



République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
Faculté Des Sciences de La Nature et de La Vie

Département de Biologie

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER EN SCIENCE BIOLOGIQUE
Spécialité : **Pharmacotoxicologie.**

Par
EL MECHERFI IKRAM
&
LAREDJ BATOUL

Thème :

**Contribution à l'étude phytochimique et l'activité antioxydante des
graines de *Portulaca oleracea L.***

Soutenu le 10/06/2024 devant le jury composé de :

| | | | |
|-------------|-----------------------|-----|--------------------------|
| Président | DOUCHENE Salima | MCA | Université de Mostaganem |
| Encadreur | BENHAMIMED Elattafia | MCA | Université de Mostaganem |
| Examinateur | CHENIN BENDIAB Hadjer | MAB | Université de Mostaganem |

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

Alhamdo li Allah, qui nous a éclairé les voies de la science et de la connaissance et qui nous a aidé et bénis tout au long de travail. C'est grâce à Sa clémence infinie que nous avons pu mener à bien cette recherche modeste.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadrante, M^{me} **BENHAMIMED Elattafia**, pour son suivi attentif, ses précieux conseils et son soutien constant tout au long de la réalisation de ce mémoire. Vos connaissances approfondies et votre expertise ont été essentielles à l'aboutissement de ce travail.

Nous tenons à remercier les membres du jury :

M^{me} **DOUICHENE Salima** d'avoir accepté de présider le jury de ce mémoire

M^{me} **CHENINI BENDIAB Hadjer**, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à Monsieur le Professeur **Djebli Nourredine** pour nous avoir accueillis chaleureusement dans son laboratoire de recherche Pharmacognosie Api Phytothérapie, pour son écoute attentive et sa bienveillance, Vos connaissances approfondies et votre expertise inestimable ont été cruciales pour la réussite de ce modeste travail.

Nous remercions du plus profond de notre cœur Dr M^{me} **MOSTEFA Nadjjet** pour sa générosité sans faille, son encouragement constant et le temps précieux qu'elle nous a si généreusement accordé. Votre aide morale inestimable et votre présence bienveillante restera à jamais gravées dans nos mémoires et nos cœurs. Vous avez été un soutien inappréciable tout au long de ce parcours.

Nous tenons à exprimer notre gratitude à l'Ingénieure de laboratoire, M^{me} **MDJAHED Wahiba**, pour son aide précieuse et sa disponibilité tout au long de nos manipulations.

Nous remercions vivement le Professeur **MKHATRIA Djilali** pour ses conseils avisés, son soutien indéfectible et pour avoir su nous remonter le moral dans les moments les plus difficiles. Votre aide a été déterminante pour mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons à remercier gracieusement toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Aucune lettre ne saurait trouver les mots justes, aucun mot ne pourrait exprimer pleinement la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance que je ressens.

C'est donc tout simplement que je dédie ce mémoire à :

Mes chers parents « El mecherfi Mohamed » et « Bouterfa Djamila », merci pour leur soutien indéfectible, leur patience et leurs encouragements tout au long de mon parcours scolaire. Que Dieu les préserve et leur accorde la santé pour le restant de leurs jours.

A mon grand-père « Bouterfadjilali » qui as toujours été un modèle pour moi,
Merci d'avoir été un grand-père si exceptionnel.

À la mémoire de mes grand-mères et de mes chères tantes Naima et Amina, j'aurais tant aimé que vous soyez présentes avec nous aujourd'hui. Que Dieu accueille vos âmes dans Sa sainte miséricorde.

Mon chère frère Omar, ta présence bienveillante et ton soutien inconditionnel m'ont été d'un réconfort inestimable

À mes chers frères Nadir et Abderrahmane, ainsi qu'à mes belles-sœurs Sana et Nihed,
Bien que loin des yeux, vous êtes toujours près du cœur.

À mon petit morceau de sucre, ma chère et adorable nièce Nayla,

À mon fiancé, qui a toujours marché à mes côtés, dans les bons comme dans les mauvais jours

À mon binôme et meilleure amie Batoul, ton amitié sincère, ta bienveillance et ton soutien inconditionnel ont été des piliers essentiels sur lesquels j'ai pu m'appuyer tout au long de notre parcours.

Mes chères amies : Radia, Sabria, Khadija, Ikram, Iness et Nesrine. Nos moments de complicité, nos fous rires et nos encouragements mutuels ont rendu cette aventure encore plus enrichissante et mémorable.

Et à toutes ma famille et à tous ceux que je n'ai pas mentionnés.

Que Dieu vous bénisse tous et vous accorde Sa grâce éternelle.

Votre amour, votre soutien et votre guidance ont été essentiels pour moi.

Je vous dédie ce travail avec toute ma gratitude et mon affection la plus profonde.



 Ikram

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À mes chers parents bien-aimés, “Laredj Mohamed” et “Ould said Ghania”, pour votre amour inconditionnel, votre soutien indéfectible et vos sacrifices sans limite. Vous avez toujours cru en moi et m'avez donné les moyens de réussir. Ce diplôme est le vôtre autant que le mien.

À mes chères sœurs Radia et Kaouter, ainsi qu'à mon frère Belkacem. Merci d'avoir été présents à mes côtés dans les moments de joie comme dans les moments de défi. Votre affection fraternelle a été une source de force inestimable.

À Tata Samira et Ymene ainsi qu'à mon oncle Belkacem. Votre bienveillance et vos encouragements ont été d'un grand réconfort pour moi.

À ma tante bien-aimée, Zohra, dont les encouragements constants et l'aide précieuse ont été un soutien inestimable.

À mes précieuses amies Loubna, Ikram, Sabria, Khadidja, Ines et Ikram. Merci pour votre présence rassurante. Nos éclats de rire et les bons moments passés ensemble resteront à jamais gravés dans ma mémoire. Je chéris notre amitié et prie pour qu'elle continue à s'épanouir avec le temps.

Une mention toute particulière pour **Tata Hamida**, qui nous a malheureusement quittés. Tata Hamida, vous avez toujours été une figure bienveillante et aimante dans ma vie. Votre sagesse, votre générosité et votre soutien inconditionnel m'ont profondément marquée. Ce mémoire est dédié à votre mémoire, RAHIMAKI ALLAH

Au peuple palestinien, qui incarne depuis des décennies la lutte pour la liberté, la justice et l'autodétermination de leur peuple. Que Dieu vous bénisse et vous guide sur la voie de la liberté.

Une mention toute particulière à toi, Ikram, mon binôme et meilleure amie. Ton soutien indéfectible, ta générosité et ta complicité ont été essentiels à la réalisation de ce mémoire. Merci d'avoir été à mes côtés tout au long de notre parcours.

Et à toutes ma famille et à tous ceux que je n'ai pas mentionnés.

Que Dieu vous bénisse tous et vous récompense pour votre soutien inestimable



 Batoul

Résumé

Le pourpier *Portulacaoleracea* L. est une plante qui appartient à la famille des Portulacaceae, elle est utilisée pour ses propriétés médicinales et nutritionnelles. Nous nous sommes intéressés à l'étude phytochimique et l'activité antioxydante des graines de cette espèce en utilisant l'extrait hydro éthanolique, cette extraction a permis d'obtenir un rendement de 4%. Le criblage phytochimique de l'extrait a mis en évidence la présence des alcaloïdes, des flavonoïdes et des tanins catéchiques et l'absence des anthocyanes, saponosides, stérols et triterpènes. Les résultats de l'analyse quantitative ont révélé la présence des polyphénols avec une concentration de $146 \pm 3,85$ mg EAG/100g, les flavonoïdes avec $83,46 \pm 0,46$ mg EQ/100g, les tanins condensés de $30,93 \pm 2,7$ mg EC/100g et les tanins hydrolysables à $51,73 \pm 15,52$ mg EAT/100g. L'évaluation du pouvoir antioxydant de l'extrait hydro-éthanolique a été évaluée en utilisant la méthode du radical libre DPPH, les résultats obtenus ont révélé une bonne activité antioxydante de l'extrait avec des valeurs d'IC50 de $4,11 \mu\text{g/ml}$ et un pourcentage d'inhibition de 61,3% ce qui confère à cette plante un large spectre de propriétés pharmacologiques et alimentaires importantes.

Mots clé : Graine de *Portulacaoleracea* L., étude phytochimique, activité antioxydante.

Abstract

Purslane *Portulaca oleracea* L. is a plant that belongs to the Portulacaceae family, it's used for its medicinal and nutritional properties. In this study, we were interested on the phytochemical study and antioxidant activity of this species seeds using a hydroethanolic extract; this extraction gave a yield of 4%. The phytochemical screening revealed the presence of alkaloids, flavonoids and catechic tannins; similarly, the absence of anthocyanins, saponosides, sterols and triterpenes. However, the results of the quantitative analysis indicated the presence of the polyphenols with a concentration of 146 ± 3.85 mg GAE/100g, the flavonoids with 83.46 ± 0.46 mg QE/100g, the condensed tannins at 30.93 ± 2.7 mg CE/100g and the hydrolysable tannins for 51.73 ± 15.52 mg TAE/100g. The evaluation of the antioxidant activity of hydro-ethanolic extract was tested using the DPPH free radical method; the results obtained demonstrated a good antioxidant activity with IC₅₀ values of 4.11 µg/ml and an inhibition percentage of 61.3%, which gives this plant a wide spectrum of important pharmacological and dietary food properties.

Key words: Seed of *Portulaca oleracea* L., phytochemical study, antioxidant activity.

ملخص

الرجيلة *Portulaca oleracea L* هو نبات ينتمي إلى عائلة Portulacaceae، ويستخدم لخصائصه الطبية والغذائية. في هذه الدراسة، كنا مهتمين بالدراسة الكيميائية النباتية والنشاط المضاد للأكسدة لبذور هذا النوع باستخدام مستخلص الإيثانول المائي، سمح هذا الاستخراج بالحصول على عائد بنسبة 4%. كشف الفحص الكيميائي النباتي للمستخلص عن وجود قلويدات وفلافونويد وعص التعليم المسيحي وغياب الأنتوسيانينو السابونوسيدسوالستيرول والترايتيربين. كشفت نتائج التحليل الكمي عن وجود مادة البوليفينول بتركيز 3.85 ± 146 غ / 100 ج ح م غلم، والفلافونويد بتركيز 0.46 ± 83.46 م غلم غ / 100 ك، والعص المكثف بتركيز 2.7 ± 30.93 غ / 100 ك ك م غلم والعص القابل للتحلل المائي بتركيز 51.73 ± 15.52 ت ح م غلم / 100 غ. تم تقييم تقييم القوة المضادة للأكسدة للمستخلص المائي الإيثانولي باستخدام طريقة الجذور الحرة DPPH، وكشفت النتائج التي تم الحصول عليها عن نشاط جيد مضاد للأكسدة للمستخلص بقيم IC50 تبلغ 4.11 ميكروغرام / مل ونسبة تثبيط 61.3% مما يعطي هذا النبات مجموعة واسعة من الخصائص الدوائية والغذائية الهامة.

الكلمات المفتاحية: بذور *Portulaca oleracea L*، دراسة كيميائية نباتية، نشاط مضاد للأكسدة.

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 01: Exemples d'alcaloïdes hétérocycliques. | 8 |
| Figure 02: Structure d'acide hydroxy-benzoïque. | 9 |
| Figure 03: Structure d'acide hydroxy-cinnamique. | 9 |
| Figure 04: Structure de base des flavonoïdes. | 10 |
| Figure 05: Structures des tanins hydrolysables et condensés. | 10 |
| Figure 06 : Structure de base des coumarines. | 11 |
| Figure 07: Structure de base des anthocyanidines. | 11 |
| Figure 08 : structure chimique de l'isoprène. | 11 |
| Figure 09: Schémas illustrant les voies de production du stress oxydatif. | 15 |
| Figure 10 : Stress oxydatif, maladies liées à l'âge et biomarqueurs associés | 17 |
| Figure 11: Processus de formation des radicaux libres, Les principales espèces réactives de l'oxygène (ROS) comprennent l'oxygène singulet $1O_2$, l'anion superoxyde $O_2^{\bullet-}$, le peroxyde d'hydrogène, le radical hydroxyle $\bullet OH$ et l'ozone O_3 | 20 |
| Figure 12 : Action des antioxydants sur les radicaux libres | 25 |
| Figure 13 : <i>Portulaca oleracea</i> L (fleurs, graines, feuilles) | 28 |
| Figure 14 : Les graines de <i>Portulaca oleracea</i> L | 40 |
| Figure 15 : Protocole d'obtention d'une poudre des graines de <i>Portulaca oleracea</i> L. | 40 |
| Figure 16 : Les étapes d'extraction | 42 |
| Figure 17 : Protocole de préparation d'extrait de graines de <i>Portulaca Oleracea</i> L. | 43 |
| Figure 18 : Mécanisme de réduction du DPPH. | 48 |
| Figure 19 : La mise en évidence des métabolites secondaires d'extrait de graines de <i>Portulaca oleracea</i> L. | 52 |
| Figure 20 : courbe d'étalonnage de l'Acide Gallique. | 53 |
| Figure 21 : courbe d'étalonnage de Quercétine. | 54 |
| Figure 22 : courbe d'étalonnages des tanins condensés. | 55 |
| Figure 23 : courbe d'étalonnage de l'acide tannique. | 56 |
| Figure 24 : courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique pour la détermination de la capacité antioxydante des graines de <i>Portulaca oleracea</i> L. | 57 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 01 : Antioxydants non enzymatiques endogènes et exogènes d'après..... | 24 |
| Tableau 02 : Classification de <i>Portulaca oleracea</i> L | 29 |
| Tableau 03 : Composition chimique du pourpier Concentrations de flavonoïdes et d'acides phénoliques d'après. | 31 |
| Tableau 04 : Profil Nutritionnel des Différentes Parties de la Plante de Pourpier | 34 |
| Tableau 05 : Composition nutritionnelle du pourpier par 100g..... | 35 |
| Tableau 06 : Effets thérapeutiques potentiels du pourpier (<i>Portulaca oleracea</i> L.) | 36 |
| Tableau 07 : résultats du screening phytochimique d'extrait de graines de <i>Portulaca oleracea</i> L | 51 |
| Tableau 08 : Teneur de l'extrait hydro-éthanolique d'en polyphénols..... | 53 |
| Tableau 09 : Teneur de l'extrait hydro-éthanolique en flavonoïdes | 54 |
| Tableau 10 : Teneur de l'extrait hydro-éthanolique en tannins condensés..... | 55 |
| Tableau 11 : Teneur de l'extrait hydro-éthanolique en tannins hydrolysables | 56 |
| Tableau 12 : la concentration d'inhibition IC50 est à 4,11 avec pourcentage de 61,3%..... | 57 |

Liste des abréviations

Abs : Absorbance.

ALA : Acide alpha-linolénique.

ATP : Production d'adénosine triphosphate.

BHA : Hydroxyanisolebutylé.

BHT : Hydroxytoluène butylé.

CAT : Catalase.

EDTA : Agent chélateur métallique.

GLA : acide gamma-linolénique

GLA : Acide gamma-linolénique.

GPx : Glutathion peroxydase.

IC50 : la concentration minimale de l'extrait (antioxydant) qui inhibe 50% du radical libre.

NDGA : Acide nordihydroguaiarétique.

PG : Galate de propyle.

ROS : Espèces réactives oxygénées.

SOD : Superoxyde dismutase.

TBHQ : Hydroquinone butylique tertiaire.

TPT : Teneur en polyphénols totaux.

Table des matières

-Remerciements

-Dédicace

-Dédicace

-Résumé

-Abstract

ملخص

-Liste des figures

-Liste des tableaux

-Liste des abréviations

Introduction générale 1

Partie Bibliographique

Chapitre I: Intérêt des plantes médicinales

I.1. La phytothérapie 5

I.2. Les différents types de la phytothérapie 5

 I.2.1. La phytothérapie traditionnelle 5

 I.2.2. La phytothérapie moderne 5

 I.2.3. L'aromathérapie 5

 I.2.4. Gemmothérapie et herboristerie 5

 I.2.5. Homéopathie 6

I.3. Les avantages et les inconvénients de la phytothérapie 6

I.4. Les plantes médicinales 6

 I.4.1. Définition des principes actifs des plantes médicinales 7

 I.4.2. Classification des métabolites secondaires 7

 I.4.2.1. Les alcaloïdes 8

 I.4.2.2. Les polyphénols ou composés phénoliques 8

 I.4.2.2.1. Classification des composés phénoliques 9

 I.4.2.3. Les terpénoïdes 12

Chapitre II: stress oxydatif et Antioxydants

II.1. Stress oxydatif 14

 II.1.1. Origine du stress 16

 II.1.1.1. Définition et sources des ROS 16

| | |
|--|----|
| II. 1. 2. Conséquences du stress oxydant | 16 |
| II.1.2.1. Stress oxydatif et les principales maladies liées à l'âge | 16 |
| II.1.2.2. Stress oxydatif et cancer (une relation complexe) | 17 |
| II.1.2.3. Stress oxydatif et Alzheimer (une connexion clé) | 17 |
| II.1.2.4. Stress oxydatif et maladies respiratoires | 18 |
| II.1.2.5. Stress oxydatif et maladies cardiovasculaires | 18 |
| II.2. Radicaux libres | 18 |
| II.2.1. Les principaux radicaux libres | 19 |
| II.2.1.1. Formation de radicaux libres | 19 |
| II.3. Les antioxydants | 21 |
| II.3.1. Les types des antioxydants | 21 |
| II.3.1.1. Antioxydants synthétiques | 21 |
| II.3.1.2. Antioxydants naturels | 21 |
| II.3.1.3. Les antioxydants enzymatiques | 22 |
| II.3.1.4. Les antioxydants non enzymatiques | 23 |
| II.4. Mécanisme d'activité antioxydante | 25 |
| Chapitre III: Généralités sur <i>Portulaca Oleracea</i>. L | |
| III.1. Description botanique de <i>Portulaca oleracea</i> . L | 27 |
| III.2. Habitat et origine | 28 |
| III. 3. Classification | 29 |
| III. 4. Culture et récolte | 29 |
| III. 5. Composition de <i>Portulaca oleracea</i> | 30 |
| III. 6. Utilisation de <i>Portulaca oleracea</i> | 32 |
| III. 7. Propriétés nutritionnelles | 33 |
| III. 7.1. Valeur nutritive du pourpier (une plante riche en nutriments essentiels et composés bénéfiques) | 34 |
| III. 8. Effets Thérapeutiques Prometteurs du <i>Portulaca oleracea</i> L | 35 |
| Partie expérimentale | |
| Matériels et méthodes | |
| IV.1. Matériel végétale | 40 |
| IV.2. Méthodes | 40 |
| IV.3. Méthodes d'extraction | 41 |
| IV.3.1. Extraction par macération | 41 |
| IV.3.2. Détermination de rendement d'extraction | 43 |
| IV.4. Analyses phytochimiques (screening phytochimique) | 44 |
| IV.5. Analyse quantitative | 45 |

| | |
|---|----|
| IV.5.1. Teneur des polyphénols totaux (TPT) | 45 |
| IV.5.2. Dosage des flavonoïdes totaux (TFT) | 46 |
| IV.5.4. Dosage des tanins hydrolysable | 47 |
| IV.6. Evaluation de l'activité antioxydante | 47 |
| IV.7. Analyse statistique | 49 |
| Chapitre V :Résultats et discussion | |
| V. Résultats de l'étude phytochimique | 51 |
| V.1. Détermination du rendement d'extraction | 51 |
| V.2. Analyses qualitatives (screening phytochimique) | 51 |
| V. 3. Dosage des métabolites secondaires | 52 |
| V.3.1. Dosage des polyphénols totaux | 52 |
| V.3.2. Dosage des flavonoïdes | 53 |
| V.3. 3. Dosage des tannins condensés | 54 |
| V.3. 4. Dosage des tannins hydrolysable | 55 |
| V.4. Activité antioxydante | 56 |
| V. 4.1. Résultats de test de DPPH | 56 |
| Discussion | 58 |
| Conclusion | 63 |
| Références bibliographiques | 65 |

Introduction générale

Les plantes médicinales et la phytothérapie ont une longue histoire d'association avec l'humanité. Depuis l'Antiquité, les plantes médicinales ont été utilisées comme médicament pour traiter diverses affections humaines puisqu'elles renferment des composés actifs et des molécules qui ont des propriétés thérapeutiques, que ce soit curatives ou préventives. **(Ouedraogo et al., 2021)**. Actuellement, les substances naturelles suscitent un intérêt croissant dans les secteurs cosmétique, pharmaceutique et agroalimentaire, qui cherchent de plus en plus à intégrer des molécules d'origine naturelle dans leurs produits. En effet, dans le domaine pharmaceutique, environ 60% à 70% des médicaments proviennent de substances naturelles, et près de 25% des prescriptions sont basées sur des plantes. C'est pourquoi, les gens semblent se tourner vers les produits de santé naturel, dont 80% de la population mondiale utilise des plantes médicinales pour traiter diverses maladies. En effet, les substances naturelles d'origine végétale possèdent de multiples activités biologiques telles que des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, anticancéreuses et antimicrobiennes. **(Kada, 2018)**.

L'Algérie possède une flore extrêmement riche et variée représentée par des plantes aromatiques et médicinales dont la plupart existe à l'état spontané. Ce potentiel de plantes médicinales comporte des milliers d'espèces présentant divers intérêts. Dans ce contexte, notre choix s'est porté sur *Portulacaoleracea* L. également connu sous le nom de "Redjila" en Algérie, c'est une plante largement répandue dans la région méditerranéenne **(Gayet, 2018)**, appréciée à la fois comme aliment et comme remède traditionnel pour soulager diverses affections. Cette plante est une source abondante de vitamines, de flavonoïdes, d'alcaloïdes, de polysaccharides, d'acides gras oméga-3, de terpénoïdes, de stérols, de protéines et de minéraux, ce qui lui confère le statut de super aliment prometteur. Le pourpier présente une vaste gamme d'effets pharmacologiques, tels que des propriétés antibactériennes, anti-ulcérogéniques, anti-inflammatoires, antioxydantes, cicatrisantes, purgatives, toniques cardiaques, émollientes, relaxantes musculaires, diurétiques, ainsi que des propriétés bénéfiques dans le traitement de l'ostéoporose et du psoriasis. **(Chugh et al., 2019)**.

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à l'étude phytochimique et l'activité antioxydante des graines de *Portulaca oleracea* L. plante médicinale réputée par son fort pouvoir médicinal.

Notre travail est structuré en trois volets :

- Le premier volet se focalise sur une synthèse bibliographique, contenant trois chapitres, dont le premier donne un rappel sur l'intérêt des plantes médicinales ; le second chapitre portera sur le stress oxydatif et les antioxydants et le troisième chapitre représente des généralités sur *Portulaca oleracea* L
- Le deuxième volet de cette étude se concentre sur l'aspect expérimental, basé sur l'étude phytochimique qui comprend les méthodes et les procédures d'extraction, les analyses qualitatives et quantitatives des principaux métabolites secondaires, de même que l'évaluation de l'activité antioxydante *vis-à-vis* du radical libre DPPH.
- Le troisième volet synthétise l'ensemble des résultats obtenus suivie par une discussion générale, aboutissant à une conclusion et perspectives.

Partie
Bibliographique

Chapitre I
Intérêt des plantes
médicinales

I.1. La phytothérapie

Le terme "phytothérapie" est étymologiquement composé de deux racines grecques : "phuton" qui signifie "plante" et "therapeia" qui signifie "traitement". Ainsi, la phytothérapie peut être définie comme une discipline médicale qui utilise les plantes, leurs parties ou des préparations à base de plantes (**Wichtl et Anton, 2003**). En raison de son potentiel élevé et de l'acceptation qu'elle trouve parmi les patients confrontés à diverses complications de santé, la phytothérapie joue un rôle significatif dans le traitement de différentes affections (**Barkat et al., 2021**)

I.2. Les différents types de la phytothérapie

I.2.1. La phytothérapie traditionnelle

C'est une thérapie de substitution utilisée pour traiter les symptômes de diverses maladies (**Chabrier, 2010**). Parfois, ses origines peuvent remonter à très longtemps, en lien avec l'utilisation traditionnelle des plantes en fonction de leurs vertus découvertes expérimentalement. Par exemple, la mauve est utilisée pour soulager les douleurs liées aux troubles fonctionnels de l'intestin, l'harpagophytum pour les rhumatismes articulaires, et l'aloès pour les brûlures superficielles ainsi que les irritations oculaires (**Dali, 2022**).

I.2.2. La phytothérapie moderne

Cette médecine utilise avant tout des produits originaux, obtenus par extraction de la plante et présentés sous différentes formes galéniques telles que sirops, gouttes, gélules ou lyophilisats (**Souilah, 2018**). Selon (**Merad et Mahiout, 2019**), elle relève d'une approche globale du patient et de son environnement pour déterminer le traitement adapté, en complément d'un examen clinique complet. Les extraits végétaux sont dilués dans de l'alcool éthylique ou d'autres solvants, en quantité suffisante pour une action rapide et efficace (**Harrag, 2020**).

I.2.3. L'aromathérapie

Ce mot dérive du latin "Aroma" signifiant odeur et du grec "therapeia" signifiant traitement (**Harrag, 2020**). La phytothérapie est une thérapeutique qui utilise les sécrétions de nombreuses plantes, comme les extraits végétaux ou les huiles essentielles et substances aromatiques. Ces huiles essentielles, en tant que produits complexes, sont le plus souvent utilisées par voie cutanée (**Souilah, 2018**).

I.2.4. Gemmothérapie et herboristerie

D'après (**Souilah, 2018**), la phytothérapie se fonde sur l'utilisation d'extraits alcooliques de tissus végétaux jeunes, tels que les bourgeons et les radicules.

Selon (**Harrag, 2020**), l'herboristerie correspond aux méthodes les plus anciennes de phytothérapie. En effet, la plante est utilisée fraîche ou séchée, que ce soit la plante entière ou une partie spécifique (écorce, fruits, fleurs). Les modes de préparation sont généralement très simples, le plus souvent à base d'eau (décoctions, infusions). Ces préparations existent également sous une forme plus originale de gélules de poudre végétale sèche, destinée à être avalée par le sujet (**Harrag, 2020**).

I.2.5. Homéopathie

Cela fait appel à une combinaison de ressources naturelles, à savoir des produits d'origine animale, minérale et végétale. Cependant, les substances d'origine végétale, représentant les trois quarts des souches utilisées, prédominent nettement dans cette thérapie. Le quart restant provient de sources animales et minérales. (**Harrag, 2020**).

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

La phytothérapie est particulièrement efficace et sans risque pour :

- Traiter les problèmes aigus courants, comme les toux, les maux de tête et les rougeurs dermatologiques.
- Traiter les problèmes chroniques, tels que la dépression bénigne, l'arthrite ou les varices.
- Prévenir les maladies
- Améliorer l'état général. (**Valnet, 1986**)

Bien que les plantes médicinales soient largement utilisées pour de multiples fonctions, il est primordial de souligner que certaines espèces peuvent engendrer des effets secondaires graves et indésirables : Des réactions allergiques, des mutations, des intoxications, des effets tératogènes, cancérigènes et des interactions médicamenteuses peuvent survenir en cas d'utilisation non encadrée de la phytothérapie ou des plantes médicinales. Le manque de contrôle plus strict de ces produits favorise également la contamination par des métaux lourds, des médicaments conventionnels, des herbicides ou des pesticides. (**Ferreira et al., 2014**).

I.4. Les plantes médicinales

Une plante dite médicinale lorsqu'au moins une partie possède des propriétés médicamenteuses. Les plantes médicinales sont utilisées depuis l'antiquité comme médicaments pour la prise en charge des maladies humaines (**Ouedraogo et al., 2021**). D'après l'OMS, 80% de la population mondiale utilise des plantes médicinales pour traiter des problèmes de santé primaire (**Djellouli et al., 2019**). Les substances, que la plante élabore, ont un niveau d'intérêt différent. On les classe en deux groupes :

- **Métabolites primaires**, dont tous les êtres vivants assurent leur croissance grâce à un ensemble complexe de réaction chimique parmi ces réactions « métabolisme primaire » qui permettent la synthèse et l'utilisation de substances essentielles pour la vie tel que : polysaccharides, Glucides, protéines, acides aminés, acide nucléiques et lipides **(Botineau, 2010)**
- **Métabolites secondaires** se sont des produits naturels synthétisés par les plantes, caractérisés par leurs faibles poids moléculaires avec diverses structures chimiques et activités biologiques. Cependant, il est désormais admis que les métabolites secondaires jouent un rôle clé dans la survie de l'organisme qui les produit car ils exercent une action déterminante sur l'adaptation des plantes à leur environnement, et dans la maîtrise des conditions de stress, ils sont également des sources importantes pour les produits pharmaceutiques, les additifs alimentaires et les arômes **(Harrar, 2012 ; Akula et Ravishankar, 2011)**

I.4.1. Définition des principes actifs des plantes médicinales

De nombreuses espèces végétales présentes à travers le monde possèdent des propriétés thérapeutiques grâce à la présence de composés actifs qui agissent directement sur le Corp. **(Iserin, 2001)**. Ces principes actifs représentent des molécules contenues dans des plantes ou des préparations à base de plantes utilisées dans la fabrication de médicaments ; ils ont une activité thérapeutique curative ou préventive sur l'homme ou l'animal. La teneur de ces composés dans les plantes est généralement extrêmement faible, mais révèlent de grande importance. Par conséquent, l'extraction des plantes médicinales consiste à isoler les substances actives de la plante ou les métabolites secondaires tels que les alcaloïdes, les flavonoïdes, les terpènes, les saponines, les stéroïdes et les glycosides, en les séparant des matières inertes ou inactives. Ce processus se fait grâce à l'utilisation d'un solvant approprié et une procédure d'extraction standard **(Abubakar et Haque, 2020)**.

I.4.2. Classification des métabolites secondaires

Les métabolites secondaires chez les plantes sont classés en trois classes selon leur structure :

Les alcaloïdes, les polyphénols ou composés phénoliques, et les terpénoïdes **(Aichaoui et Abeoube, 2019)**

I.4.2.1. Les alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des composés d'azote hétérocycliques définis par un caractère alcalin. Bien que la plupart d'entre eux sont toxiques (comme la strychnine ou l'aconitine), et capables de propriétés physiologiques prononcées même à faible quantité ; Ils présentent des réactions collectives d'impulsivité (capacité de se combiner avec des métaux). (Bendif, 2017). Ces composés peuvent être rangés en alcaloïdes vrais, Prot alcaloïdes ou pseudo alcaloïdes selon la classification D'HEGENAUER.

- ❖ **Les alcaloïdes vrais** qui expriment le plus grand nombre, ils sont à vaste spectre d'activités biologiques. Ils sont tous basiques ; ceci dû à un atome d'azote contenu dans un noyau hétérocyclique.
- ❖ **Les Prot alcaloïdes** sont des amines simples solubles, son atome d'azote ne faisant pas partie d'un hétérocycle. Ils proviennent d'acides aminés et sont souvent nommés : Amines biologiques.
- ❖ **Le pseudo alcaloïdes** ne dérive pas d'acides aminés, ils sont pour la plupart basiques. Les alcaloïdes astéroïdaux et les purines sont les représentants principaux de ce groupe d'alcaloïdes. (Tass et Yahi, 2022) (Fig.01).

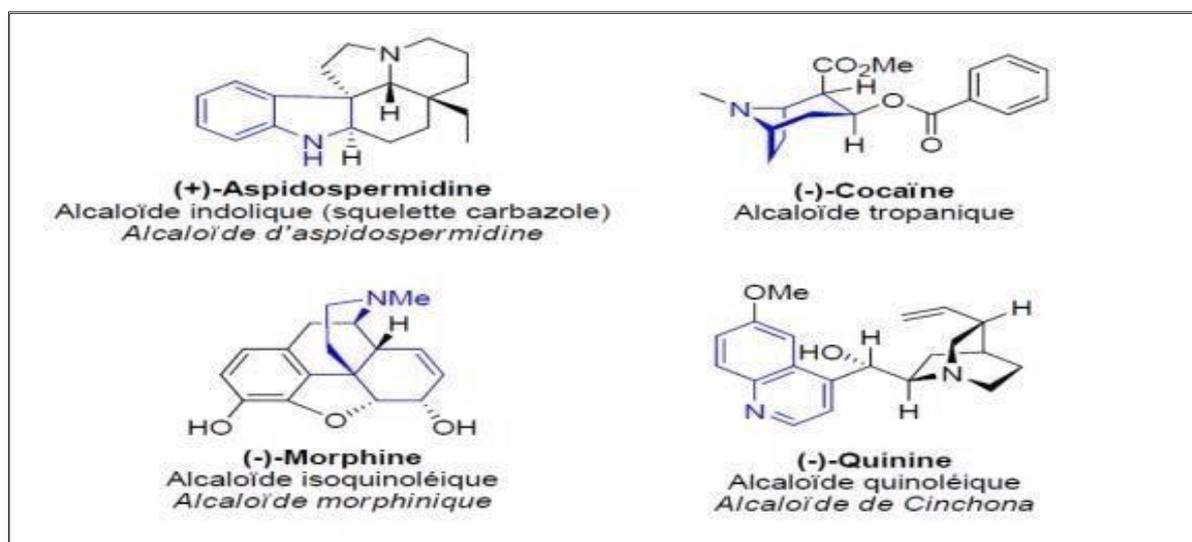


Figure 01: Exemples d'alcaloïdes hétérocycliques. (Charik et Kadri, 2020)

I.4.2.2. Les polyphénols ou composés phénoliques

Les composés phénoliques ou polyphénols comprennent une famille de molécules organiques répandue à grande échelle dans le règne végétal (Saouli et Zaid, 2022), divisée en une dizaine de catégories chimiques qui présentent toutes un point commun : la présence dans leur composition d'au moins un cycle aromatique à 6 carbones, lui-même conducteur d'un nombre variable de fonctions hydroxyles (OH) (Aoues, 2023). Il se trouve plusieurs types de polyphénols, essentiellement : acides phénoliques simples, phénols simples, stilbènes,

coumarines, tanins, quinones, flavonoïdes, lignanes, lignines et xanthomes. (Bendif, 2017)

I.4.2.2.1. Classification des composés phénoliques

- Les acides phénoliques

Les acides phénoliques sont intégrés des formes les plus simples des composés phénoliques et se divisent en grands groupes distincts : (Benchennaf et Babouche, 2018) (Fig.02)

❖ Les acides hydroxy benzoïques (C6-C1) dérivés de l'acide benzoïque

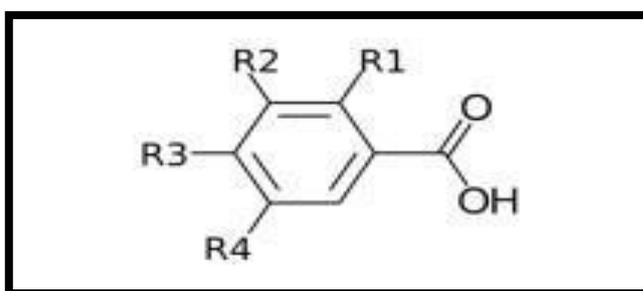


Figure 02: Structure d'acide hydroxy-benzoïque. (Charik et Kadri, 2020)

❖ Les acides hydroxy cinnamiques (C6-C3) dérivés de l'acide cinnamique (Fig.03)

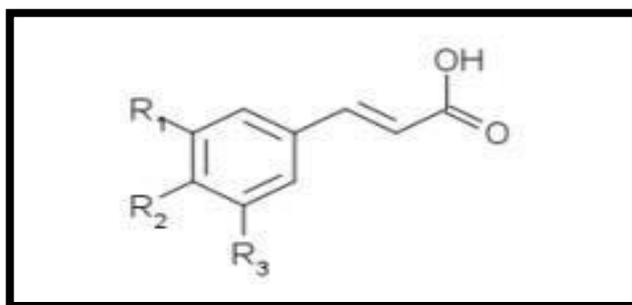


Figure 03: Structure d'acide hydroxy-cinnamique. (Charik et Kadri, 2020)

- Les flavonoïdes

Les flavonoïdes sont la majorité des pigments jaunâtres (en latin : flavus = jaune). Ces composés se différencient par une structure benzo- γ -pyrone (ou chromone). Ils sont conservés dans le suc vacuolaire des organes jeunes (épiderme de feuille, pellicule fruit). Les flavonoïdes sont présents partout dans les plantes plus élevées : racines, tiges, feuilles, fleurs, pollens, fruits, graines, bois. Leur rôle principal semble être la coloration des plantes. (Saouli et Zaid, 2022) (Fig.04)

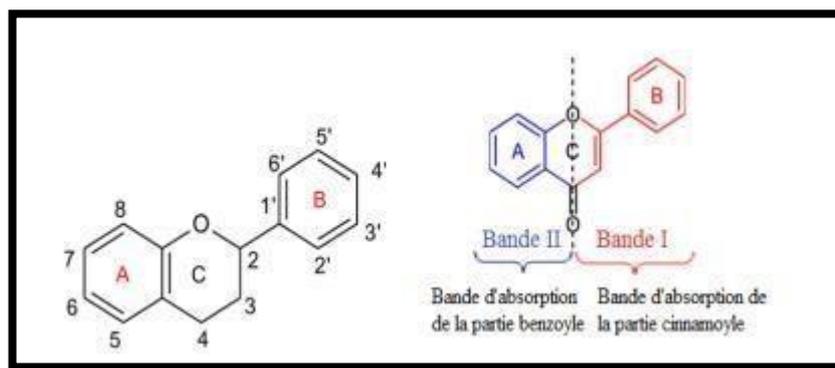


Figure 04: Structure de base des flavonoïdes. (Saouli et Zaid, 2022)

• Les tanins

Les tanins sont des métabolites secondaires de certaines plantes terrestres vasculaires. Il se situe dans toutes les parties du végétal (racine, écorce, enveloppe de graines, liège, les fruits (datte, café, cacao...) non mûrs, galles.... etc.

Les tanins sont des particules de nature phénolique (polyphénols hydrosolubles), Il existe deux catégories de tanins :

- ❖ Les tanins galliques (qui sont solubles dans l'eau) = (hydrolysables).
- ❖ Les tanins catéchiques (Non hydrolysables) =condensés. (Saouli et Zaid, 2022) (Fig.05)

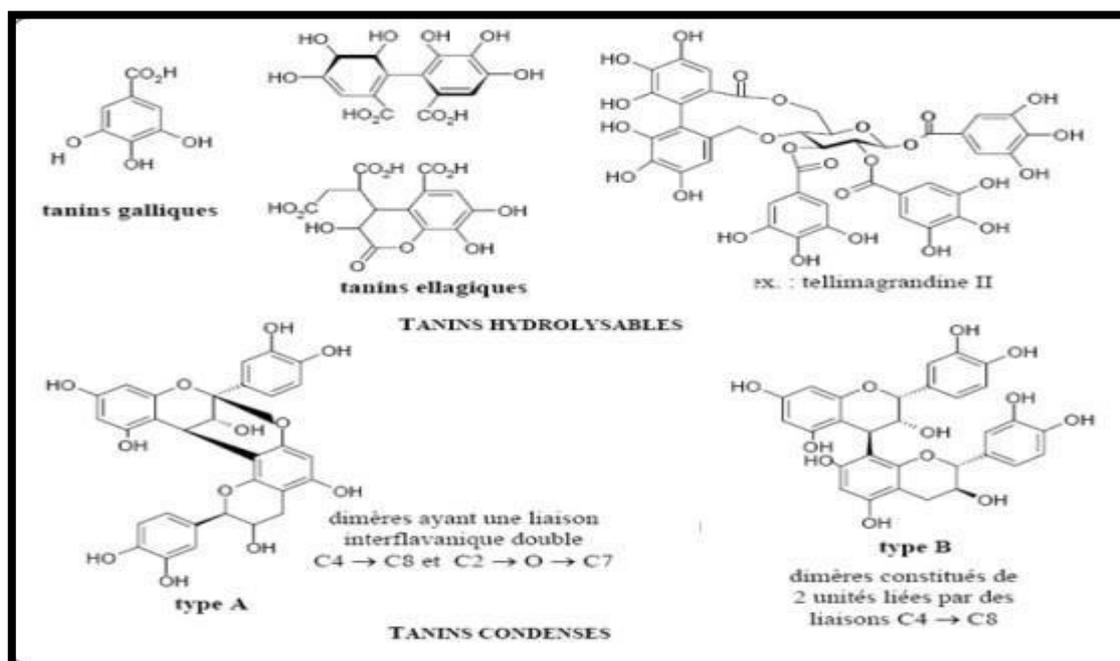


Figure 05: Structures des tanins hydrolysables et condensés. (Charik et Kadri, 2020)

- **Les coumarines**

Les coumarines ont un squelette C6-C3, possédant un hétérocycle d'oxygène dans le cadre de l'unité C3 (**Fig. 06**). Ces composés sont populaires pour jouer un rôle dans l'opposition aux maladies et aux ravageurs, ainsi que dans la flexibilité aux UV. Les iso coumarines sont structurellement ressemblant aux coumarines, mais la position des groupes oxygène et carbonyle dans l'hétérocycle d'oxygène est inversé. (**Graciliana et al., 2016**) (**Fig.06**).

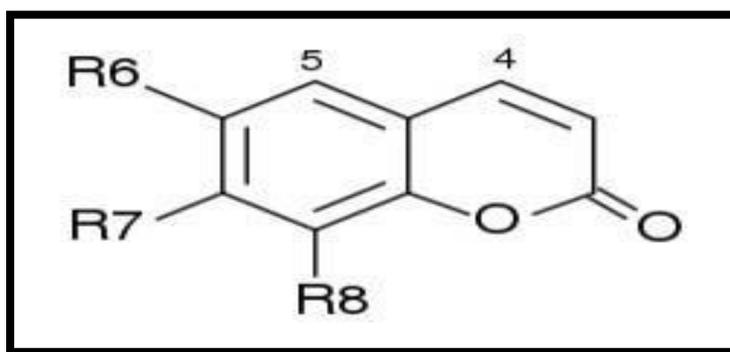


Figure 06 : Structure de base des coumarines. (**Kahlouche, 2014**)

- **Les anthocyanes**

Les anthocyanes Ou pigments anthocyaniques qui colorent les fleurs, les fruits et parfois les feuilles, proche des flavonoïdes sur le plan de la provenance, de la structure et des propriétés pharmacologiques. (**Catier et Roux, 2007**) (**Fig.07**)

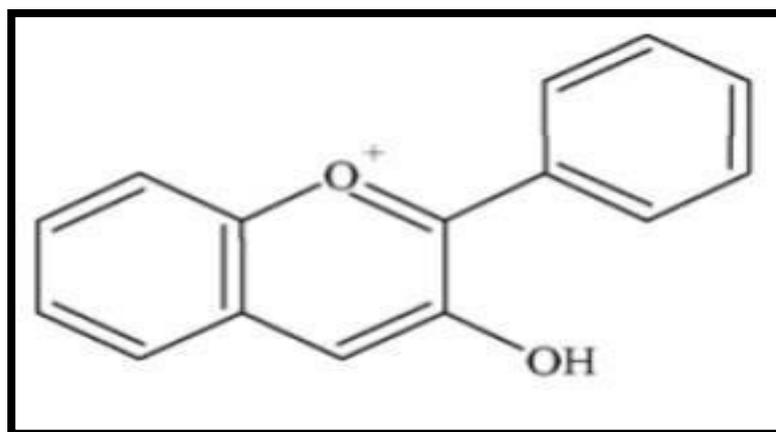


Figure 07: Structure de base des anthocyanidines. (**Boudjouref, 2011**)

I.4.2.3. Les terpénoïdes

Les terpénoïdes composent le plus large ensemble connu des métabolites secondaires des végétaux, ce sont des molécules polygéniques qu'il existe également dans le règne animal.

Les terpènes sont un type d'hydrocarbures, dont le nom se termine par « ène ». Ils sont administrés par plusieurs plantes, notamment les conifères et les agrumes. Les terpènes sont des dérivés de l'isoprène C_5H_8 et ont pour formule de base des multiples de celle-ci. Ces squelettes peuvent être combiner de façon linéaire ou bien former des cycles. (Charik et Kadri, 2020) (Fig.08).

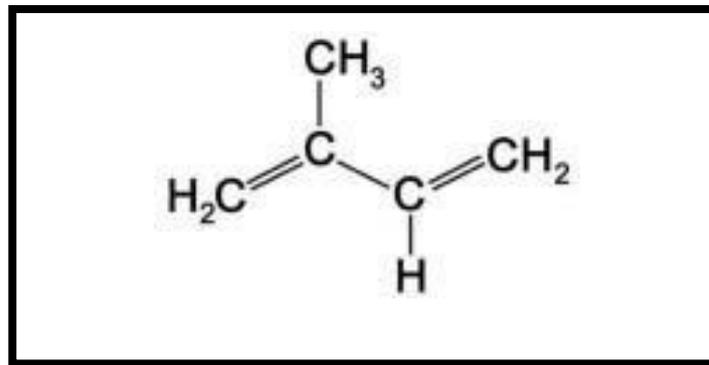


Figure 08: structure chimique de l'isoprène. (Charik et Kadri, 2020)

Chapitre II
Stress oxydatif et
Antioxydants

II.1. Stress oxydatif

Le stress oxydatif est un déséquilibre dans les réactions d'oxydoréduction cellulaire qui joue un rôle clé dans la pathogenèse des troubles métaboliques et des lésions induites par les médicaments (**Mahmoud et al., 2021**). C'est une forme d'agression cellulaire causée principalement par les radicaux libres, qui peuvent être neutralisés par les antioxydants (**Sebbar et al., 2023**). Le terme "stress oxydatif" est largement utilisé et sa définition a évolué au fil du temps. À l'origine, il était simplement défini comme un déséquilibre entre les espèces réactives de l'oxygène (ROS) et les mécanismes de défense antioxydants. Cependant, la définition a été affinée et est devenue plus complexe. Selon une version récente, le stress oxydatif est maintenant défini comme un déséquilibre entre les oxydants (ROS) et les antioxydants, favorisant les oxydants, ce qui entraîne une perturbation de la signalisation redox et du contrôle, ainsi que des dommages moléculaires (**Gutteridge et al., 2018**). Le stress oxydatif, caractérisé par un déséquilibre entre la production de radicaux libres réactifs de l'oxygène (ROS) et la capacité des antioxydants à les neutraliser, est impliqué dans diverses maladies telles que les troubles neurodégénératifs, les maladies cardiovasculaires, le diabète et de nombreuses autres pathologies. Ces associations mettent en évidence l'importance d'un équilibre entre la production de ROS et la présence d'antioxydants dans l'organisme (**Hayes et al., 2020**). Les dommages oxydatifs désignent l'accumulation de radicaux libres en raison d'une surproduction de radicaux libres qui ne peuvent pas être éliminés progressivement ou en raison d'une disponibilité insuffisante d'antioxydants. Cela entraîne une large gamme de dommages biomoléculaires aléatoires et indiscriminés (**Hussain et al., 2020**). Les ROS ont un double rôle dans les systèmes biologiques, agissant comme médiateurs de signalisation redox bénéfiques à des concentrations faibles à modérées, un état connu sous le nom de "bon stress" ou "eustress", mais pouvant causer des dommages s'ils deviennent excessifs (**Azzi, 2022**). Lorsque les niveaux de ROS atteignent des concentrations modérées à élevées, ils peuvent provoquer des dommages au niveau des biomolécules, tels que les protéines, l'ADN et les lipides membranaires. Ce déséquilibre entre la production de ROS et leur élimination par le système antioxydant, favorisant ainsi la formation de ROS, est communément appelé stress oxydatif (**Sies, 2023**).

La production de ce dernier se déroule par le mécanisme suivant :

Les mitochondries, qui comprennent les membranes mitochondriales externe et interne ainsi que la matrice, jouent un rôle essentiel dans la production d'adénosine triphosphate (ATP). Pendant le cycle de l'acide tricarboxylique, l'acétyl-CoA est généré et transporté dans les mitochondries, où il est transmis des complexes I et III aux complexes IV. Finalement, l'ATP est synthétisée au niveau du complexe V. Cependant, dans certaines conditions pathologiques, le fonctionnement de la chaîne respiratoire mitochondriale est perturbé, ce qui entraîne une fuite d'électrons vers l'oxygène et la production de superoxyde (**Sabharwal et al., 2014**). Outre les complexes I et III, qui sont identifiés comme les principaux sites de production de ROS dans les mitochondries, il existe plus de 10 autres enzymes qui participent également à la génération de ROS (**Wong et al., 2017**). (**Fig.09**) :

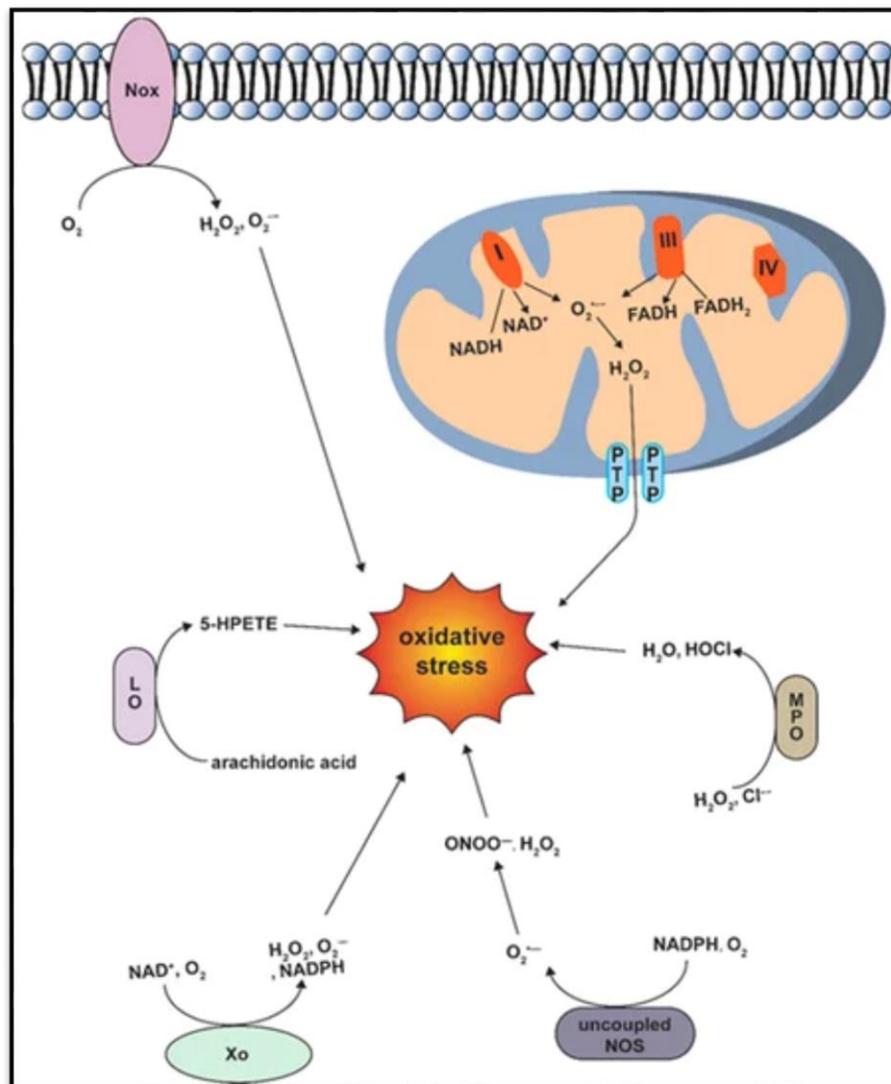


Figure 09: Schémas illustrant les voies de production du stress oxydatif (**Wang et al., 2020**).

II.1.1. Origine du stress

Les radicaux libres sont produits par divers mécanismes physiologiques, car ils sont utiles pour l'organisme à dose raisonnable. Cette production physiologique est parfaitement maîtrisée par des systèmes de défense. Dans les circonstances normales, la balance antioxydants /pro oxydants est en équilibre. Si tel n'est pas le cas, que ce soit par déficit en antioxydants ou par suite d'une surproduction énorme de radicaux, l'excès de ces radicaux est appelé « stress oxydant » (Favier, 2003).

II.1.1.1. Définition et sources des ROS

Les espèces réactives de l'oxygène (ROS) sont des molécules hautement réactives et instables formées lors du métabolisme cellulaire. Elles sont produites principalement par les mitochondries et les peroxysomes, ainsi que par des enzymes telles que la NADPH oxydase. Les ROS peuvent endommager les biomolécules et perturber l'équilibre redox. Cependant, les systèmes antioxydants cellulaires sont présents pour neutraliser les ROS et maintenir l'équilibre redox. (Saleh et al., 2023).

II. 1. 2. Conséquences du stress oxydant

Les conséquences biologiques du stress oxydant seront extrêmement variables selon la dose et le type cellulaire. De légers stress augmenteront la prolifération cellulaire et l'expression de protéines d'adhésion. Des stress moyens faciliteront l'apoptose, alors que de forts stress provoqueront une nécrose et des stress violents désorganiseront la membrane cellulaire, entraînant des lyses immédiates. De nombreuses autres anomalies biologiques sont induites par le stress oxydant : mutation, carcinogenèse, fibrose, dépôt de protéines anormales, formation d'auto-anticorps, dépôt de lipides oxydés (Favier, 2003).

II.1.2.1. Stress oxydatif et les principales maladies liées à l'âge

selon la théorie oxydo-inflammatoire du vieillissement, également appelée oxi-inflamm-aging, met en évidence la relation étroite entre le stress oxydatif, l'inflammation et le processus de vieillissement, le vieillissement est caractérisé par une perte d'homéostasie due à un stress oxydatif chronique qui affecte principalement les systèmes de régulation tels que le système nerveux, endocrinien et immunitaire et L'activation ultérieure du système immunitaire déclenche un état inflammatoire, créant ainsi un cercle vicieux entre le stress oxydatif chronique et l'inflammation se nourrit mutuellement, augmentant ainsi la morbidité et la mortalité

associées à l'âge (**Miquel, 2009**). Les sections suivantes décrivent le lien entre le stress oxydatif et les principales maladies associées au vieillissement. (**Fig.10**)

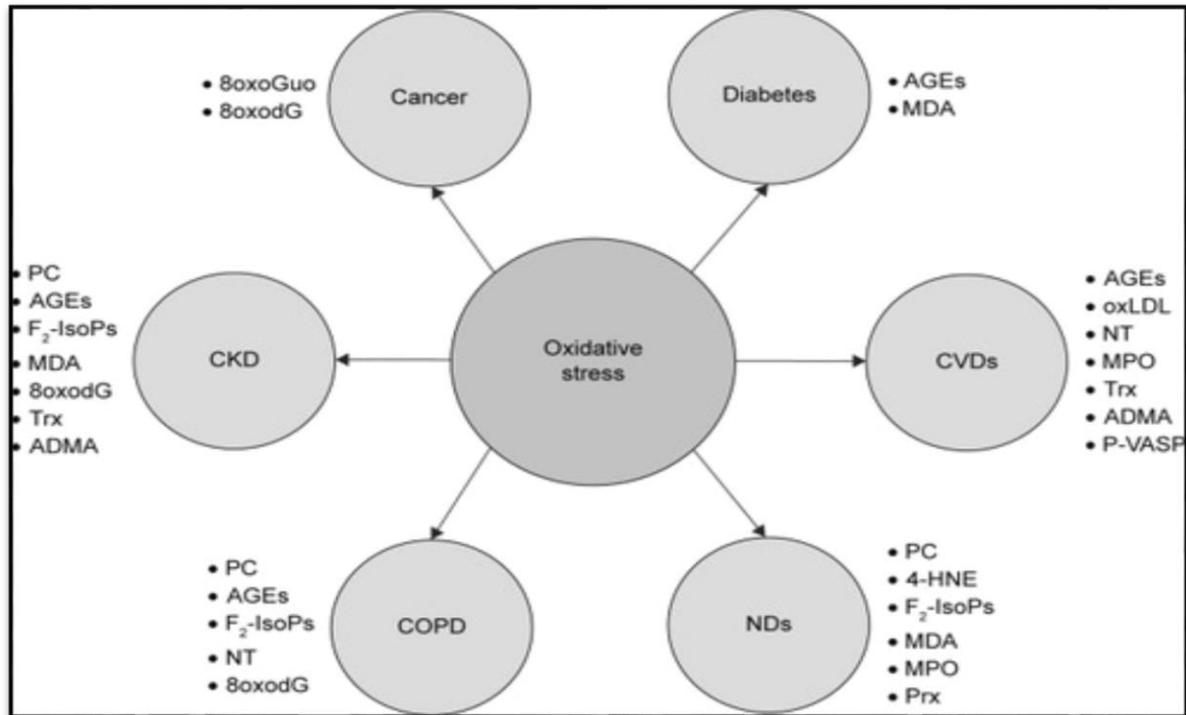


Figure 10 : Stress oxydatif, maladies liées à l'âge et biomarqueurs associés (**Liguori et al., 2018**).

II.1.2.2. Stress oxydatif et cancer (une relation complexe)

Le stress oxydatif est impliqué dans la carcinogenèse en raison de ses effets sur les cellules cancéreuses. Une légère augmentation des niveaux de ROS active les voies de signalisation de croissance des cellules cancéreuses et favorise leur prolifération. De plus, l'oxydation des résidus de cystéine dans les protéines perturbe leur fonctionnement, ce qui limite la croissance des cellules cancéreuses. Cependant, les cellules cancéreuses peuvent également développer des mécanismes de défense au stress oxydatif, ce qui les rend résistantes aux traitements chimio thérapeutiques. Ainsi, le stress oxydatif joue un rôle complexe dans la carcinogenèse en influençant la croissance et la réponse au traitement des cellules cancéreuses (**Chavda et al., 2022**).

II.1.2.3. Stress oxydatif et Alzheimer (une connexion clé)

Le stress oxydatif joue un rôle essentiel dans la MA et peut même être considéré comme un facteur central crucial dans la pathogenèse de la MA, l'augmentation du stress oxydatif dans le cerveau des patients atteints de la maladie d'Alzheimer est liée à trois principaux facteurs :

- a) le déséquilibre des métaux de transition (**Bai et al., 2022**),
- b) l'activation d'oxydases spécifiques,
- c) le dysfonctionnement mitochondrial (**Song et al., 2021 ; Dhapola et al., 2022**).

Les recherches *in vitro* et *in vivo* ont démontré que le peptide A β lui-même peut induire la production de ROS et provoquer le stress oxydatif (**Cai et al., 2011**).

II.1.2.4. Stress oxydatif et maladies respiratoires

Les maladies pulmonaires telles que l'asthme et la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO), déterminées par une inflammation chronique systémique et locale, sont liées au stress oxydatif. (**Pizzino et al., 2017**)

II.1.2.5. Stress oxydatif et maladies cardiovasculaires

Les maladies cardiovasculaires sont une des principales causes de morbidité et de mortalité chez les personnes âgées, et l'athérosclérose joue un rôle essentiel en tant qu'événement causal majeur. L'athérosclérose est un processus inflammatoire chronique caractérisé par l'accumulation de plaques d'athérome dans les artères. Le stress oxydatif est considéré comme un facteur clé dans le développement de l'athérosclérose. En présence d'un stress oxydatif accru, les lipides oxydés s'accumulent dans les parois des vaisseaux sanguins, déclenchant une cascade d'événements inflammatoires. Cela conduit à la formation de plaques d'athérome qui obstruent progressivement les artères et perturbent le flux sanguin, ce qui peut entraîner des complications graves telles que les accidents vasculaires cérébraux et les crises cardiaques. Ainsi, la réduction du stress oxydatif et le maintien de l'équilibre redox sont des stratégies clés pour prévenir et atténuer les maladies cardiovasculaires liées à l'âge (**Testa et al., 2010**).

II.2. Radicaux libres

Les radicaux libres sont des composés produits naturellement dans le corps humain lors de réactions enzymatiques et non enzymatiques, ils sont légèrement produits lors d'une activité physique modérée et augmentent lors d'une activité physique, Leur grande réactivité les amène à interagir rapidement avec les protéines, les lipides et les acides nucléiques, provoquant des dommages au niveau cellulaire, ces dommages sont associés au développement de diverses

maladies chroniques non transmissibles (**Guija et al., 2023**). Les radicaux libres sont des molécules hautement instables et potentiellement toxiques pour les cellules, car elles ont la capacité de "voler" des électrons à d'autres molécules, les déstabilisant ainsi. Ce processus, appelé oxydation, peut endommager les structures cellulaires et contribuer au développement de divers problèmes de santé (**Sebbar et al., 2023**). La plupart des maladies induites par le SO apparaissent avec l'âge car le vieillissement diminue les défenses antioxydantes et augmente la production mitochondriale des radicaux (**Favier, 2003**).

II.2.1. Les principaux radicaux libres

Les radicaux superoxydes ($O_2^{\bullet-}$), le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), les radicaux hydroxyles ($\bullet OH$) et l'oxygène singulet (1O_2) sont communément définis comme des espèces réactives de l'oxygène (ROS). Ils sont produits en tant que sous-produits métaboliques par les systèmes biologiques (**Sato et al., 2013 ; Navarro-Yepes et al., 2014**).

II.2.1.1. Formation de radicaux libres

L'activité physique modérée peut entraîner une légère production de radicaux libres, tandis qu'une activité physique vigoureuse conduit à une augmentation plus importante de ces espèces réactives de l'oxygène (ERO) (**Yavari et al., 2015 ; Margaritelis et al., 2014**). La formation de radicaux libres dans les systèmes biologiques résulte principalement de la réduction partielle de l'oxygène lors de la respiration cellulaire, générant ainsi des espèces réactives de l'oxygène (ERO) comme le radical superoxyde, le peroxyde d'hydrogène ou le radical hydroxyle (**Valko et al., 2007 ; Birben, et al., 2012**). Ces ERO peuvent ensuite réagir avec les lipides, les protéines et l'ADN, causant des dommages cellulaires et contribuant au développement de diverses pathologies liées au stress oxydatif (**Sies, 2015 ; Halliwell, 2006**). (**Fig.11**)

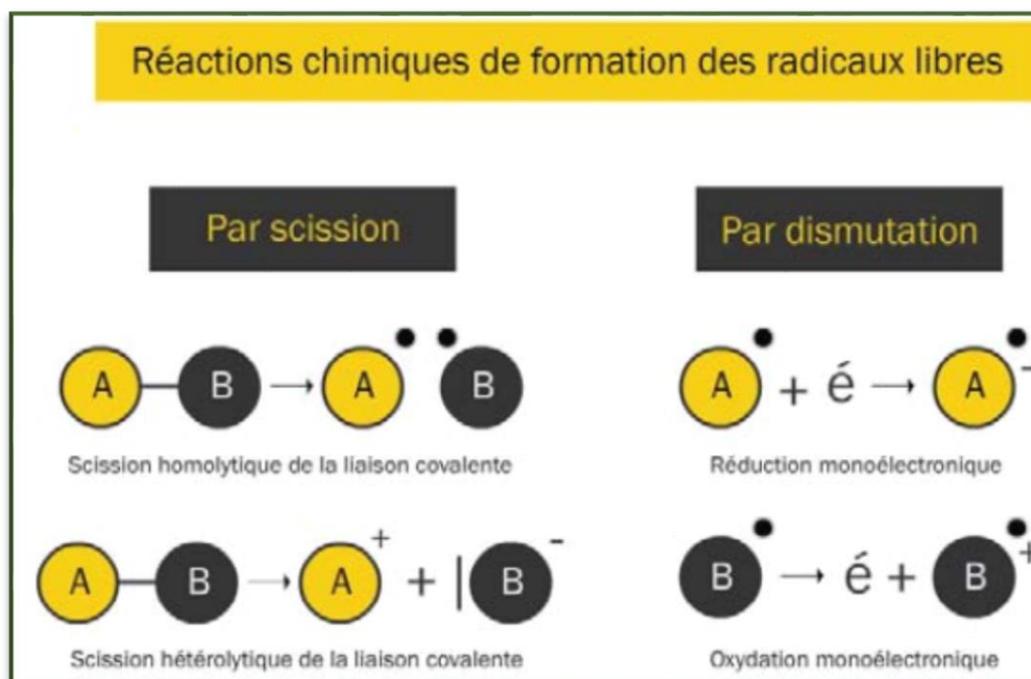


Figure 11: Processus de formation des radicaux libres, Les principales espèces réactives de l'oxygène (ROS) comprennent l'oxygène singulet 1O_2 , l'anion superoxyde $O_2^{\bullet-}$, le peroxyde d'hydrogène, le radical hydroxyle $\bullet OH$ et l'ozone O_3 (Bensakhria, 2018).

II.3. Les antioxydants

Les anti-oxydants sont définis par HALLIWELL (**Halliwell et Gutteridge, 2007**), comme « toute substance qui en faible concentration par rapport au substrat susceptible d'être oxydé prévient ou ralentit l'oxydation de ce substrat ». (**Pastre et Priymenko, 2007**). Les antioxydants se lient aux radicaux libres en transférant leurs propres électrons, ce qui permet de les neutraliser et de réduire leur capacité à endommager les molécules biologiques. De cette manière, les réactions oxydatives en chaîne sont interrompues et les radicaux libres ne sont plus en mesure d'attaquer la cellule (**Ali Moustafa Elkhateeb et Alshammary, 2017 ; Ahmad, 2018**)

II.3.1. Les types des antioxydants

Les substances antioxydantes peuvent être naturelles ou synthétiques. Les antioxydants naturels sont entièrement dérivés de sources naturelles et sont utilisés depuis un certain temps dans l'alimentation, les cosmétiques et les produits pharmaceutiques. En revanche, les antioxydants synthétiques sont des substances créées par des processus chimiques. La compréhension actuelle du rôle complexe des espèces réactives de l'oxygène (ROS) dans les processus physiologiques et pathologiques met en évidence la nécessité de développer des antioxydants multifonctionnels. Ces antioxydants doivent être capables de maintenir l'homéostasie oxydative, à la fois dans la santé et dans la maladie. (**Mahmoud et al, 2021**)

II.3.1.1. Antioxydants synthétiques

Il existe plusieurs composés phénoliques qui agissent en tant que captateurs de radicaux libres et qui interrompent les réactions en chaîne. Parmi ces composés, on trouve l'hydroxyanisole butylé (BHA), l'hydroxytoluène butylé (BHT), le gallate de propyle (PG), l'agent chélateur métallique (EDTA), l'hydroquinone butylique tertiaire (TBHQ) et l'acide nordihydroguaiarétique (NDGA). (**Santos-Sánchez et al., 2019**)

II.3.1.2. Antioxydants naturels

Ces antioxydants sont classés comme des agents qui interrompent la réaction en chaîne en réagissant avec les radicaux libres et en les convertissant en produits plus stables. Ils sont généralement caractérisés par une structure phénolique et comprennent les catégories suivantes :

- **Minéraux antioxydants** : Ce sont des cofacteurs présents dans les enzymes antioxydantes, tels que le sélénium, le cuivre, le fer, le zinc et le manganèse. L'absence

de ces cofacteurs peut affecter négativement le métabolisme de nombreuses macromolécules, telles que les glucides.

- **Vitamines antioxydantes** : Elles jouent un rôle important et sont nécessaires pour de nombreuses fonctions métaboliques de l'organisme. Parmi les vitamines antioxydantes, on retrouve la vitamine C, la vitamine E et les vitamines du groupe B.
- **Composés phytochimiques** : Ce sont des dérivés de composés phénoliques qui ne sont ni des vitamines ni des minéraux. Les exemples courants incluent les flavonoïdes, les catéchines, les caroténoïdes tels que le carotène et le lycopène, ainsi que des herbes et épices comme le diterpène, la rosmarinone, le thym, la muscade, le clou de girofle, le poivre noir, le gingembre, l'ail, la curcumine et leurs dérivés. (**Santos-Sánchez et al., 2019**)

II.3.1.3. Les antioxydants enzymatiques

Plusieurs enzymes sont responsables de catalyser des réactions visant à neutraliser les radicaux libres et les espèces réactives de l'oxygène (ROS). Ces enzymes forment les mécanismes de défense endogènes de l'organisme contre les radicaux libres, dans le but de protéger les cellules. Les enzymes antioxydantes les plus connues, telles que la glutathion peroxydase (GPx), la catalase (CAT) et la superoxyde dismutase (SOD), jouent un rôle crucial dans le processus de neutralisation des radicaux libres. Les enzymes sont des composants essentiels des mécanismes de protection et de défense, en diminuant la production de ROS en éliminant les agents oxydants potentiels ou en transférant les ROS/RNS vers des composés relativement stables. Pour une activité catalytique optimale, ces enzymes ont besoin de cofacteurs de micronutriments tels que le sélénium (Se), le fer (Fe), le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le manganèse (Mn). (**Santos-Sánchez et al., 2019**)

a. Superoxyde dismutase (SOD)

La SOD, présente dans tous les composants subcellulaires soumis au stress oxydatif chez les organismes aérobies, c'est une enzyme antioxydante extrêmement efficace. Elle joue un rôle essentiel en constituant une première ligne de défense contre le stress, en neutralisant les espèces réactives de l'oxygène (ROS) toxiques. La SOD récupère le superoxyde en améliorant sa dismutation, ce qui conduit à la formation d'eau oxygénée (H₂O₂) et de dioxygène (O₂). (**Zulfiqar et Ashraf, 2022**)



b. Catalase (CAT)

La catalase, une enzyme antioxydante essentielle, assure la conversion directe d'H₂O₂ en oxygène et en eau, complétant ainsi le processus de détoxification initié par la SOD (**Guemmaz et al., 2018**). Elle se localise principalement dans les peroxysomes et nécessite du fer ou du manganèse en tant que cofacteur pour son activité (**Santos-Sánchez et al., 2019**).

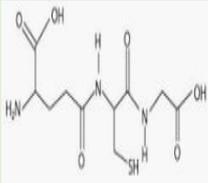
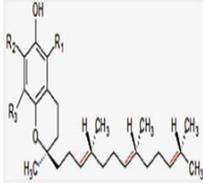
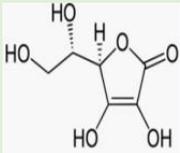
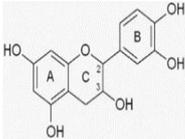
c. Glutathion peroxydase

La fonction de la glutathion peroxydase (GPx) est de neutraliser l'eau oxygénée (H₂O₂) ainsi que les peroxydes lipidiques. Elle accomplit cette tâche principalement au niveau des mitochondries et parfois dans le cytosol. Elle utilise le glutathion comme cofacteur pour mener à bien cette neutralisation. (**Pieme et al., 2017**).

II.3.1.4. Les antioxydants non enzymatiques

Lorsque l'organisme est exposé à une concentration élevée d'espèces réactives de l'oxygène (ROS), le système antioxydant enzymatique endogène est compromis et ne peut pas assurer une protection complète de l'organisme. Pour compenser cette insuffisance, le corps utilise des antioxydants non enzymatiques, qui peuvent être d'origine endogène, tels que le glutathion, ou exogène. Parmi les antioxydants exogènes les plus importants sont les composés phénoliques (flavonoïdes), les vitamines (C et E) ainsi que certains minéraux (sélénium et zinc). (**Santos-Sánchez et al., 2019**) (**Tableau 01**)

Tableau 01 : Antioxydants non enzymatiques endogènes et exogènes d'après (Santos-Sánchez et al., 2019)

| Nature | Structure Chimique | Importance dans la neutralisation des ER | Références |
|---------------------------|---|---|--|
| Glutathion |  | Cofacteur des enzymes antioxydants assure la réduction et la neutralisation des ER formés lors de l'oxydation des vitamines C et E | (Defraigne et Pincemail, 2008) |
| Vitamine E |  | Donneur d'électron pour la neutralisation des ER, notamment au niveau de la bicouche lipidique membranaire (prévention de la peroxydation lipidique). Elle va être régénérée par la vitamine C. | (Guilland, 2007) |
| Vitamine C |  | Donneur d'électron, pour protéger les structures intracellulaires contre les ER. Régénération de la vitamine E. | (Schwartz, 2016) (Nathan, 2009) |
| Zinc | Zn^{+2} | Régulateur pour plus de 200 enzymes (superoxyde dismutase). | (Chapuis, 2013) |
| Sélénium | Se^{-2} | Cofacteur de certaines enzymes antioxydants (glutathion peroxydase). | (Sessa, 2018) |
| Polyphénols (Flavonoïdes) |  | Donneurs d'atomes d'hydrogènes ou d'électrons (effet piègeur des radicaux). Chélateur et réducteur des cations métalliques (Fer et le cuivre). | (Massaux, 2012) (Kumar et Pandey, 2013) |

II.4. Mécanisme d'activité antioxydante

Selon HALLIWELL (Halliwell, 2007), les mécanismes d'action d'un antioxydant peuvent inclure :

- Le piégeage direct des ROS.
- L'inhibition des enzymes et la chélation des traces métalliques responsables de la production de ROS. (Fig.12)

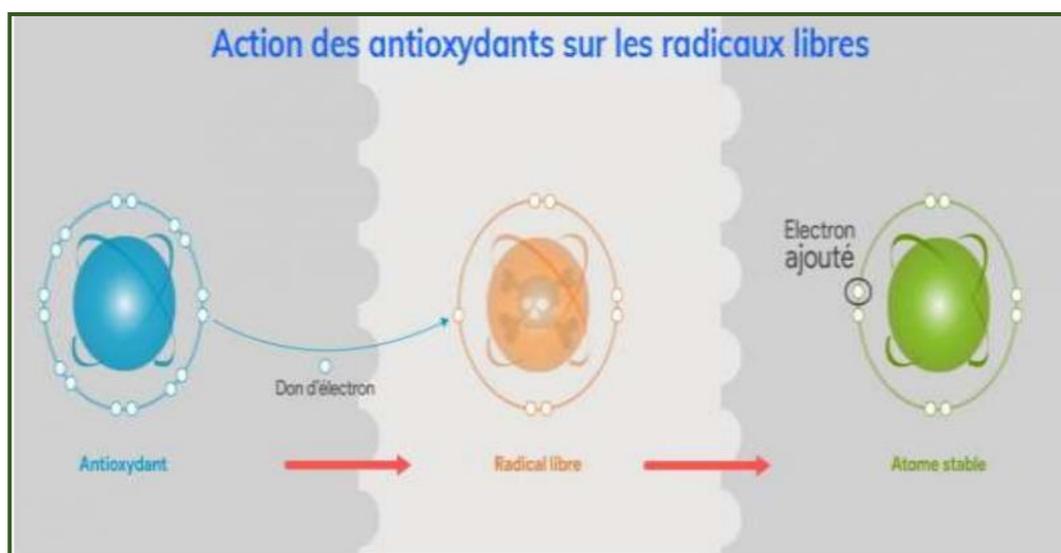


Figure 12 : Action des antioxydants sur les radicaux libres (Penser santé, 2019)

Chapitre III
Généralités sur
Portulaca Oleracea. L

III.1. Description botanique de *Portulaca oleracea*. L

Le *Portulaca oleracea* L, connu sous le nom de pourpier, est une plante appartenant à la famille des Portulacacées. Il est reconnu pour sa valeur médicinale et nutritionnelle et est approuvé par le ministère de la Santé pour une consommation régulière. Le pourpier est apprécié pour sa teneur en nutriments essentiels et ses propriétés bénéfiques pour la santé. En médecine traditionnelle, il est utilisé pour ses effets anti-inflammatoires et antioxydants. Sa popularité provient de sa polyvalence en tant qu'aliment nutritif et remède naturel (**Chen et al., 2023**). *Portulaca oleracea*. L communément appelé (Pourpier) est une espèce ancienne et répandue appartenant au genre *Portulaca* et à la famille des *Portulacaceae*, qui compte 21 genres et 580 espèces. Elle est principalement répandue dans les régions tropicales et subtropicales. Ses centres d'origine se situent en Amérique du Sud et en Afrique (**Kumar et al., 2022**). *Portulaca oleracea* L. communément appelé pourpier est une plante herbacée appartenant à la famille des *Portulacaceae*. On peut le trouver dans presque toutes les zones non ombragées, y compris les parterres de fleurs, les champs de maïs et les terrains vagues (**Desta et al., 2020**). Le pourpier, qui possède une distribution mondiale Elle possède une tige lisse, rougeâtre et généralement rampante, pouvant atteindre une longueur de 30 cm et un diamètre de 2 à 3 mm Les feuilles sont plates, charnues, présentant diverses formes, obovales, mesurant de 1 à 5 cm de long, de couleur verte ou verte avec une bordure rouge, pouvant être disposées de manière alternative ou opposée, et se regroupent aux nœuds et aux extrémités des tiges. Selon les précipitations, les fleurs peuvent apparaître à tout moment de l'année. Les fleurs se forment en une seule fleur ou en grappes de deux à cinq à l'extrémité des tiges. Les fleurs sont minuscules ou petites, de couleur jaune orangé, violette ou rose blanchâtre. Le fruit se compose de capsules presque rondes ou en forme d'œuf, mesurant généralement de 4 à 8 mm de long, qui s'ouvrent au milieu pour libérer les graines. Les graines se forment dans une petite capsule qui s'ouvre lorsque les graines sont mûres. Le pourpier possède une racine principale avec des racines secondaires fibreuses et est capable de supporter les sols pauvres et compactés ainsi que la sécheresse (**Mishra et al., 2020**).



Figure 13 : *Portulaca oleracea* L (fleurs, graines, feuilles)

(http://nature.jardin.free.fr/annuel/nmauric_portulac_oleracea.html)

III.2. Habitat et origine

La *Portulacca* est présente à travers toute l'Inde et s'élève jusqu'à 5 000 pieds dans l'Himalaya, ainsi que dans tous les pays à climat tempéré (Sultana et Rahman, 2013). Elle occupe la huitième place parmi les mauvaises herbes les plus communes à travers le monde, poussant dans les régions tempérées, subtropicales et tropicales d'altitude élevée, jusqu'à 2,6 km au-dessus du niveau de la mer. On signale sa présence entre 45° de latitude nord et 40° de latitude sud. La *Portulacca* pousse facilement dans des endroits chauds et humides pendant la saison estivale et le printemps, produisant rapidement des fleurs, des fruits et des graines après une période de germination de quarante jours (Khanam et al., 2019). Le pourpier est une espèce ubiquiste, présente dans de nombreux endroits à travers le monde (Danin et al., 2006). Les variétés sauvages de pourpier se distinguent par des tiges rampantes ou légèrement ascendantes, tandis que les cultivars commerciaux se développent de manière plus dressés et vigoureuse (Gonnella et al., 2010).

III. 3. Classification

Portulaca oleracea L. est une plante herbacée couramment utilisée comme légume. Elle est également connue sous les noms vernaculaires de *pourpier*, *kurfa* ou *mauvaise herbe à cochon*. Cette plante appartient à la division *Magnoliophyta*, à la classe *Magnoliopsida*, à la sous-classe *Caryophyllidae* et à l'ordre *Caryophyllales*. Sa famille, son genre et son espèce sont les *Portulacaceae*, *Portulaca* et *oleracea*, respectivement (Syed et al., 2016). Le tableau ci-dessous présente en détail la classification botanique de *Portulaca oleracea* L.,

Tableau 02 : Classification de *Portulaca oleracea* L (Okafor et al., 2014, Al-Sheddi et al., 2015).

| | |
|--------------------|-----------------|
| Royaume | Plantes. |
| Sous-règne | Tracheobionta. |
| Classe | Magnoliopsa. |
| Sous-classe | Caryophyllidae. |
| Ordre | Caryophyllales. |
| Famille | Portulacacées. |
| Genre | Portulacae L. |
| Espèce | Oleracea. |

III. 4. Culture et récolte

La culture commerciale du pourpier s'est développée au cours des dernières décennies. Cependant, sa popularité auprès des consommateurs a été limitée en raison des problèmes de santé liés à sa teneur élevée en acide oxalique. L'acide oxalique présent dans le pourpier peut contribuer à la formation de calculs rénaux chez certaines personnes (Petropoulos et al., 2016). Le pourpier se développe rapidement en atmosphère chaude, sur des terrains légers et riches. La culture à l'air libre doit être réalisée au printemps mais il peut être cultivé en serre, en semant à la volée et en enterrant les graines à l'aide d'une légère pression. Le premier et le deuxième arrosage sont essentiels pour la germination et la croissance de la plante. Les graines germent rapidement et ensuite il faut les transplanter pour accélérer le développement. Il est important d'assurer l'humidité après le semis afin d'accélérer la germination. Lorsque les plantules sont arrivées à une croissance moyenne, elles tolèrent bien le manque d'eau et la plante continue à se développer. Dans le cas de la culture en serre, les plantes sont récoltées au stade de 4 à 5

feuilles, après une vingtaine de jours de semis. Tandis que la culture à l'air libre, les feuilles et les tiges charnues sont récoltées lorsqu'elles sont suffisamment développées, environ 2 à 3 mois après le semis.

III. 5. Composition de *Portulaca oleracea* L

Le pourpier contient des acides organiques tels que l'acide oxalique et l'acide citrique. L'acide oxalique peut former des sels insolubles avec des minéraux alimentaires tels que le calcium, le fer, le magnésium et le potassium, ce qui réduit leur biodisponibilité et peut augmenter le risque de formation de calculs rénaux. Le pourpier est également riche en composés chimiques bénéfiques tels que les acides phénoliques (acide caféique, acide p-coumarique et acide férulique) et les flavonoïdes (apigénine, kaempférol, lutéoline, quercétine, isorhamnétine, kaempférol-3-O-glucoside et rutine). La quercétine est le composé flavonoïde le plus abondant dans le pourpier, suivi de près par la rutine et le kaempférol. La concentration en flavonoïdes varie selon la partie de la plante, étant généralement plus élevée dans la racine, suivie par la tige et les feuilles. Certains acides phénoliques, tels que l'acide p-coumarique et l'acide férulique, ont également été identifiés. La quercétine et l'acide p-coumarique ont démontré plusieurs bioactivités bénéfiques pour la santé, telles que des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et anticancéreuses. Ils peuvent également avoir des effets positifs sur des problèmes de santé spécifiques tels que l'athérosclérose, les lésions cardiaques oxydatives et le diabète. Il est important de noter que les concentrations des différents composés peuvent varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que la partie de la plante, le traitement et les méthodes d'extraction (Nemzer et al., 2020).

Tableau 03 : Composition chimique du pourpier Concentrations de flavonoïdes et d'acides phénoliques d'après (Tsakama *et al.*, 2018).

| Composés chimiques | Concentration dans le pourpier (mg/kg) | Référence |
|---------------------------------|---|-----------------------------|
| Acide caféique (A Ph) | N/A | Sicari <i>et al.</i> , 2018 |
| Acide p-coumarique (A Ph) | Extrait hydroalcoolique de feuilles fraîches (20,53 mg/kg). Échantillon séché à l'éthanol (18,77 mg/kg). | Nemzer <i>et al.</i> , 2020 |
| Acide férulique (A Ph) | N/A | Sicari <i>et al.</i> , 2018 |
| Api génine (flav) | N/A | Sicari <i>et al.</i> , 2018 |
| Kaempférol (flav) | 1,85 - 3,25 | Sicari <i>et al.</i> , 2018 |
| Lutéoline (flav) | N/A | Sicari <i>et al.</i> , 2018 |
| Quercétine (flav) | 6,02 - 16,01 | Sicari <i>et al.</i> , 2018 |
| Isorhamétine (flav) | N/A | Sicari <i>et al.</i> , 2018 |
| Kaempférol-3-O-glucoside (Flav) | N/A | Sicari <i>et al.</i> , 2018 |
| Rutine (flav) | 4,12 – 6,16 | Sicari <i>et al.</i> , 2018 |

NB La concentration en flavonoïdes dans le pourpier varie selon la partie de la plante. En général, les racines du pourpier présentent la plus forte concentration en flavonoïdes, suivies par les tiges, puis les feuilles. Ainsi, on observe une tendance décroissante de la concentration en flavonoïdes de la racine vers les feuilles (Xu *et al.*, 2006).

III. 6. Utilisation de *Portulaca oleracea*

Portulaca oleracea L (pourpier) est une plante qui présente de nombreuses utilisations traditionnelles :

- ✓ Ses feuilles, tiges et racines sont utilisées pour traiter divers problèmes de santé. Il a été employé comme antipyrétique et anti-inflammatoire, et consommé en salade dans la cuisine chinoise, italienne, française et anglaise. Le pourpier est également une source de GLA (acide gamma-linolénique) et peut être utilisé en cosmétique. Il est utilisé en externe pour traiter les blessures légères et les maladies de la peau. On lui attribue des propriétés bénéfiques contre les saignements utérins, les troubles hépatiques, les problèmes pulmonaires, les maladies cardiaques, les morsures de serpent, la toux, la soif excessive et la dysenterie. Le pourpier est également réputé pour ses effets cicatrisants, diurétiques et vermifuges. Il est considéré comme aphrodisiaque, réduit l'inflammation musculaire et possède des propriétés antibactériennes et antifongiques. En résumé, le pourpier est une plante polyvalente utilisée dans le traitement de diverses affections, avec des applications allant des problèmes de peau aux troubles digestifs et cardiovasculaires (Okafor et al., 2014 ; Kumar et al., 2012 ; Chowdhary et al., 2013 ; Jaradat et al., 2017 ; Ambasta 1986 ; Shiddamallayya et al., 2010 ; Rashed et al., 2003).
- ✓ **Utilisations thérapeutiques**
Le pourpier, également connu sous le nom de Khurfā, est une plante qui a été utilisée traditionnellement pour divers problèmes de santé. Selon les écrits d'Ibn Sina, il est considéré comme utile dans les saignements utérins anormaux chroniques en raison de sa propriété de "quwwat qabida". Il est également réputé pour enlever les taupes lorsqu'on frotte son lait. Le pourpier est utilisé pour soulager les maux de tête et les inflammations lorsqu'il est consommé ou appliqué localement. Il possède des propriétés astringentes bénéfiques pour les problèmes oculaires et la douleur dentaire liée à l'acidité. Il est utilisé dans les cas de saignements anormaux, d'inflammations et d'ulcères intestinaux. Les graines de pourpier, grillées ou non, ont des effets différents sur le système digestif, provoquant soit la constipation soit l'action laxative. Les graines mélangées avec du miel ont été considérées comme un aphrodisiaque. Le pourpier est également utilisé pour améliorer le sommeil et appliqué localement pour traiter diverses affections cutanées telles que les brûlures et les furoncles. Enfin, le pourpier mélangé

avec du vinaigre peut être bénéfique contre les coliques néphrétiques (**Baitar, 1999 ; Khanam et al., 2019**).

✓ **Utilisation en cosmétique**

Traditionnellement, le jus frais et la décoction de pourpier (Khurfa) sont utilisés localement dans les préparations cosmétiques en raison de leurs propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires et cicatrisantes (**Leung et Foster, 1996**).

III. 7. Propriétés nutritionnelles

Les diverses parties de la plante de pourpier (*Portulaca oleracea* L.) renferment une grande richesse en nutriments essentiels. Les feuilles se distinguent par leur teneur élevée en acide alpha-linolénique, en potassium, en magnésium et en calcium. Les tiges quant à elles sont principalement composées d'acides gras tels que l'acide palmitique et l'acide linoléique, et présentent également des niveaux importants de potassium et de magnésium. Par ailleurs, les extraits de pourpier sont reconnus pour leurs propriétés relaxantes musculaires grâce à leur concentration élevée en potassium. Il est également à noter que la composition minérale des différentes parties du pourpier peut varier de manière significative en fonction du cultivar, du stade de croissance et des conditions de culture. Voici le résumé des informations dans le tableau ci-dessous :

Tableau 04 : Profil Nutritionnel des Différentes Parties de la Plante de Pourpier (Nemzer et al., 2020)

| Partie de la plante | Compositions principales |
|--|---|
| Feuilles | <ul style="list-style-type: none"> -Riches en acide alpha-linolénique (ALA) (35,4 à 54,92 %) -Haute teneur en potassium : 46 000 mg/kg de poids sec -Teneur élevée en magnésium (moyenne de 4 400 mg/kg de poids sec) -Contient une quantité importante de calcium (60 000 mg/kg de poids sec) |
| Tiges | <ul style="list-style-type: none"> -Principalement composées d'acide palmitique (20,2 à 21,8 %). -Contiennent également de l'acide linoléique (23,02 à 27,11 %). -Haute teneur en potassium : 68 600 mg/kg de poids sec. -Présentent un niveau significatif de magnésium (25 400 mg/kg de poids sec). |
| L'extrait de pourpier | Effet relaxant musculaire dû à la concentration élevée en potassium des extraits de pourpier. |
| Différentes parties du pourpier de différents cultivars | <ul style="list-style-type: none"> -différences significatives pour la composition minérale entre les différents stades de croissance, -les dates de plantation et les niveaux de sel. |

III. 7.1. Valeur nutritive du pourpier (une plante riche en nutriments essentiels et composés bénéfiques)

Le pourpier est une mauvaise herbe très nutritive, contenant une quantité variable de glucides, de protéines et de lipides. Il fournit environ 84 kJ (20 kcal) d'énergie par 100g. Le pourpier est également riche en minéraux tels que le fer, le sodium, le potassium, le calcium, le phosphore, le manganèse et le zinc, mais les quantités spécifiques varient. De même, les vitamines présentes dans le pourpier, notamment la vitamine A, la vitamine B1, la vitamine B2, la vitamine B3, la vitamine B6, la vitamine B9, la vitamine C et la vitamine E, sont présentes en quantités variables. Le pourpier contient également des oxalates, dont la quantité peut varier de 671 à 869 mg pour 100g de feuilles fraîches, ainsi que des substances mucilagineuses d'importance médicinale. Il convient de noter que les oxalates peuvent être préoccupants pour certaines personnes atteintes de problèmes rénaux, et il est conseillé de consommer le pourpier

avec modération dans de tels cas. L'inclusion du pourpier dans l'alimentation peut apporter divers nutriments bénéfiques pour la santé (Aberoumand et Deokule 2009 ; Uddin et al., 2014 ; Mohamed et Hussein 1994) ; Voici le résumé des informations dans le tableau ci -dessous

Tableau 05 : Composition nutritionnelle du pourpier par 100g (Syed et al., 2016).

| Nutriments | Contenu du pourpier (pour 100g) |
|----------------------------------|---|
| Énergie | 84 kJ (20 kcal) |
| Glucides | Variable |
| Protéines | Variable |
| Lipides | Variable |
| Minéraux | Fer : variable mg, Sodium : variable mg, Potassium : variable mg, Calcium : variable mg, Phosphore : variable mg, Manganèse : variable mg, Zinc : variable mg |
| Vitamines | Vitamine A : variable µg, Vitamine B1 : variable mg, Vitamine B2 : variable mg, Vitamine B3 : variable mg, Vitamine B6 : variable mg, Vitamine B9 : variable µg, Vitamine C : variable mg, Vitamine E : variable mg |
| Oxalates | 671-869 mg |
| Substances mucilagineuses | Présentes |

III. 8. Effets Thérapeutiques Prometteurs du *Portulaca oleracea* L

Un aperçu des effets thérapeutiques potentiels du pourpier (*Portulaca oleracea* L.) basés sur des études scientifiques spécifiques. Les résultats suggèrent que le pourpier peut avoir divers effets bénéfiques sur la santé, tels que des propriétés antioxydantes, anticancéreuses, neuroprotectrices, anti-inflammatoires, antiulcéreuses, hépatoprotectrices, anti-athérogéniques, néphroprotectrices, ainsi qu'un potentiel pour le traitement du lichen plan buccal et des propriétés antidiabétiques, un résumé des effets thérapeutiques du pourpier (*Portulaca oleracea* L.) mentionnés dans les informations fournies, regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 06 : Effets thérapeutiques potentiels du pourpier (*Portulaca oleracea* L.)

| Effet | Résultats | Références |
|------------------------------------|--|---|
| Activité antioxydante | Les composés phénoliques isolés du pourpier ont montré une activité antioxydante significative | Erkan, 2012 ; Uddin et al., 2014 |
| Activité anticancéreuse | Certains iso flavonoïdes isolés du pourpier ont montré une activité anticancéreuse importante | Yan et al., 2012 ; Tian et al., 2014 |
| Activité neuroprotectrice | Les β -cyanines du pourpier ont montré une activité neuroprotectrice chez la souris | Wang et Yang, 2010 |
| Activité anti-inflammatoire | Les extraits de pourpier ont montré une activité anti-inflammatoire en inhibant différentes voies de signalisation inflammatoire | Lee, 2012 ; Chan et al., 2000 |
| Activité antiulcéreuse | Les extraits de pourpier ont montré un effet gastro protecteur et antiulcéreux chez la souris | Karimi et al., 2004 |
| Activité hépato protectrice | Les extraits de pourpier ont montré une activité hépato protectrice chez le rat | Elkhayat et al., 2008 |
| Activité anti-athérogénique | Les acides gras oméga issus du pourpier ont montré une activité anti-athérogénique chez le rat | Farghaly et al., 2012 |

| | | |
|---|--|---|
| Activité néphroprotectrice | Les extraits de pourpier ont montré une activité néphroprotectrice chez le rat | Karimi et al., 2010 |
| Traitement du lichen plan buccal | Le pourpier a montré une amélioration significative chez les patients atteints de lichen plan buccal | Agha-Hosseini et al., 2010 |
| Activité antidiabétique | Les graines de pourpier ont montré des activités antidiabétiques et hypolipidémies chez le rat | Mohamed-I Kotb El-Sayed, 2011; Nadkarni and Nadkarni, 1999; Cui et al., 2005 |

Partie expérimentale

Matériels et méthodes

IV.1. Matériel végétal

Dans cette étude, le matériel végétal utilisé représente les graines de *Portulaca oleracea* L provenant de la wilaya de Sétif en Algérie (Ouest Algérien) ; Ces graines ont été recueillies auprès d'un herboriste exerçant à Mostaganem en février 2024. (Fig.14)



Figure 14 : Les graines de *Portulaca oleracea* L

IV.2. Méthodes

Les graines finement broyées à l'aide d'un broyeur électrique, La poudre obtenue, a été conservée dans un flacon en verre à température ambiante et à l'abri de toute exposition à la lumière. (Fig.15)

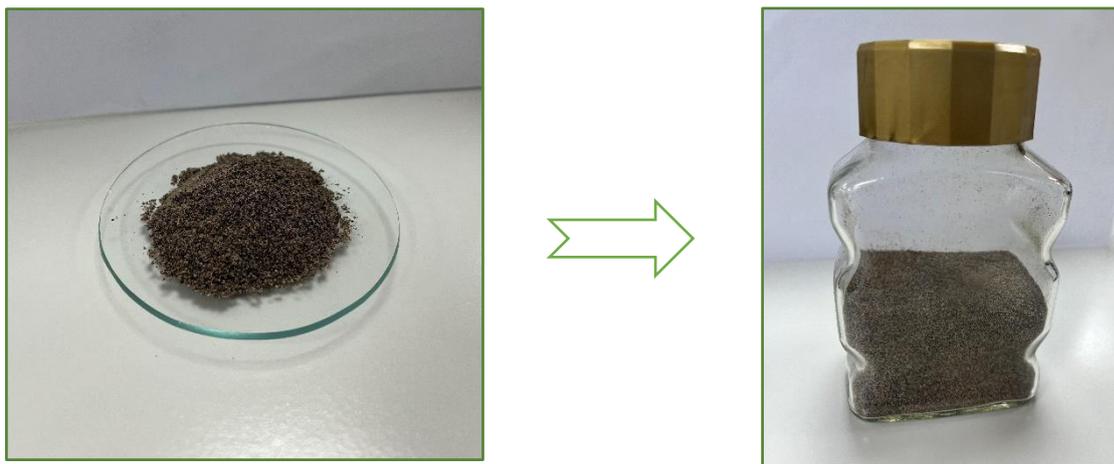


Figure 15 : Protocole d'obtention d'une poudre des graines de *Portulaca oleracea* L

Notre travail de recherche a été réalisé au sein du laboratoire de recherche pharmacognosie Api - phytothérapie.

IV.3. Extraction

L'extraction est une étape très importante avant toute analyse quantitative et qualitative. Elle est influencée par la méthode d'extraction choisie et en fonction des composés photochimiques à étudier. Dans cette étude, on a procédé à la méthode d'extraction par macération :

IV.3.1. Extraction par macération

La macération est une méthode d'extraction liquide-solide qui s'effectue à température ambiante, elle est conçue pour l'extraction de composés sensibles à la chaleur (**Muanda, 2010**).

Nous avons réalisé une extraction hydro éthanolique à 70% (v/v) par macération de 10g de poudre des graines étudiées sont macérées à température ambiante et à l'abri de la lumière dans 300 ml de solution hydro-éthanolique pendant 3 jours. Par la suite, nous avons filtré la solution à l'aide d'un papier wattman numéro 04, le filtrat a été évaporé par l'évaporateur rotatif (rotavapeur heidolf) à une température de 40° afin d'obtenir un extrait sec et facile à manipuler. Le schéma ci-dessous représente le processus d'extraction que nous avons réalisé. (**Fig.16**)



Figure 16 : Les étapes d'extraction

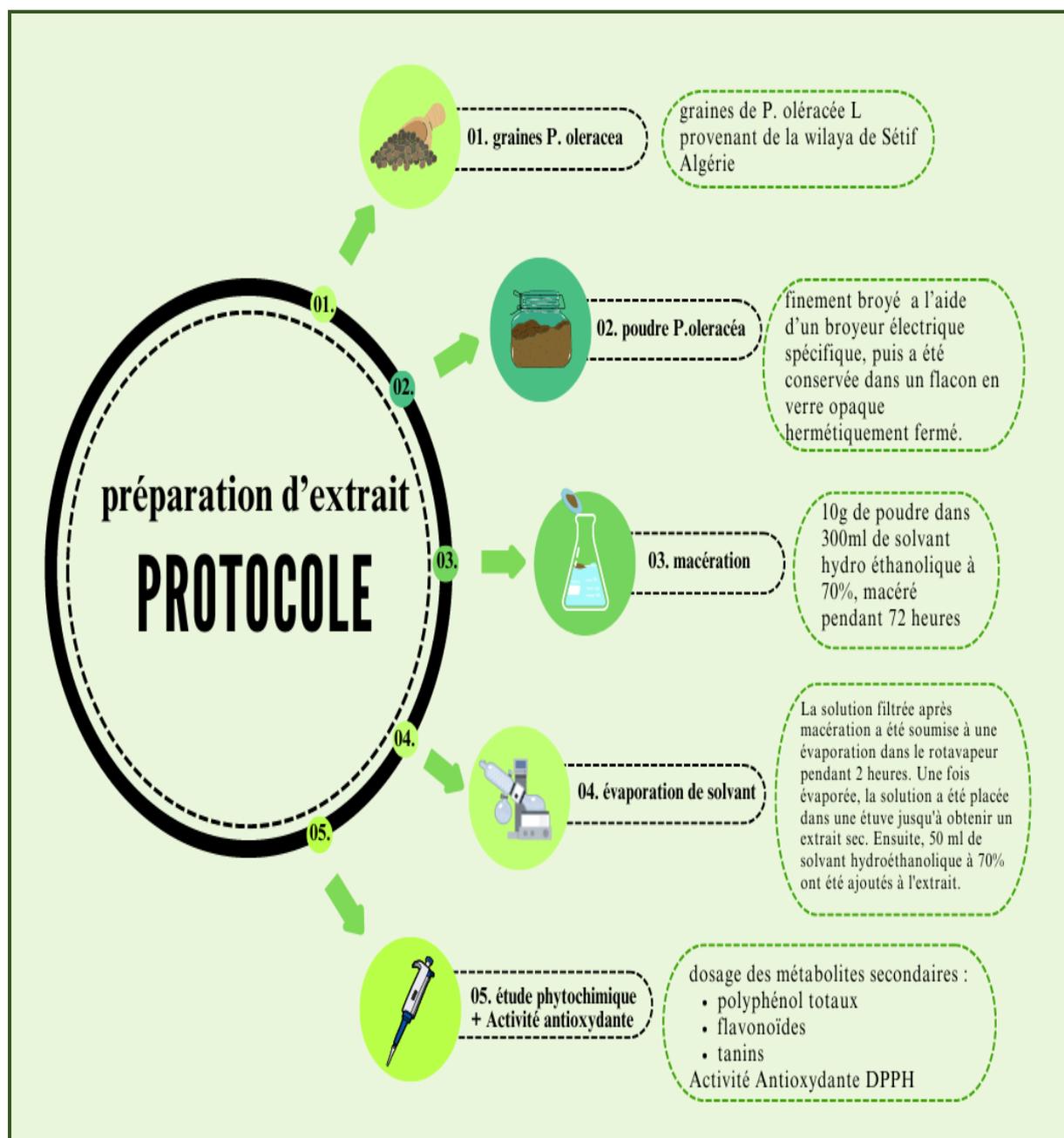


Figure 17 : Protocole de préparation d'extrait de graines de *Portulaca Oleracea L.*

IV.3.2. Détermination de rendement d'extraction

Le poids d'extraits sec obtenu est déterminé par la différence entre le poids de Ballon plein (après évaporation) et le ballon vide (avant évaporation). Le rendement en extrait brut est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Rendement d'extraction (\%)} : [(P1 - P2) / PV] \times 100$$

Rd : Rendement d'extraction.

P1 : Poids de Ballon après évaporation.

P2 : Poids de Ballon vide.

PV : Poids de la poudre du matériel végétal utilisé pour l'extraction.

IV.4. Analyses phytochimiques (screening phytochimique)

Il s'agit d'une étude qualitative visant la recherche des principaux groupes chimique (alcaloïdes, polyphénols, flavonoïdes, tanins, saponosides, composé réducteurs...). Les tests de caractérisation sont basés sur des réactions de précipitation et de complexations avec formation de complexes insolubles et colorés, cette coloration observée est provoquée par l'utilisation d'un réactif approprié en vue de mettre en évidence des substances chimiques contenues dans l'extrait des graines de *Portulaca oleracea L.*

- **Flavonoïdes (test de chlorure ferrique)**

A 1ml d'extrait, on ajoute quelques gouttes d'acide chlorhydrique à 2% et quelques gouttes FeCl₃ à 3%. La présence des flavonoïdes est indiquée par coloration verdâtre ou précipité jaune (**Bhandary et al.,2012**)

- **Alcaloïdes (test de Dragendorff)**

1ml d'extrait a été ajouté à 1ml de Hcl 1% et quelques gouttes de réactif de Dragendorff. L'apparition d'un précipité rouge orangé ou jaune indique la présence des alcaloïdes (**Roopalatha et Nair, 2013**)

- **Anthocyanes**

1ml de H₂SO₄ à 10% a été ajouter à 1ml d'extrait, après agitation on rajoute 1ml de solution d'ammoniac (NH₄OH) à 10%. La présence d'anthocyanes est affirmée par une coloration bleue (**Diallo, 2005**)

- **Coumarines (test de l'hydroxyde de sodium)**

A 2ml d'extrait on ajoute 3ml de NaOH à 10%. L'apparition d'une couche jaune indique la présence des coumarines (**Bruneton, 1999**)

- **Stérols et triterpènes (Test de Libermann-Brhard)**

A 1ml d'extrait on ajoute 1ml d'anhydride acétique $C_4H_6O_3$, agitation puis chauffage jusqu'à ébullition. L'apparition d'une couche rouge brunâtre ou violet, avec coloration de la couche surnageante de vert ou de violet, traduit la présence de stérols et de triterpènes. (Roopalatha et Nair, 2013)

- **Terpénoides (Test de Salkowski)**

A 2ml d'extrait, on ajoute 2ml de Chloroforme puis 2ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4). L'apparition d'une couche brun-rougeâtre à l'interphase indique la présence des terpénoides. (Mathur et al., 2011 ; Hajoori et al., 2014)

- **Saponosides**

Agitation pendant 15 secondes. Une mousse persistante pendant 20 minutes confirme la présence des saponosides (N'Guessan et al., 2009)

- **Tanins catechiques**

On ajoute 1ml de $FeCl_3$ (3%) à 1ml d'extrait. L'apparition d'une couleur bleu-vert indique la présence des tanins catéchiques. (Diallo, 2005)

IV.5. Analyse quantitative

L'étude quantitative est portée sur le dosage des composés les plus fortement présents telles que les tanins et les flavonoïdes.

IV.5.1. Teneur des polyphénols totaux (TPT)

➤ **Principe**

La méthode de dosage utilisée repose sur les propriétés réactives du réactif Folin-Ciocalteu (FCR). Ce réactif est composé d'un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique, qui ont une couleur jaune. En milieu alcalin (en présence de carbonate de sodium), ce mélange change de couleur, passant du jaune au bleu, à la suite de la réduction du mélange phosphotungstique-phosphomolybdique par les groupes oxydables des composés phénoliques. Cette réaction conduit à la formation d'un mélange d'oxyde de tungstène et de molybdène. L'intensité de la couleur bleue est proportionnelle à la quantité de composés

phénoliques présents dans l'échantillon et présente une absorption maximale à 765 nm. (Riberau- Gayon, 1968 ; Georgé et *al.*, 2005 ; Bonnaillie et *al.*, 2012)

➤ **Mode opératoire**

Pour déterminer la teneur totale en polyphénols, 0,3 ml d'extrait de graines de *Portulaca oleracea* L. ont été mélangés avec 1,6 ml du réactif Folin-Ciocalteu Ensuite, 1,3 ml de carbonate de sodium ont été ajoutés au mélange, ont été soigneusement mélangés et le mélange a été incubé dans un endroit sombre pendant 2 heure. L'absorbance a ensuite été mesurée à 735 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Les résultats obtenus ont été exprimés en milligrammes d'équivalents d'acide gallique par gramme de matière sèche (mg GAE/g) en utilisant l'acide gallique comme étalon de référence. (Singleton et Rossi, 1965 ; Ali-Rachedi et *al.*, 2018)

IV.5.2. Dosage des flavonoïdes totaux (TFT)

➤ **Principe**

La méthode de détermination quantitative des flavonoïdes totaux repose sur la formation d'une liaison entre le groupement hydroxyle (OH) libre en position 5 des flavonoïdes et le groupement CO, ce qui donne lieu à la formation d'un complexe coloré avec le trichlorure d'aluminium. La couleur jaune obtenue du complexe aluminium-flavonoïdes dépend de la quantité de flavonoïdes complexés, et présente une absorbance maximale à 430 nm. (Ribereau- Gayon, 1968 ; Humadi et Istudor, 2008).

➤ **Mode opératoire**

750µl d'extrait ou standard été ajoutée à 750µl de chlorure d'aluminium 2% préparé dans le méthanol, après agitation le mélange est mis en incubation a l'obscurité pendant 40min. La mesure de la densité optique est faite contre un blanc à une longueur d'onde de 415nm. La quercétine a été utiliser comme référence pour une courbe d'étalonnage avec des concentrations allant de 0,003 à 1mg/ml et les résultats sont exprimés en mg équivalent quercétine par 100g de poids sec d'extrait : mg EQ/100g PS. (Huang et *al.*, 2004)

IV.5.3. Dosage des tannins condensés

➤ **Principe**

Les tanins condensés sont déterminés par la méthode de la vanilline en milieu acide (HCl), Cette technique repose sur la réaction de la vanilline avec les flavan-3-ols libres et les extrémités terminales des pro-anthocyanidines, ce qui entraîne la formation d'un complexe

de couleur rouge. L'intensité de cette couleur est proportionnelle à la quantité de flavanols présents dans l'échantillon, et elle présente une absorption maximale à 500 nm. (**Ghedadba et al., 2014 ; Ali-Rachedi et al., 2018**)

➤ **Mode opératoire**

0,2ml de chaque extrait ou standard est ajouté à 1,5ml de vanilline à 4%. Le mélange est agité avec vortex et tout de suite, 0,75ml d'HCl concentré est ajouter à la mixture. Après agitation, le mélange est incubé à l'obscurité à température ambiante pendant 20min et l'absorbance est mesurée à 500nm contre un blanc. La catéchine est utilisée comme standard pour une courbe d'étalonnage avec des concentrations allant de 0,001 à 1mg/ml et les résultats sont exprimés en mg équivalent catéchine par 100g de poids sec d'extrait : mg EC/100g PS. (**Julkunen-Tiitto, 1985**)

IV.5.4. Dosage des tanins hydrolysable

➤ **Principe**

Les tanins hydrolysables ont été quantifiés en utilisant une solution aqueuse de KIO₃ (iodate de potassium) à une concentration de 2,5%, en suivant le protocole décrit par (**Willis et Allen en 1998, qui a été modifié par Hmid en 2013**)

➤ **Mode opératoire**

500µl d'extrait ou de la référence été prélevés. Ensuite ,2500µl d'iodate de potassium a été ajoutés, le mélange a été agité à l'aide d'un vortex pour assurer une homogénéisation, La lecture de l'absorbance a été réalisée contre un blanc préparé pour chaque concentration à 550 nm après 4 min d'incubation à l'obscurité et à température ambiante. (**Julkunen-Tiitto, 1985**)

IV.6. Evaluation de l'activité antioxydante

Test de piégeage du radical libre 2,2-diphényl-2-picrylhydrazyl (DPPH)

➤ **Principe**

Le DPPH, également connu sous le nom de 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle, a été l'un des premiers radicaux libres utilisés pour examiner comment la structure des composés phénoliques est liée à leur activité antioxydante. Il contient un électron non apparié sur un atome d'azote de pont. À température ambiante, le DPPH reste sous sa forme monomère stable. (**Popovici et al., 2009**).

Le test repose sur le principe selon lequel le radical libre DPPH, qui présente une coloration violette foncée dans le méthanol et peut être mesuré par spectrophotométrie à 515-518 nm, est réduit à la suite d'un transfert d'hydrogène causé par la présence d'antioxydants. Les antioxydants se transforment en diphenyle picryl-hydrazine de couleur jaunâtre, dont l'intensité dépend de la capacité des antioxydants présents dans l'échantillon. (Larrauri *et al.*, 1998 ; Contreras-Calderón *et al.*, 2011 ; Adida *et al.*, 2016).

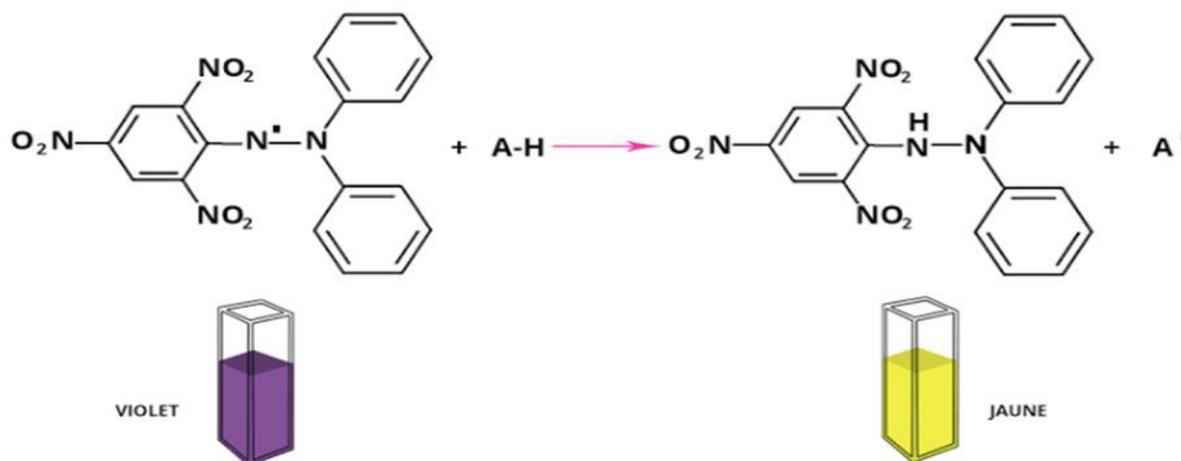


Figure 18 : Mécanisme de réduction du DPPH (GOUDJIL, 2016).

➤ Mode opératoire

300µl d'extrait ou de la référence a été ajouter à 1950µl du DPPH, Après 30 min d'incubation à l'obscurité et à température ambiante, l'absorbance est mesurée à 517 nm par spectrophotomètre 7305 UV-Visible, l'acide ascorbique a été utiliser comme référence pour une courbe d'étalonnage avec des concentrations allant de 0,001 à 0,500 mg/ml et les résultats sont exprimés en mg équivalent acide ascorbique par 100g de poids sec d'extrait : mg EAA/100g PS. (Maisuthisakul *et al.*, 2007)

Détermination du pourcentage d'inhibition

Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Inhibition (I\%)} = (\text{Abs témoin} - \text{Abs échantillon} / \text{Abs témoin}) \times 100$$

La concentration inhibitrice 50% (CI 50%) : c'est la proportion pour laquelle l'échantillon testé réduit 50% des radicaux libres DPPH. Elle est déterminée graphiquement sur les graphes tracés.

Plus la valeur de CI50 est petite, plus le pouvoir anti-radicalaire de l'échantillon testé est grand (Maisuthisakul et *al.*, 2007).

IV.7. Analyse statistique

Toutes les mesures ont été données en triplicata. Les résultats sont présentés en moyennes \pm écarts type. Les tests de corrélations entre variables ont été effectués à l'aide du Microsoft Excel 200.

Chapitre V :
Résultats et discussion

V. Résultats de l'étude phytochimique

V.1. Détermination du rendement d'extraction

Le rendement d'extraction hydro-éthanolique des graines de *Portulaca oleracea* L. a donné un rendement de 4%, exprimé en pourcentage du poids du matériel végétal sec rendu en poudre.

V.2. Analyses qualitatives (screening phytochimique)

Les résultats du screening phytochimique de l'extrait hydro-éthanolique des graines de *Portulaca oleracea* L montrent une présence variable des différents métabolites secondaires tels que les tanins, les coumarines, les flavonoïdes, les alcaloïdes, les terpènes. Le tableau suivant résume ces résultats (**Tab.07**).

Tableau 07 : résultats du screening phytochimique d'extrait de graines de *Portulaca oleracea* L

| Composés | Résultats |
|------------------------|-----------|
| Tanins cathéchiq | +++ |
| Coumarines | ++ |
| Flavonoïdes | +++ |
| Anthocyanes | - |
| Alcaloïdes | +++ |
| Terpènes | ++ |
| Saponosides | - |
| Stérols et triterpènes | - |

(+++) : Forte présence ; (++) : Présence modérée ; (-) : Absence

Les résultats d'extraction par macération (extrait hydro-éthanolique 70%) des graines de *Portulaca oleracea* L. met en évidence une composition riche et variée en métabolites secondaires. D'où on remarque une forte présence de tanins cathéchiq (+++), de flavonoïdes (++) et d'alcaloïdes (+++), des présences modérées de coumarines (++) et de terpènes (++), mais une quasi-absence d'anthocyanes (-), de saponosides (-) et de stérols/triterpènes (-).

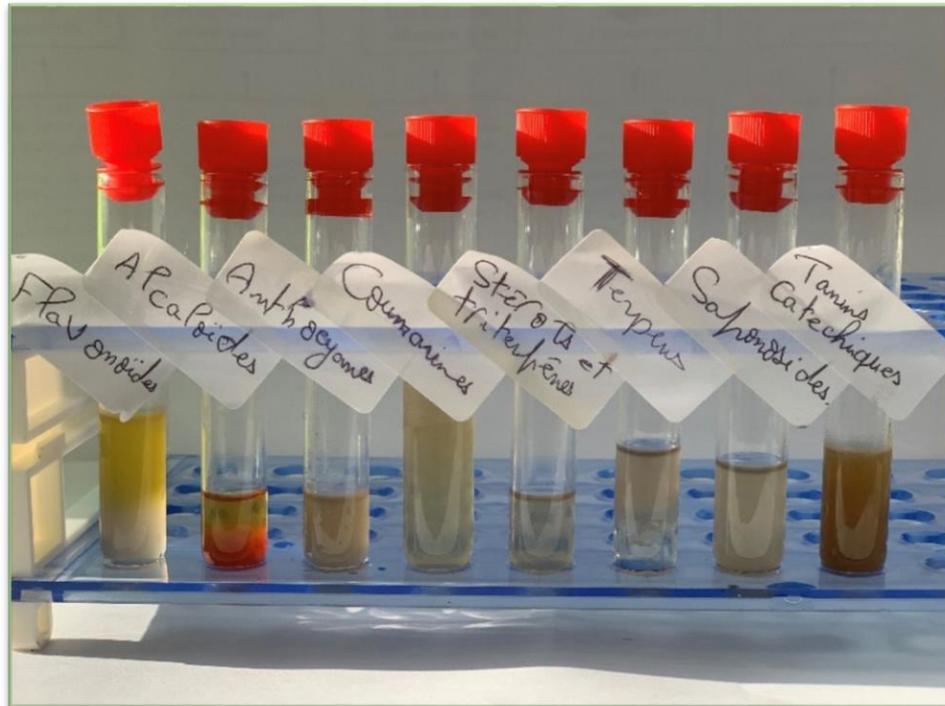


Figure 19 : La mise en évidence des métabolites secondaires d'extrait de graines de *Portulaca oleracea* L.

V. 3. Dosage des métabolites secondaires

V.3.1. Dosage des polyphénols totaux

La teneur en composés phénolique de l'extrait hydro-éthanolique a été calculée à partir de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique. La formule de la régression linéaire de cette courbe est de : $y = 0.3042x - 0.1636$ avec un facteur de corrélation $R^2 = 0.9948$ (Fig.20). Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent d'acide gallique par un gramme de matière sèche de l'échantillon (mg EAG/g ms)

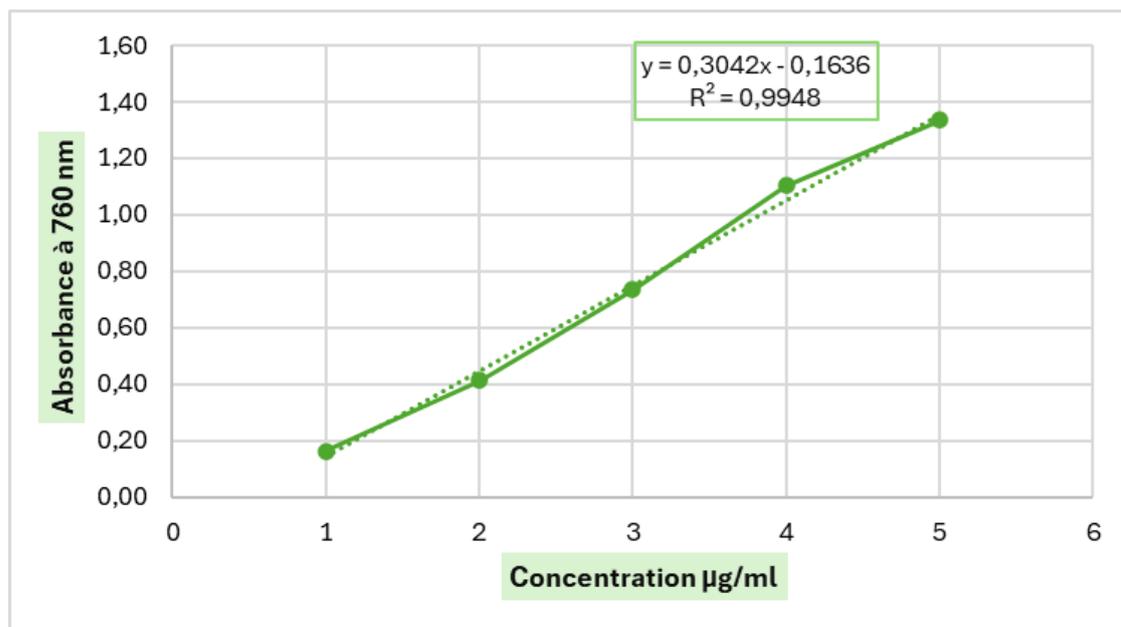


Figure 20 : courbe d'étalonnage de l'Acide Gallique.

Tableau 08 : Teneur de l'extrait hydro-éthanolique d'en polyphénols

| Extrait | Teneur des Polyphénols totaux Mg EAG\100g |
|------------|---|
| Graines PO | 146 ± 3,85 |

V.3.2. Dosage des flavonoïdes

Le dosage des flavonoïdes a été réalisé par la méthode colorimétrique décrite par (**Ribereau-Gayon, 1968**). Les teneurs en flavonoïdes totaux des graines de la plante étudiée a été estimé grâce à une courbe d'étalonnage réalisée avec une substance de référence la quercétine à différentes concentration, l'absorbance est lue à 430 nm.

La courbe d'étalonnage a montré un coefficient de corrélation $R^2 = 0,940$ et une formule de régression $y = 0,136x + 0,2446$. (**Fig.21**)

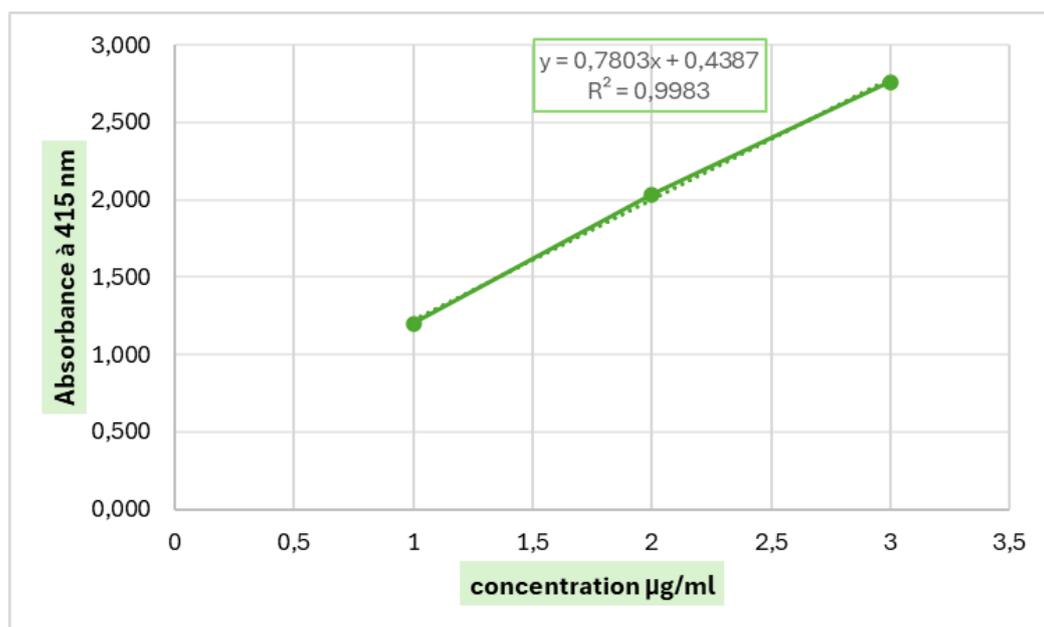


Figure 21 : courbe d'étalonnage de Quercétine.

Tableau 09 : Teneur de l'extrait hydro-éthanolique en flavonoïdes

| Extrait | Teneur des Flavonoïdes Mg EQ/100g |
|------------|--------------------------------------|
| Graines PO | 83,46 ± 0,46 |

V.3. 3. Dosage des tannins condensés

La détermination de la teneur des tannins condensés de l'extrait hydro éthanolique des graines de *Portulaca oleracea L* est de $30,93 \pm 2,7\text{mg}\backslash 100\text{g}$ en utilisant la courbe d'étalonnage de la référence Catéchine. **(Tab.10)**

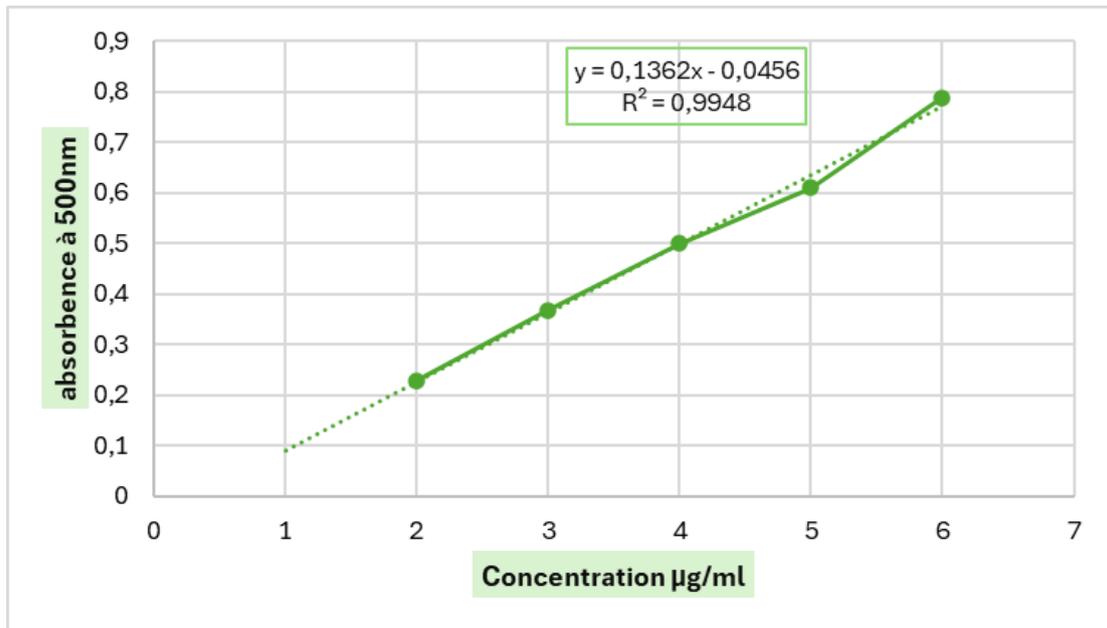


Figure 22 : courbe d'étalonnages des tanins condensés.

Tableau 10 : Teneur de l'extrait hydro-éthanolique en tannins condensés

| Extrait | Teneur des tannins condensés Mg EC/100g |
|------------|--|
| Graines PO | 30,93 ± 2,7 |

V.3. 4. Dosage des tannins hydrolysable

La détermination de la teneur des tannins hydrolysable de l'extrait hydro éthanolique des graines de *Portulaca oleracea L* s'est révélé être 51,73±15,52 mg ETA\100g en utilisant la courbe d'étalonnage de la référence Acide Tannique. **(Fig.23)**

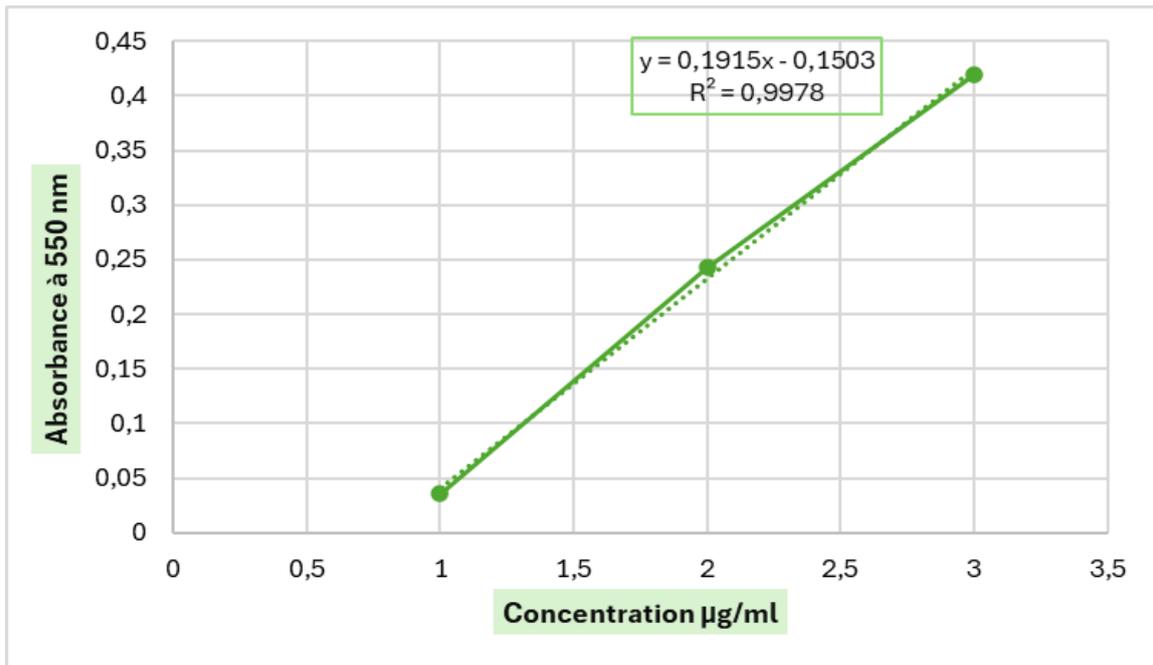


Figure 23 : courbe d'étalonnage de l'acide tannique.

Tableau 11 : Teneur de l'extrait hydro-éthanolique en tannins hydrolysables

| Extrait | Teneur des tannins hydrolysable Mg EAT/100g |
|------------|--|
| Graines PO | 51,73 ± 15,52 |

V.4. Activité antioxydante

V. 4.1. Résultats de test de DPPH

Les résultats de l'activité piégeage de radical libre DPPH de notre extrait hydro éthanolique des graines de *Portulaca oleracea L* en utilisant l'acide ascorbique comme solution standard et de l'extrait éthanolique sont exprimés en pourcentage d'inhibition et illustrés dans la **figure 24**

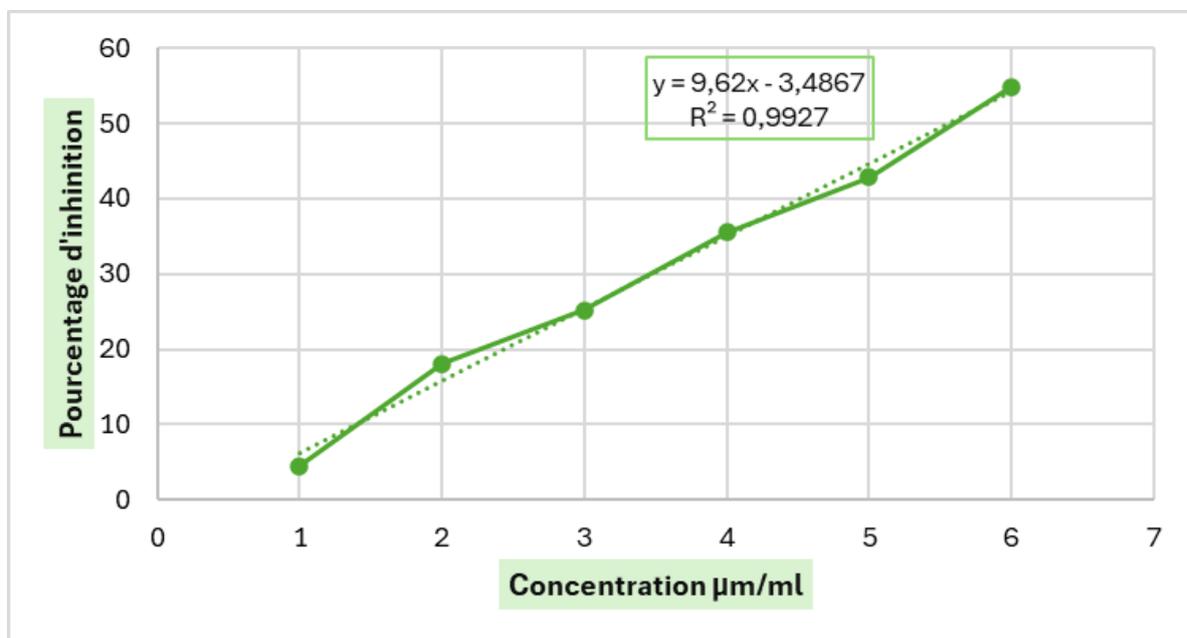


Figure 24 : courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique pour la détermination de la capacité antioxydante des graines de *Portulaca oleracea L.*

Tableau 12 : la concentration d'inhibition IC50 est à 4,11 avec pourcentage de 61,3%.

| Extrait | IC50 µg/ml |
|------------|-------------|
| Graines PO | 4,11 |

Discussion

Le pourpier *Portulaca oleracea* L. est connu pour sa richesse en composés bioactifs tels que des acides gras, des vitamines, des polysaccharides, des protéines, des stérols (**Petropoulos et al., 2016**), ainsi que les flavonoïdes, des terpénoïdes, des alcaloïdes et des acides organiques (**Dabbou et al., 2020**). Cependant, la composition phytochimique du pourpier peut varier de manière significative en fonction de différents facteurs, notamment le moment de la récolte, les conditions environnementales et de culture, ainsi que le type de solvant utilisé pour l'extraction (**Uddin et al., 2014**).

Notre travail s'est focalisé sur l'étude phytochimique et l'évaluation de l'activité antioxydante d'un extrait brut préparé par macération des graines de *Portulaca oleracea* L. dans un mélange eau-éthanol. Notre étude portait sur des tests phytochimiques (criblage phytochimique), le dosage des polyphénols totaux, des flavonoïdes totaux, des tannins condensés et hydrolysables ainsi que l'évaluation de l'activité antioxydante par le test au DPPH (piégeage du radical libre DPPH•).

Selon une étude menée par **Khoddami et al., 2013**, l'utilisation de plantes sous forme de poudre améliore l'efficacité de l'extraction. En effet, la poudre permet d'obtenir un échantillon plus homogène, ce qui augmente la surface de contact avec le solvant et la pénétration à l'intérieur des cellules est plus facile. Dans ce contexte, la macération est considérée comme la méthode d'extraction la plus simple et semble être particulièrement efficace pour extraire les polyphénols totaux, comme l'ont indiqué **Mahmoudi et al., 2013**. Des études antérieures, telles que celle de **Katalinić et al., 2010**, ont également montré que l'utilisation d'un mélange d'eau et d'éthanol est optimal pour l'extraction des polyphénols.

L'extraction par macération des graines de *Portulaca oleracea* L. a donné un rendement d'extraction de 4 %, exprimé en pourcentage du poids de la matière végétale sèche de 10g réduite en poudre, ce rendement apparaît inférieur à celui cité par **El Ouardani et Faddi, 2020**, dont les extraits obtenus par macération ont également présenté un rendement de 27% pour l'extrait éthanolique. Dans l'étude réalisée par **Rahal et Rahal, 2019** sur les extraits du pourpier préparés par macération avec différents solvants a montré des rendements d'extraction très variables, allant de 31,39% pour l'extrait aqueux à seulement 8,71% pour l'extrait méthanolique et 4,1% pour l'extrait éthanolique, ce dernier résultat est en accord avec les nôtres.

Les résultats de criblage phytochimique ont mis en évidence la présence de tannins catéchiques, de coumarines, de flavonoïdes, d'alcaloïdes et de terpénoïdes dans l'extrait hydro

éthanolique des graines de *Portulaca oleracea* L, en parallèle, on a remarqué l'absence d'anthocyanes, de saponosides et de stérols/triterpènes. Ces observations concordent en partie avec celles rapportées par **Gruszycki et al., 2019** qui ont étudié les parties aériennes de *Portulaca oleracea* L et ont également signalé la présence d'alcaloïdes et de tannins, mais ils ont indiqué l'absence de flavonoïdes et la présence de saponines, contrairement à nos résultats. De même, **El Ouardani et Faddi, 2020** ont analysé les feuilles de *Portulaca oleracea* L et ont mis en évidence la présence de flavonoïdes, d'alcaloïdes, de tannins et de saponines, mais ils ont noté l'absence de terpénoïde. **Zobiri, 2017** et **Okafor et Ezejindu, 2014** quant à eux, ils ont utilisé les parties aériennes en rapportant la présence d'alcaloïdes, de saponines, de coumarines, de flavonoïdes et de tannins, ce qui correspond globalement à nos observations. Enfin, **Khursheed et al., 2021** ont étudié les parties aériennes de *Portulaca oleracea* L et ont également révélé la présence de phénols, de stéroïdes, d'alcaloïdes, de flavonoïdes et de terpénoïdes dans différents extraits (aqueux / méthanolique / éthanolique / acétone et hexane), mais l'absence de tannins, dans un sens similaire à nos résultats. Cependant, cette étude a également signalé la présence de saponines et d'antraquinones, composés non détectés dans notre étude.

Ces différences peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs tels que les techniques d'extraction, les conditions de culture ou encore les méthodes analytiques employées **Duda et al., 2015**.

Les résultats ont mis en évidence une concentration élevée de composés phénoliques totaux dans les graines de pourpier (*Portulaca oleracea* L), atteignant $146 \pm 3,85$ mg EAG/100g. Cette valeur se situe dans la fourchette des résultats rapportés dans la littérature, mais présente des différences notables. Ainsi, elle est supérieure aux teneurs de $27,80 \pm 2,86$ mg EAG/g dans l'extrait méthanolique et de $30,91 \pm 3,09$ mg EAG/g dans l'extrait d'acétate d'éthyle des parties aériennes **Chen et al., 2022**. Cependant, elle demeure inférieure à la concentration exceptionnellement élevée de $219,27 \pm 4,13$ mg EAG/g observée dans l'extrait éthanolique de ces mêmes parties aériennes **Chen et al., 2022**. De même, nos résultats sont inférieurs aux $360,3 \pm 8,9$ mg EAG/100g mesurés dans l'extrait méthanolique des feuilles de pourpier **Uddin et al., 2012**, mais restent supérieurs aux teneurs de $4,40 \pm 0,16$ à $17,95 \pm 0,84$ mg EAG/g rapportées par **Binici et al., 2021**. Cette diversité de résultats souligne l'influence majeure des conditions d'extraction et de la partie de la plante analysée sur la teneur en composés phénoliques. Néanmoins, nos données confirment le potentiel des graines de pourpier comme source remarquable de ces molécules aux propriétés bioactives prometteuses.

Quant aux flavonoïdes totaux, notre étude révèle d'une concentration élevée de flavonoïdes totaux dans les graines de pourpier (*Portulaca oleracea* L), atteignant $83,46 \pm 0,46$ mg équivalents quercétine (mg EQ) /100g. Cette valeur se situe dans la fourchette rapportée par la littérature, variant de $22,55$ mg EQ/g **Mohamed et al., 2021** à $437,38 \pm 13,14$ mg EQ/g dans l'extrait éthanolique des parties aériennes **Chen et al., 2022**. Nos résultats sont supérieurs aux teneurs en flavonoïdes totaux mesurées dans d'autres extraits, comme les $27,21 \pm 0,74$ mg EQ/g dans l'extrait méthanolique **Chen et al., 2022**, les $28,7 \pm 2,1$ mg équivalents rutine (mg R) /g dans l'extrait aqueux **Uddin et al., 2012** ou les $0,466 \pm 0,005$ mg équivalents acide chlorogénique (mg EC) /g dans l'extrait d'acétate d'éthyle **Karoune et al., 2017**. Cependant, ils restent inférieurs aux concentrations élevées de $115,49 \pm 8,85$ mg EQ/g dans l'extrait d'acétate d'éthyle **Chen et al., 2022** et de $49,2 \pm 3,4$ mg R/g dans l'extrait méthanolique **Uddin et al., 2012**. Cette variabilité des résultats souligne l'importance des procédés d'extraction et de la partie de la plante analysée sur l'accumulation des flavonoïdes. Nos données confirment néanmoins le potentiel des graines de pourpier comme source remarquable de ces molécules aux propriétés antioxydantes.

Pour les tanins, des teneurs non négligeables en tanins condensés et hydrolysables ont été détecté dans les extraits des graines de pourpier, d'où, on a obtenu une teneur en tanins condensés de $30,93 \pm 2,7$ mg équivalents catéchine/100g et une concentration de $51,73 \pm 15,52$ mg équivalents acide tannique/100g d'extrait pour les tanins hydrolysables. Néanmoins, nos résultats restent inférieurs à ceux cités par l'étude de **Karmakar et al. 2021** sur les parties aériennes de *Portulaca oleracea* L, dont ils ont montré que l'extrait méthanolique a révélé une teneur totale en tanins de $140,56$ mg d'équivalents d'acide tannique par gramme d'extrait sec. Les fractions aqueuse, butanolique et chloroformique ont également présenté des quantités importantes de tanins, avec respectivement $114,10$ mg, $89,14$ mg et $41,44$ mg par gramme d'extrait sec. Nos résultats concordent avec à ceux obtenus par **Bouhala et Boumehras** sur les graines de *Portulaca oleracea* L. Leurs travaux ont montré que l'extrait décocté a révélé une teneur totale en tanins de $46,09 \pm 3,50$ mg/g MS dans les graines de l'Égypte, $42,22 \pm 0,46$ mg/g MS dans les graines de Ouargla et $24,67 \pm 0,32$ mg/g Ms dans les graines d'Oued. Ainsi, les teneurs en tanins observées dans notre extrait de graines est du même ordre de grandeur, voire légèrement supérieures, à celles rapportées par **Bouhala et Boumehras** pour les graines.

L'évaluation de l'activité antioxydante de l'extrait hydro-éthanolique en utilisant la méthode du radical libre DPPH, a présenté des valeurs nettement avec des valeurs d'IC₅₀ de $4,11 \mu\text{g/ml}$ et un pourcentage d'inhibition de $61,3\%$. Nos résultats en comparant avec différentes études

s'avèrent très intéressants ; Ainsi, **El Ouardani et Faddi, 2020** ont rapporté des valeurs de CI50 particulièrement faibles, de l'ordre de 0,0043 mg/ml pour l'extrait aqueux et 0,0025 mg/ml pour l'extrait éthanolique, témoignant d'une activité antioxydante très élevée, supérieure même à celle de la vitamine C (0,0040 g/l). Ces résultats soulignent le fort potentiel antioxydant des extraits de graines de *Portulaca oleracea L.* De leur côté, **Karoune et al., 2017** ont également observé une forte activité antiradicalaire, avec des valeurs de CI50 de $0,0784 \pm 7,24$ mg/ml pour l'extrait méthanolique et $0,1148 \pm 22,81$ mg/ml pour l'extrait acétate d'éthyle, se comparant avantageusement au standard BHT (0,0115 mg/ml). Enfin, **Gruszycki et al., 2019** ont rapporté des résultats plus proches des nôtres, avec des valeurs de CI50 de $0,49 \pm 0,09$ mg/ml pour l'extrait méthanolique et $1,96 \pm 0,24$ mg/ml pour l'extrait éthanolique.

L'ensemble de ces études souligne donc le remarquable potentiel antioxydant des extraits de graines de *Portulaca oleracea L.*, qui se positionnent favorablement par rapport à des standards de référence comme la vitamine C ou le BHT. Nos résultats viennent ainsi corroborer ceux obtenus par d'autres équipes, confirmant l'intérêt de cette plante comme source naturelle d'antioxydants.

L'évaluation de l'activité antioxydante globale de notre extrait, avec une valeur d'IC50 de 4,11 µg/ml, confirme sa capacité à piéger efficacement les radicaux libres. Cette propriété est cohérente avec les teneurs élevées en polyphénols totaux ($146 \pm 3,85$ mg EAG/g), flavonoïdes ($51,86 \pm 3,78$ mg EQ/g) et tannins (tannins condensés : $30,93 \pm 2,7$ mg EC/100g ; tannins hydrolysables : $51,73 \pm 15,52$ mg EAT/100g) que nous avons observées, démontrent le fort potentiel antioxydant des graines de pourpier *Portulaca oleracea L.*

Cette étude a permis de souligner de manière convaincante le vif intérêt des graines de pourpier en tant que source naturelle riche et prolifique en composés phénoliques aux remarquables propriétés antioxydantes. Ces résultats confirment le fort potentiel de cette matière végétale comme réservoir abondant en polyphénols aux nombreux bénéfices pour la santé. Nos observations rejoignent celles d'autres travaux récents ayant également mis en évidence des teneurs élevées en ces composés d'intérêt dans cette plante. Au vu de ces différents éléments, il apparaît clairement que les graines de pourpier constituent une source végétale particulièrement prometteuse pour le développement de produits naturels riches en antioxydants, ouvrant ainsi de nombreuses perspectives intéressantes dans les domaines de la nutrition et de la santé.

Conclusion

Conclusion

Dans le cadre de la recherche de nouveaux antioxydants à travers des sources naturelles actives utilisables en phytothérapie, *Portulaca oleracea* L. est considérée comme l'une des plantes médicinales les plus distribuées et utilisées au monde pour ses propriétés nutritives et médicinales. Le présent travail vise à l'évaluation de l'activité antioxydante de l'extrait hydro-éthanolique des graines de *Portulaca oleracea* L. Cette extraction nous a permis d'obtenir un rendement de 4% en extrait. Les résultats du criblage phytochimique révèle une forte présence en alcaloïdes, en flavonoïdes et en tanins cathéchique et l'absence totale des saponosides, stérols et triterpènes anthocyanes.

Quant à l'étude quantitative basée les composés bioactifs les plus fortement présents dans l'extrait, nos résultats ont révélé la présence significative de polyphénols avec à une concentration de $146 \pm 3,85$ mg/100g, de flavonoïdes à une concentration de $83,46 \pm 0,46$ mg/100g.

L'évaluation de l'activité antioxydante de l'extrait hydro-éthanolique en utilisant la méthode du radical libre DPPH, a présenté des valeurs nettement avec des valeurs d'IC50 de $4,11 \mu\text{g/ml}$ et un pourcentage d'inhibition de 61,3%.

Les graines de *Portulaca oleracea* L., constituent une bonne source de composés bioactifs, qui suggère leurs usages dans le domaine alimentaire, cosmétique et pharmaceutique.

En perspective, notre travail constitue une étape préliminaire vers des études plus étendues et approfondies, qui pourraient inclure :

- ✓ En plus de l'activité antioxydante, il serait intéressant d'explorer d'autres activités biologiques telles que l'activité anti-inflammatoire, anticancéreuse ou antimicrobienne.
- ✓ L'utilisation d'autres techniques avancées pour la caractérisation des composés bioactifs telles que : la CPG couplée à la spectrométrie de masse et la HPLC.
- ✓ Des essais in vivo et des études sur les mécanismes d'action des différents composés de cette plante qui pourraient contribuer à les exploiter dans le développement de nouveaux produits antioxydants dans la promotion de la santé humaine.
- ✓ *Portulaca oleracea* L est plante très intéressante sur le plan médical et qui dispose d'un large spectre pharmacologique qui peut être exploité et de développer des formes posologiques crédibles et efficaces.

Références bibliographiques

A

- Aberoumand A., & Deokule S. S. (2009).** Studies on nutritional values of some wild edible plants from Iran and India. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(1), 26-31.
- Abubakar A. R., & Haque M. (2020).** Preparation of medicinal plants: Basic extraction and fractionation procedures for experimental purposes. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 12(1), 1-10
- Adida H., Benariba N., Bechiri A., Chekrou E., & Djaziri R. (2016).** Étude phytochimique et évaluation du pouvoir antiradicalaire des extraits de *Pituranthos scoparius*. *Phytothérapie*, 14(4), 207-212.
- Agha-Hosseini F., Borhan-Mojabi K., Monsef-Esfahani H. R., Mirzaïi-Dizgah I., Etemad-Moghadam S., & Karagah A. (2010).** Efficacy of purslane in the treatment of oral lichen planus. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 24(2), 240-244.
- Ahmad R. (2018).** Introductory Chapter: Basics of Free Radicals and Antioxidants. In R. Ahmad (Éd.), *Free Radicals, Antioxidants and Diseases. InTech*.
- Aichaoui S. et Abeoube H., (2019).** Etude phytochimique et activité biologique des extraits de l'espèce *Lavandula angustifolia* Mill, Dans la région Est d'Algérie (Batna), Mémoire, *Université Mohamed Boudiaf - M'sila*, p 4- 11.
- Akula R., ET Ravishankar, G. A. (2011).** Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant signaling & behavior*, 6:11, 1720-1731.
- Ali Moustafa Elkhateeb Y., & Alshammary M. R. (2017).** Effects of Fast Foods in Relation to Free Radicals and Antioxidants. *American Journal of Laboratory Medicine*, 2(6)
- Ali-Rachedi F., Meraghni S., Touaibia N., & Mesbah S. (2018).** Analyse quantitative des composés phénoliques d'une endémique algérienne *Scabiosa Atropurpurea* sub. *Maritima* L. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 13-21
- Al-Sheddi E. S., Farshori N. N., Al-Oqail M. M., Musarrat J., Al-Khedhairi A. A., & Siddiqui M. A. (2015).** *Portulaca oleracea* seed oil exerts cytotoxic effects on human liver cancer (HepG2) and human lung cancer (A-549) cell lines. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 16(8), 3383-3387.

Ambasta S. P. (Ed.). (1986). The useful plants of India (pp. 918-pp).

AOUES Lamia S. N. (2023). Etude de l'activité antioxydante de L'huile essentielle de la plante : *Lavandula angustifolia* L (Doctoral dissertation, *Université Echahid Chikh Larbi Tebessi-Tebessa*).

Azzi A. (2022). Oxidative stress: what is it? Can it be measured? Where is it located? Can it be good or bad? Can it be prevented? Can it be cured? *Antioxidants*, 11(8), 1431.

B

Bai R., Guo J., Ye X. Y., Xie Y., & Xie T. (2022). Oxidative stress: The core pathogenesis and mechanism of Alzheimer's disease. *Ageing research reviews*, 77, 101619.

Baitar, I. (1999). Al Jamiul Mufradatul Advia wal Aghzia. Urdu Translation CCRUM). New Delhi: *Ministry of Health and Family Welfare, Govt. of India*, 1, 77.

Barkat M. A., Goyal A., Barkat H. A., Salauddin M., Pottoo F. H., & Anwer E. T. (2021). Herbal medicine: clinical perspective and regulatory status. *Combinatorial chemistry & high throughput screening*, 24(10), 1573-1582.

Benchennaf K. et Babouche K. (2018). Etude des paramètres d'extraction des composés phénoliques du poireau sauvage *Allium sp* et activité antioxydante, mémoire, *Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A*, P 8

Bendif H. (2017). Caractérisation phytochimique et détermination des activités biologiques in vitro des extraits actifs de quelques Lamiaceae : *Ajuga iva* (L) Schreb., *Teucrium polium* L., *Thymus munbyanus* subsp. *Coloratus* (Boiss. & Reut.) Greuter & Burdet et *Rosmarinus eriocalyx* Jord & Fourr., thèse de doctorat, *l'école normale supérieure de KOUBA-Alger, département des sciences naturelles, biotechnologie végétale*, P 26

Bensakhria A. (2018). Le stress oxydatif. *Toxicologie générale*, 70-86.

Bhandary S. K., Bhat V. S., Sharmila K. P., & Bekal M. P. (2012). Preliminary phytochemical screening of various extracts of *Punica granatum* peel, whole fruit, and seeds. *Journal of Health and Allied Sciences NU*, 2(04), 34-38.

Binici H. I., Şat İ. G., & Aoudeh E. (2021). The effect of different drying methods on nutritional composition and antioxidant activity of purslane (*Portulaca oleracea*). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45(5), 680-689.

Birben E., Sahiner U. M., Sackesen C., Erzurum S., & Kalayci O. (2012). Oxidative stress and antioxidant defense. *World allergy organization journal*, 5, 9-19.

Bonnaillie C., Salacs M., Vassiliova E., & Saykova I. (2012). Étude de l'extraction de composés phénoliques à partir de pellicules d'arachide (*Arachis hypogaea* L.). *Revue de génie industriel*, 7, 35-45.

Botineau M. (2010). Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs. *Lavoisier édition ; Tec & doc. Paris*, 15

Boudjouref M., (2011). Etude de l'activité antioxydante et antimicrobienne d'extraits d'*Artemisia campestris* L, mémoire, *Université Ferhat Abbas, Sétif*, P 28

BOUHALA M., & BOUMEHRAS, NEH Valeurs nutritionnelles et thérapeutiques des graines de trois provenances de pourpier (*Portulaca oleracea* L.) (Thèse de doctorat, *UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA*).

Bouyahya A ; Abrini J ; Et-Touys A ; Lagrouh F ; Dakka N et Bakri Y. (2017). Analyse phytochimique et évaluation de l'activité antioxydante des échantillons du miel marocain. *Phytothérapie*

Bruneton J. (1999). Pharmacognosy, phytochemistry, medicinal plants (No. Ed. 2). *Intercept Limited*.

C

Cai Z., Zhao B., & Ratka A. (2011). Oxidative stress and β -amyloid protein in Alzheimer's disease. *Neuromolecular medicine*, 13, 223-250.

Catier O. et Roux D., (2007). Botanique, Pharmacognosie, Phytothérapie : *Cahiers du préparateur en pharmacie, 3ème ed, France : Wolters Kluwer*, P 144.

Chabrier JY. (2010). Plantes médicinales et formes d'utilisation en Phytothérapie. Thèse de Pharmacie, Sciences du Vivant [q-bio] / Sciences Pharmaceutiques, *Université Henri Poincaré, Nancy 1*, 184 p.

Chan K., Islam M. W., Kamil M. A., Radhakrishnan R., Zakaria M. N. M., Habibullah M., & Attas A. (2000). The analgesic and anti-inflammatory effects of *Portulaca oleracea* L. subsp. *sativa* (Haw.) Celak. *Journal of ethnopharmacology*, 73(3), 445-451.

Chapuis p. (2013). Zinc biomnis-précis de bio-pathologie analyse médicale spécialisée, (3) :1-2. Chatterjee A, Saluja M, Agarwal G et Alam M, 2012. Green tea: A boon for periodontal and general health. *J Indian Soc Periondonol*, 16(2) : 161-167.

Charik et Kadri Y. (2020). Criblage phytochimique et extraction des huiles essentielles de l'espèce *lavandula officinalis*, Mémoire, Université de Mohamed boudiaf_m'sila, p 65.

Chavda V., Chaurasia B., Garg K., Deora H., Umana G. E., Palmisciano P., ... & Lu, B. (2022). Molecular mechanisms of oxidative stress in stroke and cancer. *Brain Disorders*, 5, 100029.

Chen M., Li D., Meng X., Sun Y., Liu R. et Sun T. (2023). Examen de l'isolement, de la purification, des caractéristiques structurales et des bioactivités des polysaccharides de *Portulaca oleracea* L. *International Journal of Biological Macromolecules*, 128565.

Chen W. C., Wang S. W., Li C. W., Lin H. R., Yang C. S., Chu Y. C., ... & Chen J. J. (2022). Comparison of various solvent extracts and major bioactive components from *Portulaca oleracea* for antioxidant, anti-tyrosinase, and anti- α -glucosidase activities. *Antioxidants*, 11 (2): 398.

Chowdhary C. V., Meruva A., & Elumalai R. K. A. (2013). A review on phytochemical and pharmacological profile of *Portulaca oleracea* Linn. (Purslane). *International Journal of Research in Ayurveda & Pharmacy*, 4(1).

Chugh V., Mishra V., Dwivedi S. V., & Sharma K. D. (2019). Purslane (*Portulaca oleracea* L.): An underutilized wonder plant with potential pharmacological value. *The pharma innovation journal*, 8(6), 236-246.

Contreras-Calderón J., Calderón-Jaimes L., Guerra-Hernández E., & García-Villanova B. (2011). Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel, and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Research International*, 44(7), 2047-2053.

Cui M. Z., Liu H., & Li C. Y. (2005). Changes of blood glucose in diabetic rats and the interventional effect of purslane. *Chinese Journal of Clinical Rehabilitation*, 27, 92

D

Dabbou S., Lahbib K., Pandino G., Dabbou S. et Lombardo S. (2020). Évaluation des pigments, des composés phénoliques et volatils et de l'activité antioxydante d'une population spontanée de *Portulaca oleracea* L. cultivée en Tunisie. *Agriculture*, 10 (8), 353.

Dali M. (2022). Utilisation traditionnelle des plantes médicinales. *Journal de Pharmacognosie*, 15(3), 78-89.

Danin A. et Reyes-Betancort JA (2006). Le statut de *Portulaca oleracea* à Tenerife, dans les îles Canaries. *Lagascalie*, 26, 71-81.

Defraigne j.o et Pincemail j. (2008). Stress oxydant et antioxydants : mythes et réalités. *Rev med liège*, 63 : 10-19.

Desta M., Molla A., & Yusuf Z. (2020). Characterization of physico-chemical properties and antioxidant activity of oil from seed, leaf, and stem of purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Biotechnology Reports*, 27, e00512.

Dhapola R., Sarma P., Medhi B., Prakash A., & Reddy D. H. (2022). Recent advances in molecular pathways and therapeutic implications targeting mitochondrial dysfunction for Alzheimer's disease. *Molecular neurobiology*, 59(1), 535-555.

Diallo A. (2005). Etude de la phytochimie et des activités biologiques de *Syzygium guineense* Willd. (Myrtaceae). PhD. *of the University Bamako, Mali*, 38-47.

DJELLOULI F., KROUF D., & BOUCHENAK M. (2019). *Portulaca oleracea* L. et bienfaits thérapeutiques sur le risque cardiovasculaire [*Portulaca oleracea* L. and therapeutic benefits on cardiovascular risk factors et thérapeutique. 2ème édition, TEC & DOC, 692 p

Duda S. C., Mărghițaș L. A., Dezmirean D., Duda M., Mărgăoan R., & Bobiș O. (2015). Changes in major bioactive compounds with antioxidant activity of *Agastache foeniculum*, *Lavandula angustifolia*, *Melissa officinalis* and *Nepeta cataria*: Effect of harvest time and plant species. *Industrial Crops and Products*, 77, 499-507.

E

El Ouardani A., & Faddi C. (2020). Extraction des principes actifs de *Portulaca oleracea* et l'étude de leurs propriétés biologiques. Mémoire de master en chimie macromoléculaire. Centre universitaire, BELHADJ BOUCHAIB- Aïn-Temouchent.

Elkhayat E. S., Ibrahim S. R., & Aziz M. A. (2008). Portulene, a new diterpene from *Portulaca oleracea* L. *Journal of Asian natural products research*, 10(11), 1039-1043.

El-Sayed M. I. K. (2011). Effects of *Portulaca oleracea* L. seeds in treatment of type-2 diabetes mellitus patients as adjunctive and alternative therapy. *Journal of ethnopharmacology*, 137(1), 643-651.

Erkan N. (2012). Antioxidant activity and phenolic compounds of fractions from *Portulaca oleracea* L. *Food Chemistry*, 133(3), 775-781.

F

Farghaly M., Taha H., Soliman S. M., Fathy U., & Bedair A. H. (2012). Subchronic feeding study of fenitrothion residues in maize and the protective action of purslane [*(Portulaca oleracea* L.)] extract on rats.

Favier A. (2003). L'oxydant du stress. *L'actualité chimique*, 108 (10), 863-832.

Ferreira T. S., Moreira C. Z., Cária N. Z., Victoriano G., Silva Jr W. F., & Magalhães J. C. (2014). Phytotherapy: an introduction to its history, use and application. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 16, 290-298.

G

Gayet C. (2018). Guide de poche de phytothérapie. Éditions Leduc.

Georgé S., Brat P., Alter P., & Amiot M. J. (2005). Rapid Determination of Polyphenols and Vitamin C in Plant-Derived Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), 1370-1373

Ghedadba N., Hambaba L., Aberkane M. C., Oueld-Mokhtar M., Fercha N., & Houas Bousselfela. (2014). Évaluation De L'Activité Hémostatique In Vitro De L'Extrait Aqueux Des Feuilles De *Marrubium Vulgare* L.

Gonnella M., Charfeddine M., Conversa G. et Santamaria P. (2010). Pourpier : bilan de son potentiel sanitaire et agricole. *EUR. J. Plant Sci. Biotechnologie*, 4, 131-136.

GOUDJIL J.B. (2016). Composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydante de trois plantes aromatiques. Thèse pour l'obtention du doctorat en génie des procédés et environnement. *Université Kasdi Merbah – Ouargla*.

Graciliana L., Euge'nia P. et Li'gia S., (2016). Natural Products: An Alternative to Conventional Therapy for Dermatophytosis, *Mycopathologia*, 182: 143–167.

Gruszycki M. R., Valenzuela M. M., Báez M., Leguiza P. D., Gruszycki A. E., & Alba D. A. (2019). Evaluation of the antioxidant activity in hydroalcoholic extracts of *portulaca oleracea* L. *Revista colombiana de ciencias químico-farmacéuticas*, 48 (2): 425-435.

Guemmaz T., Zerargui F., Boumerfeg S., Arrar L., Aouachria S., Khennouf S., Charef N.E et Baghiani A.B. (2018). Anti-hemolytic, Anti-lipid peroxidation, Antioxidant properties and Acute toxicity of *Xanthium strumarium* Leaves Extracts. *Annual Research & Review in Biology*, 24(3): 1-12.

Guija-Guerra H., & Guija-Poma E. (2023). Radicales libres y sistema antioxidante. *Horizonte Médico (Lima)*, 23(2).

Guilland J.C., Herbeth B et Gisèle L.M., (2007). Les vitamines. *Bioformas (formation continue des biologistes)*, 359(38) : 50-177.

Gutteridge J. M., & Halliwell B. (2018). Mini-Review: Oxidative stress, redox stress, or redox success? *Biochemical and biophysical research communications*, 502(2), 183-186.

H

Hajoori M. U. R. T. A. Z. A., Naik M., Naik K., & Desai S. (2014). Evaluation of antimicrobial activity of Punica granatum peel extracts using different solvent system. *International Journal of Pharmacological screening methods*, 4(1), 26-31.

Halliwell B. (2006). Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. *Plant physiology*, 141(2), 312-322.

Halliwell B. (2007). Biochemistry of oxidative stress. *Biochemical society transactions*, 35(5), 1147-1150.

Harrag A. (2020). Extraction et dilution des principes actifs en phytothérapie. *Revue de Phytothérapie*, 15(2), 89-96.

Harrar A. (2012). Activités antioxydante et antimicrobienne d'extraits de Rhamnus alaternus L, Mémoire de Magistère en Biologie Spécialité : Biochimie et physiologie expérimentale. *Université Ferhat Abbas. Sétif. 7*

Hayes JD, Dinkova-Kostova AT et Tew KD (2020). Le stress oxydatif dans le cancer. *Cellule cancéreuse*, 38 (2), 167-197.

Hmid I. (2013). Contribution à la valorisation alimentaire de la grenade marocaine (Punica granatum L.) : Caractérisation physicochimique, biochimique et stabilité de leur jus frais (*Doctoral dissertation, Université d'Angers*).

Huang D. J., Lin C. D., Chen H. J., & Lin Y. H. (2004). Antioxydant and antiproliferative activities of sweet potato (Ipomoea batatas L. Lam 'Tainong 57') constituents. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 45, 179-186.

Humadi S., & Istudor V. (2008). Quantitative analysis of bio-active compound in Hibiscus sabdariffa L. Extracts note I quantitative analysis of flavonoids. *Farmacologia*, 6, 699-707

Hussain F., & Kayani H. U. R. (2020). Aging-Oxidative stress, antioxidants, and computational modeling. *Heliyon*, 6(5).

I

Iserin P. (2001). Encyclopedia of medicinal plants. *Larousse. Londres*, 170-336.

J

Jaradat N. A., Zaid A. N., Al-Ramahi R., Alqub M. A., Hussein F., Hamdan Z., ... & Ali I. (2017). Ethnopharmacological survey of medicinal plants practiced by traditional healers and herbalists for treatment of some urological diseases in the West Bank/Palestine. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 17, 1-18.

Julkunen-Tiitto R. (1985). Phenolic constituents in the leaves of northern willows: Methods for the analysis of certain phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 33(2), 213-217.

K

Kada S. (2018). Recherche d'extraits de plantes médicinales doués d'activités biologiques. Thèse de doctorat. *Université Ferhat Abbas Sétif 1. Biochimie*. Pp158.

Kahlouche R. (2014). Evaluation chimique et activité antibactérienne de quelques plantes médicinales d'Algérie, Thèse de doctorat, *université de Constantine*, P 6, 8. 12

KARIMI G. R., KHOUEI A., Omid A., Kalantari M. R., Babaei J., Taghiabadi E., & Razavi B. M. (2010). Protective effect of aqueous and ethanolic extracts of *Portulaca oleracea* against cisplatin induced nephrotoxicity.

Karimi G., Hosseinzadeh H., & Ettehad N. (2004). Evaluation of the gastric antiulcerogenic effects of *Portulaca oleracea* L. extracts in mice. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 18(6), 484-487.

Karoune S., Kechebar M. S. A., Douffi H., & Djellouli A. (2017). Phenolic compounds and their antioxidant activities in *Portulaca oleracea* L. related to solvent extraction. *Int. J. Biosci*, 11 (1): 147-155.

Katalinić V., Možina S. S., Skroza D., Generalić I., Abramovič H., Miloš M., Ljubenkov I., Piskernik S., Pezo I., Terpinč P., & Boban M. (2010). Polyphenolic profile, antioxidant properties and antimicrobial activity of grape skin extracts of 14 *Vitis vinifera* varieties grown in Dalmatia (Croatia). *Food Chemistry*, 119(2), 715-723

Khanam B., Begum W., & Tipo F. A. (2019). Pharmacological profile, phytoconstituents, and traditional uses of *Khurfa* (*Portulaca oleracea* L.): Unani perspective. *J. Pharm. Innov*, 8, 367-372.

Khoddami S. M., Nakhostin Ansari N., Izadi F., & Talebian Moghadam S. (2013). The assessment methods of laryngeal muscle activity in muscle tension dysphonia: a review. *The Scientific World Journal*, 2013.

Khursheed A., & Jain V. (2021). Phytochemical screening, antioxidant, and antimicrobial activity of different portulaca oleracea l. Extracts growing in kashmir valley. *Journal of bio-chemical technology*, 12 (3): 1-8.

Kumar S et Pandey A.K. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids: an overview. *Hindawi the scientific world journal*, (ID: 162750): 1-16

Kumar A., Revathi K., & Mohanalakshmi S. (2012). A review on edible herbs as haematinics. *Int J Pharm*, 2, 47.

Kumar A., Sreedharan S., Kashyap AK, Singh P. et Ramchiary N. (2022). Une revue des composés phytochimiques bioactifs et du potentiel ethnopharmacologique du pourpier (*Portulaca oleracea L.*). *Héliyon*, 8 (1).

L

Larrauri J. A., Sánchez-Moreno C., & Saura-Calixto F. (1998). Effect of Temperature on the Free Radical Scavenging Capacity of Extracts from Red and White Grape Pomace

Lee A. S., Kim J. S., Lee Y. J., Kang D. G., & Lee H. S. (2012). Anti-TNF- α activity of *Portulaca oleracea* in vascular endothelial cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(5), 5628-5644.

Leung A. Y., & Foster S. (1996). Encyclopedia of common natural ingredients used in food, drugs, and cosmetics.

Liguori I., Russo G., Curcio F., Bulli G., Aran L., Della-Morte D., ... & Abete P. (2018). Oxidative stress, aging, and diseases. *Clinical interventions in aging*, 757-772.

M

Mahmoud A. M., Wilkinson F. L., Lightfoot A. P., Dos Santos J. M., & Sandhu M. A. (2021). The role of natural and synthetic antioxidants in modulating oxidative stress in drug-induced injury and metabolic disorders 2020. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021, 1-3.

Mahmoudi S., Khali M., & Mahmoudi N. (2013). Etude de l'extraction des composés phénoliques de différentes parties de la fleur d'artichaut (*Cynara scolymus L.*). *Nature & Technology*, (9), 35.

- Maisuthisakul P., Suttajit M., & Pongsawatmanit R. (2007).** Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. *Food Chemistry*, 100(4), 1409-1418.
- Margaritelis N. V., Theodorou A. A., Paschalis V., Veskoukis A. S., Dipla K., Zafeiridis A., ... & Nikolaidis M. G. (2018).** Adaptations to endurance training depend on exercise-induced oxidative stress: exploiting redox interindividual variability. *Acta Physiologica*, 222(2), e12898.
- Massaux C. (2012).** Polyphénols : des alliés pour la santé. *Abeilles*, 4: 1-2.
- Mathur D., Agrawal R. C., & Shrivastava V. (2011).** Phytochemical screening and determination of antioxidant potential of fruits extracts of *Withania coagulans*. *Recent Research in Science and Technology*, 3(11).
- Merad R. et Mahiout S. (2019).** L'importance de l'approche globale du patient en phytothérapie. *Journal de Médecine Naturelle*, 10(4), 65-72
- Miquel J. (2009).** Une mise à jour de la théorie de l'oxydation-inflammation du vieillissement : l'implication du système immunitaire dans l'oxy-inflammation-vieillesse. *Conception pharmaceutique actuelle*, 15 (26), 3003-3026.
- Mishra V., Chugh V., Dwivedi S. V., & Sharma K. D. (2020).** Food and nutraceuticals value of purslane (*Portulaca oleracea L.*): An overview. *The Pharma Innovation Journal*, 9(7), 419-424.
- Mohamed A. I., & Hussein A. S. (1994).** Chemical composition of purslane (*Portulaca oleracea*). *Plant Foods for Human Nutrition*, 45, 1-9.
- Mohamed F., Abdelgayed S. S., Soliman M. H., El-Fadhany M., & Hussein R. H. (2021).** Polyphenolic and flavonoids content, HPLC profiling and antioxidant activity of some medicinal plants with pancreatic histological study in alloxan-induced diabetic rat's model. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 9 (4) : 746-750.
- Muanda FN. (2010).** Identification de polyphénols, évaluation de leur activité antioxydante et étude de leurs propriétés biologiques. Thèse de Doctorat, *Université Paul Verlaine-metz, France*. 295p.

N

- N'Guessan K., Kadja B., Zirihi G., Traoré D., & Aké-Assi L. (2009).** Screening phytochimique de quelques plantes médicinales ivoiriennes utilisées en pays Krobou (Agboville, Côte-d'Ivoire). *Sciences & Nature*, 6(1).
- Nadkarni K. M., & Nadkarni A. K. (1999).** Indian Materia Medicawith Ayurvedic, Unani-Tibbi, Siddha, Allopathic, Homeopathic, Naturopathic and Home remedies, Popular Prakashan Pvt. Ltd., Bombay, India.

Nathan P. (2009). Le point sur la vitamine C Eviter les carences : Nutrition & Pédiatrie. Santé Intégrative Emission « ASTUCES SANTE », 17 : 2-4.

Navarro-Yepes J., Zavala-Flores L., Anandhan A., Wang F., Skotak M., Chandra N., ... et Franco R. (2014). Thérapie génique antioxydante contre la mort des cellules neuronales. Pharmacologie & thérapeutique, 142 (2), 206-230.

Nemzer B., Al-Taher F. et Abshiru N. (2020). Composition phytochimique et valeur nutritionnelle de différentes parties de plantes chez deux génotypes de pourpier cultivé et sauvage (*Portulaca oleracea* L.). Chimie alimentaire, 320, 126621.

O

Okafor IA, Ayalokunrin MB et Orachu LA (2014). Une revue de la plante *Portulaca oleracea* (pourpier) - sa nature et ses avantages biomédicaux.

Ouedraogo S., Yoda J., Traore T. K., Nitiema M., Sombie B. C., Diawara H. Z., ... & Semde R. (2021). Production de matières premières et fabrication des médicaments à base de plantes médicinales. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(2), 750-772.

P

Pastre J., & Priymenko N. (2007). Intérêt des anti-oxydants dans l'alimentation des carnivores domestiques. Revue de médecine vétérinaire, 1(4), 180-189. *Peels. Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(7), 2694-2697.

Penser santé. (2019) Antioxydants contre radicaux libres.

Petropoulos S., Karkanis A., Martins N., & Ferreira I. C. (2016). Phytochemical composition and bioactive compounds of common purslane (*Portulaca oleracea* L.) as affected by crop management practices. Trends in food science & technology, 55, 1-10.

Pieme C.A, Tatangmo J.A, Simo G, Biapa Nya P.C, Ama Moor V.J, Moukette B.M, Nzufo F.T, Njinkio Nono B.L et Sobngwi E. (2017). Relationship between hyperglycemia, antioxidant capacity and some enzymatic and non-enzymatic antioxidants in African patient with type 2 diabetes. BMC research notes, 10(1): 141.

Pizzino G., Irrera N., Cucinotta M., Pallio G., Mannino F., Arcoraci V., ... et Bitto A. (2017). Stress oxydatif : méfaits et bénéfices pour la santé humaine. Médecine oxydative et longévité cellulaire, 2017

Popovici C., Saykova I., & Tylkowski B. (2009). Evaluation de l'activité antioxydante des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de Génie Industriel*, 4, 25-39.

R

Rahal S., & Rahal L. (2019). Evaluation de l'activité antibactérienne des extraits végétaux cas de *Portulaca oleracea* L. Mémoire de master en microbiologie appliquée. *Université, Mohamed Khider-Biskra*.

Rashed A. N., Afifi F. U., & Disi A. M. (2003). Simple evaluation of the wound healing activity of a crude extract of *Portulaca oleracea* L. (growing in Jordan) in *Mus musculus* JVI-1. *Journal of ethnopharmacology*, 88(2-3), 131-136.

Ribereau-Gayon P. (1968). Notions générales sur les composés phénoliques. In *Composés phénoliques des végétaux* (Dunod, p. 330)

Roopalatha U. C., & Nair V. M. (2013). The phytochemical screening of the pericarp of fruits of *Terminalia chebula* Retz.

S

Sabharwal SS et Schumacker PT. (2014). ROS mitochondriales dans le cancer : initiateurs, amplificateurs ou talon d'Achille ? *Nature Reviews Cancer*, 14 (11), 709-721.

Saleh EAM., Al-Dolaimy F., Baymakov S., Ullah MI, Khlewee IH., Bisht YS et Alsaalamy AH (2023). Le stress oxydatif affecte le début de la croissance des cellules cancéreuses par diverses voies. *Pathologie-Recherche et Pratique*, 154664.

Santos-Sánchez N. F., Salas-Coronado R., Villanueva-Cañongo C., & Hernández-Carlos B. (2019). Antioxidant compounds and their antioxidant mechanism. *Antioxidants*, 10, 1-29.

SAOULI S., & ZAID H. (2022). Étude comparative des échanges internationaux Entre l'Algérie et les États membres de l'Union Européenne et la Ligue Arabe (2005-2021). *Revue Le Manager Vol*, 9(03).

Sato H., Shibata M., Shimizu T., Shibata S., Toriumi H., Ebine T., ... & Suzuki N. (2013). Differential cellular localization of antioxidant enzymes in the trigeminal ganglion. *Neuroscience*, 248, 345-358.

Schwartz E. (2016). La vitamine C. Université du québec a chicotimi,1-30

Sebbar E. H., Naji I., El Mezgueldi I., & Choukri M. (2023). Le stress oxydatif, une agression cellulaire. *Actualités Pharmaceutiques*, 62(626), 36-37.

Sessa T.A. (2018). Le selenium : un oligoélément indispensable naturothérapeute. Santé intégrative Emission « Astuces sante », 1-2

Shiddamallayya N., Yasmeen A., & Gopakumar K. (2010). Hundred common forest medicinal plants of Karnataka in primary healthcare.

Sicari V., Loizzo M. R., Tundis R., Mincione A., & Pellicano T. M. (2018). Portulaca oleracea L. (Purslane) extracts display antioxidant and hypoglycaemic effects. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 91(1), 39-46.

Sies H. (2015). Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine. *Redox biology*, 4, 180-183.

Sies H. (2023). Oxidative eustress: the physiological role of oxidants. *Science China Life Sciences*, 66(8), 1947-1948.

Singleton V. L., & Rossi J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.

Song T., Song X., Zhu C., Patrick R., Skurla M., Santangelo I., ... & Du F. (2021). Mitochondrial dysfunction, oxidative stress, neuroinflammation, and metabolic alterations in the progression of Alzheimer's disease: A meta-analysis of in vivo magnetic resonance spectroscopy studies. *Ageing research reviews*, 72, 101503.

Souilah N. (2018). Formes galéniques en phytothérapie. *Phytothérapie*, 17(3), 156-162.

Sultana A. et Rahman K. (2013). Portulaca oleracea Linn. Une panacée mondiale au potentiel ethnométrical et pharmacologique. *Int J Pharm Pharm Sci*, 5 (2), 33-39.

Syed S., Fatima N., & Kabeer G. (2016). Portulaca oleracea L.: a mini review on phytochemistry and pharmacology. *International journal of Biology and Biotechnology*, 13(4), 637-641.

T

Tass A. et Yahi D. (2022). Etude des activités biologiques de l'espèce Lavandula Officinalis, *Université Larbi Ben Mhidi Oum El Bouaghi*, P 10- 42.

Testa G., Cacciatore F., Galizia G., Della-Morte D., Mazzella F., Langellotto A., ... & Abete P. (2010). Le tour de taille, mais pas l'indice de masse corporelle, prédit la mortalité à long terme chez les sujets âgés souffrant d'insuffisance cardiaque chronique. *Journal de la Société américaine de gériatrie*, 58 (8), 1433-1440.

Tian J. L., Liang X., Gao P. Y., Li D. Q., Sun Q., Li L. Z., & Song S. J. (2014). Two new alkaloids from *Portulaca oleracea* and their cytotoxic activities. *Journal of Asian natural products research*, 16(3), 259-264.

Tsakama M., Ma X., He Y., Chen W., & Dai X. (2018). A Simple Mannose-Coated Poly (p-Phenylene Ethynylene) for Qualitative Bacterial Capturing. *Molecules*, 23(8), 2056.

U

Uddin M. K., Juraimi A. S., Ali M. E., & Ismail M. R. (2012). Evaluation of antioxidant properties and mineral composition of purslane (*Portulaca oleracea* L.) at different growth stages. *International journal of molecular sciences*, 13 (8): 10257- 10267.

Uddin M. K., Juraimi A. S., Hossain M. S., Nahar M., Un A., Ali M. E., & Rahman M. M. (2014). Purslane weed (*Portulaca oleracea*): a prospective plant source of nutrition, omega-3 fatty acid, and antioxidant attributes. *The Scientific World Journal*, 2014.

V

Valko M., Leibfritz D., Moncol J., Cronin M. T., 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.

Valnet J. (1986). *Phytothérapie : se soigner par les plantes*. Librairie générale française

W

Wang C. Q., & Yang G. Q. (2010). Betacyanins from *Portulaca oleracea* L. ameliorate cognition deficits and attenuate oxidative damage induced by D-galactose in the brains of senescent mice. *Phytomedicine*, 17(7), 527-532.

Wang W., & Kang P. M. (2020). Oxidative stress and antioxidant treatments in cardiovascular diseases. *Antioxidants*, 9(12), 1292.

Wichtl M., Anton R., (2003). *Plantes thérapeutiques : tradition, pratique officinale, science*

Willis S. L., Allen-Burge R., Dolan M. M., Bertrand R. M., Yesavage J., & Taylor J. L. (1998). Everyday problem solving among individuals with Alzheimer's disease. *The Gerontologist*, 38(5), 569-577.

Wong HS., Dighe PA., Mezera V., Monternier PA. Et Brand MD (2017). Production de superoxyde et de peroxyde d'hydrogène à partir de sites mitochondriaux spécifiques dans différentes conditions bioénergétiques. *Journal de chimie biologique*, 292 (41), 16804-16809.

X

Xu X., Yu L., & Chen G. (2006). Determination of flavonoids in *Portulaca oleracea* L. by capillary electrophoresis with electrochemical detection. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 41(2), 493-499.

Y

Yan J., Sun L. R., Zhou Z. Y., Chen Y. C., Zhang W. M., Dai H. F., & Tan J. W. (2012). Homoisoflavonoids from the medicinal plant *Portulaca oleracea*. *Phytochemistry*, 80, 37-41.

Yavari A., Javadi M., Mirmiran P., & Bahadoran Z. (2015). Exercise-induced oxidative stress and dietary antioxidants. *Asian journal of sports medicine*, 6(1).

Z

Zobiri W. (2017). Caractérisation de certaines propriétés biologiques, biochimiques, phar-macologiques et rhéologiques du pourpier. Thèse de doctorat en Biotechnologie microbienne. Université, Mouloud Mam-Meri- Tizi-Ouzzou : 44.

Zulfiqar F., & Ashraf M. (2022). Antioxidants as modulators of arsenic-induced oxidative stress tolerance in plants: An overview. *Journal of Hazardous Materials*, 427, 127891.

http://nature.jardin.free.fr/annuel/nmauric_portulac_oleracea.html