



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen-  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers  
Département de Biologie



Laboratoire de recherche  
« Antibiotiques, Antifongiques : Physico-chimie, Synthèse et Activité Biologique »



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du  
diplôme de Master

DOMAINE : SNV

FILIERE : Sciences biologiques

SPECIALITE : « Biochimie »

## Thème

Evaluation de l'activité antioxydante de quelques  
extraits de *Lepidium sativum*

Présenté par :

Mlle LOUAFI Fatima Zohra

Soutenu publiquement, le 25 juin 2025 Devant le jury :

<u>Nom et prénom</u>	<u>Garde</u>	<u>Qualité</u>	<u>Université</u>
Mlle BOUALI W.	MCA	Présidente	Université de Tlemcen
Mme ADJDIR S.	MCB	Examinatrice	Université de Tlemcen
Mme BELKACEM N.	MCA	Promotrice	Université de Tlemcen

Année universitaire : 2024-2025

# Remerciements

*Il est difficile de trouver les mots justes pour exprimer toute la gratitude que je ressens aujourd'hui. Ce travail est l'aboutissement d'un parcours jalonné de doutes, d'efforts, mais surtout de belles rencontres et de soutiens inestimables.*



*Tout d'abord, je souhaite remercier Allah le Tout-Puissant de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce travail.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers mon encadrante **Mme BELKACEM N.**, Maître de conférences A au Département de Biologie, Faculté SNV-STU, Université de Tlemcen, pour la confiance qu'elle m'a accordé en acceptant de m'encadrer pour mon projet de fin d'études. Votre expertise, vos conseils avisés et votre disponibilité constante ont joué un rôle essentiel dans la réussite de ce mémoire. Je vous suis reconnaissant de m'avoir transmis vos connaissances et votre passion pour la recherche.*

*Je souhaite également exprimer ma gratitude envers les membres du jury **Mlle BOUALI W.**, Maître de Conférences A au département de Biologie Faculté SNV-STU, Université Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen, pour avoir accepté de présider le jury.*

*J'adresse mes sincères remerciements à **Mme ADJDIR S.**, Maître de Conférences B au Département de Biologie, Faculté SNV-STU, Université de Tlemcen pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Je suis honoré de recevoir vos conseils et vos recommandations, qui me seront d'une grande utilité pour progresser davantage.*

*Je tiens à adresser mes plus sincères remerciements à ma famille et à mes parents. Votre amour, votre soutien constant et votre confiance en moi ont été la source de ma motivation et de ma détermination tout au long de ce parcours académique. Je vous suis profondément reconnaissant de votre soutien indéfectible et de votre croyance en mes capacités.*

*Un grand merci est adressé à tous les membres du laboratoire Antibiotiques, Antifongiques, Physico-chimiques, Synthèse et Activité biologique de l'université de Tlemcen pour leur gentillesse et leur assistance.*



*Enfin, je tiens à adresser mes sincères remerciements et mes salutations respectueuses à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.*

*Veillez accepter mes sincères remerciements et mes salutations respectueuses.*

# Dédicaces

*À Tous Ceux Qui Me Sont Chers, Ceux A Qui Je Dois Mon Succès :*

*À « Notre Seigneur, Dieu tout-puissant », merci Seigneur de m'avoir donné la vie, la foi et des prières exaucées pour arriver là où je suis aujourd'hui.*

*À l'homme qui a vu mon plus petit succès comme ma plus grande réussite, à l'homme qui a fait de moi ce que je suis aujourd'hui parce qu'il est **mon père**, à l'homme dans les yeux duquel je vois la fierté d'être moi-même, à l'homme dans les yeux duquel je vois le respect, l'amour, la compréhension et la générosité d'un père. Grâce à toi, j'ai appris à être la fille qui ne cesse de tout faire pour te rendre heureux et fier.*

*À la femme dont les mots m'accompagnent depuis que je suis toute petite, la première femme forte et courageuse qui a souffert sans nous laisser souffrir, celle qui m'a appris à être une fille forte qui se bat toujours pour atteindre ses objectifs quel qu'en soit le prix, celle qui m'a encouragée à poursuivre mes rêves même lorsque les obstacles semblaient insurmontables. Mon ange gardien, ton amour, ta présence dans ma vie et le fait que tu sois **ma mère** continueront à éclairer mon chemin.*

*À mes bien-aimés frères et sœurs « **Mohamed, Hadjer et Abd el madjid** » qui ont partagé les moments clés de mon existence, de mes triomphes, de mes bonheurs et de mes souffrances. Je ne saurais oublier votre soutien indéfectible et vos encouragements continus, votre place dans mon cœur est d'une valeur inestimable.*

*À mes chères cousines : **Dalila, Kawther, Chaimaa et Meriem**, ce travail est un témoignage de votre amour et de votre influence, qui resteront à jamais gravés dans mon cœur.*

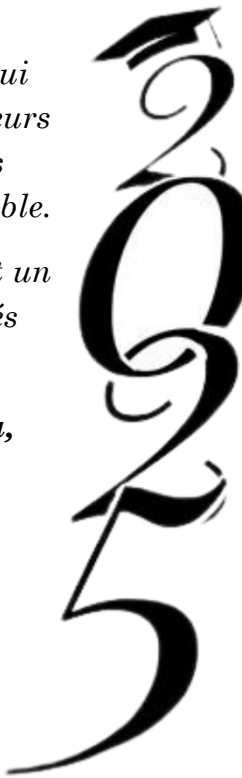
*Je tiens à remercier mon oncle **Youssef** ainsi que mes tantes **Wafaa, Amina, Samira et Souad** pour leur soutien constant et leur présence.*

*À toutes les personnes extraordinaires que je connais, que ce travail soit la réalisation de vos désirs et le résultat de votre appui constant.*

*Finalement, je me consacre ce projet, il était grand temps*

*que je sois inclus dans la liste !*

*Je vous remercie du fond du cœur.*



## المخلص

حب الرشاد، أو اللبيبيوم ساتيفوم، ينتمي إلى العائلة الكرنبية. ويستخدم في علاج أمراض مختلفة في الطب التقليدي. من الناحية العلاجية، يُستخدم حب الرشاد على نطاق واسع في علاج الوهن وعلاج التهاب الجلد والتهاب الشعب الهوائية وحصى المرارة واضطرابات الكبد والكلية وغيرها.

الهدف من هذا البحث هو تحديد التركيب الكيميائي النباتي وتقييم النشاط المضاد للأكسدة لمستخلصات حب الرشاد باستخدام تقنيتين: طريقة حصر الجذر الحر DPPH وطريقة إرجاع الحديد FRAP.

استُخدمت طريقة النقع لاستخلاص المركبات النباتية في ثلاث مذيبات مختلفة (ماء مقطر، ماء/إيثانول وماء/أسيون).

كشف التحليل الكيميائي النباتي للمستخلصات عن وجود مركبات الفلافونويد، والكينونات الحرة، والتربينويدات، والقلويات، والسابونوسيدات. كما كشف تحليل البوليفينولات الكلية أن مستخلص الماء/الأسيون غني بشكل خاص بهذه المركبات (  $3,01 \pm 86,17$  ملغ مكافئ حمض الغاليك/غ)، وكذلك الفلافونويدات ( $0,449 \pm 44,542$  ملغ مكافئ الكاتشين/غ).

القدرة المضادة للأكسدة أظهرت أن مستخلص الماء/الأسيون يملك النشاط الأكثر فعالية تجاه الجذر الحر DPPH، حيث بلغ التركيز المتوسطي 2,86 ملغم/مل وكذا لإرجاع الحديد حيث بلغ التركيز المتوسطي 1,4 ملغم/مل مقارنة بالمستخلصات الأخرى. كما أظهر حمض الأسكوربيك نشاطاً أقوى حيث بلغ قيمة 0,07 ملغم/مل كتركيز متوسطي تجاه الجذر الحر DPPH و 0,12 ملغم/مل كتركيز متوسطي تجاه إرجاع الحديد.

تشير نتائجنا إلى أن حب الرشاد يمكن أن يكون مصدراً محتملاً للمكملات الغذائية البديلة لمضادات الأكسدة الفينولية الطبيعية.

**الكلمات المفتاحية:** حب الرشاد، المركبات الفينولية، النشاط المضاد للأكسدة.

---

## Résumé

---

Cresson alénois, ou *Lepidium sativum*, fait partie de la famille des Brassicaceae. Elle est utilisée dans le cadre du traitement de diverses affections en médecine traditionnelle. Sur le plan pharmacologique, *L. sativum* est largement utilisé dans la thérapie des maladies d'asthénie et pour la gestion des dermatoses, bronchites, calculs biliaires ainsi que des troubles liés au foie et aux reins, etc.

Cette recherche avait pour but de déterminer la composition phytochimique et d'évaluer l'activité antioxydante des extraits de graines de *L. sativum* à travers deux techniques (**DPPH** et **FRAP**).

La méthode d'infusion a été utilisée pour l'extraction du matériel végétal dans trois solvants différents (eau distillée, eau/éthanol, eau/acétone).

L'analyse phytochimique des extraits met en évidence la présence de flavonoïdes, de quinones libres, de terpénoïdes, d'alcaloïdes et de saponosides.

La quantification des polyphénols totaux révèle que l'extrait eau/acétone est particulièrement riche en ces composés ( $86,17 \pm 3,01$  mg EAG/gE), tout comme pour les flavonoïdes et les tanins ( $44,54 \pm 0,45$  mg EQC/gE ;  $2,83 \pm 0,13$  mg EQC/gE), respectivement.

La capacité antioxydante montre que l'extrait eau/acétone a la plus grande activité pour piéger le radical libre **DPPH**, avec une  $IC_{50}$  de 2,86 mg/mL et pour réduire le fer avec une  $EC_{50}$  de 1,4 mg/mL. Tandis que l'acide ascorbique a un pouvoir antioxydant très fort ( $IC_{50} = 0,07$  mg/mL vis-à-vis du DPPH ;  $EC_{50} = 0,12$  mg/mL vis-à-vis du fer).

Nos résultats suggèrent que le cresson alénois pourrait être une source potentielle de suppléments diététiques alternatifs d'antioxydants phénoliques naturels.

**Mots Clés :** *Lepidium sativum*, Composés phénoliques, Activité antioxydante.

---

## Abstract

---

Garden cress, or *Lepidium sativum*, belongs to the Brassicaceae family. It is used in traditional medicine to treat various conditions. Pharmacologically, *L. sativum* is widely used in the treatment of asthenia and for the management of dermatoses, bronchitis, gallstones, and liver and kidney disorders, etc.

The aim of this research was to determine the phytochemical composition and assess the antioxidant activity of *L. sativum* seed extracts using two techniques (**DPPH** and **FRAP**).

The infusion method was used to extract plant material in three different solvents (distilled water, water/ethanol, water/acetone).

Phytochemical analysis of the extracts revealed the presence of flavonoids, free quinones, terpenoids, alkaloids and saponosides.

Quantification of total polyphenols reveals that the water/acetone extract is particularly rich in these compounds ( $86,17 \pm 3,01$  mg EAG/gE), as are flavonoids and tannins ( $44,54 \pm 0,45$  mg EQC/gE;  $2,83 \pm 0,13$  mg EQC/gE), respectively.

Antioxidant capacity shows that the water/acetone extract has the greatest activity in scavenging the **DPPH** free radical, with an  $IC_{50}$  of 2,86 mg/mL, and in reducing iron with an  $EC_{50}$  of 1.4 mg/mL. Ascorbic acid, on the other hand, is a very strong antioxidant ( $IC_{50} = 0,07$  mg/mL for DPPH;  $EC_{50} = 0,12$  mg/mL for iron).

Our results suggest that watercress could be a potential source of alternative dietary supplements of natural phenolic antioxidants.

**Keywords:** *Lepidium sativum*, Phenolic compounds, Antioxidant activity.

---

## LISTE DES TABLEAUX

---

<b>Tableau 1:</b> Catégorisation des composés phénoliques .....	10
<b>Tableau 2:</b> Catégorisation des alcaloïdes .....	12
<b>Tableau 3:</b> Exemples variés de types de terpénoïdes .....	13
<b>Tableau 4:</b> dénominations et synonymes de <i>L. sativum</i> .....	15
<b>Tableau 5:</b> Classification taxonomique de <i>L. sativum</i> .....	16
<b>Tableau 6 :</b> La valeur nutritionnelle du cresson .....	19
<b>Tableau 7:</b> principaux groupes d'antioxydants et sources alimentaires associées .....	31
<b>Tableau 8:</b> Rendements et caractéristiques des divers extraits de <i>L. sativum</i> . ....	47
<b>Tableau 9:</b> Résultats de l'analyse phytochimique des extraits de <i>L. sativum</i> . ....	48
<b>Tableau 10:</b> Teneurs de différents composés phénoliques dans les extraits de <i>L. sativum</i> ...	50
<b>Tableau 11:</b> Valeurs des IC <sub>50</sub> des différents extraits de <i>L. sativum</i> et la molécule de référence. .....	55
<b>Tableau 12:</b> Valeurs des EC <sub>50</sub> des différents extraits de <i>L. sativum</i> et la molécule de référence. .....	58

---

## LISTE DES FIGURES

---

<b>Figure 1 :</b> Structure chimique des composés phénoliques simples .....	9
<b>Figure 2:</b> Structure fondamentale des alcaloïdes.....	11
<b>Figure 3:</b> Feuille de <i>L. sativum</i> .....	17
<b>Figure 4:</b> Partie aérienne de <i>L. sativum</i> .....	17
<b>Figure 5:</b> Fleur de <i>L. sativum</i> . .....	17
<b>Figure 6:</b> Graines de <i>L. sativum</i> .....	17
<b>Figure 7 :</b> Mucilage des graines de <i>L. sativum</i> .....	19
<b>Figure 8:</b> Origine et équilibre oxydants/antioxydants.....	22
<b>Figure 9:</b> Sources des divers radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène concernés en biologie.....	24
<b>Figure 10:</b> Sources des radicaux libres.....	26
<b>Figure 11:</b> Structure chimique de la vitamine C.....	28
<b>Figure 12:</b> Structure chimique de la vitamine E.....	29
<b>Figure 13:</b> Schématisation des molécules intervenant dans les protections cellulaires .....	32
<b>Figure 14:</b> Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH .....	33
<b>Figure 15:</b> Graines de <i>L. sativum</i> semi-broyées .....	38
<b>Figure 16:</b> Conservation de la poudre des graines cresson alénois .....	38
<b>Figure 17 :</b> Schéma récapitulatif des différentes étapes du protocole expérimental réalisé sur <i>L. sativum</i> .....	40
<b>Figure 18:</b> Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux.....	49
<b>Figure 19:</b> Courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des flavonoïdes.....	49
<b>Figure 20:</b> Courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des tanins. ....	50
<b>Figure 21:</b> Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de l'extrait aqueux (n= 3).....	51
<b>Figure 22:</b> Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de l'extrait eau/éthanol (n= 3).....	52

<b>Figure 23:</b> Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de l'extrait eau/acétone (n= 3) .....	53
<b>Figure 24:</b> Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations d'acide ascorbique (n=3).....	54
<b>Figure 25:</b> Pouvoir réducteur du fer par l'extrait aqueux (n=3).....	56
<b>Figure 26:</b> Pouvoir réducteur du fer par l'extrait eau/éthanol (n=3).....	56
<b>Figure 27:</b> Pouvoir réducteur du fer par l'extrait eau/acétone (n=3).....	57
<b>Figure 28:</b> Pouvoir réducteur du fer par l'acide ascorbique (n=3).....	58

---

## LISTE DES ABREVIATIONS

---

**PrP** : protéine prion  
**CoQ10** : coenzyme Q10  
**CAT** : Catalases  
**CUPRAC**: CUPric Reducing Antioxidant Capacity  
**DPPH**: 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl  
**IC<sub>50</sub>**: Concentration inhibitrice à 50 %  
**EC<sub>50</sub>** : Concentration efficace médiane  
**ERO** : Espèces réactives de l'oxygène  
**FRAP**: Ferric reducing antioxidant power  
**GPx**: Glutathion peroxydase  
**GSH**: Glutathion  
**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**: Peroxyde d'hydrogène  
**1O<sub>2</sub>** : Oxygène singulet  
**NO°** : Monoxyde d'azote  
**NOO°** : le radical nitrite  
**ONOO°**: peroxy nitrite  
**O<sub>2</sub> •-**: L'anion superoxyde  
**OH°**: Radical Hydroxyle  
**NAC**: N-acétylcystéine  
**ONOO-**: Peroxynitrite  
**ORAC**: Oxygen radical absorbance capacity  
**ROL**: Radicaux libres oxygénés  
**ROO**: Radical peroxyde  
**SH**: Sulfhydriles  
**SOD** : Superoxydes dismutases  
**TRAP** : Total radical-trapping antioxidant parameter  
**K<sub>3</sub>[Fe (CN)<sub>6</sub>]** : Ferricyanure de potassium  
**TCA** : Acide trichloroacétique

---

# SOMMAIRE

---

Introduction générale .....	2
-----------------------------	---

## **Première partie : Synthèse bibliographique**

### **Chapitre 01 : Les plantes médicinales et les métabolites secondaires**

1. Définition de la phytothérapie et les plantes médicinale .....	6
1.1. La phytothérapie .....	6
1.2. Les plantes médicinales .....	6
1.3. Récolte des plantes médicinales .....	6
1.4. Conservation des plantes médicinales .....	7
1.5. Domaine d'application des plantes médicinales .....	7
2. Les métabolites secondaires .....	7
2.1. Les composés phénoliques (polyphénols) .....	8
2.2. Les alcaloïdes .....	10
2.3. Les composés terpénoïdes .....	12

### **Chapitre 02 : Présentation de la plante « *Lepidium sativum* »**

1. Généralité .....	15
2. Nomenclature .....	15
3. Systématique .....	16
4. Description botanique .....	16
5. Ecologie .....	17
6. Répartition géographique .....	18
7. Composition chimique et valeur nutritive .....	18
8. Usages de la plante .....	20
8.1. Utilisation comme condiment.....	20
8.2. Applications médicales.....	20
8.3. Autres occupations .....	20
9. Toxicité .....	20

### **Chapitre 03 : Stress oxydatif**

1. Définition du stress oxydatif .....	22
2. Radicaux libres et espèces réactives de l'oxygène.....	23

2.1. Radicaux libres oxygénés.....	23
2.2. Espèces réactives non radicalaires .....	23
3. Origine des radicaux libres.....	24
3.1. Sources endogènes .....	24
3.2. Sources exogènes .....	25
4. Conséquences du stress oxydatif.....	26
4.1. Effets biochimiques .....	26
4.2. Pathologies associées.....	27
5. Défense contre le stress oxydatif (Les antioxydants).....	27
5.1. Antioxydants endogènes.....	28
5.2. Antioxydants exogènes .....	28
6. Origines des antioxydants .....	31
7. Localisation des antioxydants .....	31
7.1. Localisation Alimentaire .....	31
7.2. Localisation cellulaire des antioxydants.....	32
8. Évaluation du stress oxydatif et de l'activité antioxydante .....	32
8.1. Test de piégeage du radical DPPH.....	32
8.2. Test de réduction du fer (FRAP) .....	33
8.3. Test de piégeage du radical ABTS.....	33
8.4. Test de TRAP.....	33
8.5. Test ORAC .....	34
8.6. Test CUPRAC .....	34
8.7. Test de blanchissement du Bêta-carotène.....	34
9. Applications thérapeutiques des antioxydants .....	34

## **Deuxième partie : Partie expérimentale**

### **Chapitre 01 : Matériel et Méthodes**

1. Matériel végétal.....	38
2. Extraction par infusion.....	39
2.1. Préparation d'extrait aqueux.....	39
2.2. Préparation d'extrait eau/éthanol.....	39
2.3. Préparation d'extrait eau/acétone .....	39
3. Rendement d'extraction .....	41

4. Analyse phytochimique.....	41
4.1. Tanins .....	41
4.2. Flavonoïdes.....	41
4.3. Quinones libres .....	41
4.4. Anthraquinones.....	41
4.5. Les terpénoïdes .....	42
4.6. Saponosides .....	42
4.7. Les alcaloïdes .....	42
4.8. Les composés réducteurs .....	42
5. Dosage des composés phénoliques .....	42
5.1. Dosage des polyphénols totaux .....	42
5.2. Dosage des flavonoïdes .....	43
5.3. Dosage des tanins condensés.....	43
5.4. Expression des résultats.....	44
6. Evaluation d'Activité antioxydant .....	44
6.1. Piégeage du radical libre DPPH .....	44
6.2. Réduction du fer par la méthode FRAP .....	45

## **Chapitre 02 : Résultats et Interprétation**

1. Rendement d'extraction .....	47
2. Analyse phytochimique.....	47
3. Teneurs en composées phénoliques.....	50
4. Activité antioxydante des extraits de <i>L. sativum</i> .....	51
4.1. Piégeage du radical libre DPPH .....	51
4.2. Pouvoir réducteur du fer (FRAP) .....	55
Discussion .....	61
Conclusion.....	66
Références bibliographiques .....	68

# *Introduction*

## *Générale*

Depuis l'Antiquité, les plantes médicinales sont employées en tant que traitements pour diverses pathologies en raison de leur composition riche en propriétés thérapeutiques, les métabolites secondaires (**Khaldi et al., 2012**).

L'usage de la phytothérapie est une tradition ancienne fondée sur des connaissances transmises au cours de nombreuses générations. Les plantes médicinales et leur importance pour la santé humaine et la pérennité de l'humanité, ne sont pas nouvelles : elles ont toujours été cruciales depuis des temps immémoriaux. Elles sont un héritage sacré et inestimable et représentent une option privilégiée pour apporter à l'organisme, de manière naturelle, les éléments indispensables au maintien de son équilibre vital (**Clement, 2005**).

Selon **Cunningham (1993)**, près de 80 % des habitants du globe recourent aux plantes médicinales pour soulager la douleur.

L'Algérie, avec ses vastes forêts et pâturages, est riche en végétaux condimentaires et médicinaux qui restent encore peu connus et sont utilisés principalement dans une approche artisanale. Effectivement, l'industrie cosmétique et pharmaceutique, tout comme la production alimentaire, n'a pas encore exploré pleinement l'utilisation des plantes médicinales et aromatiques en Algérie (**Miara et al., 2013**).

*Lepidium sativum* (Brassicacées) est une espèce végétale annuelle à développement rapide originaire de l'Égypte et de l'ouest asiatique, mais elle est désormais cultivée partout dans le monde. Ses jeunes feuilles peuvent être mangées crues ou cuites, et ses graines, fraîches ou séchées, sont également consommées. La pâte de graines est utilisée sur les articulations touchées par le rhumatisme pour atténuer la douleur et l'enflure. Les graines sont également employées pour soigner la gorge irritée, la toux, l'asthme, les céphalées et les douleurs abdominales (**Datta et al., 2011 ; Facciola & Cornucopia, 1990**).

Au cours des dernières années, l'une des propriétés biologiques des plantes médicinales qui a suscité le plus d'intérêt est leur effet antioxydant. Ceci est dû à son rôle crucial dans la prévention des maladies chroniques telles que les troubles cardiaques, le cancer, le diabète, l'hypertension et la maladie d'Alzheimer en combattant le stress oxydatif (**Meddour et al., 2013**).

Un stress oxydant, qu'il soit local ou général, est souvent inclus dans la pathogénèse de nombreuses maladies humaines, tout comme l'inflammation à laquelle il est habituellement lié. Pour de nombreuses maladies sévères, en particulier celles associées au processus de vieillissement, le stress oxydant représente le facteur déclencheur initial. En effet, ce dernier

diminue les systèmes de défense antioxydante et stimule la multiplication mitochondriale des radicaux (Zbadi *et al.*, 2018).

Ce travail a pour principal objectif d'analyser comparativement différents extraits des graines de *L. sativum*, couramment connue sous le nom d'**lhorf** ou **Habb errchad** en Algérie. L'attention sera principalement centrée sur le taux d'extraction des composés phénoliques et l'efficacité antioxydante des extraits réalisés.

Dans ce contexte, cette recherche se répartit en deux parties principales.

**PARTIE I : Synthèse bibliographique organisée en trois chapitres :**

- Chapitre I : La phytothérapie et les plantes médicinales
- Chapitre II : Présentation de la plante étudiée (*L. sativum*)
- Chapitre III : Stress oxydatif

**PARTIE II : Expérimentale organisée en deux chapitres :**

- Chapitre I : Matériel et méthodes
- Chapitre II : Résultats et interprétation

# *Première Partie*

## *Synthèse Bibliographique*

# *Chapitre 01*

*Les plantes médicinales et  
les métabolites secondaires*

## **1. Définition de la phytothérapie et les plantes médicinales**

### **1.1. La phytothérapie**

Étymologiquement, le terme phytothérapie est issu de deux racines grecques: « photon » et « Thérapie », correspondant respectivement à « plante » et « traitement » (**Jean-Yves, 2010**).

Selon l'**Organisation Mondiale de la Santé (2000)**, la phytothérapie englobe les savoirs, les compétences et les pratiques qui s'appuient sur les théories, les croyances et les expériences spécifiques à une culture. Elle est employée pour préserver la santé humaine, ainsi que pour prévenir, diagnostiquer, soigner et guérir des affections physiques, psychologiques ou liées au déséquilibre social. Elle est associée à une expérience concrète et à des observations accumulées au fil des générations et qui sont transmises oralement ou par écrit.

### **1.2. Les plantes médicinales**

Il s'agit de plantes employées en médecine traditionnelle, dont au moins une partie détient des vertus thérapeutiques. Leur effet est le résultat de leurs composants chimiques (métabolites primaires ou secondaires), ou de la synergie entre les divers composants présents (**Sanago, 2006**).

Les plantes médicinales sont utilisées pour leurs vertus spécifiques favorables à la santé humaine. Effectivement, elles sont employées de diverses façons : par décoction, macération ou infusion. Il peut utiliser une ou plusieurs de leurs parties, comme la racine, la feuille ou la fleur (**Dutertre, 2011**).

### **1.3. Récolte des plantes médicinales**

Il est crucial de pouvoir identifier correctement les plantes pour prévenir toute intoxication : il ne faut jamais ramasser une plante dont il n'est pas certain (**Iserin, 2001**).

Il est recommandé de ne cueillir qu'une portion des feuilles et des fleurs afin d'éviter d'abîmer la plante et de donner aux fleurs non récoltées la chance de produire leurs graines. Il est impératif de ne pas cueillir les plantes dans des zones fortement contaminées et dans tous les cas, de veiller à les nettoyer précisément avant leur ingestion. Des espèces de plantes médicinales et aromatiques sont intégrées dans un programme de conservation, leur récolte est interdite. Il est défendu de récolter les espèces qui ne sont pas protégées ou qui se trouvent dans des réserves naturelles identifiées par des panneaux (**Kothe, 2007**).

Des plantes peuvent être récoltées tout au long de l'année, cependant la majorité doivent être ramassées à une période spécifique de leur développement pour un usage immédiat ou pour la conservation (**Iserin, 2001**).

#### **1.4. Conservation des plantes médicinales**

Selon **Bonnier (2011)**, « pour la conservation des plantes, il est recommandé d'éliminer les parties flétries et de les sécher dans un endroit bien ventilé ».

Les plantes médicinales, rarement utilisées à l'état frais, demandent une attention spécifique pour leur conservation. Si une plante médicinale n'est pas correctement conservée, elle peut perdre sa valeur thérapeutique, il est donc essentiel de neutraliser certains éléments pendant son stockage, tels que : l'air et la lumière (pour prévenir les réactions d'oxydation), l'humidité (qui favorise la décomposition de ses principes actifs et la prolifération de moisissures), ainsi que l'invasion par des animaux (insectes, rongeurs et autres nuisibles) (**Catier et Roux, 2007**).

Selon **Kothe (2007)**, les plantes séchées doivent être entreposées lorsqu'elles sont devenues très légères et un peu fragiles, dans des contenants en verre ou en céramique, ou encore des sachets en papier ou des sacs en toile.

#### **1.5. Domaine d'application des plantes médicinales**

Découvrir de nouvelles molécules actives dans les plantes et les matières premières semi-synthétiques. Étant donné que les plantes médicinales sont dépourvues d'effets indésirables, l'attrait pour la phytothérapie s'accroît tant dans les pays développés qu'en voie de développement, avec des avancées notables. Ainsi, la quête de nouveaux traitements demeure la stratégie courante (**Bahorun, 1997 ; Mohammedi, 2013**).

## **2. Les métabolites secondaires**

Il peut définir les métabolites secondaires des plantes comme des molécules qui, bien qu'indirectement indispensables à leur existence, se distinguent des métabolites primaires (glucides, lipides et protéines) qui nourrissent les principales voies du métabolisme de base (**Cuendet, 1999 ; Gravot, 2008**).

Selon **Boudjouref (2011)**, les molécules organiques complexes synthétisées par les plantes autotrophes sont appelées des métabolites secondaires.

Ils sont généralement définis par des concentrations faibles dans les tissus végétaux (habituellement quelques pourcentages du carbone total, s'il ne prend pas en compte la lignane de cette catégorie) (**Newman et Cragg, 2012**).

Ces molécules forment le fondement des principes actifs présents dans les plantes médicinales (**Gravot, 2008 ; Thomas, 2009**).

La catégorisation des métabolites secondaires se fait en fonction de leur structure chimique, composition, solubilité dans différents solvants ou voie de synthèse.

Trois classes principales sont incluses dans le système de classification :

- *Les composés phénoliques*
- *Les alcaloïdes*
- *Les composés terpéniques*

Pour chaque catégorie, nous identifions des sous-catégories présentant une complexité au sein de la structure (**Justin et al., 2014**).

## **2.1. Les composés phénoliques**

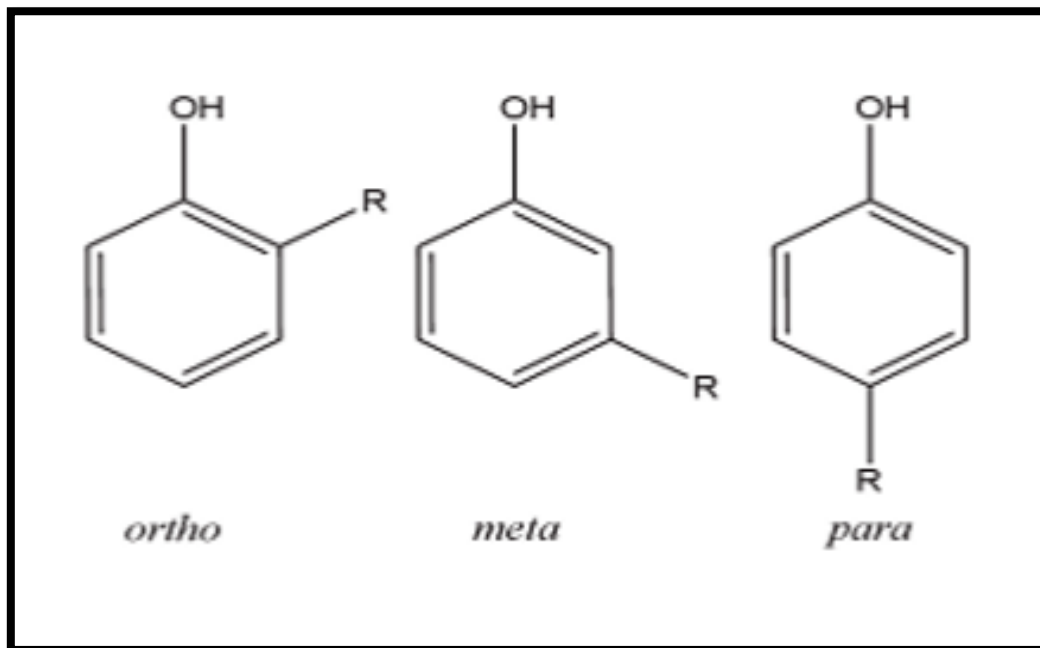
### **2.1.1. Définition**

Selon **Bruneton (1999)**, les polyphénols sont issus du métabolisme secondaire des plantes et se distinguent par la présence d'au moins un noyau benzénique auquel est rattaché au moins un groupement hydroxyle libre, ou intégré dans une fonction ester, éther ou hétéroside.

De façon générale, ils sont présents dans toutes les plantes vasculaires et peuvent être situés dans différents organes : racines, tiges, feuilles, fleurs et fruits. Ils ont des vertus anti-inflammatoires, antiallergiques et antioxydantes, offrent une protection contre des maladies dégénératives telles que les affections cardiaques et le cancer (**Dehak, 2013 ; Gani et al., 2012**).

### **2.1.2. Structure chimique**

Les polyphénols se caractérisent par la présence d'un ou plusieurs noyaux aromatiques hydroxylés dans leur structure chimique. Les polyphénols sont catégorisés en divers groupes selon le nombre de noyaux aromatiques qui les constituent et des substitutions qui les unissent, il peut classer les composés en phénols simples (y compris les acides phénoliques), flavonoïdes, lignanes et stilbènes (**Boros et al, 2010**).



**Figure 1** : Structure chimique des composés phénoliques simples (Zibouche, 2014).

### 2.1.3. Classification des composés phénoliques

Les composés phénoliques sont classés en plusieurs catégories selon les critères suivants : premièrement, en fonction de la complexité du squelette de base (qui varie d'un simple C6 à des formes fortement polymérisées), puis par le niveau de modification de ce squelette (niveau d'oxydation, d'hydroxylation et de méthylation, etc.). Finalement, par l'association possible de ces molécules fondamentales avec d'autres (glucides, lipides, protéines, etc.) (Bellebcir, 2008).

Le tableau 1 illustre les diverses catégories de composés phénoliques.

**Tableau 1:** Catégorie des composés phénoliques (**Macheix et al., 2005**).

Nombre d'atome de carbone	Squelette de base	Classe	Exemple	Origine
6	C <sub>6</sub>	Phénols simples	Catéchol	
7	C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub>	A.Hydroxybenzoïques	p-Hydroxybenzoïque	Epices, fraise
9	C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub>	A.Hydroxycinnamiques	acide Caféique	Pomme, P. de terre
		Coumarines	Scopolétole	Citrus
10	C <sub>6</sub> -C <sub>4</sub>	Naphtoquinones	Juglone	Noix
13	C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>6</sub>	Xanthones	Mangiférine	Mangue
15	C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub>	Flavonoïdes	Quercétol, cyanidol	Fruits, légumes
		Isoflavonoïdes	Daidzéine	Soja, pois
N	(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> ) <sub>n</sub>	Lignines	/	Fruits à noyau
N	(C <sub>15</sub> ) <sub>n</sub>	Tanins	/	Raisin rouge, Kaki

## 2.2. Les alcaloïdes

### 2.2.1. Définition

Les alcaloïdes sont des composés organiques naturels majoritairement extraits des végétaux et qui renferment au moins un atome d'azote dans leur composition chimique, présentant une variabilité en termes de nature basique. Depuis la découverte du premier alcaloïde en 1806, il a isolé plus de dix mille alcaloïdes provenant des plantes (**Boutaghane, 2013**).

Les alcaloïdes présentent une large gamme de masses moléculaires, allant de 100 à 900 g/mol. La majorité des bases anhydres sont à l'état liquide à température ambiante ; celles qui contiennent de l'oxygène dans leur composition sont des solides cristallins, généralement incolores (**Rakotonanahary, 2012**).

### 2.2.2. Structure des alcaloïdes

Selon **Cyril (2001)**, la majorité des alcaloïdes sont issus d'acides aminés tels que le tryptophane, la lysine, la phénylalanine et la tyrosine, ces acides aminés subissent une décarboxylation pour être transformés en amines, puis sont associés à d'autres structures carbonées.

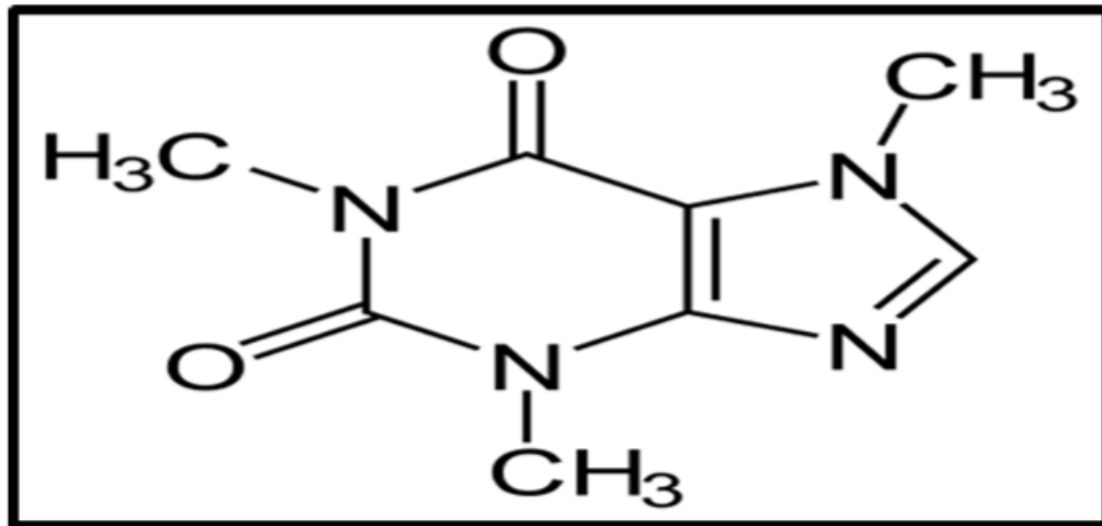


Figure 2 : Structure fondamentale des alcaloïdes (Iserin *et al.*, 2001).

### 2.2.3. Classification des alcaloïdes

Les alcaloïdes sont classés en trois catégories :

#### ✓ *Les alcaloïdes vrais*

Les véritables alcaloïdes, qui constituent la majorité des alcaloïdes, sont toxiques et possèdent une vaste gamme d'activités biologiques. Ils sont issus d'acides aminés et contiennent un atome d'azote dans une structure hétérocyclique. Il les retrouve dans les plantes, que ce soit sous forme libre, de sel ou de N-oxyde (Badiaga, 2011).

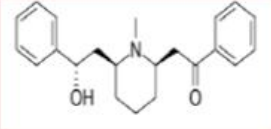
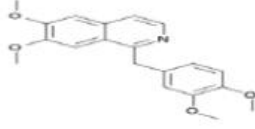
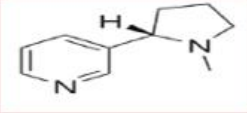
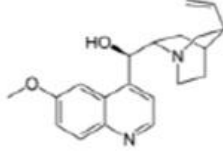
#### ✓ *Les pseudo-alcaloïdes*

Les pseudo-alcaloïdes possèdent généralement toutes les propriétés des alcaloïdes authentiques, néanmoins ils ne sont pas issus des acides aminés. Dans la plupart des situations identifiées, il s'agit de dérivés d'isoprénoïdes (alcaloïdes terpéniques) et du métabolisme de l'acétate (Badiaga, 2011 ; Rakotonanahary, 2012).

#### ✓ *Les proto-alcaloïdes*

Les proto-alcaloïdes constituent des amines simples où l'azote n'est pas intégré dans un hétérocycle. Ils possèdent une nature fondamentale et sont produits *in vivo* à partir d'acides aminés. Il les désigne fréquemment sous le terme de « amines biologiques » et ils présentent une solubilité dans l'eau (Badiaga, 2011).

Tableau 2: Catégorisation des alcaloïdes (Mauro, 2006 ; Wilhelm, 1998).

Les dérivés des alcaloïdes	Exemple
Alcaloïdes dérivés de la lysine.	la lobéline : 
Alcaloïdes dérivés de la tyrosine et de la phénylalanine.	La papavérine : 
Alcaloïdes dérivés de l'acide nicotinique.	La nicotine : 
Alcaloïdes dérivés du tryptophane	La quinine : 

## 2.3. Les composés terpénoïdes

### 2.3.1. Définition

Le mot terpénoïdes fait référence à un groupe de composés qui possèdent la structure des terpènes, associés à une ou plusieurs fonctions chimiques (telles que l'alcool, l'aldéhyde, la cétone, l'acide, la lactone, etc.). Il s'agit de composés issus du métabolisme secondaire dérivant des isoprénoïdes, dont certains jouent un rôle dans la photosynthèse. Il y trouve également diverses hormones végétales de structure terpénique. Il s'agit de produits hydrocarbures naturels, ayant une structure soit cyclique soit à chaînes ouvertes constituées de l'agencement d'un nombre entier d'unités pentacarbonées ramifiées dérivées du 2-méthylbutadiène, nommées unités isopréniques (Hopkins, 2003).

### 2.3.2. Structure des terpénoïdes

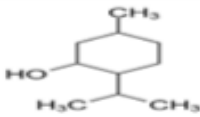
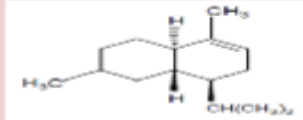
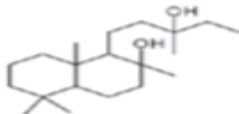
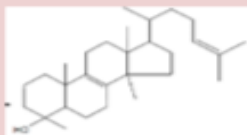
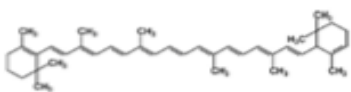
Toutes les substances de cette catégorie se forment à partir d'unités de cinq carbonées (isoprènes), qui sont des chaînes hydrocarbonées insaturées. Par la suite, cette dernière subit

une modification secondaire par le biais de l'oxydation, de la réduction ou de l'élimination du « C » (Simic *et al.*, 1997).

### 2.3.3. Classification des terpénoïdes

La classification des terpènes se fonde sur le nombre de fois que l'unité de base, l'isoprène, est répétée. Ainsi, les terpènes sont classés de la manière suivante :

**Tableau 3:** Exemples variés de types de terpénoïdes (Belbache, 2003).

Terpènes	Unités isoprénique	Atomes de carbone	Exemple
Hemiterpene	1	C5	Isoprène
Monoterpènes	2	C10	Menthol : 
Sesquiterpènes	3	C15	β-Cadinène : 
Diterpénoïdes	4	C20	Sclaréol : 
Triterpène	6	C30	Lanostérol : 
Tetraterpène	8	C40	Caroténoïdes : 
Polyterpène	>8	>40	Caoutchouc

# *Chapitre 02 :*

*Présentation de la plante  
« *Lepidium sativum* »*



## 1. Généralité

L'espèce *L. sativum*, également connue sous le nom de cresson alénois, est une plante à feuilles comestibles d'une grande valeur, étroitement liée aux espèces du genre Brassicaceae, qui appartient à la famille des Brassicaceae. Il possède une saveur piquante, avec un parfum similaire à celui du poivre noir, ses bienfaits nutritifs sont préservés uniquement durant une brève période lors de la phase des jeunes pousses (Belkhiri, 2018).

Les graines de cresson, lisses et de teinte brun-rougeâtre, ont une forme ovale et un format réduit. Elles présentent une extrémité triangulaire et pointue. Un sillon est perceptible sur les deux côtés, atteignant presque les deux tiers de leur hauteur et une aile subtile qui semble être une extension est visible sur chaque côté de la graine. Quand elle est plongée dans l'eau, la coque de la graine se gonfle et elle est couverte d'un mucilage clair et incolore (Bigoniya *et al.*, 2011).

## 2. Nomenclature

Le cresson alénois est désigné par plusieurs dénominations et synonymes, dont les plus courants sont les suivants :

**Tableau 4:** dénominations et synonymes de *L. sativum*

<b>Nom arabe :</b> Habb errchad حب الرشاد horf حرف (Baba Aissa,2011).
<b>Nom français :</b> Cressonnette, passerage cultivée, cresson à la noix, nasitort, passerage des jardins (Eberhard <i>et al.</i> , 2005).
<b>Nom anglais :</b> Garden cress, peppergrass (Eberhard <i>et al.</i> , 2005).
<b>Nom italien :</b> Nasturzio ortense (Fournier, 2010).
<b>Nom allemand :</b> Gartenkresse, Gresich, Tellerkress (Eberhard <i>et al.</i> , 2005).

### 3. Systématique

La classification botanique de *L. sativum* est représentée dans le tableau suivant :

**Tableau 5:** Classification taxonomique de *L. sativum* (Vaishnavi, 2020)

<b>Règne</b>	Plantea
<b>Sous-règne</b>	Tracheobionta
<b>Super-division</b>	Spermatophyt
<b>Division</b>	Magnoliophyta
<b>Classe</b>	Magnoliopsida
<b>Sous Classe</b>	Dilleniidae
<b>Ordre</b>	Capparales
<b>Famille</b>	Brassicaceae
<b>Genre</b>	Lepidium
<b>Espèce</b>	<i>Lepidium Sativum</i>

### 4. Description botanique

Le cresson alénois est une plante herbacée annuelle semi-aquatique (Ali-Delille, 2013).

Selon Eberhard *et al.* (2005), ont donné une description précise des différents organes végétatifs de l'espèce *L. sativum* :

✓ **Les tiges** : qui peuvent atteindre jusqu'à 50 cm de hauteur et sont généralement ramifiées dans leur partie supérieure, sont glabres et de couleur verte.

✓ **Les feuilles** : alternées et avec un court pétiole, présentent des différences selon leur position : les feuilles supérieures sont entières et linéaires tandis que les feuilles inférieures sont parfois veinées de gris, glabres ou légèrement velues. Il existe également des variétés cultivées qui se distinguent principalement par la forme de leurs feuilles :

- Feuilles lacérées (cresson alénois commun)
- Feuilles lisses et frisées (cresson alénois frisé)
- Feuilles larges et unies (cresson alénois à grandes feuilles) (Fig.n°3)

✓ **Les inflorescences** : se présentent sous la forme de grappes simples mesurant de 1 à 3 cm de longueur, composées de petites fleurs à symétrie radiale soutenues par des pédicelles érigés face au pédoncule floral : Le calice est constitué de 4 sépales, tandis que la corolle présente 4 pétales qui sont blancs ou rosés, dotés d'un onglet à peine perceptible ; les 6

étamines ont tendance à être violettes ; deux de celles-ci sont plus courtes que les autres ; l'ovaire se trouve au-dessus. (Fig.n°4)

✓ **Le fruit** : est une silicule à ailes, mesurant de 5 à 6 mm en longueur et de 3 à 4 mm en largeur, ayant une forme arrondie à ovale, mais aplatie sur son côté ventral.

✓ **Les graines** : présentent une couleur brun-rouge, ont une forme en poire et sont presque lisses. (Fig.n°6)



**Figure 3** : Feuille de *L. sativum* (Eberhard *et al.*, 2005).



**Figure 4** : Partie aérienne de *L. sativum* (Eberhard *et al.*, 2005).



**Figure 5** : Fleur de *L. sativum* (Fournier, 2010).



**Figure 6** : Graines de *L. sativum* ([https://gingoodvs.click/product\\_details/91806252.html](https://gingoodvs.click/product_details/91806252.html)).

## 5. Ecologie

*L. sativum* peut croître dans presque tous les types de sol léger, qui retient bien l'eau, mais se développe idéalement sur des limons humides. Il peut cultiver cette plante à n'importe quelle altitude et tout au long de l'année, principalement dans les zones tropicales. Le cresson alénois supporte assez bien la sécheresse. Il le cultive en Afrique tropicale à une altitude variant de 750 à 2900 mètres (Burkill, 1985 ; Schmelzer & Gurib-Fakim, 2008 ; Schippers, 2000).

## 6. Répartition géographique

L'origine précise du *L. sativum* reste à déterminer, il suppose qu'elle provient soit d'Éthiopie et des pays environnants, soit de l'Asie occidentale. Il est fort probable que la domestication ait eu lieu en Asie occidentale. La culture était déjà reconnue dans l'Antiquité, tant en Grèce qu'en Italie et peut-être même en Égypte. Actuellement, il la cultive partout dans le monde, y compris dans la majorité des pays africains, généralement à une échelle modeste, en tant que plante de jardin (Wadhwa *et al.*, 2012).

## 7. Composition chimique et valeur nutritive

Le cresson alénois cru est une excellente source de vitamines A, K, C, B2 (riboflavine), B6 (pyridoxine), B9 (folâtre), de minéraux (N, P, K, Ca, Mg, Fe, B, Cu, Zn, Mn). Certaines parties de la graine, dont l'endosperme et le son, contiennent des protéines et des acides gras essentiels, principalement sous forme d'oméga -3 (acide linoléique) (Sat *et al.*, 2013).

Les graines de *L. sativum* contiennent une grande quantité de protéines, fibres, lipides, oméga-3, fer, calcium, phosphore, acides aminés essentiels ainsi que divers composés phytochimiques. De nombreux produits à base de graines de *L. sativum* sont utilisés soit comme boisson nutraceutique, soit comme aliment intégré (Sat *et al.*, 2013).

Selon Radman *et al.* (2022), il a été observé que les graines de *L. sativum* favorisent une augmentation du nombre total de cellules sanguines et du taux d'hémoglobine, en plus d'accroître le poids de la rate et le poids corporel global.

La graine de *L. sativum* produit presque 25 % d'une huile semi-siccative brun jaunâtre à arôme spécifique et peu agréable. L'huile est abondante en acides oléiques, linoléiques et uriques, tout en renfermant aussi des alcaloïdes imidazoles. La graine germée contient une grande quantité de mucilage, qui est une substance allélopathique connue sous le nom de lépidimoïde (Jansen, 2007). (Fig.n°7)



**Figure 7 :** Mucilage des graines de *L. sativum* (Prajapati *et al.*, 2014).

L'espèce contient aussi des tanins, des saponines, ainsi que divers flavonoïdes (lutéoline, apigénine et leurs glycosides, quercétine, naringénine, eriodictyol, cirsilinéol, salvigénine, cirsimaritrine, thymonine, thymusine, taxifoline, genkwanine, sakuranétine et vicénine-2) et des acides phénoliques (acide caféique, rosmarinique, labiatique et chlorogénique) (Jansen, 2007).

Le tableau illustre la valeur nutritionnelle des diverses variétés de cresson.

**Tableau 6 :** La valeur nutritionnelle du cresson (Fichier canadien sur les nutriments, 2010).

	Cresson de fontaine Cru haché 1tasse (250ml)/35g	Cresson alénois cru 1 tasse (250ml)/55g	Cresson alénois bouilli (1/2ml)/70g
Calories	4	17	16
Protéines	0.8 g	1.4 g	1.4 g
Glucides	0.5 g	2.9 g	2.7 g
Lipides	0.0 g	0.4 g	0.4 g
Fibres alimentaires	0.2 g	0.6 g	0.5 g

## 8. Usage de la plante

### 8.1. Utilisation comme condiment

Les jeunes feuilles fraîches sont utilisées pour parfumer et décorer les plats grillés. Généralement, le cresson alénois est utilisé seul pour rehausser la saveur des salades, des légumes, des céréales ou des viandes (**Eberhard *et al.*, 2005**).

### 8.2. Applications médicales

Le cresson alénois est un aliment nutritif, alcalinisant, reminéralisant et stimulant qui possède une propriété antianémique en raison de sa forte teneur en fer. Il favorise la vigueur des bulbes pileux (cheveux et poils) (**Moghe, 2016**).

Il a des attributs expectorants, diurétiques, sudorifiques, dépuratifs globaux, hypoglycémisants, anti-diarrhéiques, antiscorbutiques, aphrodisiaques, stimulants de l'appétit. Il est également bénéfique en cas d'asthénie et pour la prise en charge des dermatoses, bronchites, calculs biliaires ainsi que les troubles hépatiques et urinaires, Les antioxydants présents dans le cresson pourraient empêcher l'émergence de certains types de cancer et qu'ils auraient des avantages pour la santé oculaire (**Ali-Delille, 2013**).

Selon **Moghe (2016)**, le cresson pourrait également être efficace contre les affections cardiovasculaires.

### 8.3. Autres occupations

En Éthiopie, les graines sont utilisées pour fabriquer une huile destinée à la consommation (**Eberhard *et al.*, 2005**).

Selon **Baba Aissa (2011)**, en Algérie, il est recommandé d'utiliser des semences mêlées au miel pour stimuler l'appétit et revitaliser les personnes en convalescence.

## 9. Toxicité

Il est vivement recommandé d'éviter la consommation de cresson sauvage, car celui-ci peut héberger la douve, un parasite nuisible responsable d'une maladie hépatique sévère : la distomatose. Cependant, le cresson que vous voyez sur les marchés ou dans les étals des supermarchés, cultivé dans des cressonnières, est parfaitement sûr (**Sat *et al.*, 2013**).

*Chapitre 03 :*  
*Le stress oxydatif*

### 1. Définition du stress oxydatif

Le stress oxydatif est une situation biologique où il y a un déséquilibre entre la génération d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et le système de défense antioxydant d'un être vivant. Ce phénomène a lieu lorsque l'excès ERO cause des dommages aux cellules et tissus qui dépassent la capacité de neutralisation du système antioxydant. L'ERO, majoritairement généré par le métabolisme d'admission standard, est habituellement régulé par un système de défense. Néanmoins, une production excessive peut nuire aux structures cellulaires et compromettre les processus biologiques essentiels. Malgré le rôle vital de ces radicaux libres dans certains mécanismes physiologiques, une accumulation excessive peut générer un stress oxydatif nuisible à la santé (Migdal & Serres, 2011).

La redondance d'ERO contribue à la dégradation de molécules cruciales comme les lipides, les protéines et l'ADN. Cela pourrait conduire à différentes conséquences pathologiques, comme des mutations génétiques, des anomalies dans l'expression du gène, le dysfonctionnement du récepteur membranaire et les lésions de la membrane cellulaire. L'accumulation de radicaux libres peut entraîner la destruction cellulaire, des dysfonctionnements immunitaires et de l'inflammation, ce qui influence la réactivité des organismes face à des pathologies chroniques comme les troubles cardiovasculaires, le diabète et divers types de cancers. Le vieillissement anticipé des cellules est aussi fortement influencé par le stress oxydatif. Il est donc crucial de gérer de manière efficace le déséquilibre entre l'ERO et les antioxydants afin de maintenir la santé et d'éviter les maladies associées (Favier, 2003 ; Sies, 1991).

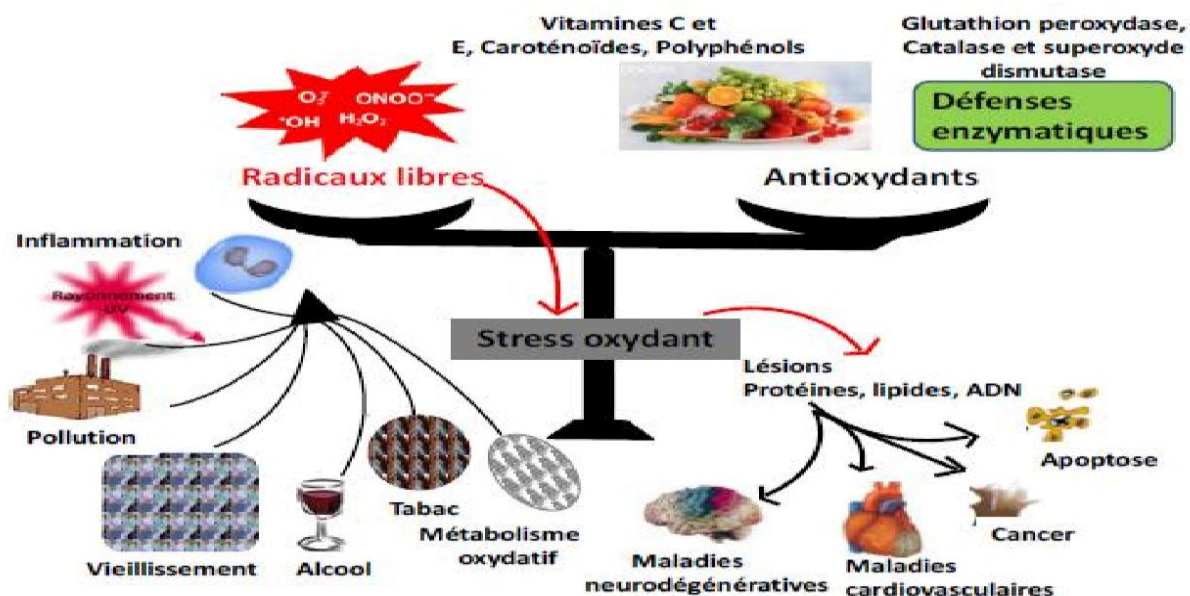


Figure 8 : Origine et équilibre oxydants/antioxydants (Jolivel, 2013).

## 2. Radicaux libres et espèces réactives de l'oxygène

Les radicaux libres et les espèces réactives de l'oxygène (ERO) sont des molécules dérivées de l'oxygène qui jouent un double rôle dans les systèmes biologiques. D'une part, elles participent à des processus physiologiques essentiels, tels que la signalisation cellulaire et la défense immunitaire. Cependant, une production trop importante peut induire un stress oxydatif, qui endommage les lipides, les protéines et l'ADN et contribue à l'apparition de différentes maladies (Sies, 2017).

### 2.1. Radicaux libres oxygénés

Les radicaux libres oxygénés (ROL) sont des molécules instables possédant un ou plusieurs électrons non appariés. Ils sont principalement générés lors du métabolisme cellulaire, en particulier dans la chaîne respiratoire mitochondriale. Parmi les radicaux libres oxygénés les plus étudiés figurent :

- ✓ **Le superoxyde ( $O_2^{\bullet-}$ )** : Produit par la réduction incomplète de l'oxygène moléculaire, il est souvent généré par des enzymes telles que la NADPH oxydase et la xanthine oxydase, bien que relativement peu réactif, le superoxyde peut se transformer en d'autres espèces plus réactives, comme le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) et le radical hydroxyle ( $OH^{\bullet}$ ) (Bedard & Krause, 2007).
- ✓ **Le radical hydroxyle ( $OH^{\bullet}$ )** : Ce radical est l'une des espèces les plus réactives et dommageables. Il est formé via la réaction de Fenton, où le peroxyde d'hydrogène réagit avec des ions ferreux ( $Fe^{2+}$ ). Le radical hydroxyle peut attaquer directement les membranes lipidiques, les protéines et l'ADN, provoquant des dommages oxydatifs irréversibles (Valko *et al.*, 2007).

### 2.2. Espèces réactives non radicalaires

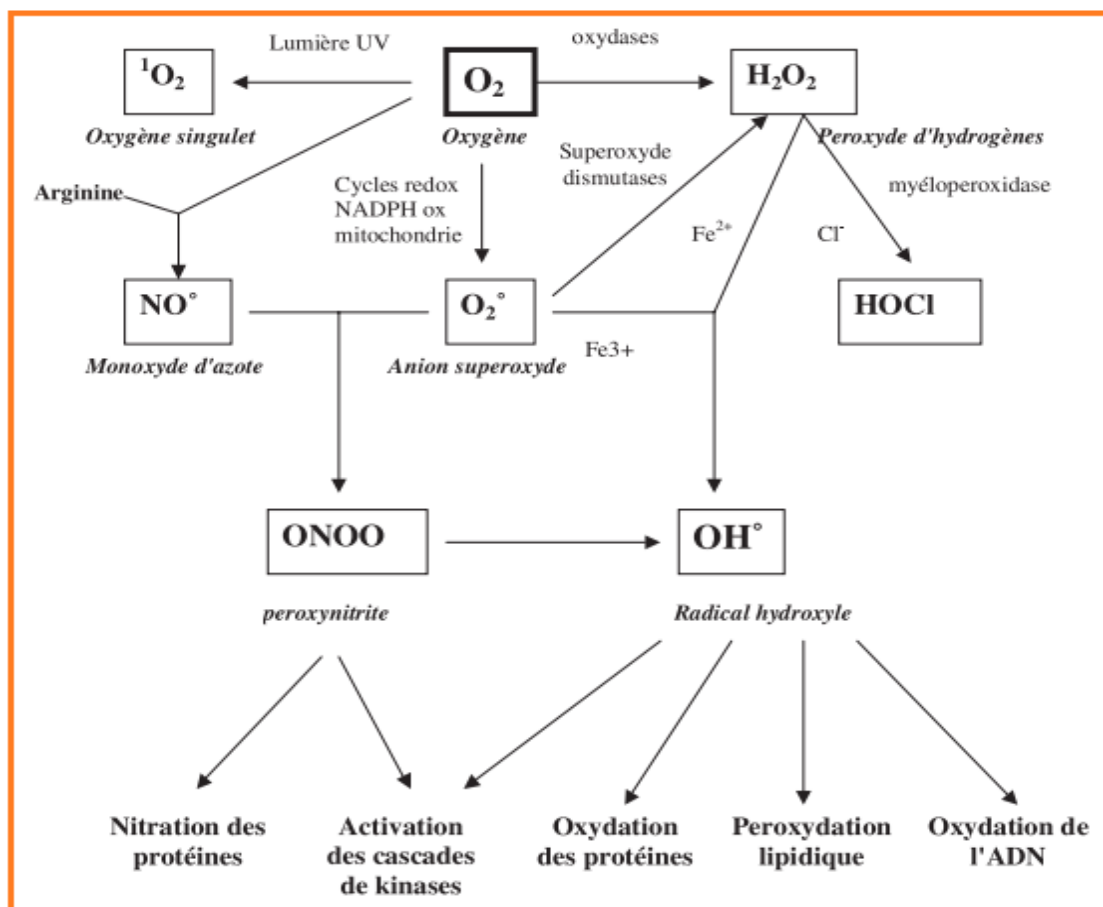
Les espèces réactives non radicalaires sont des molécules oxygénées hautement réactives, mais qui ne possèdent pas d'électrons non appariés. Elles jouent un rôle important dans les dommages oxydatifs et la signalisation cellulaire. Parmi ces espèces, il distingue :

- ✓ **Le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ )** : bien que ce ne soit pas un radical libre, le  $H_2O_2$  est une espèce réactive clé. Il est produit par la dismutation du superoxyde et peut traverser les membranes cellulaires, agissant comme un messager secondaire dans les voies de signalisation redox. Cependant, en présence de métaux de transition, il peut générer des radicaux hydroxyle via la réaction de Fenton (Sies, 2017).
- ✓ **L'oxygène singulet ( $^1O_2$ )** : cette forme excitée de l'oxygène est produite lors de réactions photochimiques, notamment sous l'effet des rayons UV. L'oxygène singulet, hautement

réactif, a la capacité d'oxyder directement les acides aminés et les lipides insaturés, participant ainsi au processus de vieillissement cellulaire et à la carcinogénèse (Davies, 2016).

### 3. Origine des radicaux libres

Les radicaux libres sont des espèces chimiques hautement réactives, principalement dérivées de l'oxygène et de l'azote, qui jouent un rôle crucial dans de nombreux processus biologiques et pathologiques. Leur origine peut être classée en deux catégories principales : les sources endogènes et les sources exogènes (Delattre *et al.*, 2007).



**Figure 9 :** Sources des divers radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène concernés en biologie (Delattre *et al.*, 2007).

#### 3.1. Sources endogènes

Les radicaux libres endogènes sont produits naturellement par le corps lors de processus métaboliques normaux. Voici les principales sources :

#### ✓ Respiratoire mitochondriale

Les mitochondries, en produisant de l'énergie via la chaîne respiratoire, génèrent des espèces réactives de l'oxygène (ERO) comme l'anion superoxyde ( $O_2^-$ ) et le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ). Ces molécules sont des sous-produits de la réduction incomplète de l'oxygène moléculaire ( $O_2$ ) (Delattre *et al.*, 2007).

#### ✓ Enzymes oxydatives

- *NAD(P)H oxydase* : cette enzyme, présente dans les cellules phagocytaires et non phagocytaires, produit de l'anion superoxyde en réponse à des stimuli inflammatoires ou immunitaires.
- *Xanthine oxydase* : elle catalyse la conversion de l'hypoxanthine en xanthine, générant des radicaux libres comme l'anion superoxyde et le peroxyde d'hydrogène.
- *Cyclo-oxygénases et lipoxygénases* : ces enzymes, impliquées dans le métabolisme de l'acide arachidonique, produisent des radicaux libres lors de la synthèse des prostaglandines et des leucotriènes (Delattre *et al.*, 2007).

#### ✓ Réactions inflammatoires

Les cellules immunitaires, comme les macrophages et les neutrophiles, libèrent des radicaux libres pour détruire les agents pathogènes. Ce processus, appelé "explosion oxydative", implique la production massive d'anion superoxyde et d'autres espèces réactives (Delattre *et al.*, 2007).

#### ✓ Autres sources

- *Peroxisomes* : ces organites produisent du peroxyde d'hydrogène lors de la dégradation des acides gras.
- *Réticulum endoplasmique* : les enzymes du cytochrome P450 génèrent des radicaux libres lors du métabolisme des xénobiotiques (Fontaine, 2007).

### 3.2. Sources exogènes

Les radicaux libres exogènes proviennent de facteurs environnementaux ou externes. Les principales sources incluent : rayonnements ultraviolets (UV), pollution atmosphérique, tabagisme, alcool, médicaments et produits chimiques (EM-Consulte, 2023).

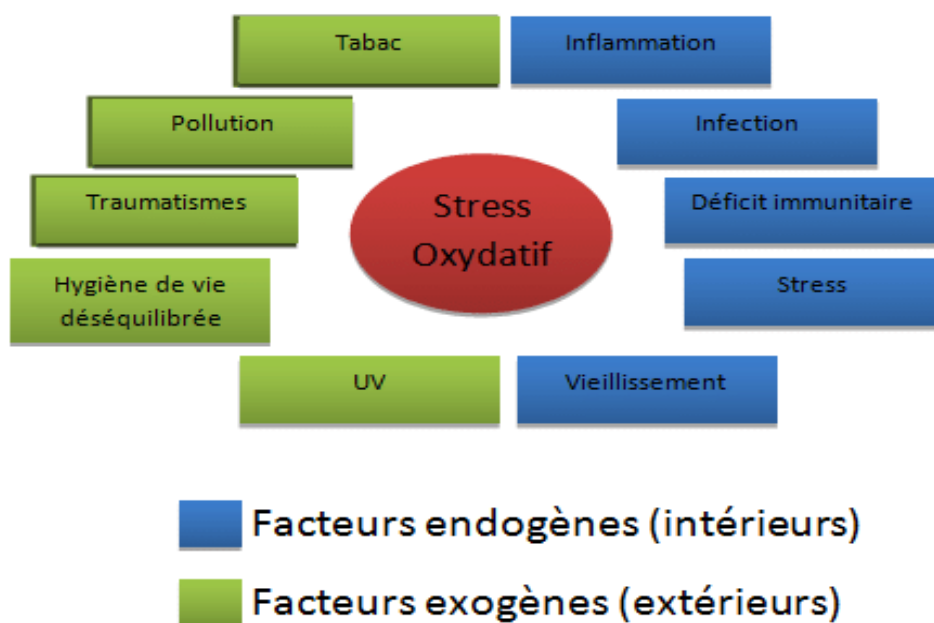


Figure 10 : Sources des radicaux libres (Benamara *et al.*, 2021).

#### 4. Conséquences du stress oxydatif

Le stress oxydatif entraîne divers effets néfastes sur l'organisme, notamment des effets biochimiques et des pathologies associées (Ghzaïel, 2022).

##### 4.1. Effets biochimiques

Le stress oxydatif résulte d'un déséquilibre entre la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) et la capacité des systèmes antioxydants à les neutraliser. Ce déséquilibre entraîne des dommages moléculaires, notamment :

- ✓ **Peroxydation lipidique** : les ROS attaquent les membranes cellulaires, provoquant la formation de produits toxiques comme le 7  $\beta$ -hydroxycholestérol (7  $\beta$ -OHC) et le 7-cétocholestérol (7KC), qui exacerbent l'inflammation et la mort cellulaire (Ghzaïel, 2022).
- ✓ **Carbonylation des protéines** : les ROS oxydent les protéines, altérant leur fonction et favorisant leur agrégation, un phénomène observé dans les maladies neurodégénératives comme la maladie d'Alzheimer (Lévy, 2020).
- ✓ **Dommages à l'ADN** : les ROS endommagent l'ADN, ce qui peut entraîner des mutations et contribuer au vieillissement et au développement de cancers (Vanhaudenarde, 2020).

Ces effets biochimiques perturbent l'homéostasie cellulaire, affectant les organites tels que les mitochondries et les peroxysomes, conduisant à des dysfonctionnements cellulaires généralisés (Ghzaïel, 2022).

## 4.2. Pathologies associées

Le stress oxydatif est impliqué dans de nombreuses pathologies, notamment :

- ✓ **Maladies neurodégénératives** : la maladie d'Alzheimer et les maladies à prions sont associées à un stress oxydatif précoce, qui favorise l'agrégation de protéines toxiques comme le peptide A $\beta$  et la protéine prion (PrP) (Lévy, 2020).
- ✓ **Sarcopénie** : le vieillissement musculaire est caractérisé par une augmentation du stress oxydatif, qui contribue à la perte de masse et de fonction musculaire, notamment via la formation d'oxystérols toxiques (Ghzaiel, 2022).
- ✓ **Maladies cardiovasculaires** : le stress oxydatif favorise la formation de plaques d'athérome et contribue à l'hypertension et à l'insuffisance cardiaque.
- ✓ **Diabète et maladies métaboliques** : l'accumulation de ROS perturbe la signalisation insulinaire et favorise les complications diabétiques.
- ✓ **Cancer** : les dommages oxydatifs à l'ADN et aux protéines jouent un rôle clé dans l'initiation et la progression des tumeurs (Vanhaudenarde, 2020).

Ces pathologies illustrent l'impact systémique du stress oxydatif, soulignant l'importance de développer des stratégies thérapeutiques ciblant les mécanismes oxydatifs pour prévenir et traiter ces maladies (Ghzaiel, 2022 ; Lévy, 2020).

## 5. Défense contre le stress oxydatif (Les antioxydants)

Les antioxydants sont essentiels pour protéger l'organisme contre le stress oxydatif et les lésions causées par les radicaux libres, qui sont responsables de plusieurs maladies, notamment le diabète, les pathologies cardiaques, le cancer, l'altération cérébrale et la défaillance du système immunitaire (Hamidpour *et al.*, 2014). Il peut distinguer deux types fondamentaux d'antioxydants : les synthétiques et les naturels. Ces dernières années, l'attrait pour les antioxydants naturels s'est accru grâce à leur sécurité supposée et leurs éventuels bénéfices nutritionnels et thérapeutiques (Büyüktuncel *et al.*, 2014).

Il est intéressant de noter que de nombreux antioxydants piégeant les radicaux libres se trouvent dans diverses sources alimentaires telles que les fruits, les légumes, le thé, entre autres. Selon la littérature spécialisée, ces substances, lorsqu'elles sont présentes en faible concentration par rapport à celles des substrats oxydables, retardent ou inhibent de manière significative l'oxydation de ces substances. L'antioxydant pourrait également être défini comme « un composé capable d'inhiber l'oxydation par l'oxygène de diverses substances, de la simple molécule au polymère et aux biosystèmes complexes » (Shiv, 2011).

### 5.1. Antioxydants endogènes

Les antioxydants endogènes sont des molécules produites par l'organisme pour neutraliser les ROS et prévenir les dommages cellulaires. Ils incluent :

#### ✓ Enzymes antioxydantes

- La superoxyde dismutase (SOD) convertit le superoxyde en peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ).
- La catalase et la glutathion peroxydase (GPx) décomposent le  $H_2O_2$  en eau et oxygène, empêchant la formation de radicaux hydroxyles hautement réactifs.
- Ces enzymes sont essentielles pour maintenir l'équilibre redox dans les cellules et les mitochondries (*Sies, 2020*).

#### ✓ Antioxydantes non enzymatiques

- Le glutathion (GSH), un tripeptide, est un antioxydant majeur qui neutralise directement les ROS et participe à la réparation des dommages oxydatifs.
- La coenzyme Q10 (CoQ10) et l'acide urique jouent également un rôle dans la protection contre le stress oxydatif (*Sharifi-Rad et al., 2020*).
- Ces systèmes endogènes sont régulés par des voies de signalisation redox, telles que la voie Nrf2/ARE. Cette voie régule l'expression des gènes antioxydants et renforce les défenses cellulaires contre le stress oxydatif (*Dubois-Deruy et al., 2020*).

### 5.2. Antioxydants exogènes

Les antioxydants exogènes sont des molécules apportées par l'alimentation ou des suppléments pour renforcer les défenses antioxydantes de l'organisme. Ils incluent :

#### ✓ La vitamine C

La vitamine C (acide ascorbique) est un antioxydant essentiel hydrosoluble obtenu à partir d'agrumes et de certains légumes verts comme le brocoli et les épinards. Les faibles taux plasmatiques de vitamine C chez les patients atteints d'IRC ont été associés à un risque accru d'événements cardiovasculaires majeurs (*Deicher et al., 2005*).

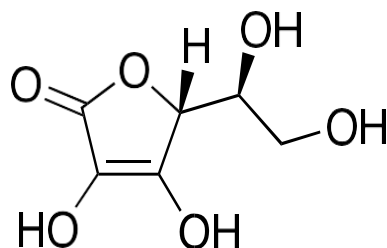


Figure 11 : Structure chimique de la vitamine C (Colette, 2003).

✓ *La Vitamine E*

La vitamine E, ou acide tocophérol, a été identifiée comme un nutriment essentiel à la reproduction humaine. Des recherches approfondies ont démontré son efficacité dans la prévention de la peroxydation lipidique et la neutralisation des radicaux libres, lui conférant ainsi une réputation de puissant antioxydant (Mohd Zaffarin *et al.*, 2020).

La vitamine E est une famille de composés liposolubles composée de deux groupes principaux, à savoir les tocophérols et les tocotriénols (Mohd Zaffarin *et al.*, 2020). Fig.12

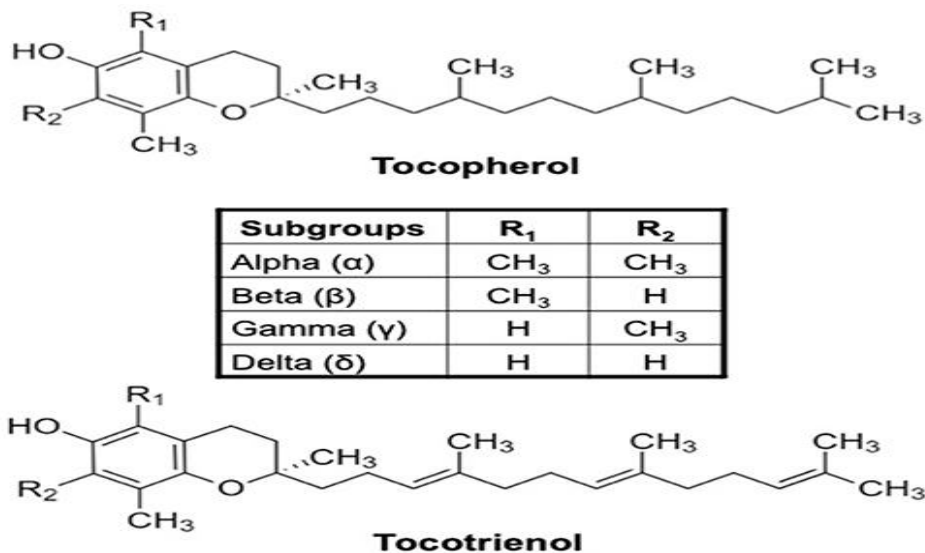


Figure 12 : Structure chimique de la vitamine E (Mohd Zaffarin *et al.*, 2020).

Les principales sources de vitamine E sont les huiles de graines (huile de germe de blé : 150 mg/mL, huile d’amande : 95 mg/mL, huile d'olive : 15 mg/mL) (Yang *et al.*, 2006).

✓ *Les oligoéléments*

- Le sélénium est un élément non métallique crucial pour la physiologie humaine, car il sert de cofacteur pour diverses enzymes antioxydantes, comme la glutathion peroxydase et la thiorédoxine réductase (Tinggi, 2008).
- Le zinc (Zn) et le cuivre (Cu) sont des éléments chimiques qui jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement de la superoxyde dismutase (SOD). En effet, le zinc protège les groupements thiols (SH) des protéines contre l'oxydation induite par le fer. Cette protection est rendue possible par l'empêchement de la formation de ponts disulfure intramoléculaires (Bouldjadj, 2009).

#### ✓ *La curcumine*

La curcumine est une plante herbacée qui fait partie de la famille du gingembre (Zingibéracée) et est répandue en Inde, en Chine et en Asie du Sud-Est. En médecine ayurvédique et chinoise, la curcumine est utilisée comme anti-inflammatoire, antioxydante, antibactérienne et antimicrobienne (Singh, 2007).

#### ✓ *Les acides gras polyinsaturés oméga-3*

Les acides gras polyinsaturés oméga-3 (AGPI oméga-3) sont obtenus principalement à partir de sources alimentaires. Les AGPI oméga-3 exercent une activité anti-inflammatoire et antioxydante, leur administration chez les patients atteints d'IRC peut réduire l'inflammation associée à la progression de l'IRC (Arab *et al.*, 2006).

#### ✓ *Le resvératrol*

Le resvératrol (3,5,40-trihydroxystilbène) est un composé polyphénolique naturel présent dans plus de 70 espèces de plantes. Le resvératrol peut directement piéger les ROS et moduler l'expression et l'activité des enzymes des antioxydants, telles que la SOD, la glutathion peroxydase et la catalase (Bertelli & Das, 2009).

#### ✓ *Le thé vert*

Le thé vert est constitué de plusieurs composés polyphénoliques, mais l'épigallocatechine-3-gallate (EGCG) est le plus abondant et efficace en tant qu'antioxydant. Il est impliqué dans l'inhibition de la peroxydation lipidique et la chélation d'ions métalliques tels que le cuivre (II) et le fer (III) (Baptista *et al.*, 1998).

#### ✓ *Composés synthétiques*

Des molécules comme la N-acétylcystéine (NAC) et le mito-TEMPO sont utilisées pour cibler spécifiquement les ERO dans les mitochondries, comme démontré dans des études sur les cellules souches mésenchymateuses (Barzegari, 2020).

Les antioxydants exogènes sont particulièrement utiles dans les situations où les défenses endogènes sont insuffisantes, comme dans les maladies chroniques ou le vieillissement. Cependant, leur utilisation doit être équilibrée, car un excès d'antioxydants peut perturber l'homéostasie redox et avoir des effets néfastes (Sharifi-Rad *et al.*, 2020).

En conclusion, la combinaison des antioxydants endogènes et exogènes offre une protection complète contre le stress oxydatif. Des recherches récentes mettent l'accent sur le développement de stratégies thérapeutiques ciblant ces systèmes pour prévenir et traiter les maladies associées au stress oxydatif (Barzegari, 2020).

## 6. Origines des antioxydants

Les antioxydants peuvent être classés en deux catégories avec :

- Les enzymes antioxydantes directement synthétisées par l'organisme.
- Les nutriments antioxydants dont les apports sont nécessaires par l'alimentation. Cette dernière classe d'antioxydants nous intéresse particulièrement, puisque nous verrons s'il est possible de renforcer les défenses de l'organisme en augmentant les apports exogènes de ces différentes molécules (Pastre, 2005).

## 7. Localisation des antioxydants

Les fruits et les légumes sont principalement la source des antioxydants. De nombreux aliments que nous ingérons chaque jour contiennent des antioxydants (Khelifi & Sid, 2021).

### 7.1. Localisation alimentaire

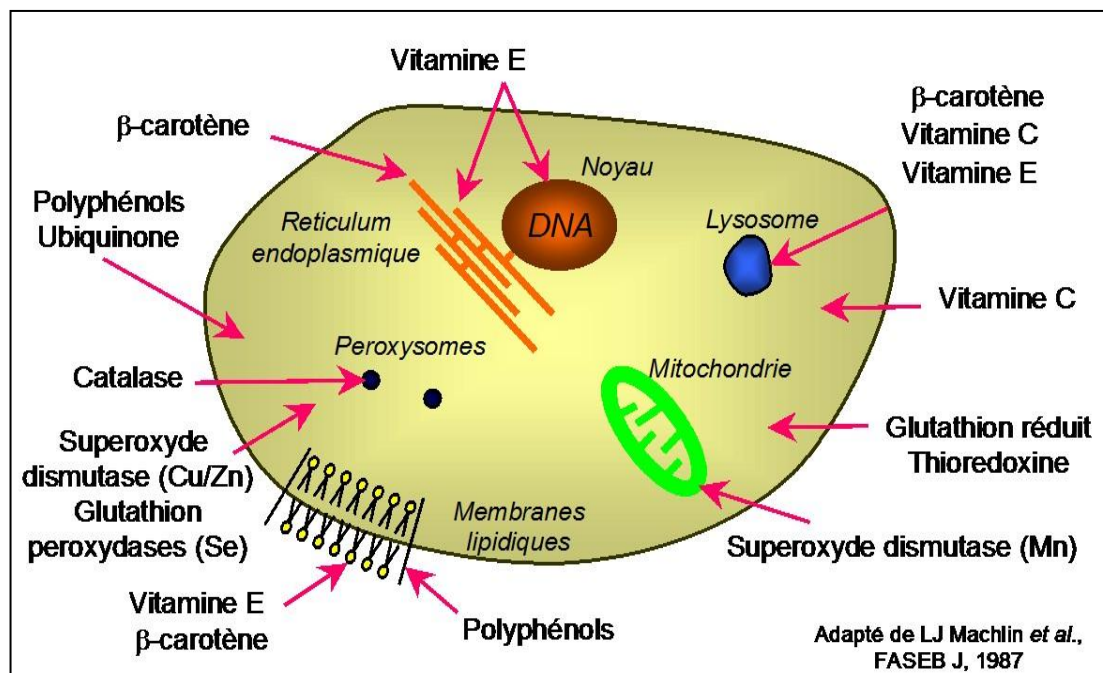
Les catégories majeures d'antioxydants et leurs principales sources alimentaires sont regroupées dans le tableau 7.

**Tableau 7:** principaux groupes d'antioxydants et sources alimentaires associées (Khelifi & Sid, 2021).

Groupes principaux	Exemple d'antioxydants	Aliments
<b>Vitamines</b>	Vitamine A	Foie, thon, beurre, fromage, œuf, laitages
	Vitamine E	Huiles végétales, amandes, noix, noisettes, brocoli, épinard, avocat, asperge, crevette, crabe
	Vitamine C	Agrumes (citron, orange, pamplemousse...), cassis, fraises, melon, persil, kiwi, poivron, brocoli
<b>Caroténoïdes</b>	Bêta-carotène	Carotte, persil, abricot, poivron, orange, épinards
	Lycopènes	Tomates, papaye, abricot, goyave, melon
	Lutéine et zéaxanthine	Brocolis, épinards, chou vert, maïs, poivron rouge, pois verts, kaki, navet, laitue, courgette
<b>Polyphénols</b>	Acides phénoliques	Café, fruits
	Flavonoïdes	Chocolat, légumes (persil, chou, laitue, endive, poireau), fruits (orange, cerise, cassis, mûre, myrtilles), huile de pépin de raisin, thé
	Tanins	Lentilles, thé, raisin

## 7.2. Localisation cellulaire

Les molécules participant aux mécanismes de protection cellulaire contre le stress oxydatif sont illustrées dans la figure suivante.



**Figure 13 :** Schématisation des molécules intervenant dans les protections cellulaires (Atti, 2014).

## 8. Évaluation de l'activité antioxydante

Le stress oxydatif se produit lorsqu'il y a un déséquilibre entre la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) et la capacité du corps à les neutraliser avec des antioxydants. Ce déséquilibre peut entraîner des dommages cellulaires et contribuer à diverses maladies ainsi qu'au vieillissement. Voici une évaluation du stress oxydatif et de l'activité antioxydante, basée sur des études récentes :

### 8.1. Test de piégeage du radical DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle)

Le DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) est le substrat le plus utilisé pour une évaluation rapide et directe de l'activité antioxydante, notamment en raison de sa stabilité sous forme de radical libre et de la simplicité de son analyse (Evenamede *et al.*, 2017).

Cette méthode repose sur un mécanisme de transfert d'électrons, entraînant la formation d'une solution violette dans l'éthanol. Lorsqu'un antioxydant est présent, il réduit le radical libre, qui demeure stable à température ambiante, provoquant une décoloration progressive de la solution (fig. n°14). Grâce à la spectrophotométrie, le test DPPH permet une évaluation

rapide et efficace de l'activité antioxydante, facilitant l'analyse simultanée de plusieurs échantillons (Garcia *et al.*, 2012).

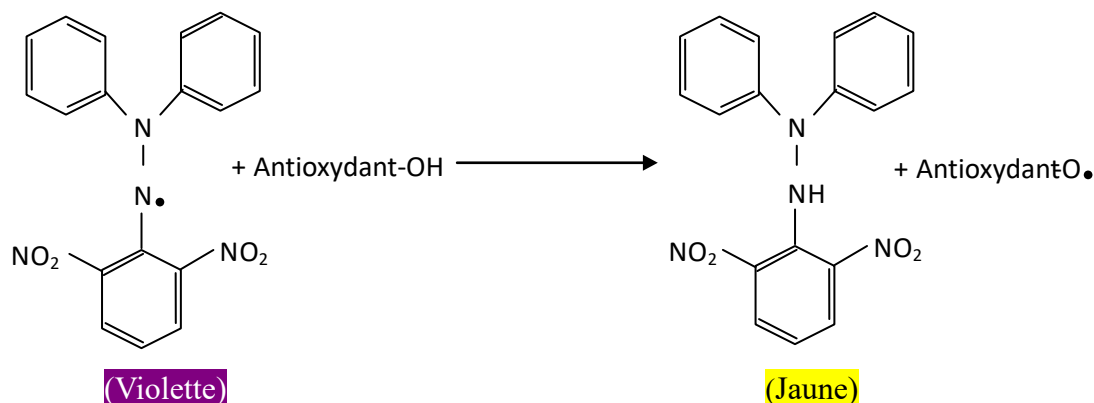


Figure 14 : Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH (Talbi *et al.*, 2015).

### 8.2. Test de réduction du fer (FRAP) : Ferric Reducing Antioxidant Power

Cette méthode permet d'évaluer l'aptitude des antioxydants à réduire le fer ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ) en fer ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ) par transfert d'électrons. Elle repose sur la conversion du ferricyanure en ferrocyanure, favorisant ainsi la complexation du  $\text{Fe}^{3+}$  libre présent dans la solution et conduisant à la formation du complexe bleu de Prusse (Topçu *et al.*, 2007).

### 8.3. Test de piégeage du radical ABTS (acide 2,2' anizo-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique))

Cette méthode permet d'évaluer l'efficacité antioxydante des mélanges de substances, en distinguant les effets additifs des interactions synergiques. L'analyse repose sur la réaction entre l'antioxydant et le radical cationique ABTS ( $\text{ABTS}^{\bullet+}$ ), qui présente des pics d'absorption caractéristiques à 645, 734 et 815 nm (Boligon *et al.*, 2014).

L'objectif de ce test est de déterminer si un antioxydant est capable de stabiliser le radical  $\text{ABTS}^{\bullet+}$ , de couleur bleu-vert, en le transformant en  $\text{ABTS}^+$  incolore, grâce à un transfert de proton (Bouhadjra, 2011).

### 8.4. Test de TRAP (Total Radical Trapping Antioxidant Parameter)

Le test TRAP repose sur l'initiation de la peroxydation lipidique par la génération de radicaux peroxyes hydrosolubles. Il permet d'évaluer l'action de divers antioxydants capables d'interrompre la propagation des radicaux libres. Toutefois, sa mise en œuvre est relativement complexe et nécessite une expertise spécifique (Prior *et al.*, 2005).

Cette méthode a cependant été critiquée en raison de l'utilisation d'un oxydant non physiologique (radicaux peroxyes hydrosolubles). Néanmoins, elle peut être adaptée en

intégrant des initiateurs biosolubles pour une meilleure représentativité des conditions physiologiques (Prior *et al.*, 2005).

### 8.5. Test ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity)

Cette méthode permet d'évaluer la capacité antioxydante des échantillons biologiques en laboratoire en mesurant l'oxydation d'une molécule fluorescente après l'ajout d'un générateur de radicaux libres, le 2,2'-azobis (2-amidinopropane) (AAPH). En présence d'oxygène, la dégradation thermique de ce composé génère progressivement des radicaux libres capables d'attaquer la membrane des globules rouges. L'analyse repose sur la mesure de la réduction de la fluorescence : l'action des radicaux libres altère la molécule fluorescente, entraînant une baisse de son intensité émissive et donc une diminution de la fluorescence du milieu. L'ajout de composés antioxydants permet de neutraliser ces radicaux et de préserver la fluorescence. Après l'introduction du générateur de radicaux libres, l'échantillon est analysé par spectrofluorimétrie pendant 35 minutes afin d'établir un lien entre l'intensité de fluorescence et la concentration en antioxydants du milieu (Desmier, 2016).

### 8.6. Test CUPRAC (CuPric Reducing Antioxidant Capacity)

Le test CUPRAC repose sur la mesure de l'absorbance du complexe Cu(I)-néocuproïne (Nc), formé lors de la réaction d'oxydo-réduction entre les antioxydants protecteurs de chaîne et le réactif CUPRAC (Cu (II)-Nc). L'absorbance est analysée à une longueur d'onde de 450 nm (Özyürek *et al.*, 2011).

### 8.7. Test de blanchissement du Bêta-carotène

Cette méthode repose sur l'oxydation de l'acide linoléique, un acide gras insaturé, sous l'action des espèces réactives de l'oxygène générées à partir de l'eau oxygénée (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Cette réaction produit des composés qui déclenchent l'oxydation du bêta-carotène, entraînant ainsi sa décoloration. L'efficacité des antioxydants est évaluée en mesurant la réduction de cette décoloration à une longueur d'onde de 434 nm (Alam *et al.*, 2013).

## 9. Applications thérapeutiques des antioxydants

Les recherches récentes mettent en avant le rôle potentiel des antioxydants dans la gestion des maladies liées au stress oxydatif :

- **Antioxydants naturels** : les polyphénols issus des plantes, comme les flavonoïdes et l'acide chlorogénique, ont démontré des effets protecteurs contre les dommages oxydatifs dans les maladies hépatiques et cardiovasculaires (Kotha *et al.*, 2022).

- ***Interventions alimentaires*** : des régimes riches en antioxydants, comme le régime méditerranéen, sont associés à une réduction du stress oxydatif et à une meilleure santé métabolique (**Kotha et al., 2022**).
- ***Antioxydants synthétiques*** : des composés comme la N-acétylcystéine (NAC) et le mito-TEMPO ciblent les ROS mitochondriaux et offrent des bénéfices thérapeutiques dans les maladies neurodégénératives et inflammatoires (**Li et al., 2020**).

# *Deuxième Partie*

## *Partie expérimentale*

# *Chapitre 01*

## *Matériel et Méthodes*



Notre étude expérimentale a été réalisée au sein du laboratoire de recherche «Antibiotiques, Antifongiques : Physico-chimie, Synthèse et Activité Biologique » (LAPSAB). Université Abou Baker Belkaïd -Tlemcen-.

## 1. Matériel végétal

Le matériel végétal comprend les graines de la plante, *L. sativum*, qui ont été acquises auprès d'un herboriste, localisée à la station de Bensakrane, dans la wilaya de Tlemcen.

Ces graines sont réduites en poudre à l'aide d'un moulin électrique. La poudre obtenue (Fig. n°15) est stockée dans une boîte en verre scellée, dans un lieu sec jusqu'à ce qu'elle soit utilisée (Fig. n°16).



**Figure 15 :** Graines de *L. sativum* semi-broyées (Photo prise au laboratoire, 2025).



**Figure 16 :** Conservation de la poudre des graines cresson alénois (Photo prise au laboratoire, 2025).

## 2. Extraction de la matière végétale par infusion

On prépare une infusion en faisant verser de l'eau bouillante sur une quantité déterminée de matière végétale et en permettant à la préparation de reposer pendant 10 à 15 minutes (Sofowora, 2010).

### 2.1. Préparation de l'extrait aqueux :

30 g de matière végétale broyée étaient infusés dans 400 mL d'eau distillée bouillante, le mélange est laissé infuser jusqu'à refroidissement. Par la suite, la solution obtenue de gel a été filtrée à l'aide d'une passoire plus un tissu mousseline et le filtrat obtenu a été évaporé à sec dans une étuve maintenue à 37°C.

**Remarque :** Lors de l'extraction aqueuse, une substance collante appelée mucilage a été observée, ce qui a rendu difficile la filtration de l'extrait aqueux sur papier filtre.

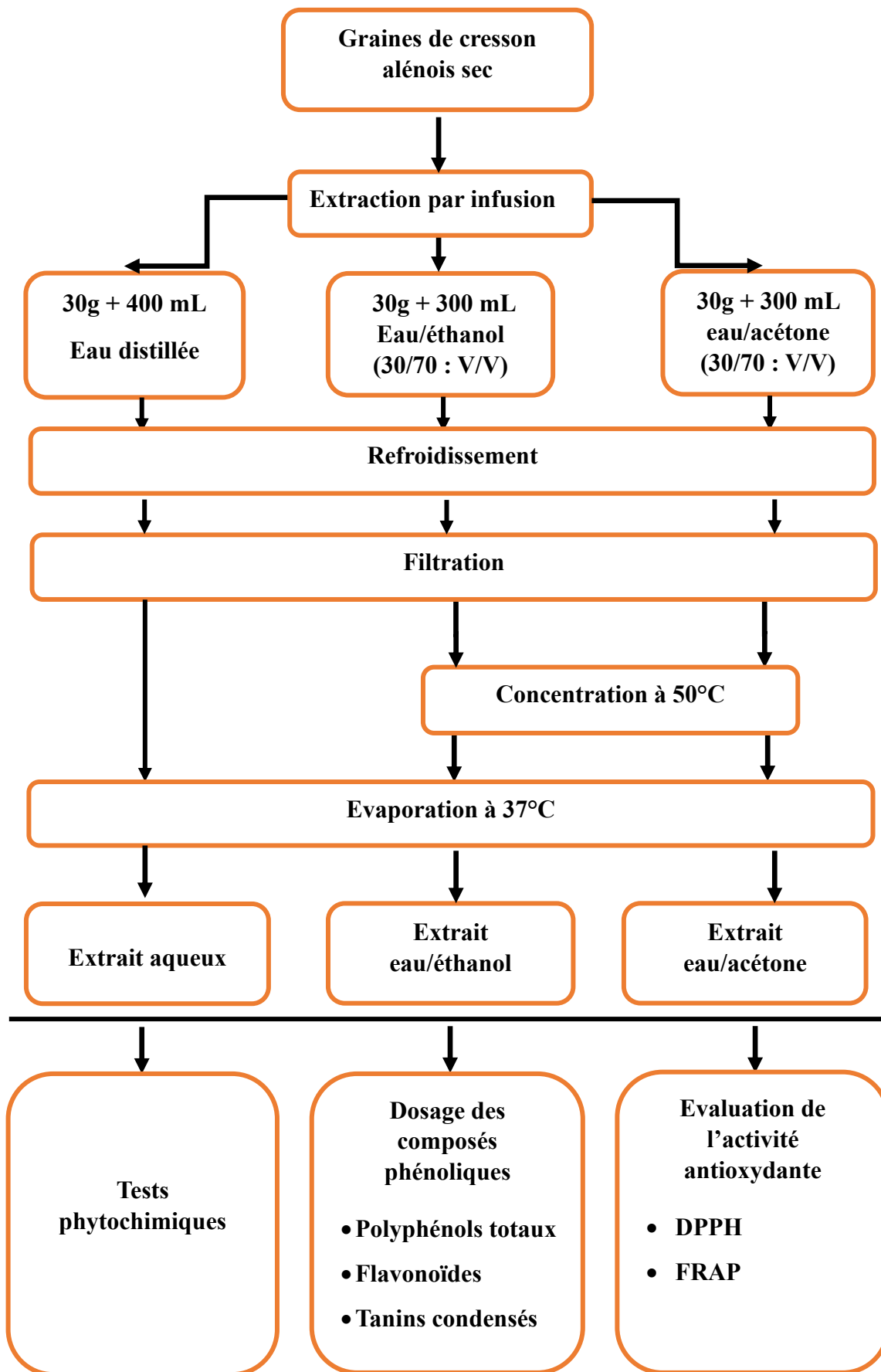
### 2.2. Préparation de l'extrait eau/éthanol :

Nous avons mélangé 30 g de matière végétale broyée avec 300 mL eau/éthanol (30/70 : V/V) en ébullition, le mélange est laissé infuser jusqu'à refroidissement. Ensuite, la solution a été filtrée et le filtrat obtenu a été concentré à l'aide d'un rotavapeur à 50°C et la phase aqueuse restante est évaporée à sec dans une étuve maintenue à 37°C.

### 2.3. Préparation de l'extrait eau/acétone :

Nous avons incorporé 30 g de matière végétale broyée avec 300 mL eau/acétone (30/70 : V/V) en ébullition, le mélange est laissé infuser jusqu'à refroidissement. Par la suite, la solution a été filtrée et le filtrat obtenu a été concentré à l'aide d'un rotavapeur à 50°C et la phase aqueuse restante est évaporée à sec dans une étuve maintenue à 37°C.

La figure 17 illustre le protocole expérimental réalisé dans cette étude.



**Figure 17 :** Schéma récapitulatif des différentes étapes du protocole expérimental réalisé sur *L. sativum*

### 3. Rendement des extractions

Le rendement d'extraction est déterminé en pourcentage, établi sur le rapport entre la masse de l'extrait sec obtenu et la masse totale de la poudre végétale mise en œuvre dans le processus d'extraction, conformément à la formule suivante :  $R (\%) = (M/Mt) \times 100$

*R (%) : rendement indiqué en pourcentage.*

*M : masse de l'extrait non purifié (en grammes).*

*Mt : poids du matériau végétal de départ (en grammes).*

### 4. Analyse phytochimique

Des tests de coloration et de précipitation ont été réalisés sur les extraits préparés pour déterminer la présence ou l'absence de divers groupes de familles chimiques, tels que : les tanins, les flavonoïdes, les quinones libres, les anthraquinones, les terpénoïdes, les saponosides, les alcaloïdes et les composés réducteurs (Bruneton, 1999 ; Harborne, 1998).

#### 4.1. Tanins

L'ajout de 0,25 mL d'une solution aqueuse de FeCl<sub>3</sub> (1%) à 0,1 mL de chaque extrait permet de mettre en évidence la présence de tanins, le mélange étant ensuite incubé à température ambiante pendant 15 minutes. L'émergence d'une teinte bleu-noirâtre ou verdâtre signale la présence de tanins.

#### 4.2. Flavonoïdes

Pour effectuer l'analyse, une certaine quantité d'extrait est combinée avec 1 mL d'acide chlorhydrique pur (HCl), puis quelques fragments de magnésium sont ajoutés. L'apparition de teintes comme le jaune, le rouge, l'orange ou le rose signale la présence de flavonoïdes.

#### 4.3. Quinones libres

Dans un tube de laboratoire, versez 1 mL d'extrait puis incorporez 0,1 mL d'hydroxyde de sodium (NaOH à 1 %). La manifestation d'une couleur jaune, rouge ou violette signale la présence de quinones libres.

#### 4.4. Anthraquinones

On a détecté les anthraquinones en ajoutant 1 mL de NH<sub>4</sub>OH (10 %). Suite à une agitation, l'émergence d'une teinte violette signalait la présence des anthraquinones.

#### 4.5. Les terpénoïdes

La recherche des terpénoïdes a été effectuée avec le test de Slakowski, en incorporant 0,4 mL de chloroforme et 0,6 mL d'acide sulfurique concentré à 1 mL d'extrait. L'émergence de deux phases avec une teinte brune à l'interface signale la présence de terpénoïdes.

#### 4.6. Saponosides (test de mousse)

Le test a été effectué en secouant 10 mL de chaque extrait ; la formation de mousse qui dure 20 minutes signale la présence de saponosides.

#### 4.7. Les alcaloïdes

Les analyses ont été effectuées par des réactions de précipitation en utilisant le réactif de Mayer et Wagner.

- Tube 1 : comprenant 0,5 mL d'extrait associé à 0,5 mL du réactif de Mayer.
- Tube 2 : contenant 0,5 mL d'extrait et 0,5 mL du réactif de Wagner.

L'apparition d'un précipité blanc et marron indique la présence des alcaloïdes.

#### 4.8. Les composés réducteurs

Dans un tube à essai, versez 1 mL d'extrait suivi de 2 mL de liqueur de Fehling (1 mL du réactif A et 1 mL du réactif B). Puis, l'ensemble était placé dans un bain-marie en ébullition pour une durée de 10 minutes. La présence de composés réducteurs est indiquée par l'émergence d'un dépôt de couleur rouge brique.

### 5. Dosage des composés phénoliques

#### 5.1. Dosage des polyphénols totaux

- **Principe**

On a employé la technique de Folin-Ciocalteu pour évaluer la quantité totale de polyphénols. Ce produit est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique  $H_3[P(W_3O_{10})_4]$  et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ) qui présente une couleur jaune. La technique permet d'oxyder les composés phénoliques à l'aide du réactif. L'association de Folin-Ciocalteu génère un complexe bleu de molybdène-tungstène qui est absorbé à une longueur d'onde de 700 nm, comme l'indiquent (Vermerris & Nicholson, 2007).

- **Mode opératoire**

On a préparé un mélange en incorporant 2 mL d'une solution de carbonate de sodium à 2 % à 100  $\mu$ l de chaque extrait, puis on a laissé incuber le tout pendant 5 minutes. Une fois que 100  $\mu$ l de réactif de Folin Ciocalteu (1 N) ont été ajoutés au mélange, une seconde incubation à température ambiante a eu lieu pendant 5 minutes. On a mesuré l'absorbance à

700 nm en utilisant un spectrophotomètre, en se basant sur un échantillon blanc. L'échelle d'étalonnage de l'acide gallique à différentes concentrations a été élaborée en utilisant les mêmes conditions opératoire (0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 mg/mL).

## 5.2. Dosage des flavonoïdes

### • Principe

C'est une méthode spectrophotométrique utilisant le trichlorure d'aluminium. L' $\text{AlCl}_3$  s'associe aux flavonoïdes pour donner un complexe de couleur jaune, alors que la soude (NaOH) crée un complexe rose qui présente une absorption dans le domaine visible à 510 nm (Ardestani *et al.*, 2007).

### • Mode opératoire

Dans des tubes, nous avons incorporé 2 mL d'eau distillée à 500  $\mu\text{l}$  de chaque extrait, puis ajouté 150  $\mu\text{l}$  d'une solution de nitrite de sodium ( $\text{NaNO}_2$ ) à 15 %. Les tubes ont été soumis à une incubation de 6 minutes à température ambiante. Par la suite, on a ajouté 150  $\mu\text{l}$  de trichlorure d'aluminium ( $\text{AlCl}_3$ ) avec une concentration de 10 %. Après une seconde incubation de 6 minutes à température ambiante, 2 mL d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 4 % ont été ajoutés. La quantité totale a été modifiée à 5 mL en se servant d'eau distillée.

On a utilisé le spectrophotomètre pour déterminer l'absorbance en se basant sur un blanc à une longueur d'onde de 510 nm.

Un étalonnage de la catéchine a été effectué simultanément à différentes concentrations (0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 mg/mL) dans les mêmes conditions opératoires.

## 5.3. Dosage des tanins condensés

### • Principe

La méthode de la vanilline est employée pour quantifier les tanins condensés. Dans un milieu acide, les tanins condensés se dépolymérisent et en réaction avec la vanilline, se convertissent en anthocyanidols de teinte rouge. Quantifiables par spectrophotométrie à 500 nm (Sun *et al.*, 1998).

### • Mode opératoire

50  $\mu\text{L}$  de chaque extrait à analyser ont été ajoutés à 1500  $\mu\text{l}$  d'une solution méthanolique de la vanilline (4%). Après agitation, un volume de 750  $\mu\text{l}$  d'HCl concentré a été additionné. Le mélange était ensuite laissé réagir à température ambiante pendant 20 min.

Une gamme d'étalonnage de la catéchine a été réalisé à différentes concentrations (0,05 ; 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1 mg/mL).

L'absorbance a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à 550 nm contre un blanc.

#### 5.4. Expression des résultats

La formule suivante a été utilisée pour calculer les concentrations en polyphénols, flavonoïdes et tanins condensés :  $T = a * f / b$

*T*: Teneur

*a* : Concentration déterminée à partir de la courbe d'étalonnage correspondante.

*f*: Facteur de dilution

*b* : Concentration initiale de l'extrait

### 6. Evaluation de l'activité antioxydante

On recourt à diverses techniques pour évaluer l'activité antioxydante des extraits. Ces techniques reposent généralement sur la coloration ou la décoloration d'un agent dans l'environnement réactionnel. Dans le cadre de notre recherche, nous avons eu recours à deux types de tests chimiques distincts : l'essai du Pouvoir Antioxydant Réducteur Fer (FRAP), qui évalue les capacités de réduction des ions ferreux, et l'effet (neutralisant) d'un antioxydant sur le radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH).

#### 6.1. Piégeage du radical libre DPPH

- **Principe**

L'existence de ce radical confère à la solution une teinte violacée qui absorbe autour de 515 nm. L'agent antioxydant réduit les radicaux DPPH, provoquant une décoloration de la solution qui passe au jaune et par là même, une diminution de l'absorbance (**Atoui et al., 2005**).

- **Mode opératoire**

Un mélange a été réalisé en combinant 1950 µl d'une solution de DPPH dans le méthanol (0,025 mg/mL) avec 50 µl de diverses concentrations d'extraits. Simultanément, des tubes blancs ont été préparés en combinant 50 µl de chaque concentration d'extrait avec 1950 µl de méthanol. On a préparé le témoin négatif en incorporant 50 µl de méthanol dans 1950 µl de DPPH. Les tubes ont été placés à l'abri de la lumière à température ambiante pour une durée de 30 minutes. On a mesuré l'absorbance à 515 nm en comparaison avec les tubes de référence blancs, grâce à un spectrophotomètre.

Dans le même contexte expérimental, l'acide ascorbique a été employé comme témoin positif. Les quantités de l'acide ascorbique utilisés sont (0,02 ; 0,04 ; 0,06 ; 0,08 ; 0,1 ; 0,2 mg/m).

Le pourcentage de piégeage du radical DPPH a été calculé en utilisant l'équation suivante :

$$I\% = [(AC - AE) / AC] \times 100$$

*I%* : pourcentage d'inhibition

*AC* : absorbance mesurée sans l'inhibiteur (Contrôle négatif)

*AE* : absorbance mesurée en présence de l'inhibiteur (Echantillon) (Ihoual *et al.*, 2017).

L'expérience a été réalisée à trois reprises et les résultats ont été indiqués en termes de valeurs d'IC<sub>50</sub> (concentration inhibitrice de 50 % des radicaux DPPH). Cette concentration a été déterminée en se basant sur les graphes de pourcentage d'inhibition par rapport aux concentrations des échantillons tracés avec le logiciel (sigma plot 12.0) (Gulcin, 2020).

## 6.2. Réduction du fer par la méthode FRAP (Ferric Reducing Antioxydant Power)

### • Principe

Cette technique repose sur l'évaluation de la capacité des extraits à transformer l'ion ferrique (Fe<sup>3+</sup>) en ion ferreux (Fe<sup>2+</sup>). Cette diminution se manifeste par l'émergence d'une teinte verte qui capte à 700 nm, l'intensité de cette couleur étant proportionnelle au potentiel réducteur (Topçu *et al.*, 2007).

### • Mode opératoire

Nous avons ajouté 2,5 mL de solution tampon phosphate (0,2 M : pH 6,6) et 2,5 mL de ferricyanure de potassium K<sub>3</sub>[Fe (CN)<sub>6</sub>] à 10 % dans des tubes à essai contenant chacun 2,5 mL d'extrait à différentes concentrations. Le mélange a été incubé à 50°C pendant une durée de 20 minutes. On a ajouté un volume de 2,5 mL d'acide trichloroacétique (TCA) à 10%. Suite à une centrifugation de 10 minutes à 3000 tours par minute, un échantillon de 2,5 mL du surnageant a été combiné avec 2,5 mL d'eau distillée et 0,5 mL d'une solution de FeCl<sub>3</sub> à 0,1%. L'absorbance du milieu réactionnel a été mesurée à 700 nm en comparaison avec un blanc, en utilisant un spectrophotomètre.

Dans des conditions expérimentales identiques, l'acide ascorbique a été employé comme contrôle positif à diverses concentrations (0,0125 ; 0,025 ; 0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; et 0,3 mg/mL).

L'expérience a été répétée trois fois et les résultats ont été exprimés en valeurs des EC<sub>50</sub> (concentration dont l'absorbance égale 0,5). Cette concentration a été calculée à partir des graphes des absorbances en fonction des concentrations des échantillons tracés avec le logiciel (Sigma plot 12.0) (Ferreira *et al.*, 2007 ; Tamuly *et al.*, 2014).

# *Chapitre 02*

## *Résultats et Interprétation*



Dans cette étude, la méthode d'extraction préconisée en médecine traditionnelle a été employée : l'infusion. Cette analyse vise à réaliser une comparaison entre :

- Les rendements des trois extraits obtenus.
- La composition phytochimique et la fluctuation des niveaux de composés phénoliques dans trois extraits différents.
- Le pouvoir antioxydant de ces trois extraits par deux méthodes (DPPH et FRAP).

## 1. Rendements d'extraction

Le rendement associé à l'extrait sec (qui est obtenu après évaporation) a été déterminé sur la base du poids de la matière végétale pour chaque type d'extrait. Le tableau n°8 comporte les résultats obtenus.

**Tableau 8:** Rendements et caractéristiques des divers extraits de *L. sativum*.

Extraits	Rendement %	Aspect	Couleur	Solubilité
Aqueux	3,23%	Cristallisé	Marron très claire	Eau distillée
Eau/éthanol	6,10%	Cristallisé	Marron	Eau distillée
Eau/acétone	7,72%	Cristallisé	Marron foncé	Eau distillée

D'après ces résultats, l'extrait eau/acétone obtenu par infusion de grains de *L. sativum* présente le rendement le plus élevé (7,72 %), suivi par l'extrait eau/éthanol, (6,1 %). En revanche, le rendement le plus faible est attribué à l'extrait aqueux, (3,23 %).

Les trois extraits présentent une forme cristallisée et sont solubles dans l'eau distillée. L'extrait aqueux affiche une teinte marronne très claire, l'extrait eau/éthanol présente un couleur marron et l'extrait eau/acétone se manifeste par un marron foncé.

## 2. Analyse phytochimique

Les résultats des tests phytochimiques effectués sur les trois extraits de *L. sativum* sont compilés dans le tableau suivant :

**Tableau 9:** Résultats de l'analyse phytochimique des extraits de *L. sativum*.

<i>Classes recherchées</i>	<i>Extrait aqueux</i>	<i>Extrait eau/éthanol</i>	<i>Extrait eau/acétone</i>
<i>Tanins</i>	-	-	-
<i>Flavonoïdes</i>	+	+	+
<i>Quinons libres</i>	+	+	+
<i>Anthraquinones</i>	-	-	-
<i>Terpénoïdes</i>	+	+	+
<i>Saponosides</i>	+	+	-
<i>Alcaloïdes</i>	-	+	+
<i>Composés réducteurs</i>	-	-	-

*Présence : (+) ; Absence : (-)*

L'analyse phytochimique des extraits de *L. sativum* a démontré une richesse en métabolites secondaires. Surtout les flavonoïdes, les quinones libres et les terpénoïdes. Les saponosides sont révélés négatifs que dans l'extrait aqueux/acétone, tandis que les alcaloïdes ne le sont que dans l'extrait aqueux. Les trois extraits ont également montré des résultats négatifs pour les tanins, les anthraquinones et les composés réducteurs.

### 3. Tenures en composées phénoliques

Les teneurs en polyphénols totaux, en flavonoïdes et en tanins condensés présents dans divers extraits sont établis à partir des équations des régressions linéaires des courbes d'étalonnage illustrées sur les figures n°18, 19, 20.

Les résultats affichés sont exprimés en milligramme équivalent acide gallique par gramme d'extrait, pour les polyphénols totaux (mg EAG/gE), tandis que pour les flavonoïdes et les tanins condensés, on exprime la quantité en milligramme équivalent catéchine par gramme d'extrait (mg EQC/gE). Les valeurs obtenues sont présentées dans le tableau n°10

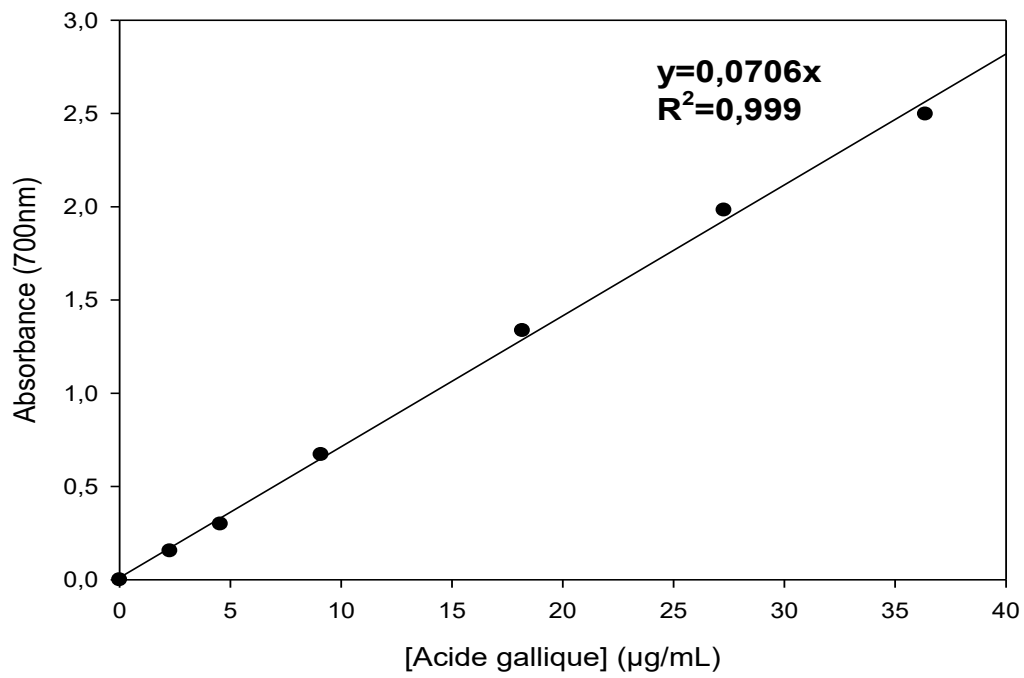


Figure 18 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux

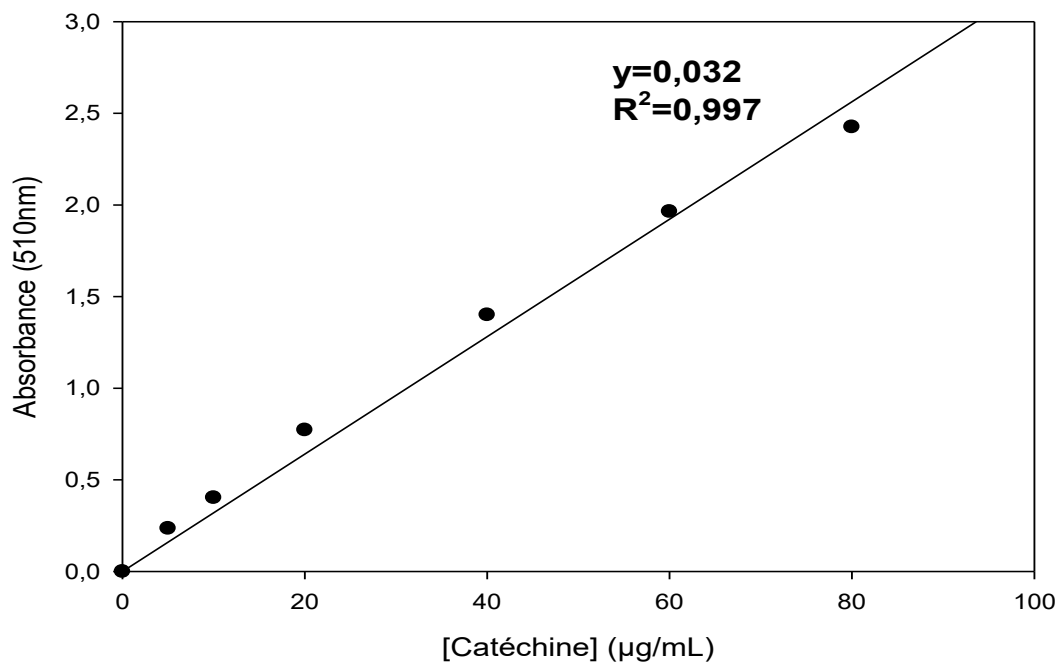
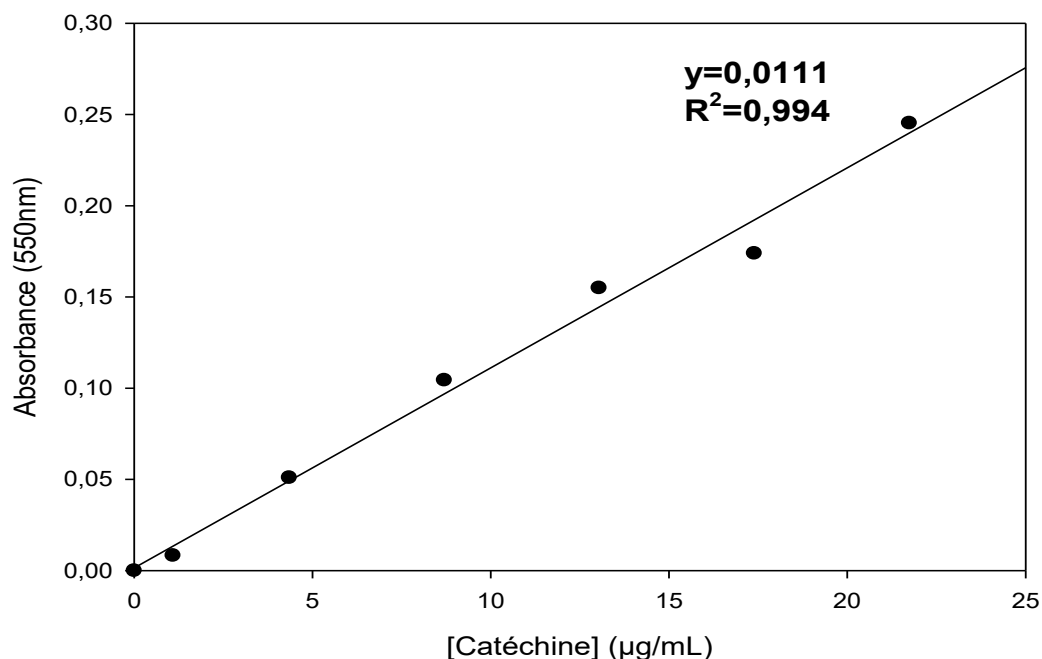


Figure 19 : Courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des flavonoïdes



**Figure 20 :** Courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des tanins Condensés

**Tableau 10:** Teneurs de différents composés phénoliques dans les extraits de *L. sativum*

	Aqueux	Eau/éthanol	Eau/acétone
<b>Polyphénols totaux (mg EAG/gE)</b>	<b>59,34 ± 0,19</b>	<b>31,13 ± 0,22</b>	<b>86,17 ± 3,01</b>
<b>Flavonoïdes (mg EQC/gE)</b>	<b>27,57 ± 1,05</b>	<b>35,30 ± 0,33</b>	<b>44,54 ± 0,45</b>
<b>Tanins condensés (mg EQC/gE)</b>	<b>1,42 ± 0,19</b>	<b>2,13 ± 0,01</b>	<b>2,83 ± 0,13</b>

Le tableau n° 10 montre que les concentrations totales en polyphénols diffèrent grandement entre les divers extraits. L'extrait eau/acétone affiche une concentration maximale de polyphénols ( $86,17 \pm 3,01$  mg EAG/gE), suivi par l'extrait aqueux qui présente un contenu moyen ( $59,34 \pm 0,19$  mg EAG/gE). Alors que l'extrait eau/éthanol a révélé la concentration la plus faible de polyphénols ( $31,13 \pm 0,22$  mg EAG/gE).

Les concentrations en flavonoïdes totaux des divers extraits fluctuent entre 27 et 45 mg EQC/gE. L'extrait eau/acétone a révélé la concentration la plus importante de flavonoïdes, atteignant  $44,54 \pm 0,45$  mg EQC/gE. Tandis que les extraits eau/éthanol et aqueux contenaient  $35,30 \pm 0,33$  et  $27,57 \pm 1,05$  mg EQC/gE, respectivement.

Les niveaux de tanins condensés présents dans les divers extraits. L'extrait aqueux a montré la plus faible concentration en tanins, avec une valeur de  $1,42 \pm 0,20$  mg EQC/gE, comparativement aux extraits eau/éthanol et eau/acétone, qui affichent des valeurs respectives de  $2,13 \pm 0,01$  et  $2,83 \pm 0,13$  mg EQC/gE.

#### 4. Activité antioxydante des extraits de *L. sativum*

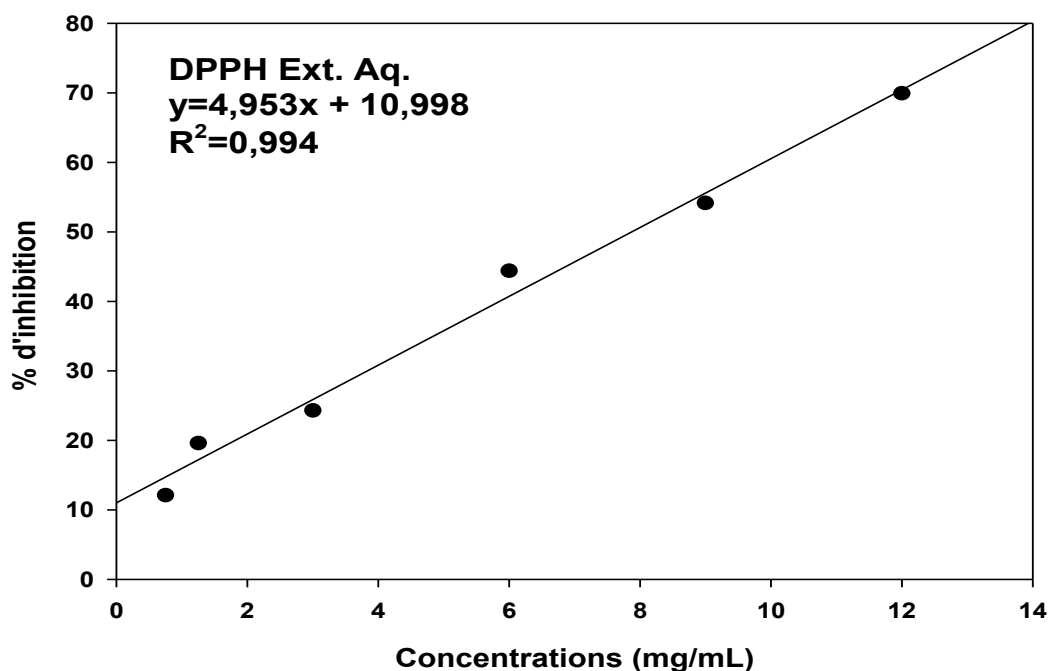
Cette étude a utilisé deux méthodes pour mesurer l'activité antioxydante des extraits aqueux de *L. sativum* : la méthode DPPH• et la méthode FRAP.

Dans les deux méthodes, les extraits ont été mis en comparaison avec une molécule de référence qui est l'acide ascorbique.

##### 4.1. Piégeage du radical DPPH•

##### 4.1.1. Piégeage du radical libre DPPH• par les extraits de *L. sativum*

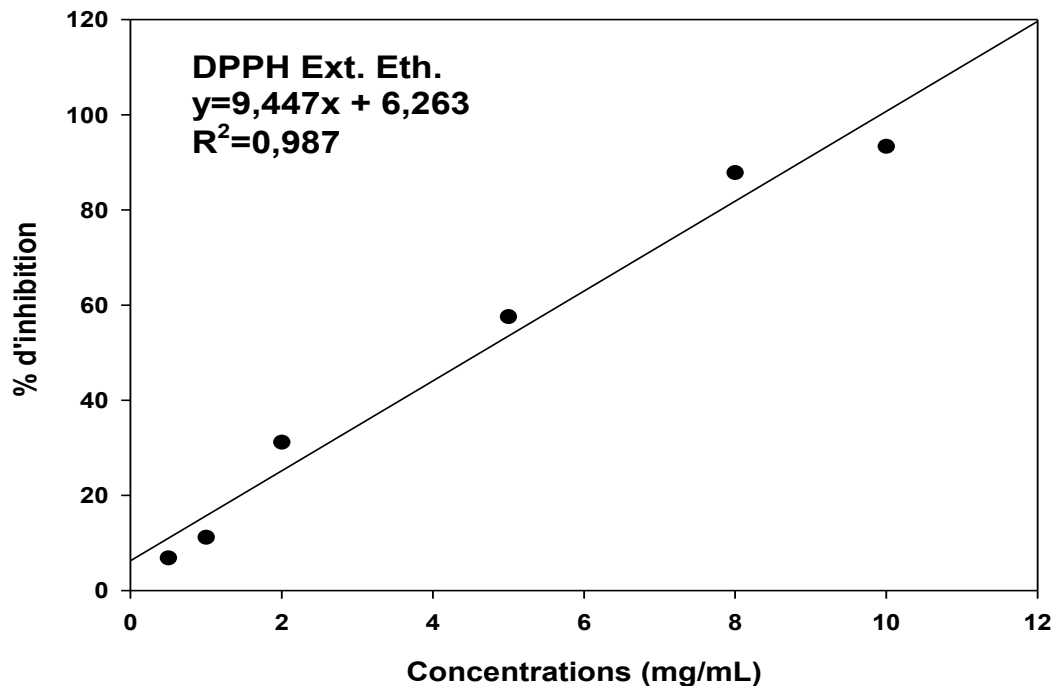
Les graphes n° 21, 22, 23 montrent les régressions linéaires des pourcentages d'inhibition en relation avec les concentrations des extraits examinés.



**Figure 21** : Pourcentage d'inhibition du radical DPPH• en fonction des différentes concentrations de l'extrait aqueux (n= 3)

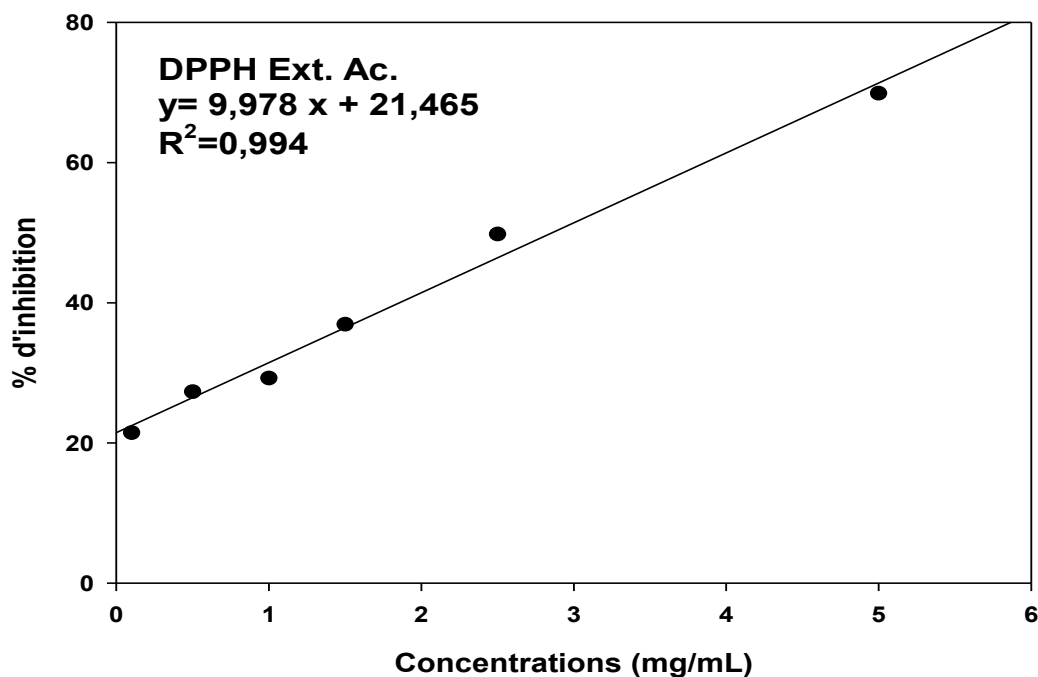
Selon la figure n°21, l'inhibition du radical DPPH• semble croître proportionnellement à la concentration de l'extrait aqueux et correspond à une régression linéaire fortement corrélée ( $R^2=0,99$ ). Selon ce graphique, on note qu'une concentration de 0,75 mg/mL correspond à un pourcentage d'inhibition de 12,09 %. Avec une concentration portée à 1,25 mg/mL, le pourcentage d'inhibition augmente à 19,58 %, il atteint ensuite 24,29 % à une concentration

de 3 mg/mL, suit une progression jusqu'à environ 44,4% à 6 mg/mL et 54,16 % à une 9 mg/mL et finit pour atteindre 69,95 % à 12 mg/mL.



**Figure 22 :** Pourcentage d'inhibition du radical DPPH• en fonction des différentes concentrations de l'extrait eau/éthanol (n= 3)

Selon le graphique n°22, on observe que le pourcentage d'inhibition du radical DPPH• s'accroît proportionnellement à la concentration de l'extrait eau/éthanol et suit une régression linéaire fortement corrélée ( $R^2=0,987$ ). Selon ce graphique, à une concentration de 0,5 mg/mL, le pourcentage d'inhibition est de 6,83 % et à une concentration de 1 mg/mL, le pourcentage d'inhibition est de 11,17 %, puis atteint environ 31,16 % lorsque la concentration est de 2 mg/mL. Ensuite, 57,57 % à une concentration de 5 mg/mL et finit pour atteindre 93,37% à 10 mg/mL.

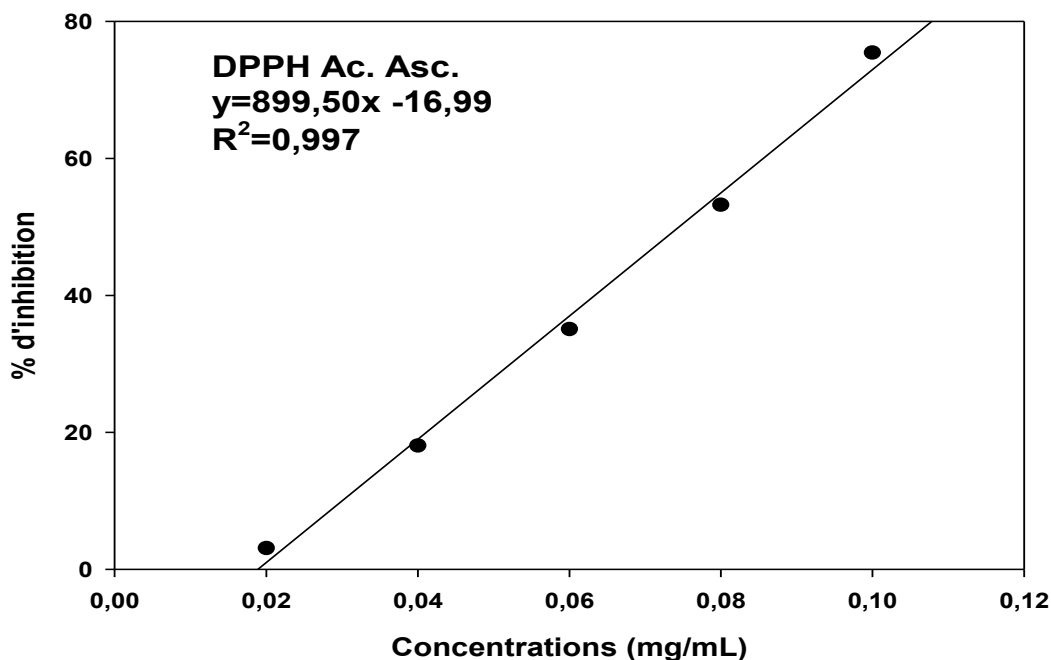


**Figure 23 :** Pourcentage d'inhibition du radical DPPH• en fonction des différentes concentrations de l'extrait eau/acétone (n= 3)

Selon le graphique n°23, le taux d'inhibition du radical DPPH• croît de manière proportionnelle à la concentration de l'extrait eau/acétone et suit une régression linéaire fortement corrélée ( $R^2=0,99$ ). Selon ce graphique, on note que la concentration de 0,1 mg/mL présente un pourcentage d'inhibition de 21,43 %. En élevant la concentration à 0,5 mg/mL, le pourcentage d'inhibition atteint 27,29 % puis 29,23 % à une concentration de 1 mg/mL. A la fin de l'expérience et à une concentration de 5 mg/mL, le pourcentage atteint 69,9%.

#### 4.1.2. Piégeage du radical libre DPPH• par l'acide ascorbique

La molécule de référence (acide ascorbique), utilisées pour piéger le radical libre DPPH•, présentent des pourcentages d'inhibition représentés sur la figure n°24.



**Figure 24 :** Pourcentage d'inhibition du radical DPPH• en fonction des différentes concentrations d'acide ascorbique (n=3)

D'après la figure n° 24, il est à noter que l'acide ascorbique présente des pourcentages d'inhibition assez importants à des faibles concentrations. Il affiche une activité inhibitrice de 3,09 % à la concentration la plus basse (0,02 mg/mL). Quand la concentration est portée à 0,08 mg/mL, le taux d'inhibition s'élève à 53,24 %. À la fin, à une concentration de 0,1 mg/mL, il a atteint un maximum de 75,45 %, illustrant manifestement l'effet lié à la dose de l'acide ascorbique.

#### 4.1.3. Calcul des IC<sub>50</sub>

On a exprimé l'activité antioxydante d'acide ascorbique et des extraits en termes de valeurs IC<sub>50</sub> (une valeur IC<sub>50</sub> faible signifiant une forte capacité d'inhibition des radicaux libres, alors qu'une valeur élevée se traduirait par une activité faible).

Le tableau ci-dessous présente les IC<sub>50</sub> calculées à partir des équations des régressions linéaires des courbes précédentes.

**Tableau 11:** Valeurs des IC<sub>50</sub> des différents extraits de *L. sativum* et la molécule de référence.

Extraits	IC <sub>50</sub> (mg/mL)
Aqueux	7,87
Eau/éthanol	4,63
Eau/acétone	2,86
Acide ascorbique	0,07

Quand on compare les valeurs d'IC<sub>50</sub> des extraits de *L. sativum* testés via la méthode DPPH, on remarque que l'extrait eau/acétone possède un pouvoir antioxydant nettement plus élevé IC<sub>50</sub> 2,86 mg/mL, suivi par les extraits eau/éthanol et aqueux avec des valeurs d'IC<sub>50</sub> respectives de 4,63 mg/mL et 7,87 mg/mL.

L'acide ascorbique présente l'effet antioxydant le plus fort, avec une IC<sub>50</sub> faible de 0,07 mg/mL.

L'analyse comparative des extraits et l'acide ascorbique montre que ce dernier présente une forte capacité anti-radicalaire. Par ailleurs, on peut noter que l'extrait eau/acétone présente une activité antioxydante notable (IC<sub>50</sub> = 2,86 mg/mL).

## 4.2. Pouvoir réducteur du fer (FRAP)

### 4.2.1. Réduction du fer par les extraits de *L. sativum*

Les illustrations graphiques n° 25, 26, 27, émettent en évidence l'évolution des absorbances du milieu réactionnel en fonction de l'augmentation des concentrations d'extraits.

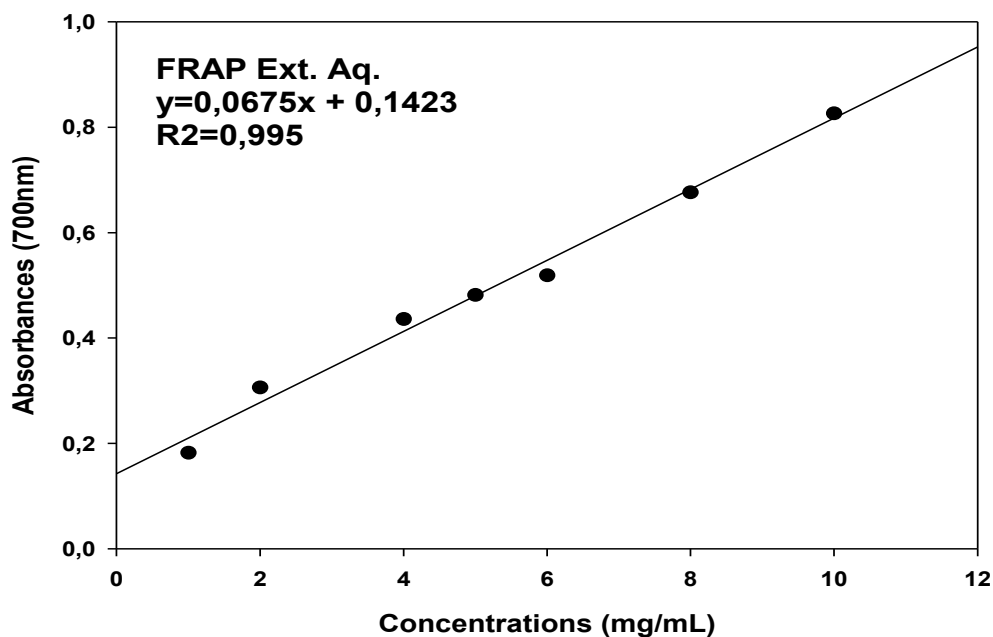


Figure 25 : Pouvoir réducteur du fer par l'extrait aqueux (n=3).

D'après la figure n°25, on remarque que les absorbances s'accroissent proportionnellement aux concentrations de l'extrait, suivant une régression linéaire hautement corrélée ( $R^2 = 0,99$ ). Pour une concentration de 1 mg/mL, l'absorbance observée est de 0,18. Par la suite, une croissance graduelle est constatée, atteint un maximum de 0,67 et 0,82 pour des concentrations de 8 mg/mL et 10 mg/mL, respectivement.

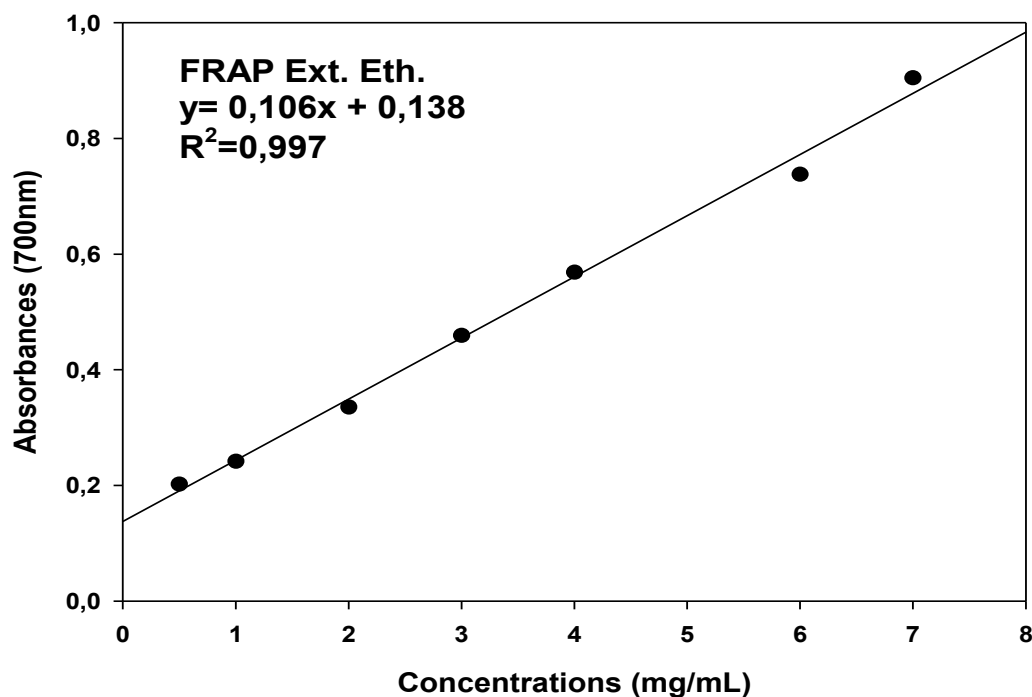


Figure 26 : Pouvoir réducteur du fer par l'extrait eau/éthanol (n=3).

D'après le graphique n°26, on constate que les absorbances s'accroissent de façon proportionnelle aux concentrations de l'extrait, suivant une régression linéaire hautement corrélée ( $R^2=0,99$ ). Pour une concentration de 0,5 mg/mL, on a enregistré une absorbance de 0,20. Par la suite, une montée graduelle est notée, atteignant 0,73 et 0,90 aux concentrations respectives de 6 mg/mL et 7 mg/mL.

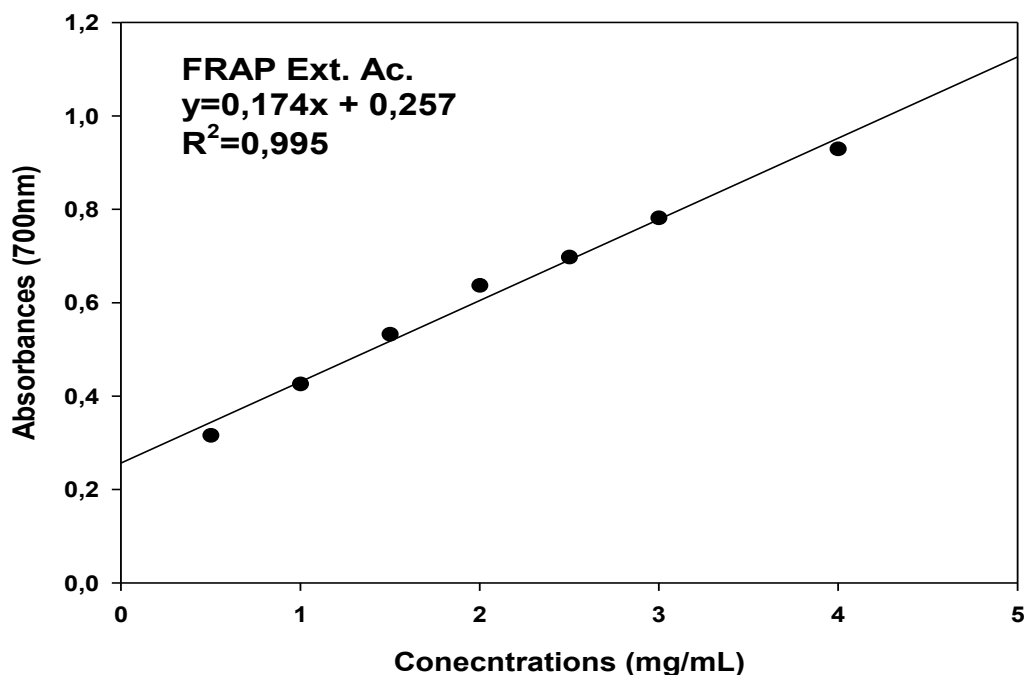
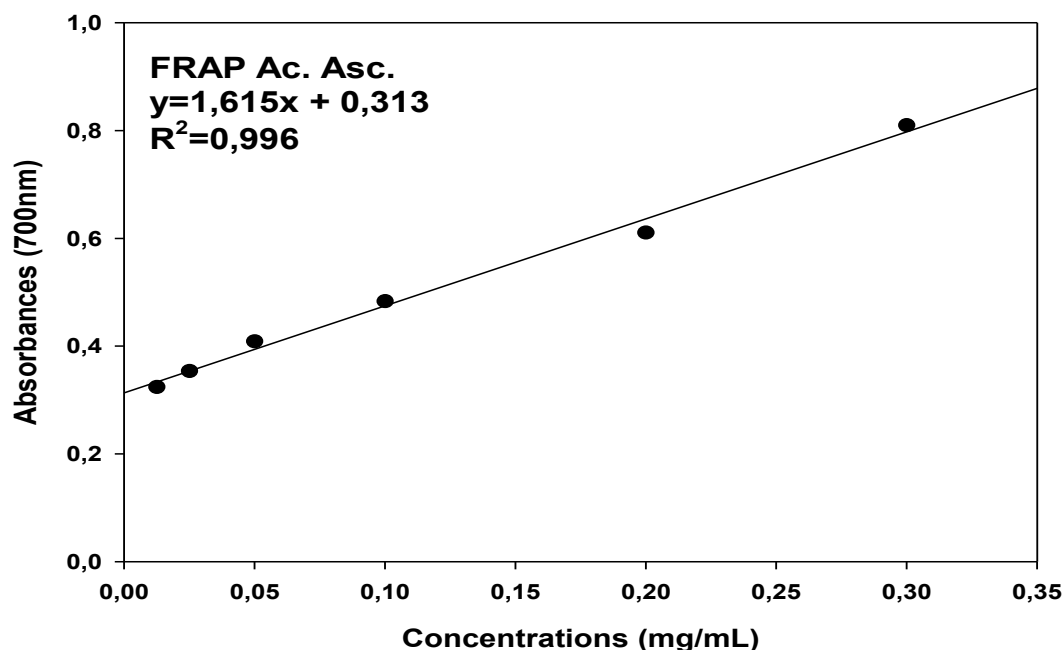


Figure 27 : Pouvoir réducteur du fer par l'extrait eau/acétone (n=3).

Selon le graphique n°27, on observe une augmentation proportionnelle des absorbances aux concentrations de l'extrait, avec une régression linéaire à très forte corrélation ( $R^2=0,99$ ). Pour une concentration à 0,5 mg/mL, nous avons noté une absorbance de 0,32. Ensuite, une augmentation progressive est observée, atteignant 0,78 et 0,93 pour des concentrations respectives de 3 mg/mL et 4 mg/mL.

#### 4.2.2. Réduction du fer par l'acide ascorbique

Les résultats concernant la molécule de référence, à savoir l'acide ascorbique, utilisé pour réduire le fer.



**Figure 28 :** Pouvoir réducteur de fer par l'acide ascorbique (n=3)

Selon la figure on observe qu'à la concentration minimale de 0,0125 mg/mL, on a mesuré une absorbance de 0,32. Quand la concentration atteint 0,1 mg/mL, l'absorbance s'élève à 0,48. Finalement, à une concentration forte de 0,3 mg/mL, on observe une augmentation proportionnelle des absorbances, atteignant 0,81.

#### 4.2.3. Calcul des EC<sub>50</sub>

Les équations de régressions linéaires présentées dans les graphiques précédents servent à déterminer les valeurs d'EC<sub>50</sub>. Le tableau ci-après présente ces valeurs :

**Tableau 12:** Valeurs des EC<sub>50</sub> des différents extraits de *L. sativum* et la molécule de référence.

Extraits	EC <sub>50</sub> (mg/mL)
Extrait aqueux	5,30
Extrait eau/éthanol	3,42
Extrait eau/acétone	1,40
Acide ascorbique	0,12

Une valeur d'EC<sub>50</sub> plus basse est liée à un pouvoir réducteur accru. Il est noté que l'extrait eau/acétone a la plus grande capacité pour réduire le fer (EC<sub>50</sub>=1,40 mg/mL), suivi de

l'extrait eau/éthanol ( $EC_{50}=3,42$  mg/mL). L'extrait aqueux, quant à lui, présente une capacité réductrice inférieure comparativement aux autres extraits ( $EC_{50}=5,30$  mg/mL).

Il convient également de noter que l'acide ascorbique, utilisé dans cette méthode comme contrôle positif, a démontré un pouvoir réducteur supérieur (0,12 mg/mL).

Selon les résultats de l'activité antioxydante, on peut organiser les extraits de la manière suivante :

- DPPH : eau/acétone>eau/éthanol>aqueux
- FRAP : eau/acétone>eau/éthanol>aqueux

**NB** : Il est important de noter que l'ordre d'efficacité des extraits est le même entre les deux méthodes (DPPH et FRAP). Ainsi, l'extrait eau/acétone renferme les teneurs les plus importantes en composés phénoliques par rapport aux autres extraits.

# *Discussion*



De multiples herbes sont couramment employées dans la médecine traditionnelle, alternative, phytothérapeutique ou populaire à travers diverses régions du globe, en plus de leur incorporation dans les produits alimentaires et de parfumerie. La plupart des médicaments utilisés aujourd'hui proviennent de plantes et reposent sur leurs applications traditionnelles, en particulier leurs propriétés antioxydantes et anticancéreuses (**Mahassni et Khudauardi, 2017**).

Notre étude visait à effectuer une analyse phytochimique et une quantification des divers extraits du *L. sativum*, tout en évaluant leur pouvoir antioxydant via la technique de neutralisation du radical DPPH• et la méthode FRAP (Pouvoir Antioxydant Réducteur Fer).

Dans le cadre de notre recherche, nous avons opté pour la technique d'infusion pour préparer les extraits, étant donné qu'il s'agit de la méthode la plus simple et répandue. Nos résultats ont démontré que l'extrait eau/acétone a donné le rendement le plus élevé (7,72 %), suivi par les extraits eau/éthanol et aqueux respectivement (6,1 %, 3,23 %). Lors de l'extraction aqueuse, l'aspect gel est observée ce qui indique la présence notable de mucilage. Sachant que nous avons utilisé 30 g de poudre de graine de *L. sativum*.

Est supérieur à celui obtenu par **Bouchikhi et Mekki (2018)**, qui ont également rapporté un rendement d'extrait éthanolique de 12,4 % pour 230 g de poudre.

Cependant, est plus bas que celui obtenu par **Belkhiri (2018)**, l'extraction des composés phénoliques à partir de la partie aérienne des graines de *L. sativum* a été réalisée en utilisant une solution hydrométhanolique (85 % et 50 %). A partir de cet extrait brut, ils avaient établi trois fractions (fraction chloroformique, fraction d'acétate d'éthyle, fraction aqueuse) qui ont produit les rendements suivants : 12,60 %, 0,293 %, 0,493 % et 11,53 % respectivement. En utilisant la technique de macération, il a employé 100 g de poudre.

Selon les travaux de **Medini et al. (2018)**, l'extraction est réalisée par deux méthodes : la première, traditionnelle (macération), et la seconde, non conventionnelle ou novatrice, (extraction par micro-ondes). Les différences de rendement par macération sont considérables selon le rapport eau/éthanol, les plus grands rendements ont été notés avec l'extrait à 50% d'éthanol (8,84%), suivi de près par l'extrait à 80% d'éthanol (7,08%), puis l'extrait à 20% d'éthanol (4,14%) et enfin l'extrait aqueux (2,38%). Les résultats de l'extraction aux micro-ondes ont démontré que l'éthanol à 80 % est le solvant le plus efficace pour l'extraction des biomolécules (10,5 %), suivi par l'éthanol à 50 % (9,71 %), l'éthanol à 20 % (8,97 %) et l'eau (3,78 %). De plus, l'extraite par micro-ondes a produit le meilleur rendement (80 % d'éthanol, R=10,5 %) pour 10 g de poudre.

D'après **Silva et al. (2007)**, la taille des particules a une grande importance dans l'extraction des composés phénoliques. Il obtient souvent de meilleurs rendements en utilisant des particules plus fines, probablement à cause de l'augmentation de la surface d'interaction entre le solvant d'extraction et la matière sèche.

Le fait de réduire la taille des échantillons par broyage augmente leur surface d'interaction, facilitant ainsi un meilleur contact avec le solvant d'extraction (**Escribano-Bailon et Santos-Buelga, 2003**).

Dans notre travail les études phytochimiques qualitatives de *L. sativum* révèlent la présence de flavonoïdes, de quinones libres et de terpénoïdes dans les trois extraits, alors que les saponosides n'ont pas été observés dans l'extrait eau/acétone. En outre, même si les alcaloïdes n'ont pas été identifiés dans l'extrait aqueux, on les a retrouvés dans d'autres sortes d'extraits. Cependant, aucun des trois extraits ne renferme de tanins, d'anthraquinones ni de composés réducteurs.

Nos résultats montrent une certaine concordance avec ceux obtenus dans l'extrait aqueux d'après la recherche menée par **Beniza et al. (2019)**, l'extrait aqueux des graines de *L. sativum* contient une grande quantité de saponosides, de tanins catéchiques et de mucilages. Il a trouvé des quantités modérées de stéroïdes, de terpénoïdes et d'anthocyanes. Cependant, les alcaloïdes et les tanins galliques n'étaient pas présents. L'extrait méthanolique des graines de *L. sativum* contenait une forte concentration en tanins catéchiques, ainsi qu'une présence modérée de stéroïdes, de terpénoïdes et d'anthocyanes. Toutefois, les saponosides et les mucilages qui étaient présents en grande concentration dans l'extrait aqueux n'étaient pas détectables dans l'extrait méthanolique. Dans cette étude a obtenu l'inverse pour les alcaloïdes (ils sont présents dans l'extrait méthanolique et absents dans l'extrait aqueux).

Selon les travaux de **Chatoui et al. (2016)**, l'analyse phytochimique des extraits méthanoliques, d'éther de pétrole et d'acétate d'éthyle des graines *L. sativum* a mis en évidence plusieurs composés ayant une activité médicale. Il a identifié les composés phytochimiques extraits méthanolique tel que des alcaloïdes, des saponines, des stérols, des tanins, des flavonoïdes et des terpénoïdes, retrouve aussi des saponines et de l'alcaloïde dans l'éther de pétrole et l'acétate d'éthyle.

Il sait avec certitude que le profil phytochimique d'une plante est étroitement associé aux conditions environnementales telles que le climat, l'emplacement géographique, la température, la photopériode, le stade de croissance, etc. Ces éléments ont un impact sur les processus de synthèse des composés actifs végétaux (**Tsai et al., 2008**).

L'analyse quantitative des polyphénols totaux dans nos extraits montre que l'infusion en eau/acétone donne un extrait plus concentré que les autres ( $86,17 \pm 3,01$  mg EAG/gE). En ce qui concerne la concentration en flavonoïdes en tanins, il est évident que l'extrait eau/acétone présente une concentration supérieure comparativement à l'extrait eau/éthanol et à l'extrait aqueux ( $44,54 \pm 0,45$  et  $2,83 \pm 0,13$ , respectivement).

Nos résultats sont nettement plus élevés que ceux rapportés par **Ouattar et al. (2022)**, il a été rapporté que *L. sativum* présente une teneur en polyphénols totaux de  $10,35 \pm 0,73$  mg EAG/g. Dans ce contexte, il a mesuré la concentration en flavonoïdes ( $3,09 \pm 0,048$  mg EQ/g). En ce qui concerne les tanins condensés, les quantités mesurées variaient de 1,4 à 0,22 mg/g.

Nos résultats sont largement supérieurs selon l'étude menée par **Kasabe et al. (2012)**, la quantité de composés phénoliques dans l'extrait de graines de *L. sativum* est estimée à  $0,021 \pm 0,002$  mg EAG/mg.

D'après la recherche **d'Aydemir et Becerik (2011)**, la teneur en composés phénoliques des extraits de graines de *L. sativum* (préparés dans le méthanol, l'éthanol et l'eau distillée) a été déterminée respectivement à  $61,4 \pm 1,58$  mg EAG/100 g ;  $51,0 \pm 1,95$  mg EAG/100 g ; et  $56,3 \pm 1,67$  mg EAG/100 g.

D'après l'étude **d'Abo El-Maati et al. (2016)**, les résultats ont démontré que l'éthanol à 80%, associé à l'extraction par ultrasons, surpassait l'eau distillée avec la technique des micro-ondes en matière d'extraction des composés phénoliques et des flavonoïdes. En effet, pour les composés phénoliques, les valeurs obtenues grâce aux ultrasons étaient de 126,24 mg EAG/g contre 88,08 mg EAG/g pour ceux issus des micro-ondes. Quant aux flavonoïdes, les résultats suivaient la même régression : 7,21 mg EQ/g ; 0,65 mg EQ/g, des valeurs qui peuvent être attribuées à la polarité, à la solubilité adéquate, à la température ainsi qu'au rayonnement électromagnétique des micro-ondes utilisés au cours du processus d'extraction.

Le niveau de composés phénoliques présent dans les extraits des plantes examinées est principalement déterminé par leur provenance (**Ebrahimzadeh et al., 2008**), la variété, la saison de culture, la période de récolte, les conditions météorologiques et environnementales, le site géographique, diverses maladies pouvant toucher la plante ainsi que l'état de maturité de celle-ci (**Park et Cha, 2003**).

D'après notre recherche, le profil de piégeage du radical DPPH• fluctue d'un extrait à l'autre. Les extraits (aqueux, eau/éthanol et eau/acétone) démontrent une significative activité antioxydante ( $IC_{50} = 7,87$  mg/mL,  $4,63$  mg/mL et  $2,86$  mg/mL, respectivement). Par ailleurs,

les résultats relatifs à la méthode FRAP soulignent une aptitude marquée des extraits à réduire le fer, en particulier l'extrait eau/acétone ( $EC_{50} = 1,4 \text{ mg/mL}$ ) vient en tête, suivi de l'extrait eau/éthanol et de l'extrait aqueux ( $3,42 \text{ mg/mL}$  et  $5,30 \text{ mg/mL}$ , respectivement).

Ces résultats montrent que les extraits de *L. sativum* contiennent des molécules dotées d'un potentiel réducteur donneur d'électron.

Une recherche menée par **Chatoui et al. (2016)** sur l'activité antioxydante a révélé qu'un test de piégeage du radical libre DPPH a été réalisé pour mesurer l'activité antioxydante. Les données ont révélé que les extraits méthanoliques de *L. sativum* avaient une valeur  $IC_{50}$  de  $925,22 \pm 0,02 \text{ ppm}$ , alors que l' $\alpha$ -tocophérol (témoin) affichait une valeur de  $50,04 \text{ ppm}$ . Selon les résultats, il constate que les extraits de méthanol de *L. sativum* ont la capacité de céder des protons et jouent le rôle d'antioxydants.

Selon la recherche effectuée par **Shirwaikar et al. (2011)**, l'extrait éthanolique de *L. sativum* présente une  $IC_{50}$  fixé à  $171,13 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  contre le DPPH, ces résultats sont largement inférieurs à nos résultats.

Selon la recherche menée par **Aissous et Bechara (2016)**, les résultats démontrent que l'extrait des graines de *L. sativum* (extrait méthanolique) possède une activité antiradicalaire, avec une valeur  $IC_{50}$  approximative de  $0,137 \text{ mg/mL}$ . Par rapport à l'antioxydant de référence (l'acide ascorbique), qui affiche une  $IC_{50}$  de  $0,015 \text{ mg/mL}$ .

Selon **Rajasekaran & Suresh (2021)**, une concentration de  $100 \mu\text{g/ml}$  de CRU-MeOH (extraction brute simple – CRU) a montré une valeur d' $EC_{50}$  de  $217,82 \pm 12,82$  à  $400 \mu\text{g/mL}$ .

Selon **Bendjleidjel et Hamani (2021)**, les résultats donnent une  $IC_{50}$  de  $0,38 \pm 0,005 \text{ mg/mL}$  et une  $EC_{50}$  de  $0,52 \pm 0,02 \text{ mg/mL}$ . Soulignent que l'extrait hydrométhanolique des graines de *L. sativum* possède une aptitude à piéger des radicaux DPPH et FRAP particulièrement forte.

D'après **Abidat et al. (2025)**, le potentiel réducteur a été évalué en utilisant les tests FRAP pour mesurer l'activité antioxydante. Les 2 extraits de *L. sativum* aqueux et chloroforme, préparés par Soxhlet, ont démontré une forte capacité réductrice ( $EC_{50} = 76,31 \pm 0,45 \mu\text{g/mL}$ ), et pour l'extrait méthanolique ( $EC_{50} = 77,39 \pm 0,25 \mu\text{g/mL}$ ).

Les résultats obtenus par **Aissous et Bechara (2016)**, **Rajasekaran et Suresh (2021)**, **Bendjleidjel et Hamani (2021)**, ainsi que **Abidat et al. (2025)**, ne sont pas en accord avec les résultats obtenus dans notre étude.

Les substances phénoliques sont en corrélation avec les actions anti-radicaux libres observées dans les tests DPPH et FRAP. L'un des principaux atouts des antioxydants, notamment les composés phénoliques, est la protection qu'ils offrent aux cellules contre les dommages causés par les radicaux libres. Ils réalisent cela en neutralisant les radicaux libres et en créant des molécules stables et inoffensives, ce qui aide à prévenir diverses maladies (Beddiar *et al.*, 2021).

# *Conclusion*



L'Algérie se distingue par une biodiversité floristique notable, abritant de multiples plantes aromatiques et médicinales riches en métabolites secondaires aux propriétés thérapeutiques et pharmacologiques. Dans le but de valoriser ces ressources, une analyse phytochimique de l'extrait de la plante aromatique *L. sativum* a été réalisée, accompagnée d'une évaluation de son potentiel antioxydant.

D'après les résultats obtenus dans cette étude, nous pouvons conclure que l'analyse phytochimique effectuée sur la plante *L. sativum* a mis en évidence la présence de métabolites secondaires, principalement des polyphénols, des flavonoïdes et des tanins, et que l'extraction avec le mélange eau/acétone permet d'extraire le maximum des composés phénoliques par rapport aux autres extraits préparés dans l'eau distillée et le mélange eau/éthanol.

On étudie également l'activité antioxydante *in vitro* en utilisant la technique de piégeage du radical libre DPPH et la méthode de réduction du fer (FRAP), chacune visant à cibler un mécanisme d'action des antioxydants. Les deux essais ont démontré que l'extrait eau/acétone présente une activité antiradicalaire significative, avec une IC<sub>50</sub> de 2,86 mg/mL vis-à-vis du DPPH et une EC<sub>50</sub> de 1,40 mg/mL vis-à-vis du fer.

Ce travail ne constitue qu'un aspect de la valorisation des plantes médicinales aux propriétés antioxydantes. Cependant, il est indispensable d'entreprendre d'autres recherches pour compléter ce travail en particulier :

- ✓ Le changement de la technique et du solvant employé pour l'extraction.
- ✓ L'extraction du mucilage issu de *L. sativum* pour l'exploiter comme traitement thérapeutique, grâce aux caractéristiques exceptionnelles de *L. sativum*.
- ✓ L'analyse et l'identification des composés actifs présents dans cette plante en utilisant des techniques chromatographiques et spectrales telles que l'HPLC.
- ✓ Essayer d'autres techniques pour évaluer l'activité antioxydante, comme le test de décoloration du bêta-carotène ou le paramètre total de piégeage des radicaux libres (TRAP).
- ✓ Évaluer l'activité antioxydante *in vivo*.
- ✓ Il est important d'étudier d'autres caractéristiques biologiques comme l'effet anti-inflammatoire, antimicrobien, anti-cicatrisant et antiallergique.

*Références  
bibliographiques*

**A**

- Abidat, H., Saad, S., Karoune, S., Hamida, B., Lahmadi, S., Kechebar, M. S. A., & Rahmoune, I. (2025).** Evaluation of secondary metabolites, antioxidant and enzyme inhibitory activities of *Nigella sativa* and *Lepidium sativum* local seeds cultivated in arid environment: a comparative analysis. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 1-15.
- Abo El-Maati, M. F., Labib, S. M., Al-Gaby, A., & Ramadan, M. F. (2016).** Antioxidant and antibacterial properties of different extracts of garden cress (*Lepidium sativum* L). *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 43(5), 1685-1697.
- Aissous, A., & Bechara, R. (2016).** Caractérisation chimique et activités biologiques d'extrait brut hydroalcoolique des graines de *Lepidium sativum* (Mémoire de master, Université des Frères Mentouri Constantine).
- Alam, M. N., Bristi, N. J., & Rafiquzzaman, M. (2013).** Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 21(2), 143-152. doi: 10.1016/j.jsps.2012.05.002
- Ali-Delille, L. (2013).** Les plantes médicinales d'Algérie. Ed-Berti, Algérie, 102p.
- Arab, K., Rossary, A., Flourie, F., Tourneur, Y., & Stephens, J. P. (2006).** Docosahexaenoic acid enhances the antioxidant response of human fibroblasts by upregulating gamma-glutamyl-cysteinyl ligase and glutathione reductase. *British Journal of Nutrition*, 95, 18-26.
- Ardestani, A., & Yazdanparast, R. (2007).** Antioxidant and free radical scavenging potential of *Achillea santolina* extracts. *Food Chemistry*, 104(1), 21-29.
- Atoui, A. (2005).** Tea and herbal infusions: Their antioxidant activity and phenolic profile. *Food Chemistry*, 89(1), 27-36.
- Atti, I. (2014).** Evaluation des activités antioxydant et antiradicalaire d'un mélange d'épices « Ras el hanout » (Mémoire de master de l'Université KASDI MERBAH, Ouargla, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.
- AYDEMIR, T., & Becerik, S. (2011).** Teneur en phénols et activité antioxydante de différents extraits de graines d'*Ocimum basilicum*, d'*Apium graveolens* et de *Lepidium sativum*. *Journal of food biochemistry*, 35 (1), 62-79.

**B**

- Baba Aissa, F. (2011).** Encyclopédie des plantes utiles, flore méditerranéenne 'Maghreb, Europe méridionale substances végétales d'Afrique, d'Orient et d'Occident. Ed-Elmaarif, Algérie, p : 124-125.
- Badiaga, M. (2011).** Etude ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de *Nauclea Latifolia* Smith une plante médicinale africaine récoltée au Mali (Thèse de doctorat, université de Bamako).

- Bahorun, T. (1997).** Substances naturelles actives : la flore mauricienne, une source d'approvisionnement potentielle.
- Baptista, J. A. B., Tavares, J. F. D., & Carvalho, R. C. B. (1998).** Comparison of catechins and aromas among different green teas using HPLC/SPME-GC. *Food Research International*, 31, 729–736.
- Barzegari, A. (2020).** Prétraitements antioxydants des cellules souches mésenchymateuses contre le stress oxydatif et le déficit respiratoire : Étude des mécanismes cellulaires et moléculaires (Thèse de doctorat, Université Paris 13).
- Bedard, K., & Krause, K. H. (2007).** The NOX family of ROS-generating NADPH oxidases: Physiology and pathophysiology. *Physiological Reviews*, 87(1), 245-313.
- Beddiar, H., Boudiba, S., Benahmed, M., Tamfu, A.N., Ceylan, Ö., Hanini, K., Kucukaydin, S., Elomri, A., Bensouici, C., Laouer, H. (2021).** Chemical composition, anti-quorum sensing, enzyme inhibitory, and antioxidant properties of phenolic extracts of *Clinopodium nepeta* L. Kuntze. *Plants (Basel)*. 10(9) :1955. Doi : 10.3390/plants10091955.
- Belbache, H. (2003).** Investigation phytochimique de l'extrait chloroforme de *Centaurea Parviflora* Desf (Mémoire de magister en chimie organique, Université Mentouri Constantine).
- Belkhiri, F. (2018).** Activité Antimicrobienne et Antioxydante de deux Plantes Médicinales : *Salvia verbenaca* et *Lepidium sativum* (thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas, Sétif 1).
- Bellebcir, L. (2008).** Etude des composés phénoliques en tant que marqueurs de biodiversité chez les céréales. Thèse de Magister en Biologie appliquée. Université de Mentouri, Constantine 1.
- Benamara, M., Djebbar, M.-R., & Hichem, N. (2021).** Dynamique et comportement de certains modèles biologiques vis-à-vis d'une pollution par des pesticides et des nanoparticules métalliques (Thèse de doctorat, Université Chadli Bendjedid, El Tarf).
- Bendjleidjel, K., & Hamani, M. (2021).** Dosage des antioxydants et l'évaluation in vitro de l'activité antioxydante des graines de *Lepidium sativum* L (Mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem).
- Beniza, M., Boudjenane, H., Chikhaoui N. (2019).** Bioactivité du mélange : fruit (*Phoenix dactylifera* L.) et graines (*Lepidium sativum*) (Mémoire master, Université Ibn Khaldoun, Tiaret).
- Bertelli, A. A., & Das, D. K. (2009).** Grapes, wines, resveratrol, and heart health. *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, 54, 468-476.
- Bigoniya, P, Singh, C.S., Shukla, A. (2011).** Pharmacognostical and physicochemical standardization of ethnopharmacologically important seeds of *Lepidium sativum* Linn. and *Wrightia tinctoria* R. Br. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 2(4), 464-471.

- Boligon, A. A., Machado, M. M., & Athayde, M. L. (2014).** Technical evaluation of antioxidant activity. *Medicinal Chemistry*, 4(7), 517-522.
- Bonnier, G. (2011).** Plantes médicinales, plantes mellifères, plantes utiles et nuisibles. France: Belin. 72 p.
- Boros, B., Jakabova, S., Dornyei, A., Horvath, G., Pluhar, Z., Kilar, F., Felinger, A. (2010).** Determination of polyphenolic compounds by liquid chromatography–massspectrometry in *Thymus* species. *Journal of Chromatography A*, 1217, 7972-7980.
- Bouchikhi, S., & Mekki, A. (2018).** Exploration des activités biologiques de l'extrait des graines de *Lepidium sativum* linn. In vitro et in vivo (Mémoire de master, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem).
- Boudjouref, M. (2011).** Etude de l'activité antioxydante et antimicrobienne d'extraits d'*Artemisia campestris* L (Thèse de Magister en Biochimie, Université Ferhat Abbes, Sétif).
- Bouhadjra, K. (2011).** Étude de l'effet des antioxydants naturels et de synthèse sur la stabilité oxydative de l'huile d'olive vierge (Thèse de doctorat, UMMTO).
- Bouldjadj, R. (2009).** Étude de l'effet antidiabétique et antioxydant de l'extrait aqueux lyophilisé d'*Artemisia herba alba* Asso (Thèse de magister, Université Mentouri Constantine 1).
- Boutaghane, N. (2013).** Etude phytochimique et pharmacologique de plantes médicinales Algériennes *Genista ulicina* Spach (Fabaceae) et *Chrysanthemum macrocarpum* (Asteraceae) (Thèse Présentée pour obtenir le diplôme de Doctorat en sciences., Université de Constantine 1).
- Bruneton, J. (1999).** Pharmiognosie, phytochimie, plantes médicinales, 2eme édition, Paris : Editions médicales internationales, Tec. Et Doc Lavoisier, p 1120.
- Bruneton, J. (1999).** Pharmacognosie ; phytochimie ; plante médicinale. 3ème édition. Tec et Doc (ED). Paris, 658p.
- Burkill, H.M. (1985).** The useful plant of west tropical Africa. 2ème Ed. Families A-D. Royal Botanic Gardens, Kew, United Kingdom. 960 pp.
- Büyüktuncel, E., Porgalı, E., Çolak, C. (2014).** Comparison of Total Phenolic Content and Total Antioxidant Activity in Local Red Wines Determined by Spectrophotometric Methods, *Food and Nutrition Sciences*, 5, 1660-166

## C

- Catier, O. & Roux, D. (2007).** Botanique, pharmacognosie, phytothérapie. France : Wolters Kluwer. 141 p.

- Chatoui, K., Talbaoui, A., Aneb, M., Bakri, B., Harhar, H., Tabyaoui, M. (2016).** Phytochemical screening, antioxidant and antibacterial activity of *Lepidium sativum* seeds from Morocco. *J Mater Environ Sci*, 7 : 2938-2946.
- Clement, R.P. (2005).** Aux racines de la phytothérapie : entre tradition et modernité. *Phytothérapie*, 3, 171-175.
- Colette, E. (2003).** Etude phytochimique et pharmacologique de 5 recettes traditionnelles utilisées dans le traitement des infections urinaires et de la cystite. Thèse Pharmacie Bamako.
- Cyril, T. (2001).** Étude des métabolismes primaires et secondaires de racines transformées de *Catharanthus Roseusen*, vue du développement d'un modèle cinétique (Université de Montréal).
- Cuendet, M. (1999).** Recherche de nouveaux composés capteurs de radicaux libres et antioxydants à partir d'une plante d'Indonésie : « *Fagraeablumei* » (Loganiaceae) et de trois plantes d'altitude : « *Bartsiaalpinia* » (Scrophulariaceae), « *Loiseleuriaprocumbens* » (Ericaceae) et Camp (Thèse de doctorat).
- Cunningham, A.B. (1993).** African medicinal plants: setting priorities at the interface between conservation and primary healthcare. *People and Plants Working Paper*. UNESCO.

## D

- Datta, P.K., Diwakar, B.K., Viswanatha, S., Murthy, K.N., Naidu. (2011).** Des études d'évaluation de sécurité KA Garden cress (*Lepidium sativum* L.) des graines chez le rat Wistar. *Int. App J.Res. Nat. Prod*, 4, 37- 43.
- Davies, M. J. (2016).** Protein oxidation and peroxidation. *Biochemical Journal*, 473(7), 805-825.
- Dehak, K. (2013).** Méthode d'extraction et de séparation des substances naturelles. Doctorat de chimie : analyse physicochimique et réactivité des espèces moléculaires (Université, d'Ouargla).
- Deicher, R., Ziai, F., Bieglmayer, C., Schillinger, M., & Hörl, W. H. (2005).** Low total vitamin C plasma level is a risk factor for cardiovascular morbidity and mortality in hemodialysis patients. *Journal of the American Society of Nephrology*, 16, 1811–1818.
- Delattre, J., Beaudoux, J.L., & Bonnefont-Rousselot, D. (2007).** Radicaux libres et stress oxydant : aspects biologiques et pathologiques. Paris : Editions Tec & Doc ; Cachan : Editions médicales internationales.
- Demirci-Çekiç, S., Özkan, G., Avan, A. N., Uzunboy, S., Çapanoğlu, E., & Apak, R. (2022).** Biomarkers of Oxidative Stress and Antioxidant Defense. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 209, 114-477.doi: 10.1016/j.jpba.2021.114477

**Desmier, N. (2016).** Les antioxydants de nos jours : Définition et applications (Thèse de doctorat, Université de Limoges).

**Dubois-Deruy, E., Peugnet, V., Turkieh, A., & Pinet, F. (2020).** Oxidative Stress in Cardiovascular Diseases. *Antioxidants* (Basel, Switzerland), 9(9), 864. doi: 10.3390/antiox9090864

**Dutertre, J. M. (2011).** Enquête prospective au sein de la population consultant dans les cabinets de médecine générale sur l'île de la Réunion : à propos des plantes médicinales, utilisation, effets, innocuité et lien avec le médecin généraliste. Thèse doctorat d'état, Université. Bordeaux 2-Victor Segalen U.F.R des sciences médicales, France, p 33.

## E

**Eberhard, T., Robert, A., Annelise, L. (2005).** Plantes aromatiques (épices, aromates, condiments et huiles essentiels. Edition Lavoisier, Paris, pp : 204, 205, 206.

**EM-Consulte. (2023).** Connaissance du rôle des radicaux libres et des antioxydants dans la population générale française. *Fas Fas and Endocrinology*, 12. doi: 10.1016/j.fander.2023.09.471

**Ebrahimzadeh, M. A., Pourmmorad, F. and Hafezi, S. (2008).** Antioxidant activities of Iranian corn silk. *Turkish journal of biology*, 32: 43-49.

**Escribano-Bailon, M.T., Santos-Buelga, C. (2003).** Extraction from foods. *Methods in polyphenol analysis*, 1-16.

**Evenamede, K. S., Kpegba, K., Simalou, O., Boyode, P., Agbonon, A., & Gbeassor, M. (2017).** Étude comparative des activités antioxydantes d'extraits éthanoliques de feuilles, d'écorces et de racines de *Cassia sieberiana*. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(6), 2924-2935.

## F

**Favier, A. (2003).** Le stress oxydant : intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'Actualité Chimique*, décembre 2003, numéro spécial « La chimie dans les sciences médicales », 103-109.

**Facciola, S., Cornucopia, A. (1990).** *Source Book des plantes comestibles* ; Kampong Publications : Vista, CA, USA.

**Ferreira, I. C., Baptista, P., Vilas-Boas, M., Barros, L., & Barreira, J. C. (2007).** Free radical scavenging capacity and reducing power of wild edible mushrooms from northeast Portugal: individual cap and stipe activity. *Food chemistry*, 100(4), 1511-1516

**Fichier canadien sur les éléments nutritifs (2010).**

**Fontaine, E. (2007).** Radicaux libres. In *Traité de nutrition artificielle de l'adulte* (pp. 295-310). Springer.

**Fournier, P.V. (2010).** Dictionnaire des plantes médicinales et vénéneuses de France. Edition Omnibus, France, p: 731-732

## G

**Gani, A., Wani, S.M., Masoodi, F.A., Gousia, H. (2012).** Whole-Grain Cereal Bioactive Compounds and Their Health Benefits: A Review (Department of Food Science and Technology, University of Kashmir, India).

**Garcia, E. J., Oldoni, T. L. C., Alencar, S. M. D., Reis, A., Loguercio, A. D., & Grande, R. H. M. (2012).** Antioxidant activity by DPPH assay of potential solutions to be applied on bleached teeth. *Brazilian Dental Journal*, 23, 22-27.

**Ghzaïel, I. (2022).** Implication du stress oxydatif, de l'inflammation, du dysfonctionnement mitochondrial et peroxysomal dans le vieillissement musculaire : Aspects Biologiques et Cliniques (Thèse de doctorat, Université Bourgogne Franche-Comté ; Université de Tunis El Manar). (NNT : 2022UBFCK056).

**Gravot, A. (2008).** Introduction au métabolisme secondaire chez les végétaux. Equipe pédagogique Physiologie Végétale, UMR 118 APBV (Université de Rennes 1).

**Gulcin, İ. (2020).** Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. *Archives of Toxicology*, 94(3), 651–715. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02689-3>

## H

**Hamidpour, M., Hamidpour, R., Hamidpour, S., Shahlari, M. (2014).** Chemistry, Pharmacology, and Medicinal Property of Sage (*Salvia*) to Prevent and Cure Illnesses such as Obesity, Diabetes, Depression, Dementia, Lupus, Autism, Heart Disease, and Cancer. *Journal of Traditional and Complementary Medicine* 4 (2014) 82-88

**Harbone, B. (1998).** phytochemical methodes: Aguide to moderntechnique of plant analysis. Champman and Hall, London.

**Hopkins, G.W. (2003).** Physiologie végétale. Boeck université. 2ème édition. Huemer.M; Vonblon.K; Fodinger.M, 2006: Total homocysteine, folate, and cobalamin, and their relation to genetic polymorphisms, lifestyle and body mass index in healthy children and adolescents. *Pediatr.Res.* 60: 764-769.

[https://gingoodvs.click/product\\_details/91806252.html](https://gingoodvs.click/product_details/91806252.html).

## I

**Ihoual, S., karaali, W., & Abidli, N. (2017).** Antioxydant, anti-prolifératif et induction de l'apoptose par l'extrait méthanolique de *Phlomis samia* d'Algérie. *Der Pharma Chemica*. (Laboratoire de biologie et d'environnement, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université Constantine 1, Constantine ; Algérie Département de biologie, Lycée de Kouba, Alger, Algérie).

**Iserin, P. (2001).** Larousse des plantes médicinales : identification, préparation, soin. Paris. 336 p.

## J

**Jansen, P. (2007).** PROTA Network Office Europe, Wageningen University, P.O. Box 341, 6700 AH Wageningen, Netherlands.

**Jayaprakasha, G.K., Girenavar, B., Patil, S. B. (2008).** Radical scavenging activities of Rio Red grape fruits and Sour orange fruit extracts in different in vitro model systems. *Bioresource Technology*, 99: 4484–4494.

**Jean-Yves, C. (2010).** Plantes médicinales et formes plantes médicinales d'utilisation en phy et forme d'utilisation en phytothérapie tothé (Thèse de Doctorat, Univ HENRI POINCARÉ - NANCY 1).

**Jolivel, A. (2013).** Glutathion : antioxydant, détoxiquant, immunostimulant. *Nature Algue*.

**Justin, N. K., Edmond, S., Ally, R. M., Xin, H. (2014).** Plant Secondary Metabolites: Biosynthesis, Classification, Function and Pharmacological Properties. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2: 377-392.

## K

**Kasabe, P. J., Patil, P. N., Kamble, D.D., et Dandge, P.B. (2012).** Analyse nutritionnelle, élémentaire et activité antioxydante des graines de cresson alénois (*Lepidium sativum* L.). *Revue internationale de pharmacie et des sciences pharmaceutiques*, 4 (3), 392-395.

**Khalidi, A., Meddah. B., Moussaoui, A., Benmehdi, H. (2012).** Screening phytochimique et effet antifongique de certains extraits de plantes sur le développement in vitro des moisissures. *European Journal of Scientific Research* 80(3), 311-321.

**Khelifi, A., Sid, M. (2021).** L'importance des nutriments comme les antioxydants pour lutter contre le stress oxydatif (Mémoire de master de l'Université Frères Mentouri Constantine 1).

**Kotha, R. R., Tareq, F. S., Yildiz, E., & Luthria, D. L. (2022).** Oxidative Stress and Antioxidants-A Critical Review on In Vitro Antioxidant Assays. *Antioxidants*, 11(12), 2388. doi : 10.3390/antiox11122388

**Kothe, H.W. (2007).** 1000 plantes aromatiques et médicinales. France : Terres. 335 p.

## L

**Lévy, E. (2020).** Maladies neurodégénératives et stress oxydant (Thèse de doctorat, Université Paris-Saclay). (NNT : 2020UPASB028).

**Li, C., Li, L., Chen, S., Zhang, J., & Lu, W. (2020).** Antioxidant Nanotherapies for the Treatment of Inflammatory Diseases. *Frontiers In Bioengineering and Biotechnology*, 8. doi: 10.3389/fbioe.2020.00200

## M

- Macheix, J.J., Anine, F., Christian, J. A. (2005).** Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. PPUR presses polytechniques.
- Mahassni, S.H., Khudauardi, E.R., (2017).** The Effects of an Aqueous Extract of *Lepidium sativum* Seeds on Levels of Immune Cells and Body and Organs Weights in Mice. *Journal of Ayurvedic and Herbal Medicine*, 3(1): 27-32.
- Mancer, R., & Slimani, S. (2023).** Etude ethnobotanique des plantes médicinales dans la commune Yakouren (Wilaya de Tizi-Ouzou) (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Mauro, N.M. (2006).** Synthèse d'alcaloïdes biologiquement actifs : la (+) -anatoxine-a et la (±) -camptothécine, thèse doctorat, l'université Joseph Fourier Grenoble, p13, 16-28.
- MEDDOUR, A., YAHIA, M., BENKIKI, N., AYACHI A. (2013).** Étude de l'activité antioxydante et antibactérienne des extraits d'un ensemble des parties de la fleur du *Capparis Spinosa* L. *Lebanese Science Journal*. 14, 49-60.
- Medini, F., Ben Hamida, M., Atwi, A., & Ksouri, R. (2018).** Effect of eco-extraction on polyphenols contents and antioxidant activity of *Lepidium sativum* seeds. *Journal of New Sciences*, (54), Article 04.
- Miara, M. D., Ait Hammou, M., & Hadjadj Aoul, S. (2013).** Phytothérapie et taxonomie des plantes médicinales spontanées dans la région de Tiaret (Algérie). *Phytothérapie*, 11(4), 206-218.
- Migdal, C., & Serres, M. (2011).** Espèces réactives de l'oxygène et stress oxydant. *Médecine/Sciences*, 27(4),405-412. doi: 10.1051/medsci/2011274017
- Mogh, S., Laud, D., Bawanka, M., Mogh, R., Joshi, S., Ad, G., Banso, I., Hadke, A., (2016).** Micropropagation of *Lepidium Sativum*, *Int. J. of Life Sciences*, 6, 141-144.
- Mohammedi, Z. (2013).** Etude Phytochimique et Activités Biologique de quelques Plantes médicinales. Tlemcen Algérie, Université, Nord et Sud-Ouest de l'Algérie.
- Mohd Zaffarin, A. S., Ng, S. F., Ng, M. H., Hassan, H., & Alias, E. (2020).** Pharmacology and pharmacokinetics of vitamin E: Nanoformulations to enhance bioavailability. *International Journal of Nanomedicine*, 15, 9961-9974. doi: 0.2147/IJN.S276355

## N

- Newman, D.J., Cragg, G.M., (2012).** Natural Products as Sources of New Drugs over the 30 Years from 1981 to 2010. *J. Nat. Prod.* Vol. (75) : 311 -335.

## O

- O.M.S (Organisation Mondiale de la Santé). (2000).** Principes méthodologiques généraux pour la recherche et l'évaluation de la médecine traditionnelle.

**Ouattar, H., Zouirech, O., Kara, M., Assouguem, A., Almutairi, S. M., Al-Hemaid, F. M., Rasheed, R. A., Ullah, R., Abbasi, A. M., Aouane, M., & Mikou, K. (2022).** In Vitro Study of the Phytochemical Composition and Antioxidant, Immunostimulant, and Hemolytic Activities of *Nigella sativa* (Ranunculaceae) and *Lepidium sativum* Seeds. *Molecules*, 27(18), 5946. doi: 10.3390/molecules27185946

**Özyürek, M., Güçlü, K., & Apak, R. (2011).** The main and modified CUPRAC methods of antioxidant measurement. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 30(4), 652-664. doi: 10.1016/j.trac.2010.11.016

## P

**Park, H. J. and Cha, H.C. (2003).** Flavonoids from leaves and exocarps of the grape Kyoho. *Korean journal of biological society*, 7 : 327-330.

**Pastre, J. (2005).** intérêt de la supplémentation en antioxydants dans l'alimentation des carnivores domestiques. Thèse doctorat. Ecole nationale vétérinaire de toulouse.

**Prajapati, V. D., Maheriya, P. M., Jani, G. K., Patil, P. D., & Patel, B. N. (2014).** *Lepidium sativum* Linn.: A current addition to the family of mucilage and its applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 65, 72–80. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2014.01.008

**Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005).** Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290-4302.

## R

**Radman, B., Al-Khatib, B., Alaizeri, Z., Al-tamimi, A., Thahibi, A., Mohan, R., Alhadlaq, H., Ahemed, M., (2022).** Histology and radiography studies of effects of *Lepidium sativum* seeds on bone.

**Rajasekaran, R., & Suresh, P. K. (2021).** Méthodes physiques et chimiques d'extraction de molécules bioactives de *Lepidium sativum* Linn. Et criblage et sélection d'extraits basés sur l'activité antioxydante—corrélats probables basés sur l'analyse phytochimique, la chromatographie et la spectroscopie de masse. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 14(6), 3082-3092. doi: 10.52711/0974-360X.2021.00539

**Rakotonanahary, M. (2012).** Thèse présentée pour l'obtention du titre de docteur en pharmacie diplôme d'état, université Joseph Fourier. P16, 19, 27, 28.

## S

**Salhi, S., Fadli, M., Zidane, L. & Douira, A. (2010).** Etudes floristique et ethnobotanique des plantes médicinales de la ville de Kénitra (Maroc). *Lazaroa* 31 : 133-146

**Sanago, R. (2006).** Le rôle des plantes médicinales en médecine traditionnelle.

**Sat, I.G., Yildirim, E., Turan, M., Demirbas, M. (2013).** Antioxidant and nutritional characteristics of garden cress (*Lepidium sativum*) ,175- 176.

- Schippers, R. R. (2000).** African indigenous vegetables an overview of the cultivated species (Natural Resources Institute/ACP-EU Technical Center for Agricultural and Rural Cooperation, Chatham, United Kingdom. 214 p).
- Schmelzer, G. H., & Gurib-Fakim, A. (Éds.). (2008).** Ressources végétales de l'Afrique tropicale, 11(1) : Plantes médicinales 1. PROTA (Plant Resources of Tropical Africa). <https://edepot.wur.nl/417630>
- Sharifi-Rad, M., Anil Kumar, N. V., Zucca, P., Varoni, E. M., Dini, L., Panzarini, E., Rajkovic, J., Tsouh Fokou, P. V., Azzini, E., Peluso, I., Mishra, A. P., Nigam, M., El Rayess, Y., El Beyrouthy, M., Polito, L., Iriti, M., Martins, N., Martorell, M., Docea, A. O., ... Cho, W. C. (2020).** Lifestyle, oxidative stress, and antioxidants: Back and forth in the pathophysiology of chronic diseases. *Frontiers in Physiology*, 11, 694.
- Shirwaikar, A., Patel, B., Kamariya, Y., Parmar, V., & Khan, S. (2011).** In vitro free radical scavenging potential of defatted ethanolic extract of the seeds of *Lepidium sativum* Linn. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 9(6), 435-440.
- Shiv, K. (2011).** Free Radicals and Antioxidants: Human and Food System. *Adv. Appl. Sci. Res.* 2 (1): 129-135.
- Sies, H. (1991).** In *Oxidative stress, oxidants and antioxidants*. Londres: Academic Press.
- Sies, H. (2017).** Hydrogen peroxide as a central redox signaling molecule in physiological oxidative stress: Oxidative eustress. *Redox Biology*, 11, 613-619.
- Sies, H. (2020).** Oxidative Stress: Concept and Some Practical Aspects. *Antioxidants* (Basel, Switzerland), 9(9), 852. doi : 10.3390/antiox9090852
- Silva, E., Rogez, H., Larondelle, Y. (2007).** Optimization of extraction of phenolics from *Ingaedulis* leaves using response surface methodology. *Separation and Purification Technology*, 55: 381-387.
- Simic, P., Vukovic-Gacic, B., Knezevic-Vukcevic, J., Trninic, S., Jankov, R.M. (1997).** Antimutagenic effect of terpenoids from sage (*Salvia officinalis*.L). *Journal of environmental pathology, Toxicology and Oncology*.
- Singh, S. (2007).** From exotic spice to modern drug? *Cell*, 130, 765-768.
- Sofowora, A. (2010).** *Plantes médicinales et médecine traditionnelle d'Afrique*. Karthala, Economie et Développement. Paris : 384
- Sun, B., Ricardo-da-Silva, J.M., Spranger, I. (1998).** Facteurs critiques de l'essai sur la vanilline pour catéchines et proanthocyanidines. *Journal de chimie agricole et alimentaire*, 46, 4267-4275.

## T

- Talbi, H., Boumaza, A., El-mostafa, K., Talbi, J., & Hilali, A. (2015).** Évaluation de l'activité antioxydante et la composition physico-chimique des extraits méthanolique

et aqueux de la *Nigella sativa* L. *Materials and Environmental Science*, 6(4), 1111-1117.

**Tamuly, C., Hazarika, M., & Boruah, P. (2014).** Antioxidant potential and phytochemical screening of different parts of *Centella asiatica* (Linn.) Urban collected from Dibrugarh district, Assam, Northeast India. *International Journal of Herbal Medicine*, 2(3), 01-05.

**Tinggi, U. (2008).** Selenium: Its role as antioxidant in human health. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 13, 102–108.

**Thomas, O. P. (2009).** Métabolisme secondaire et Biosynthèse (Mémoire de master, Université Nice Sophia Antipolis).

**Topçu, G., Ay, M., Bilici, A., & Sarikurkcu, C. (2007).** Activités antioxydantes de certains extraits de plantes Lamiacées. *Recherche en Phytothérapie : Une revue internationale consacrée à l'évaluation pharmacologique et toxicologique des dérivés de produits naturels*, 21(7), 622-625.

**Topcu, G., & Gören, A. C. (2007).** Biological activity of diterpenoids isolated from Anatolian Lamiaceae plants. *Records of Natural Products*, 1(1), 1-16.

**Tsai, P.J., Wua, S.C., Cheng, Y.K. (2008).** Role of polyphenols in antioxidant capacity of Napier grass from different growing seasons. *Food Chemistry*. 106: 27-32.

## V

**Vaishnavi, R. G., & Choudhary, P. (2020).** Botanical description of garden cress (*Lepidium sativum* L.) plant and physical characteristics of its seeds. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(5), 2424-2428.

**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.

**Vanhaudenarde, X. (2020).** Quelles solutions apporter à la problématique du stress oxydatif ? (Mémoire, Université catholique de Louvain. Prom: Tagliatti, Vanessa).

**Vermerris, W., & Nicholson, R. (2007).** Phenolic compound biochemistry. Springer Science & Business Media.

## W

**Wadhwa, S., Panwar, M. S., Agrawal, A., Saini, N., & Patidar, L. P. L. (2012).** A Review on pharmacognostical study of *lepidium sativum*. *Advance Research in Pharmaceuticals and biologicals*, 2(4), 3163-23.

**Wilhelm, N. (1998).** Botanique générale. 10eme Ed. De boeck. Paris, bruxcelles. 319p.

## Y

**Yang, C. C., Hsu, S. P., Wu, M. S., Hsu, S. M., & Chien, C. T. (2006).** Effects of vitamin C infusion and vitamin E-coated membrane on hemodialysis-induced oxidative stress. *Kidney International*, 69, 706-714.

**Z**

**Zbadi, R., Mohti, H., & Moussaoui, F. (2018).** Stress oxydatif : évaluation du pouvoir antioxydant de quelques plantes médicinales. *Médecine thérapeutique*, 24(2), 134-141.

**Zibouche, S. (2014).** Les composés phénoliques : Origine, toxicité et voies d'élimination. (Mémoire de master, Ecole nationale polytechnique).