini, S. (2004). The antioxidants and pro-antioxidants network : An overview. *Current pharmaceutical design*, 10(14), 1677-1694.
91. Wang, G.-W., Hu, W.-T., Huang, B.-K., & Qin, L.-P. (2011). Illicium verum : A review on its botany, traditional use, chemistry and pharmacology. *Journal of ethnopharmacology*, 136(1), 10-20.
92. Zhang, Y., Liu, X., Wang, Y., Jiang, P., & Quek, S. (2016). Antibacterial activity and mechanism of cinnamon essential oil against Escherichia coli and Staphylococcus aureus. *Food Control*, 59, 282-289.
93. Zheng, W., & Wang, S. Y. (2001). Antioxidant Activity and Phenolic Compounds in Selected Herbs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5165-5170. <https://doi.org/10.1021/jf010697n>

## Annexes

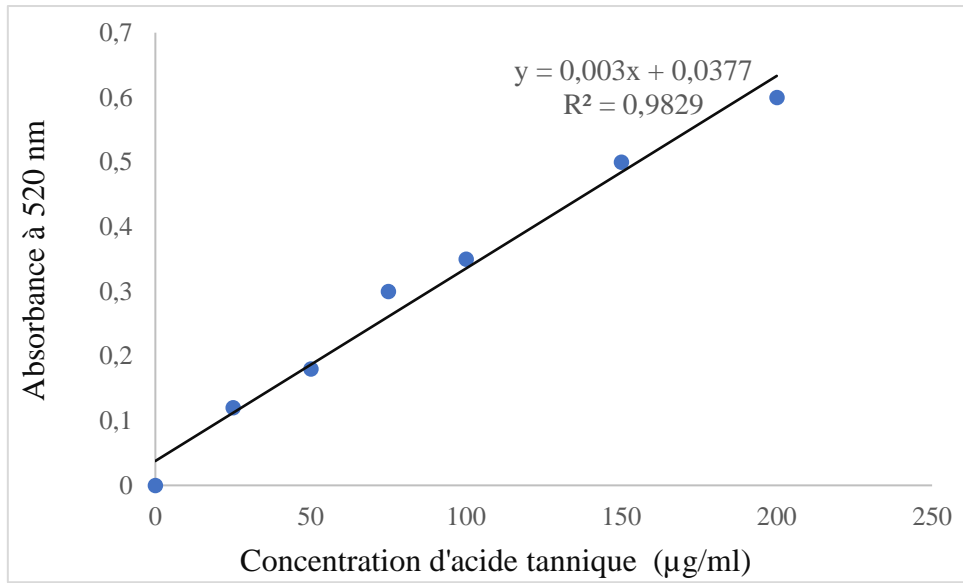
## Annexe N°01 : courbes d'étalonnage de quercitine



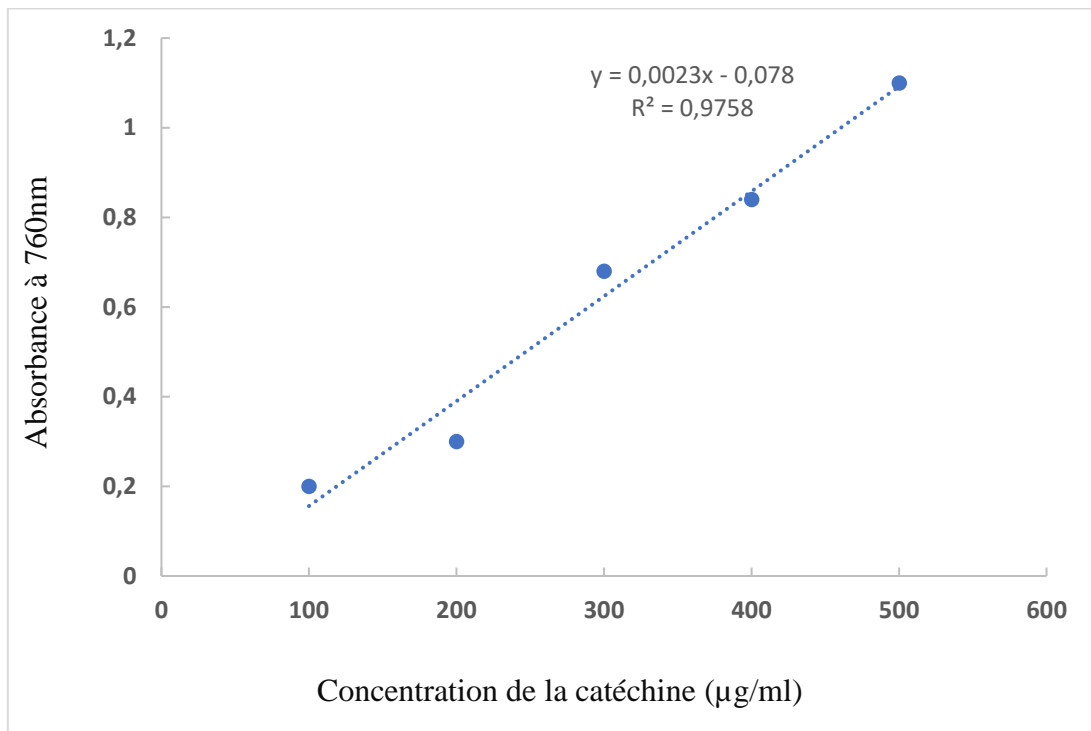
## Annexe N°02 : courbe d'étalonnage d'acide gallique



## Annexe N°03 : courbe d'étalonnage de l'acide tannique



Annexe N°04 : courbe d'étalonnage de catéchine





## Annexe N°05 : TEST H2O2

Extrait de cannelle	Essai 1	Essai 2	Moyenne	Ecart Type	% Inhibition
2.5 mg/ml	0.092	0.132	0.112	0.0200	93.00
2 mg/ml	0.074	0.055	0.065	0.0095	95.97
1 mg/ml	1.162	1.279	1.221	0.0585	23.72
0.5 mg/ml	1.293	1.359	1.326	0.0330	17.13
0.25 mg/ml	1.422	1.421	1.422	0.0005	11.16
E. Anis étoilée	Essai 1	Essai 2	Moyenne	Ecart Type	% Inhibition
2.5mg/ml	0.03	0.04	0.035	0.0050	97.81
2mg/ml	0.203	0.291	0.247	0.0440	84.56
1mg/ml	1.102	1.241	1.172	0.0695	26.78
0.5mg/ml	1.278	1.266	1.278	0.0000	20.13
0.25mg/ml	1.077	1.111	1.094	0.0170	31.63
E. romarin	Essai 1	Essai 2	Moyenne	Ecart Type	% Inhibition
2.5mg/ml	0.077	0.06	0.069	0.0085	95.72
2mg/ml	0.329	0.436	0.383	0.0535	76.09
1mg/ml	0.974	1.07	1.022	0.0480	36.13
0.5mg/ml	1.211	1.325	1.268	0.0570	20.75
0.25mg/ml	1.32	1.311	1.316	0.0045	17.78
E. Thym	Essai 1	Essai 2	Moyenne	Ecart Type	% Inhibition
2.5mg/ml	0.23	0.237	0.234	0.0035	85.41
2mg/ml	0.5	0.511	0.506	0.0055	68.41
1mg/ml	0.974	1.01	0.992	0.0180	38.00
0.5mg/ml	1.199	1.297	1.248	0.0490	22.00
0.25mg/ml	1.112	1.273	1.112	0.0000	30.50

## Test antihémolytique

Extrait aqueux plante	Taux d'inhibition de l'hémolyse (%)
Thym	94.87 ± 0.926
Cannelle	88.32 ± 1.952
Romarin	85.36 ± 0.580
Anis étoile	71.76 ± 0.375

## Résumé

Cette étude vise à explorer les propriétés antioxydantes et anti-hémolytiques de quatre plantes médicinales : l'anis étoilé (*Illicium verum*), le romarin (*Rosmarinus officinalis*), la cannelle (*Cinnamomum aromaticum*) et le thym (*Thymus vulgaris*). Les extraits biologiques de ces plantes ont été obtenus par décoction, une méthode d'extraction aqueuse. Les analyses ont révélé une teneur significative en polyphénols, flavonoïdes et tannins dans les extraits des quatre plantes. Les tests antioxydants (DPPH, pouvoir réducteur, piégeage d' $H_2O_2$ ) ont démontré que les extraits possèdent une activité antioxydante notable par contre à une concentration de 5mg/ml le test de DPPH ne montre pas un effet mesurable, en revanche, un taux d'inhibition de 19 % du radical DPPH a été mesuré pour l'extrait de *Thymus vulgaris*. Les extraits ont montré une bonne protection des cellules sanguines contre l'hémolyse induite par  $H_2O_2$ . Ces résultats suggèrent que ces plantes possèdent un potentiel thérapeutique important dans la prévention des dommages oxydatifs et des maladies associées au stress oxydatif.

**Mots clés :** décoction, antioxydants, composés phénoliques, plantes médicinales.

## Abstract

This study aims to explore the antioxidant and anti-hemolytic properties of four medicinal plants: star anise (*Illicium verum*), rosemary (*Rosmarinus officinalis*), cinnamon (*Cinnamomum aromaticum*), and thyme (*Thymus vulgaris*). Biological extracts of these plants were obtained through decoction, an aqueous extraction method. Analyses revealed a significant content of polyphenols, flavonoids, and tannins in the extracts of the four plants. Antioxidant tests (DPPH, reducing power) demonstrated that the extracts possess notable antioxidant activity. However, at a concentration of 5mg/ml, the DPPH test did not show a measurable effect; nevertheless, an inhibition rate of 19% of the DPPH radical was measured for the *Thymus vulgaris* extract. The extracts showed good protection of blood cells against hemolysis induced by  $H_2O_2$ . These results suggest that these plants have significant therapeutic potential in preventing oxidative damage and diseases associated with oxidative stress.

**Keywords:** decoction, antioxydants, phenolic compounds, medical plants.

## الملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى استكشاف الخصائص المضادة للأكسدة والمضادة للهيموليتية لأربع نباتات طبية: الباديان (*Illicium verum*)، الإكليل الأخضر (*Rosmarinus officinalis*)، القرفة (*Cinnamomum aromaticum*)، والزعتر (*Thymus vulgaris*). تم الحصول على الخلاصات البيولوجية لهذه النباتات بواسطة التثريب، وهي طريقة استخلاص مائية. أظهرت التحاليل وجود نسبة كبيرة من البوليفينولات، الفلافونويدات، والتانينات في خلاصات النباتات الأربعة. أظهرت اختبارات المضادات الأكسدة (DPPH)، القدرة الاختزالية، امتصاص ( $H_2O_2$ ) أن الخلاصات تمتلك نشاطاً مضاداً للأكسدة ملحوظاً، على الرغم من أن اختبار DPPH لم يظهر تأثيراً قابلاً للقياس عند تركيز 5 ملغ/مل، إلا أنه تم قياس نسبة تثبيط 19% للراديكال DPPH لخلاصة الزعتر (*Thymus vulgaris*). أظهرت الخلاصات حماية جيدة للخلايا الدموية ضد الهيموليز المحفز بواسطة  $H_2O_2$ . تشير هذه النتائج إلى أن هذه النباتات تمتلك إمكانات علاجية هامة في الوقاية من الأضرار التأكسدية والأمراض المرتبطة بالإجهاد التأكسدي.

**الكلمات المفتاحية :** مغلي، مضادات الاكسدة، المركبات الفينولية، النباتات الطبية.