

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université ABOU BEKR BELKAID –TLEMCEM–

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de
l'Univers

Département de Biologie

Laboratoire :

Antibiotiques, Antifongiques, Physico-chimie :

Synthèse et activités biologiques

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master en sciences biologiques

Option : Biochimie appliquée

Thème :



**Etude phytochimique et évaluation de l'activité antioxydante des
extraits préparés de la partie aérienne de *Portulaca oleracea* l.**

Présenté par :

M^{elle} Hassaine Houda & M^{elle} Heddi Hafsa

Soutenu le 15-06-2023 devant les membres de jury :

Présidente :	Mme. BENARIBA Nabila	MCA	Univ. Tlemcen
Encadrant :	Mr. AZZI Rachid	Pr	Univ. Tlemcen
Co-encadrant :	M ^{elle} . ABOU Fayza	Docteur	Univ. Tlemcen
Examinatrice :	Mme. MEDJDOUB Houria	MCB	Univ. Tlemcen

Année Universitaire : 2022/2023

REMERCIEMENT

En premier lieu, nous tenons à remercier « **Allah** », pour nous avoir donné la santé, la patience, la puissance et la volonté à fin d'accomplir ce modeste travail. Merci de nous avoir éclairé le chemin de la réussite.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à notre encadrant Monsieur **AZZI Rachid**, professeur au département de biologie, faculté des sciences de la nature et de la vie, sciences de la terre et de l'univers, université Abou Bekr Belkaid -Tlemcen, qui nous dirigées dans ce travail avec une grande rigueur scientifique, sa patience, ses conseils, ses commentaires, sa bienveillance, sa grande disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire. Ce fut un immense plaisir de travailler avec vous Professeur.

Nos vifs remerciements également aux membres de jury :

Mme BENARIBA Nabila Maitre de Conférence Classe A, département de biologie, faculté des sciences de la nature et de la vie, sciences de la terre et de l'univers, université Abou Bekr Belkaid -Tlemcen, Pour l'honneur qu'elle nous faite en acceptant de présider le jury de notre mémoire et de le rehausser par sa grande expertise.

Mme MEDJDOUB Houria Maitre de Conférence Classe B, département de biologie, faculté des sciences de la nature et de la vie, sciences de la terre et de l'univers, université Abou Bekr Belkaid -Tlemcen, pour avoir acceptée d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques.

Mlle Abbou Fayza, Docteur en Biochimie faculté des sciences de la nature et de la vie, sciences de la terre et de l'univers, université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen pour ses précieux conseils, qui ont nous aidé à réaliser la pratique de ce travail, et pour avoir accepté d'être membres de ce jury.

Dédicace

Avec l'aide de **Dieu** tout puissant, qui m'a tracé le Chemin de ma vie, J'ai pu réaliser ce travail qui je dédie à :

La lumière de mes yeux et le bonheur de ma vie à **mes chers parents MOHAMMED et CHAHIDA** pour leurs soutiens durant le long chemin de mes études, qui ont toujours été là pour moi, et qui ont beaucoup sacrifié pour que j'atteins ce niveau, j'espère qu'ils sont fiers de leur fille et que dieu vous bénisse pour moi.

À mes chères sœurs **Soumia, Zineb, Amina et Meriem.**

À mon cher frère **Nasreddine** et sa femme **Asma.**

À mes chères nièces **Selma, Noor, Hind, Yousra, Alae Fatiha et Noorhène**

À mes chers neveux **Moad, Mehdi, Abdelmoiz, Yasser, Ishak, Younes et Yacine**

À ma meilleure copine **Abir dékhili**, qui a partagée avec moi des beaux moments et souvenirs durant toutes les années scolaires de primaire à l'université.

À ma cher binôme **Houda Hassaine**, pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

À mes chères amies **Amel Ouasti et Nesrine Zekraoui** qui ont partagé avec moi une année inoubliable pleine de joie et d'humeur

À mon adorable **Djihane Abdelmalek**

À tous ceux qui me sont chers.

À tous ceux qui m'aiment.

À toutes personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce Travail.

Hafsa

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mon très cher Père, Rabah

Tu as toujours été pour moi un exemple du père respectueux, honnête, je tien à honorer l'homme que tu es ; grâce à toi j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Je voudrais te remercier pour ton amour, ta générosité, ta compréhension... Ton soutien fut une lumière dans tout mon parcours.

Mon adorable mère, Houalef Ammara

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Dans les moments difficiles tu as cru en mes rêves, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force. Tu es la raison pour laquelle je suis ce que je suis aujourd'hui.

Ma grand-mère, Fatma

De mes débuts jusqu'à ta fin, tu étais à mes côtés, je ne l'ai jamais suffisamment exprimé quand tu étais ici Bien que mon amour et mon admiration étaient toujours sincères. Tu m'as donné une raison de continuer le combat, Je suis à jamais reconnaissante pour ton amour.

Ma grand-mère, Aïcha et mon grand-père, Belaid

Que Dieu vous bénisse et vous garde en bonne santé.

Ma tante, Rahma

Merci pour votre soutien, de m'avoir donnée tant d'amour.

Mes frères, Younes, Nassim, et Amine

A qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite.

Mes sœurs, Nadjat et Sarra

Merci pour vos soutiens, vos confiances, et vos conseils précieux qui m'ont aidé dans les moments difficiles.

Ma cher binôme, Hafsa, ma meilleure amie, Houda, et sa famille « Mouffouk »

Je veux juste vous remercier pour votre aide précieuse. Merci beaucoup.

Ma cousine, Hanane et mes chères amis, Hadjer, Nesrine, Amel, Mhammed, Ihab, Oussama, et Fethi

Merci pour votre aide et votre soutien, vous avez tant fait pour moi.

Houda

الملخص

على الرغم من حدوث تقدم في علم الأدوية، إلا أن الاستخدام العلاجي للنباتات الطبية لا يزال مهمًا للغاية في بعض بلدان العالم. الرجيلة (*Portulaca oleracea l.*) هو عشب سنوي، عصاري موجود في جميع أنحاء العالم، تعتبر هذه النبتة واحدة من أكثر النباتات انتشارًا واستخدامًا في العالم لخصائصها الغذائية والطبية.

يستند الهدف من هذه الدراسة إلى دراسة الخصائص الكيميائية النباتية، معايرة المركبات الفينولية وتقييم النشاط المضاد للأكسدة (في المختبر) من خلال اختبار تثبيط الجذر الحر DPPH وارجاع الحديد FRAP لمستخلصات الماء الخام - الميثانول والتي تم تحضيرها بواسطة الغلي والنقع وأجزائه العضوية أسيئات الإيثيل للطرف الجوي لنبتة الرجيلة.

كشفت نتائج الفحص الكيميائي النباتي عن وجود القلويدات، الفلافونويدات، الصابونينات، التربينويدات والتانينات والمركبات المختزلة وعدم وجود الكينونات الحرة والأنثراكينونات.

أظهرت نتائج التحليل الكمي للمركبات الفينولية وجود الفلافونويد والبوليفينول في جميع المستخلصات المدروسة، بكميات متغيرة من مستخلص إلى آخر، حيث أظهرت أجزاء أسيئات الإيثيل لكلى المستخلصين الماء الخام - الميثانول بطريقتي الاستخراج (الغلي والنقع) وجود أعلى المستويات من إجمالي البوليفينول والفلافونويد $62,76 \pm 298,47$ ميكروغرام مكافئ حمض الغاليك لكل ميليغرام مستخلص و $41,09 \pm 193,79$ ميكروغرام مكافئ حمض الغاليك لكل ميليغرام مستخلص بالنسبة للبوليفينول، و $2,72 \pm 163,455$ ميكروغرام مكافئ كاتشين لكل ميليغرام مستخلص و $10,88 \pm 138,455$ ميكروغرام مكافئ كاتشين لكل ميليغرام مستخلص بالنسبة للفلافونويد، على التوالي.

كما أظهرت دراسات النشاط المضاد للأكسدة التي تم تحقيقها باستخدام اختبارات FRAP و DPPH أن أفضل قيمة مضادة للأكسدة تم تسجيلها بواسطة الجزء العضوي من أسيئات الإيثيل المتحصل عليها عن طريق الغلي بترتيب $0,86 \pm 0,10 = CI_{50}$ مل/مغ و $0,99 \pm 0,03 = EC_{50}$ مل/مغ. لكن تظل هذه النتائج منخفضة مقارنة بالمعايير المستخدمة (حمض الأسكوربيك، BHT، BHA) التي أظهرت نشاطًا عاليًا لمضادات الأكسدة بقيم مختلفة (CI_{50} بنسب 0,09 مل/مغ، 0,11 مل/مغ، 0,22 مل/مغ و EC_{50} بقيم 0,16 مل/مغ، 0,13 مل/مغ، 0,21 مل/مغ، على التوالي).

الكلمات المفتاحية: *Portulaca oleracea l.*، الرجيلة، الفحص الكيميائي، المركبات الفينولية، النشاط المضاد للأكسدة، DPPH، FRAP.

Résumé

Malgré les progrès de la pharmacologie, l'usage thérapeutique des plantes médicinales est encore très courant dans certains pays du monde. Le pourpier (*Portulaca oleracea l.*) est une herbe succulente, annuelle, très répandue dans le monde entier. Elle est considérée comme l'une des plantes médicinales les plus distribuées et utilisées au monde pour ses propriétés nutritives et médicinales.

L'objectif de cette étude est basé sur l'étude des propriétés phytochimiques, le dosage des composés phénoliques et l'évaluation de l'activité antioxydante (*in vitro*) par le test du piégeage du radical libre DPPH[•], et le test du pouvoir réducteur de fer FRAP, des extraits bruts eau-méthanol préparés par décoction et macération et leurs extraits organiques acétate d'éthyle, de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.*

Les résultats de criblage phytochimique ont révélé la présence des alcaloïdes, des tanins, des flavonoïdes, des saponines, des terpénoïdes, et aussi des composés réducteurs et l'absence des quinones libres et des anthraquinones.

Les dosages des composés phénoliques ont montré la présence des flavonoïdes et des polyphénols dans tous les extraits étudiés avec des quantités variables d'un extrait à l'autre. Les fractions acétate d'éthyle récupérées pour les deux extraits bruts préparés par décoction et macération ont présenté les teneurs les plus élevées en polyphénols et en flavonoïdes totaux de l'ordre de $298,47 \pm 62,76 \mu\text{g Eq AG/ mg ES}$ et $193,79 \pm 41,09 \mu\text{g Eq AG/ mg ES}$, pour les polyphénols, et $163,455 \pm 2,72 \mu\text{g Eq C/ mg ES}$ et $138,455 \pm 10,88 \mu\text{g Eq C/ mg ES}$, pour les flavonoïdes respectivement.

Les études de l'activité antioxydante réalisées à l'aide des tests DPPH et FRAP ont montré que la meilleure capacité antioxydante a été enregistrée par la fraction organique acétate d'éthyle récupérée de l'extrait brut préparé par décoction avec une CI_{50} de l'ordre de $0,86 \pm 0,10 \text{ mg/ml}$ et une EC_{50} , de l'ordre de $0,99 \pm 0,03 \text{ mg/ml}$. Ces résultats restent faibles par rapport aux standards utilisés (acide ascorbique, BHA, BHT), qui ont montré une forte activité antioxydante avec différentes valeurs (CI_{50} de l'ordre de $0,09 \text{ mg/ml}$, $0,11 \text{ mg/ml}$, $0,22 \text{ mg/ml}$ et EC_{50} de l'ordre de $0,16 \text{ mg/ml}$, $0,13 \text{ mg/ml}$ et $0,21 \text{ mg/ml}$, respectivement).

Mots clés : *Portulaca oleracea l.*, criblage phytochimique, composés phénoliques, Activité antioxydante, DPPH, FRAP.

Abstract

Despite of advances in pharmacology, the therapeutic use of medicinal plants is still very common in some countries of the world. The purslane (*Portulaca oleracea l.*) is a succulent, annual herb that is widespread throughout the world. It is considered one of the most widely distributed and used medicinal plants in the world for its nutritional and medicinal properties.

The objective of this study is based on the study of phytochemical properties, determination of phenolic compounds and evaluation of antioxidant activity (*in vitro*) by the DPPH· free radical scavenging assay, and the FRAP iron reducing power assay, of crude water-methanol extracts prepared by decoction and maceration and their ethyl acetate organic fractions, of the aerial part of *Portulaca oleracea l.*

Phytochemical screening results revealed the presence of alkaloids, tannins, flavonoids, saponins, terpenoids, and reductive compounds and the absence of free quinones and anthraquinones.

Phenolic compounds assays showed the presence of flavonoids and polyphenols in all the extracts studied with variable amounts from one extract to another. The ethyl acetate fractions recovered for both crude extracts prepared by decoction and maceration showed the highest contents of polyphenols and total flavonoids in the order of $298,47 \pm 62,76 \mu\text{g Eq AG/ mg DW}$ and $193,79 \pm 41,09 \mu\text{g Eq AG/ mg DW}$, for polyphenols, and $163,455 \pm 2,72 \mu\text{g Eq C/ mg DW}$ and $138,455 \pm 10,88 \mu\text{g Eq C / mg DW}$, for flavonoids, respectively.

The antioxidant activity studies carried out using DPPH and FRAP tests showed that the best antioxidant capacity was recorded by the organic fraction ethyl acetate recovered from the crude extract prepared by decoction with an IC_{50} in the order of $0,86 \pm 0,10 \text{ mg/ml}$ and an EC_{50} , in the order of $0,99 \pm 0,03 \text{ mg/ml}$. These results remain low compared to the standards used (ascorbic acid, BHA, BHT), which showed strong antioxidant activity with different values (CI_{50} in the order of $0,09 \text{ mg/ml}$, $0,11 \text{ mg/ml}$, $0,22 \text{ mg/ml}$ and EC_{50} in the order of $0,16 \text{ mg/ml}$, $0,13 \text{ mg/ml}$ and $0,21 \text{ mg/ml}$, respectively).

Keywords: *Portulaca oleracea l.*, phytochemical screening, phenolic compounds, antioxidant activity, DPPH, FRAP.

Table de matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction _____ 1

Synthèse bibliographique

Chapitre I

La plante étudiée : *Portulaca oleracea* L.

1. Nom vernaculaire _____	3
2. Classification botanique de <i>Portulaca oleracea</i> L. _____	3
2.1 La classification de Cronquist 1981 _____	3
2.2 La classification de APG III (2009) _____	4
3. Description botanique morphologique _____	4
4. Culture et répartition géographique _____	6
5. Composition chimique _____	6
6. Utilisation du pourpier _____	7
6.1 Utilisation traditionnelle _____	7
6.2 Utilisation cosmétique _____	8
6.3 Utilisation culinaire _____	8
7. Les activités biologiques _____	8
7.1 Activité antibactérienne _____	8
7.2 Activité antidiabétique _____	9
7.3 Activité antitumorale _____	9
7.4 Activité antivirale _____	9
8. Toxicité de pourpier _____	9

Chapitre II
Stress oxydatif

1. Radicaux Libres	11
1.1 Définition	11
1.2 Les types	11
1.2.1 Espèces réactives d'oxygène (ERO)	11
1.2.1.1 L'anion superoxyde $O_2^{\bullet-}$	11
1.2.1.2 Peroxyde d'hydrogène H_2O_2	12
1.2.1.3 Radical hydroxyle OH^{\bullet}	12
1.2.2 Espèces réactives d'azote (ERN)	12
1.2.3 Espèces réactives de soufre (ERS)	13
2. Stress oxydant	13
2.1 Les maladies liées au stress oxydant	13
3. L'activité antioxydante	14
3.1 Définition antioxydante	14
3.2 Les types des antioxydants	14
3.2.1 Antioxydants enzymatiques	14
3.2.1.1 Les superoxydes dismutases (SOD)	14
3.2.1.2 La glutathion peroxydase (GPxs)	14
3.2.1.3 La catalase	15
3.2.2 Antioxydants non enzymatiques	15
3.2.2.1 Vitamine C	15
3.2.2.2 Vitamine E	15
3.2.2.3 Les polyphénols	15
3.2.2.4 Le coenzyme Q10	15
3.3 Méthode de recherche de l'activité antioxydante	15
3.3.1 Test DPPH (2,2-diphenyle-1-picrylhydrazyl)	16
3.3.2 Test de FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)	16
3.3.3 Test ABTS (Acide 2,2'-azinobis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique))	17
3.3.4 Test CUPRAC (Cupric ion reducing antioxidant capacity):	17

Partie expérimentale

Matériel et méthodes

1	Matériel végétal	18
2	Préparation des extraits	18
2.1	Extrait brut hydrométhanolique (EB)	19
2.1.1	Décoction (sous reflux)	19
2.1.2	Macération	19
2.2	Fractionnement de l'extrait hydrométhanolique	20
2.2.1	Élimination des graisses et des pigments	20
2.2.2	Fractionnement par l'acétate d'éthyle (AE)	20
2.3	Extraits récupérés	20
2.4	Le rendement d'extraction	20
3	Criblage phytochimique	21
3.1	Les composés azotés	21
3.1.1	Alcaloïdes	21
3.2	Les composés phénoliques	21
3.2.1	Les tanins	21
3.2.2	Les flavonoïdes	21
3.2.3	Les quinones libres	21
3.2.4	Anthraquinones	21
3.3	Les composés terpéniques	22
3.3.1	Saponines (test de mousse)	22
3.3.2	Terpénoïdes (Test de Slakowski)	22
3.4	Les composés réducteurs	22
4	Dosage des composés phénoliques	22
4.1	Dosage des polyphénols totaux	22
4.2	Dosage des flavonoïdes totaux	23
5	Evaluation de l'activité antioxydante	24
5.1	Test du piégeage du radical DPPH	24
5.2	Test de pouvoir réducteur de fer (Ferric Reducing Antioxidant Power ; FRAP)	25
6	Analyses statistiques	26

6.1	Moyenne	26
6.2	Ecart type	26

Résultats et interprétations

1.	<i>Caractéristiques des extraits obtenus</i>	27
2.	<i>Criblage phytochimiques</i>	28
3.	<i>Dosage des composés phénoliques</i>	28
4.	<i>Recherche de l'activité antioxydante</i>	31
4.1	Piégeage du radical (DPPH)	31
4.2	Pouvoir réducteur de fer (FRAP)	34
	<i>Discussion</i>	39
	<i>Conclusion et prescriptives</i>	44
	<i>Références bibliographiques</i>	45

Liste des abréviations

•OH : Radical hydroxyle.

ABTS : Acide 2,2'-azinobis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique).

AE : Acétate d'Éthyle.

BHA: Butylated hydroxyanisole

BHT: Butylated hydroxytoluene

Co-Q10: Coenzyme Q10.

CUPRAC: Cupric ion reducing antioxidant capacity.

DPPH: 2,2-diphenyle-1-picrylhydrazyle.

DPPH-H: 2,2 Diphenyl 1 picryl hydrazine.

CI₅₀ : Concentration inhibitrice à 50%.

EB : Extrait brute.

EC₅₀ : Concentration efficace.

ER : espèces réactives.

ERN : Espèces réactives d'azote.

ERO : Espèces réactives en oxygène.

ERS : Espèces réactives de soufre.

FAE: Fraction acétate éthyle.

FRAP: Ferric Reducing Antioxidant Power.

GPxs : glutathion peroxydase.

GSH : Glutathion réduit.

GSSG : Glutathion oxydé.

HSV-2 : Virus de l'herpès simplex de type 2.

IAV : Virus de l'influenza A.

NC : Néocuproïne.

NOS : oxyde nitrique synthase.

O₂•- : L'anion superoxyde.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

SOD : superoxyde dismutases.

TCA : Acide trichloracétique.

V/V : Volume/Volume.

Vit : Vitamine.

W₈O₂₃ : Tungstène.

µg Eq AG/ mg ES : Microgramme équivalent acide gallique par milligramme d'extrait sec

µg Eq C/ mg ES : Microgramme équivalent catéchine par milligramme d'extrait sec.

ω 3: Oméga-3.

ω 6: Oméga-6.

Liste des figures

Figure 01: <i>Portulaca oleracea l.</i> _____	5
Figure 02: les différents organes de <i>Portulaca oleracea l.</i> (A : racine, B : tige, C : fleur, D : feuilles, E : fruit, F : graine). _____	5
Figure 03: Mécanisme réactionnel intervenant lors du test DPPH entre l'espèce radicalaire DPPH• et un antioxydant (AH). _____	16
Figure 04: Mécanisme réactionnel intervenant lors du test FRAP entre le complexe ferricyanide ferrique Fe (III) et un antioxydant (AH). _____	16
Figure 05: Formation du radical cation ABTS ^{•+} à partir de l'ABTS. _____	17
Figure 06: Réduction du complexe de Nc-Cu ⁺² . _____	17
Figure 07: Partie aérienne de <i>Portulaca oleracea l.</i> après séchage. _____	18
Figure 08: Droite d'étalonnage d'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux. ____	29
Figure 09: Droite d'étalonnage de catéchine pour le dosage des flavonoïdes totaux. _____	29
Figure 10: Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en présence de l'acide ascorbique, BHA et BHT. _____	31
Figure 11: Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de l'extrait brut EBD (décoction) de la partie aérienne de <i>Portulaca oleracea l.</i> _____	32
Figure 12: Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de la fraction acétate d'éthyle FAED (décoction) de la partie aérienne de <i>Portulaca oleracea l.</i> _____	32
Figure 13: Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de l'extrait brut EBM (macération) de la partie aérienne de <i>Portulaca oleracea l.</i> _____	33
Figure 14: Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de la fraction acétate d'éthyle FAEM (macération) de la partie aérienne de <i>Portulaca oleracea l.</i> _____	33
Figure 15: Pouvoir réducteur du fer en présence de l'acide ascorbique, BHA et BHT. _____	35
Figure 16: Pouvoir réducteur du fer de l'extrait brut EBD (décoction) de la partie aérienne de <i>Portulaca oleracea l.</i> _____	35
Figure 17: Pouvoir réducteur du fer de la fraction acétate d'éthyle FAED (décoction) de la partie aérienne de <i>Portulaca oleracea l.</i> _____	36

Figure 18: Pouvoir réducteur du fer de l'extrait brut EBM (macération) de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.* _____ 36

Figure 19: Pouvoir réducteur du fer de la fraction acétate d'éthyle FAEM (macération) de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.* _____ 37

Liste des tableaux

Tableau 01: Classification de <i>Portulaca oleracea l.</i> (Cronquist, 1981). _____	3
Tableau 02: Classification de <i>Portulaca oleracea l.</i> (APG, 2009). _____	4
Tableau 03: valeur nutritionnelle de <i>Portulaca oleracea l.</i> pour 100 g. _____	7
Tableau 04: Caractéristiques de différents extraits préparés de la partie aérienne de <i>Portulaca oleracea l.</i> _____	27
Tableau 05: Résultats de l'examen phytochimique des extraits bruts hydrométhanolique préparés de la partie aérienne de <i>Portulaca oleracea l.</i> _____	28
Tableau 06: Teneurs en composés phénoliques des extraits de la parties aérienne de <i>Portulaca oleracea l.</i> _____	30
Tableau 07: Les valeurs CI_{50} des différents extraits de la partie aérienne de <i>Portulaca oleracea l.</i> _____	34
Tableau 08: Les valeurs EC_{50} des différents extraits de la partie aérienne de <i>Portulaca oleracea l.</i> _____	37

Introduction

La phytothérapie est un type de thérapie visant à traiter certains dysfonctionnements et certaines pathologies, en utilisant des plantes, des parties de plantes ou bien à partir des préparations de plantes. C'est une thérapeutique inspirée de la médecine traditionnelle, basée sur des connaissances empiriques enrichies au fil des générations. Ceci est connu sous le nom de « médecine traditionnelle à base des plantes » ou bien « la phytothérapie traditionnelle » qui est encore largement utilisée dans certains pays où il continue son utilisation antique (Gruffat, 2017).

Les plantes médicinales sont des drogues végétales dont au moins une de ces parties possède des propriétés médicinales (Chabrier, 2010). Elles sont extrêmement nombreuses, il y a environ 400 000 à 530 000 espèces végétales utilisées depuis longtemps comme médicaments traditionnels de différentes cultures dans le monde entier, et aussi dans divers domaines, à savoir la médecine, la pharmacie, la cosmétologie et l'agriculture, car ils sont connus par leurs propriétés biologiques bénéfiques et intéressantes (Varro, 1993 ; Delattre, 2022).

Par ailleurs, les plantes médicinales possèdent des principes actifs, qui sont des molécules responsables d'une action thérapeutique, que ce soit curative, soit préventive pour les êtres vivants et en particulier l'homme. Ils sont aussi responsables d'effets indésirables appelés toxicités, parfois similaires aux médicaments chimiques (Limonier, 2018).

Les terpènes, les composés phénoliques (acides phénoliques, flavonoïdes, tanins, ...), et les alcaloïdes (ou composés azotés), sont parmi ces principes actifs. Ce sont des métabolites secondaires qui se trouvent partout dans le règne végétal. Ils possèdent plusieurs activités biologiques, telles que l'activité antioxydante, antidiabétique, anti-inflammatoire, et antimicrobienne (Vermerius et Nicholson, 2006 ; Zillich et al., 2015). En effet, ces composants sont des piègeurs efficaces d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) (Duthie et Crozier, 2000).

Le pourpier (*Portulaca oleracea l.*), connu sous le nom « Redjila » en Algérie, est une plante de la famille des Portulacaceae, qui peut être cultivée dans de nombreuses régions du monde (Attia et Ammari, 2019). Cette plante est inscrite par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) comme l'une des plantes médicinales les plus souvent utilisées et lui conférant le terme de « Global Panacea » (Demirhan et Özbek, 2010). De plus, le pourpier est très utilisé dans certaines préparations alimentaires, traditionnelles en raison de sa richesse en plusieurs composés antioxydants, tels que l'Oméga-3, les flavonoïdes, les minéraux, et les vitamines A, C, E (Simopoulos et al., 1992).

De notre part, l'objectif de notre étude est :

- Le criblage phytochimique de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.*
- Le dosage des composés phénoliques (polyphénols totaux et flavonoïdes totaux).
- L'évaluation de l'activité antiradicalaire (piégeage du radical DPPH· : 2.2-diphenyl-1-picrylhydrozyl) et antioxydante (pouvoir réduction du Fer : FRAP), des extraits bruts hydrométhanolique préparés par décoction ou macération, et leurs fractions organiques d'acétate d'éthyle de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.* récoltées dans la wilaya de Tlemcen.

Ce manuscrit est développé en deux parties :

- La première partie est consacrée à la recherche bibliographique et se compose de deux chapitres :
 - Le chapitre I : représente les généralités sur la plante étudiée *Portulaca oleracea l.*
 - Le chapitre II : englobe le stress oxydant.
- La deuxième partie est une partie expérimentale basée principalement sur l'extraction des différents extraits de la plante *Portulaca oleracea l.*, tests phytochimiques, dosages des composés phénoliques et l'évaluation de l'activité antioxydant de ces extraits.

Enfin, une conclusion générale qui résume notre travail.

*Synthèse
bibliographique*

Chapitre I

La plante étudiée :
Portulaca oleracea l.

Portulaca oleracea L. (pourpier) est une plante annuelle herbacée et succulente, largement distribuée dans les régions tempérées et tropicales dans le monde entier (Zhu et al., 2010). Cette plante appartient au genre *Portulaca* qui inclut environ 40 espèces. Elle est répertoriée par l'organisation mondiale de la santé (OMS) comme l'une des plantes médicinales les plus utilisées où elle a donné le terme « Global Panacea » (Demirhan et Özbek, 2010 ; Rahal et Rahal, 2019).

1. Nom vernaculaire

***Nom vernaculaire arabe** : Redjila, Tlibcha, Brabra, Bou El Kazit.

***Nom targui ou berbère** : Arrhilem, Bouguel, Benderaech, Tafrita.

***Nom en français** : Pourpier.

***Nom en anglais** : Purslane.

Dans la région de l'ouest algérien, elle est connue sous le nom **Redjila** (Hwess et al., 2018 ; Chugh et al., 2019 ; Rahal et Rahal, 2019 ; El Ouardani et Faddi, 2020).

2. Classification botanique de *Portulaca oleracea* L.

2.1 La classification de Cronquist 1981

La classification de Cronquist est une classification des angiospermes. Elle est peut-être la dernière version des classifications majeures basées essentiellement sur des critères morphologiques, anatomiques et chimiques, et qui ignore donc l'information génétique (**Tableau 01**) (El Ouardani et Faddi, 2020).

Tableau 01: Classification de *Portulaca oleracea* L. (Cronquist, 1981).

Règne	Plantae
Sous règne	Trachéobionta
Super division	Spermatophyta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Caryophyllidae
Ordre	Caryophyllales
Famille	Portulacaceae
Genre	<i>Portulaca</i>
Espèce	<i>oleracea</i> L.

2.2 La classification de APG III (2009)

Il s'agit de la troisième version de classification botanique des Angiospermes élaborée en 2009 par l'Angiosperms Phylogeny Group. Cette version d'APG III remplace les versions APG I datant de 1998 et APG II datant de 2003 (**Tableau 02**) (Malécot, 2009 ; Delahaye, 2015).

Tableau 02: Classification de *Portulaca oleracea* L. (APG, 2009).

Règne	Plantae
Clade	Angiospermes
Clade	Eudicotylédones
Clade	Dicotylédones vraies supérieures
Ordre	Caryophyllales
Famille	Potulacaceae
Genre	<i>Portulaca</i>
Espèce	<i>oleracea</i> L.

3. Description botanique morphologique

Portulaca oleracea L. est caractérisée par les différents éléments morphologiques suivant (**Figure 01 et 02**) :

Racine : pivotante, épaisse, cylindrique, petite mesurant entre 2 à 11 cm, avec une surface lisse et de couleur gris brunâtre, racines secondaires fibreuses moins nombreuses et peuvent se développer à partir des rameaux (Mitich, 1997 ; Sassoui, 2016).

Tige : cylindrique, épaisse, charnue, succulente, totalement glabre et surtout prostrée de couleur le plus souvent rougeâtre mesurant de 0,2 à 0,5m de longueur (Mitich, 1997 ; Sassoui, 2016).

Fleurs : couleur jaune pâle, larges de 3 à 10 mm, elles ont soit quatre à six pétales largement arrondis, qui sont solitaires, sessiles, axillaires et disposées dans les aisselles des feuilles, soit plusieurs ensembles dans les bouquets de feuilles à l'extrémité des branches. Elles ne s'épanouissent que sous le soleil (Attia et Ammari, 2019 ; Khanam et al., 2019).

Feuilles : sont simples, alternes, obovales ou spatulées, épaisses et succulentes avec un bout arrondi ou tronqué à l'apex, mesurant jusqu'à 2,8 cm de long (Mitich, 1997 ; Khanam et al., 2019).

Fruit : capsule de forme ovoïde, déhiscente, elles mesurent jusqu'à 0,3 cm de long, et contenant de nombreuses graines (Khanam et al., 2019).

Graine : Nombreuses graines réniformes, noires, minuscules de 0,06- 0,07 cm de diamètre (Sassoui, 2016 ; Attia et Ammari, 2019).



Figure 01: *Portulaca oleracea* L. (Lesca, 2012).



Figure 02: les différents organes de *Portulaca oleracea* L. (A : racine, B : tige, C : fleur, D : feuilles, E : fruit, F : graine) (Lin, 2013 ; Poiret, 2014 ; Ovirgili, 2016 ; Sillaro, 2016 ; Claire, 2017).

4. Culture et répartition géographique

Le pourpier est distribué dans toutes les régions tempérées et tropicales du monde d'altitude de 2,6 km au-dessus du niveau de la mer. Il se trouve dans l'Europe du Sud, l'Asie occidentale, la Chine, l'Inde, le Sahara de l'Afrique du Nord et en Amérique du Nord.

En Algérie, on trouve le pourpier dans le Tell ; les hauts plateaux, Aurès et dans les oasis du sud (Chugh et al., 2019 ; El Ouardani et Faddi, 2020).

La plante est adaptable aux nombreuses situations biogéographiques, mais elle préfère un habitat ouvert, riche et humide. Elle se développe sur différents types de sol dans les champs cultivés dans les jardins, les stériles, les terrains vagues, les pentes et les falaises érodées, pendant l'été et le printemps, elle produit rapidement des fleurs, des fruits et des graines après environ quarante jours de germination (Sassoui, 2016 ; Chugh et al., 2019 ; Khanam et al., 2019 ; Rahal et Rahal, 2019 ; El Ouardani et Faddi, 2020).

5. Composition chimique

Plusieurs outils qualitatifs et quantitatifs ont été employés pour étudier les phytoconstituants présents dans diverses parties de *Portulaca oleracea* L. (Abourashed et Al-alfy, 2016 ; Negi, 2018 ; Venkateshwari et al., 2018 ; Zaman et al., 2020 ; Farag et al., 2021), elle contient de nombreux métabolites importants qui ont des effets bénéfiques sur la santé (Abourashed et Al-alfy, 2016 ; Chugh et al., 2019 ; Rahimi et al., 2019), et qui sont variés au cours de ses étapes de croissance (Mohamed et Hussein, 1994). Il a été révélé que le pourpier contient plusieurs composés, parmi lesquels les polysaccharides, les acides gras oméga-3 (ω 3) et oméga-6 (ω 6), les vitamines antioxydantes (Vit A, C, B, E et caroténoïdes), les minéraux (magnésium, calcium, potassium et fer) (Uddin et al., 2012 ; Shen et al., 2013 ; Zidan et al., 2014 ; Zhou et al., 2015 ; Melilli et al., 2020), les protéines avec une teneur de 19,1% (Ding et al., 2008), les acides aminés essentiels et de l'amidon (Mohamed et Hussein, 1994 ; Zhou et al., 2015).

En plus d'être une source de métabolites primaires, le pourpier contient des quantités variables de métabolites secondaires tels que :

- **Les alcaloïdes** parmi lesquels la dopamine (Yue et al., 2005), la noradrénaline (Chen et al., 2003), les oleraceines A, B, C, D et E, les oleracines I et II, l'adénosine (Xiang et al., 2005).
- **Les flavonoïdes** comprenant principalement le kaempférol, l'apigénine, la lutéoline, la myricétine, la quercétine (Xu et al., 2006) et les portulacanes A, B et C (Yan et al., 2012).

- **Les terpénoïdes** comme les portuloside A et B (Sakai et al., 1996 ; Seo et al., 2003), le portulène et le lupéol (Elkhayat et al., 2008).
- **D'autres composés** sont aussi retrouvés comme les tanins (Esiyok et al., 2004) ; les acides phénoliques et organiques (Nemzer et al., 2020 ; Zaman et al., 2020).

La richesse de *Portulaca oleracea L.* avec ces différents composés permet de leur confère une haute valeur nutritionnelle indiquée dans le **tableau 03**.

Tableau 03 : valeur nutritionnelle de *Portulaca oleracea L.* pour 100 g (Vijaya et al., 2018).

Elément	Quantité pour 100 g	Elément	Quantité pour 100 g
Energie (kcal)	16	Vitamine C (mg)	21
Hydrates de carbone (g)	3,4	Zinc (mg)	0,17
Gras (g)	0,1	Calcium (mg)	65
Protéines (g)	1,30	Fer (mg)	1,99
Eau (g)	92,86	Magnésium (mg)	68
Vitamine A (IU)	1320	Manganèse (mg)	0,303
Vitamine B1 (mg)	0,047	Phosphore (mg)	44
Vitamine B2 (mg)	0,112	Sodium (mg)	45
Vitamine B3 (mg)	0,48	Potassium (mg)	494
Vitamine B5 (mg)	0,036	Cuivre (mg)	0,113
Vitamine B6 (mg)	0,073	Sélénium (mg)	0,9
Vitamine B9 (µg)	12	Zinc (mg)	0,17

6. Utilisation du pourpier

6.1 Utilisation traditionnelle

Les usages médicaux du pourpier remontent à l'époque de la Romaine antique et de la médecine traditionnelle chinoise, où il était appelé « légume de longue vie » (Hou et al., 2021). Diverses parties de la plante sont utilisées contre un certain nombre de maladies telles que la diarrhée, les infections de la gorge, le diabète, l'obésité, l'asthme, les ulcères, les maladies rénales, gastro-intestinal, l'inflammation du foie, la fièvre, la toux sèche et plusieurs autres... (Sassoui, 2016 ; Attia et Ammari, 2019 ; Ajay et al., 2021).

Le pourpier rentre aussi dans la thérapeutique médicale dentaire (Cocher, 1998) ; les feuilles de cette plante mâchées crues font disparaître les aphtes et l'enflure des gencives irritées. Tandis qu'en gargarismes soulagent les maux de dents (Lamendin, 2007).

L'herbe fraîche est utilisée comme un cataplasme afin de traiter les brûlures, les maux d'oreilles, les piqûres d'insectes, les inflammations, les lésions cutanées, les démangeaisons, l'eczéma et les abcès (Leung et Foster, 1996).

6.2 Utilisation cosmétique

Pour les soins cosmétiques, *Portulaca oleracea* L. peuvent être appliqués directement sur la peau, car elle est considérée comme un hydratant, rafraichissante, purifiante, apaisante.

En particulier, ses propriétés naturelles permettent de soulager les inflammations et les épurations cutanées telles que les boutons et favorisent la cicatrisation en cas des plaies. Le pourpier a de puissants effets régénérateurs au niveau cellulaire par sa richesse en vitamine C qui contribue à la formation de collagène et en bêta-carotène permet de réduire les rides et éclaircir le teint (Erboristeria, 2021 ; Sandrine, 2021).

6.3 Utilisation culinaire

Toutes les parties de la plante de pourpier peuvent être récoltées et consommées, car les feuilles, les tiges et les fleurs sont entièrement comestibles (Sachdev, 2022).

Le pourpier est acidulé, piquant et un peu salé, avec une texture peu mucilagineuse, en raison de cette qualité, il est utilisé pour épaissir agréablement le bouillon (Mitich, 1997 ; Sachdev, 2022). Le pourpier est considéré comme un aliment d'urgence en raison de sa teneur élevée en eau, cette plante peut être consommée crue pour étancher la soif ou cuite (Harrington et Matsumura, 1967).

7. Les activités biologiques

7.1 Activité antibactérienne

Des expériences ont montré que l'extrait éthanolique de *Portulaca oleracea* L. a un effet antibactérien, et a un effet inhibiteur extrêmement élevé sur les bactéries de la dysenterie, les bactéries Proteus, *Escherichia coli*, la fièvre typhoïde, et les bactéries paratyphi. Il a également différents degrés d'effet inhibiteur sur *Staphylococcus aureus*, les champignons tels que *Mycobacterium tuberculosis*, *Microbacillus audulanum*, ...etc, et présente un léger effet inhibiteur sur *Pseudomonas aeruginosa* (Ding et al., 2008 ; Kurbanov, 2009). De plus, l'extrait

aqueux de *Portulaca oleracea* L. a présenté un effet antibactérien *in vitro* sur deux dermatophytes, *Trichophyton rubrum* et *Trichophyton mentagrophytes* (Zhang et Liu, 2018).

7.2 Activité antidiabétique

Portulaca oleracea L. est un bon anti-hyperglycémiant qui mérite d'être étudié (Qi et al., 2022). Des nombreuses expériences sur les animaux ont indiqué que le mécanisme antidiabétique des polysaccharides du pourpier peut être lié à la protection du foie, à l'amélioration de la fonction immunitaire, à l'amélioration de la tolérance au glucose, à la sécrétion d'insuline et de peptide C sérique, à l'utilisation du glucose du sang périphérique, à la réduction des dommages aux cellules β du pancréas et à la réduction de la production d'espèces réactives de l'oxygène (Ren et Zhou, 2007 ; Li et al., 2012).

7.3 Activité antitumorale

Cui Min et al., (2002) ont montré que le polysaccharide de *Portulaca oleracea* L. pouvait augmenter le nombre de lymphocytes T chez les souris, inhiber l'augmentation des cellules cancéreuses du foie SMMC7721 et réduire l'indice de division de la tumeur ascite chez les souris porteuses de la tumeur S180 par administration intrapéritonéale. Plus que les polysaccharides, Li Yuping et al., (2009) ont découvert que les alcaloïdes, les acides gras, et les flavonoïdes de *Portulaca oleracea* L. avaient différents degrés d'effets inhibiteurs sur différents carcinogènes. Les alcaloïdes avaient de forts effets inhibiteurs sur la croissance et la reproduction des cellules cancéreuses du poumon et des cellules Hela A-549 ; Tandis que les acides gras avaient un certain effet inhibiteur sur les cellules Hep-2. Les flavonoïdes étaient encore plus différents, elles avaient un effet inhibiteur sur les cellules RD.

7.4 Activité antivirale

Seules quelques études ont rapporté le potentiel antiviral du pourpier. Un extrait aqueux de pourpier a montré une activité antivirale contre l'infection par le virus de l'influenza A (IAV) (Li et al., 2019).

Dong et al., (2010) ont montré que le polysaccharide pectique isolé du pourpier a des activités contre le virus de l'herpès simplex de type 2 (HSV-2).

8. Toxicité de pourpier

Malgré les effets thérapeutiques des plantes médicinales, celles-ci doivent être utilisées avec la plus grande prudence, car elles peuvent avoir un risque de toxicité (Fouché et al., 2000). En effet, un regain d'intérêt envers la phytothérapie durant ces dernières années a permis d'approfondir l'analyse de son efficacité thérapeutique et de son aspect toxicologique (De Smet,

1993). Plusieurs travaux ont été réalisés sur la toxicité de *Portulaca oleracea L.*, l'étude de Musa et al., (2007) a montré que cette plante n'est pas toxique et ça jusqu'à des doses inférieures à 1,8 g/kg. Par ailleurs, dans une autre étude, les auteurs ont observé une très faible toxicité puisqu'aucune mort n'a été enregistrée chez les rats qui ont reçu des doses maximales de 2 g/kg (Kishore et al., 2013) et de 10 g/kg (EL-Newary, 2016).

À noter que l'utilisation de cette plante est déconseillée pendant la grossesse et l'allaitement du fait de ses propriétés diurétiques, les hypertendus et ceux qui souffrent de lithiase urinaire à l'oxalate de calcium (calculs rénaux) doivent s'en méfier (Hwess et al., 2018).

Chapitre II

Stress oxydatif

1. Radicaux Libres

1.1 Définition

Un radical libre est tout corps contenant un ou plusieurs électrons non appariés dans sa structure moléculaire la plus externe (orbitale), le rendant très réactif et sont le plus souvent stabilisés grâce à la formation de couples ou paires d'électrons (Leverve, 2009 ; Sen et al., 2010).

Les sources des radicaux libres peuvent être de nature endogène ou exogène. Les sources endogènes des radicaux libres sont générées de manière intracellulaire par l'auto-oxydation ou l'inactivation de petites molécules, alors que les sources exogènes des radicaux libres sont à l'origine de la fumée de tabac, certains polluants, les solvants organiques, les anesthésiques et les pesticides. Les sites de génération des radicaux libres englobent tous les constituants cellulaires, tels que les mitochondries, lysosomes, peroxysomes, ...etc. Par ailleurs, certains médicaments métabolisés en produits intermédiaires des radicaux libres causent également des dommages oxydatifs dans les tissus cibles (Rao et al., 2011).

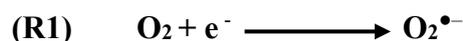
1.2 Les types

1.2.1 Espèces réactives d'oxygène (ERO)

Ce sont des molécules hautement réactives contenant de l'oxygène. Elles peuvent être classées en superoxydes, hydroxyles et radicaux hypochlorites. Elles sont formées à la suite de réactions enzymatiques de signalisation inter et intracellulaires. Les dérivés d'oxygène non radicalaire sous les espèces réactives d'oxygène (ERO) sont l'oxygène unique, les peroxydes lipidiques, le peroxyde d'hydrogène, ...etc (Mathew et al., 2011).

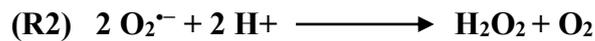
1.2.1.1 L'anion superoxyde $O_2^{\bullet-}$

L'anion superoxyde est peu réactif, car il n'est pas capable de traverser les membranes biologiques, il se forme suite à l'addition d'un électron à l'oxygène moléculaire **(R1)** par voie d'auto-oxydation dans la mitochondrie au cours de la respiration cellulaire. Et peut aussi être produit par voie enzymatique tel que la xanthine oxydase, la NADPH oxydase, ...etc (Hamma et al., 2015). Ce radical est à l'origine de la formation des radicaux dont le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 , le radical hydroxyle OH^{\bullet} , et l'oxygène singulet O_2 (Stief, 2003).



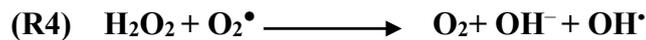
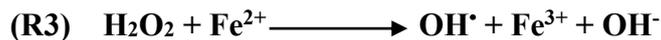
1.2.1.2 Peroxyde d'hydrogène H₂O₂

Les principaux sites producteurs de peroxyde d'hydrogène sont les mitochondries et le réticulum endoplasmique. Il est formé lors de la dismutation du radical anion superoxyde par la superoxyde dismutase **(R2)** (Hamma et al., 2015). Le H₂O₂ est très soluble dans l'eau, pénètre facilement dans les membranes biologiques, et peut provoquer la dégradation des protéines, la libération de Fe³⁺, l'oxydation de l'ADN, les lipides, l'inactivation d'enzymes, ...etc. En effet, la majeure partie de la cytotoxicité de H₂O₂ provient par le biais des ERO qu'il génère tel que le radical hydroxyle OH[•] (Ait Yahia et Zemoura, 2014).



1.2.1.3 Radical hydroxyle OH[•]

Le radical hydroxyle est très réactif, il se forme soit par la dégradation du peroxyde d'hydrogène en présence de métaux de transition sous leur forme réduite (réaction de fenton) **(R3)** ou par son action avec le radical superoxyde selon la réaction de d'Haber-Weiss **(R4)** (Ait Yahia et Zemoura, 2014).



1.2.2 Espèces réactives d'azote (ERN)

Les espèces réactives d'azote sont des radicaux libres qui jouent un rôle bien établi dans les dommages cellulaires et la transduction du signal (Mathew et al., 2011). À des faibles concentrations, les ERN sont considérés en tant que des médiateurs régulateurs dans les processus de signalisation. Alors que, à des concentrations modérées ou élevées, elles sont nocives pour les organismes vivants en désactivant des molécules cellulaires importantes (Di Meo et al., 2016), les deux espèces réactives de l'azote sont l'oxyde nitrique et le dioxyde d'azote (Mathew et al., 2011).

L'oxyde nitrique, produit par l'enzyme oxyde nitrique synthase (NOS), est un radical libre hautement réactif, qui endommage les glucides, les lipides, les protéines et les nucléotides, entraînant des inflammations, des adhérences et des lésions tissulaires. Il inhibe également l'agrégation plaquettaire, détend les muscles des artères et des veines (Agarwal et al., 2005).

Le dioxyde d'azote touche les poumons en inhibant certaines de ces fonctions, comme la réponse immunologique, produisant une diminution de la résistance aux infections, Ainsi provoque la perturbation de système nerveux qui régule le cœur et qui par conséquent produisant des arythmies (Ackermann, 2011).

1.2.3 Espèces réactives de soufre (ERS)

Ce type d'espèces des radicaux libres est formé par l'oxydation des thiols et des disulfures. Ils sont redox-actifs dans la nature consistent en soufre à un état d'oxydation élevé. Disulfure, acide sulfénique et radicaux thiyliques sont certains exemples des ERS. Ils entraînent l'inhibition des protéines et des enzymes de thiol en raison de l'oxydation rapide qu'ils subissent (Mathew et al., 2011).

2. Stress oxydant

Au sein de l'organisme, il existe un équilibre entre les espèces réactives (ER) qui sont présentes à l'état basal en faible concentration et le système de défense antioxydant qui contient notamment des enzymes, des vitamines, des oligoéléments, le glutathion (Delattre et al., 2005).

La perte de l'équilibre d'oxydo-réduction provoque un état de stress oxydatif, cet état se caractérise par une augmentation des pro-oxydants et une diminution de la capacité du système antioxydant à résister aux effets des espèces réactives de l'oxygène (ERO) et d'azote (ERN) (Rivas-Arancibia et al., 2010 ; Halliwell, 2012). Il a comme conséquence l'apparition de dégâts irréversibles pour la cellule, tels que les dommages membranaires, la peroxydation lipidique, l'oxydation et la fragmentation des protéines, ainsi que les dommages des glucides (Sies, 1993), et par la suite peut contribuer à l'apparition de diverses pathologies (Haleng et al., 2007).

2.1 Les maladies liées au stress oxydant

Le stress oxydant est impliqué dans très nombreuses maladies comme facteur déclenchant ou associé à des complications de l'évolution. La plupart des maladies induites par le stress oxydant apparaissent avec l'âge, car le vieillissement diminue les défenses antioxydantes et augmente la production mitochondriale des radicaux (Sohal et al., 2002), nous citons comme exemple les maladies neurodégénératives (maladie d'Alzheimer [MA], maladie de Parkinson [MP]) maladies cardiaques (maladies coronariennes [MC], athérosclérose, accidents vasculaires cérébraux), maladies rénales (néphropathie diabétique), maladies pulmonaires (asthme, fibrose pulmonaire et cancer du poumon), maladies oculaires (rétinopathie diabétique [RD], rétinite pigmentaire [RP]), maladies de l'estomac, maladies de la peau, troubles sanguins (bêta-thalassémie, leucémie lymphoblastique aiguë [LLA]), maladies du foie, du pancréas, du cerveau, maladie de Wilson, le diabète, l'obésité, ...etc. (Mancinelli et al., 2011 ; Rahman et al., 2012).

3. L'activité antioxydante

Entre le danger et la nécessité de l'oxygène et des radicaux libres, la nature a développé de puissants systèmes de défense antioxydants permettant de contrôler et de maîtriser le plus précisément possible ce métabolisme (Leverve, 2009).

3.1 Définition antioxydante

L'antioxydant biologique fait référence à toute substance qui est capable à concentration relativement faible, d'entrer en compétition avec d'autres substrats oxydables afin d'inhiber ou d'empêcher considérablement l'oxydation du substrat (Droge, 2002).

3.2 Les types des antioxydants

Pour se protéger des effets nuisibles des ERO, l'organisme dispose d'un ensemble complexe de défenses antioxydantes. On distingue deux sources d'antioxydants : l'une est apportée par l'alimentation sous forme de fruits et légumes riches en vitamines, caroténoïdes, ubiquinone ; l'autre est endogène et se compose d'enzymes (superoxyde dismutase, glutathion peroxydase, catalase), de protéines (ferritine, albumine) et de systèmes de réparation des dommages oxydatifs comme les endonucléases. À cela, s'ajoutent quelques oligoéléments comme le sélénium, le cuivre et le zinc qui sont des cofacteurs d'enzymes antioxydants (Haleng et al., 2007).

3.2.1 Antioxydants enzymatiques

Les antioxydants enzymatiques sont considérés comme la 1^{ère} ligne de défense contre le stress oxydant (Haleng et al., 2007), principalement représentée par :

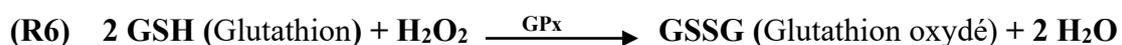
3.2.1.1 Les superoxydes dismutases (SOD)

Sont des métalloprotéines, qui assurent l'élimination de l'anion superoxyde $O_2^{\cdot-}$ par une réaction de dismutation, en le transformant en peroxyde d'hydrogène et en oxygène (R5) (Haleng et al., 2007 ; Bensakhria, 2018) :



3.2.1.2 La glutathion peroxydase (GPxs)

Une enzyme antioxydante du plasma, des fluides extracellulaires et du cytosol, dépendante du sélénium et dont le rôle principal permet d'éliminer le H_2O_2 produit (R6), de mode à éviter sa participation comme pro-oxydant. Elle convertit aussi les hydro-peroxydes lipidiques en des alcools non toxiques et de ce fait participe à l'interruption de la chaîne de peroxydation lipidique (Sachdeva et al., 2014 ; Mebarki et al., 2016).



3.2.1.3 La catalase

La catalase est une enzyme commune présente dans presque tous les organismes vivants aérobies. Elle catalyse la décomposition du peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène par dismutation (R7) (Chelikani et al., 2004 ; Sharma et al., 2012) :



3.2.2 Antioxydants non enzymatiques

3.2.2.1 Vitamine C

La vit C ou acide ascorbique est l'antioxydant hydrosoluble, le plus important (Koolman et Röhm, 1999). Son action est directe et indirecte, elle agit directement pour réduire et neutraliser les ERO, et indirectement par son action de régénération de la vit E et du GSH (Mebarki et al., 2016).

3.2.2.2 Vitamine E

La vitamine E est l'antioxydant liposoluble, comprend 4 tocophérols et 4 tocotriénols (Herrera et Barbas, 2001 ; Mebarki et al., 2016), dont l'alfa-tocophérol est le plus abondant (Shils et al., 2006). Son rôle principal est la protection contre la peroxydation lipidique en neutralisant les radicaux libres (Démarchez, 2012).

3.2.2.3 Les polyphénols

Les polyphénols sont des métabolites secondaires, ils constituent une famille importante d'antioxydants (Haleng et al., 2007) qui joue un rôle dans la protection des constituants cellulaires contre les dommages oxydatifs, ce qui limite le risque des différentes maladies dégénératives liées au stress oxydant (Scalbert et al., 2005).

3.2.2.4 Le coenzyme Q10

Appelé ubiquinone, (Haleng et al., 2007), il entre en jeu dans la production cellulaire d'énergie. Le co-Q10 est aussi un puissant antioxydant métabolique permet de lutter contre la peroxydation lipidique (Barrat, 2020).

3.3 Méthode de recherche de l'activité antioxydante

La capacité antioxydante des molécules peut être évaluée soit *in vivo* soit *in vitro*, pour ces derniers les méthodes utilisées pour déterminer l'activité antioxydante des plantes sont relativement nombreuses et font intervenir en général la coloration ou la décoloration d'un réactif spécifique en présence d'un agent antioxydant qui correspond de sa capacité à résister l'oxydation (Hammoudi, 2015 ; Brahimi et Terrai, 2018 ; Righi et Boukhalat, 2021).

3.3.1 Test DPPH• (2,2-diphényle-1-picrylhydrazyl)

La méthode du DPPH• (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) introduite par BLOIS (1958) a été évaluée à l'aide d'un spectrophotomètre en suivant la réduction de l'espèce radicalaire (DPPH•) qui s'accompagne par son passage de la couleur violette à la couleur jaune de la forme non radicalaire DPPH-H (2,2 Diphényl 1 picryl hydrazine) (**Figure 03**), en présence d'un antioxydant donneur d'hydrogène (AH) mesurable à 517 nm. Cette capacité de réduction est déterminée par une diminution de l'absorbance induite par des substances antiradicalaires (Majhenič et al., 2007 ; Hammoudi, 2015).

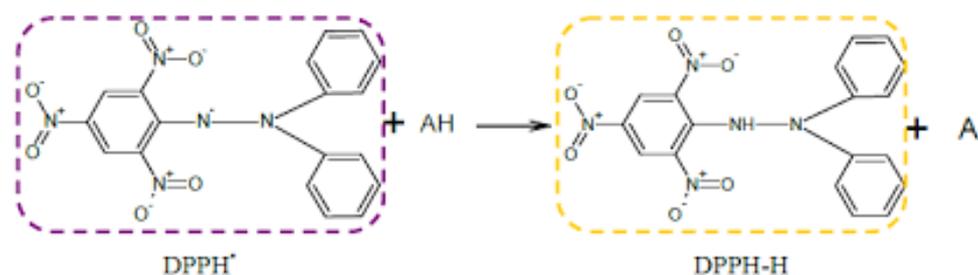


Figure 03: Mécanisme réactionnel intervenant lors du test DPPH entre l'espèce radicalaire DPPH• et un antioxydant (AH) (Michel, 2011).

3.3.2 Test de FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)

En présence d'un antioxydant (AH), la méthode FRAP est basée sur la réduction de l'ion ferrique (Fe^{3+}) en ion ferreux (Fe^{2+}) (**Figure 04**). Cette réduction permet l'apparition d'une couleur bleue intense quantifiée par spectrophotométrie à 710 nm (Ou et al., 2001 ; Hammoudi, 2015)

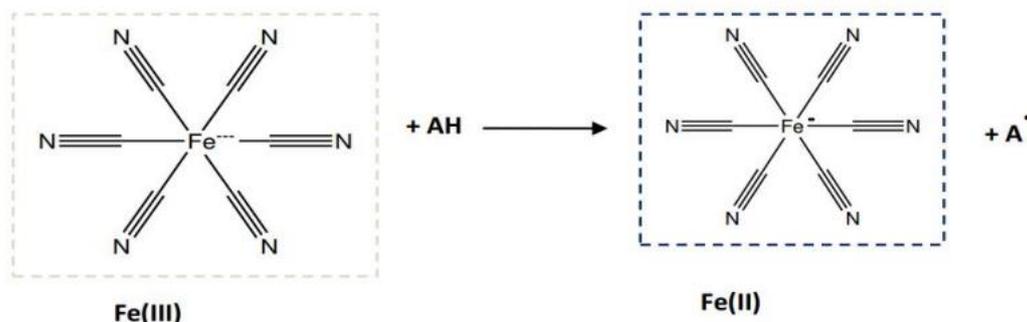


Figure 04: Mécanisme réactionnel intervenant lors du test FRAP entre le complexe ferricyanide ferrique Fe (III) et un antioxydant (AH) (Laraba et al., 2016).

3.3.3 Test ABTS (Acide 2,2'-azinobis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique))

Dans ce test, l'ABTS incolore est préalablement oxydé avec du persulfate de potassium ($K_2S_2O_8$) pour former le radical cationique $ABTS^{+\bullet}$ de coloration bleu-vert (**Figure 05**). L'addition d'un composé antioxydant engendre la réduction du radical $ABTS^{+\bullet}$ en ABTS. L'activité antioxydante est déterminée par la coloration de la solution et mesurée à l'aide d'une spectrophotométrie à 734 nm (Osman et al., 2006 ; Moon et Shibamoto, 2009).

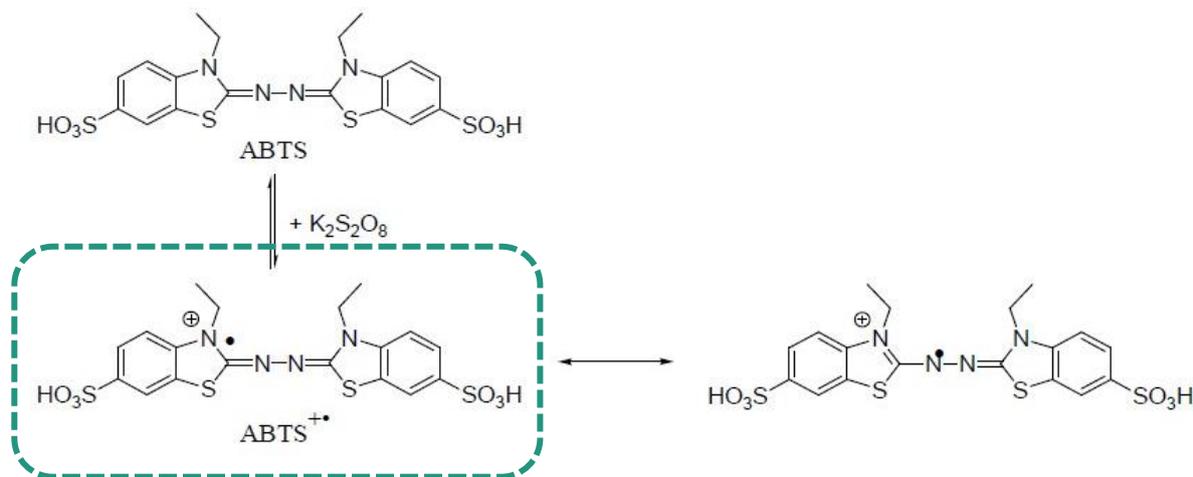


Figure 05: Formation du radical cation $ABTS^{+\bullet}$ à partir de l'ABTS (Sarr et al., 2015).

3.3.4 Test CUPRAC (Cupric ion reducing antioxidant capacity):

La méthode CUPRAC (Cupric ion reducing antioxidant capacity) est basée sur le suivi de la diminution de l'absorbance accrue du complexe néocuproïne (Nc), cuivre (Cu^{+2}) $Nc-Cu^{+2}$.

En effet, en présence d'un agent antioxydant, ce test se base sur la conversion des hydroxyles phénoliques en quinones à travers la réduction du complexe $Nc-Cu^{+2}$ de couleur bleu, produisant un complexe chromogène de $Nc-Cu^{+}$ de couleur jaune mesurable à 450 nm (**Figure 06**) (Apak et al., 2004).

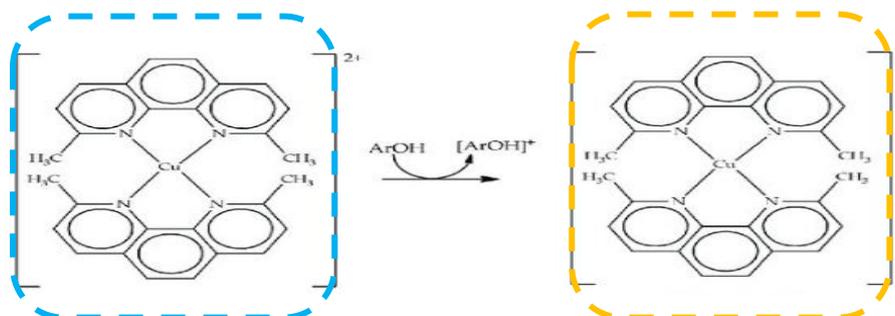


Figure 06: Réduction du complexe de $Nc-Cu^{+2}$ (Bibi Sadeer, 2020).

Partie
expérimentale

*Matériel et
méthodes*

➤ **Objectif**

Ce travail a été réalisé au sein de laboratoire de recherche « Antibiotiques, Antifongiques, Physico-chimie, Synthèse et Activités Biologiques (LAPSAB), Faculté des sciences de la nature et de la vie, des sciences de la terre et l'univers, Université Abou Bekr Belkaïd (Tlemcen). Il a pour objectif l'étude phytochimique, le dosage des composés phénoliques et l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits préparés de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.*

1 Matériel végétal

Notre étude est réalisée sur la partie aérienne (Tiges, feuilles) de *Portulaca oleracea l.*, qui a été récoltée durant les mois de novembre et décembre 2022, dans la commune de Sidi Medjahed et Tafna wilaya de Tlemcen. Après la récolte, la plante a été séchée pendant quelques semaines dans un endroit sec, aérée et à l'abri de la lumière, conservée et stockée soigneusement dans des flacons en verre (**Figure 07**).



Figure 07: Partie aérienne de *Portulaca oleracea l.* après séchage (Photo personnelle).

2 Préparation des extraits

La partie aérienne séchée de la plante *Portulaca oleracea l.*, a été utilisée pour préparer les différents extraits suivants :

2.1 Extrait brut hydrométhanolique (EB)

Deux extraits bruts hydrométhanolique de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.* ont été préparés par une extraction solide/liquide selon deux méthodes :

2.1.1 Décoction (sous reflux)

- 10 g de la matière végétale sèche est introduite dans un ballon rodé, avec 200 ml du mélange eau/méthanol (30/70 : v/v), surmonté d'un réfrigérant ;
- Le mélange est porté à une décoction sous reflux pendant 45 min ;
- L'extrait obtenu est filtré à l'aide d'un papier filtre ;
- Le méthanol est évaporé à l'aide d'un rotavapor à 60 °C ;
- Après évaporation, 10 ml de l'extrait brut est récupéré dans un tube à vis afin de réaliser les analyses phytochimiques, le reste est séché dans une étuve à 35 °C puis conservés dans un Eppendorf pour les analyses biologiques ;
- De la même manière, une deuxième décoction a été réalisée, dans le but de récupérer la phase aqueuse après évaporation du méthanol pour réaliser le fractionnement liquide/liquide avec des solvants organiques.

2.1.2 Macération

- 10 g de la matière végétale sèche est mis dans un erlenmeyer avec 150 ml du mélange eau/méthanol (30/70 : v/v) ;
- Le mélange est laissé macéré à une température ambiante pendant 48 h à l'abri de lumière ;
- Après macération, la filtration est réalisée sur un papier filtre ;
- Le méthanol est évaporé à l'aide d'un Rotavapor à 60 °C ;
- Après évaporation, 10 ml de l'extrait brut est récupéré dans un tube à vis afin de réaliser les analyses phytochimiques, le reste est séché dans une étuve à 35 °C puis conservé dans un Eppendorf pour des analyses biologiques ;
- De la même manière, une deuxième macération a été réalisée, dans le but de récupérer la phase aqueuse après évaporation du méthanol pour réaliser le fractionnement liquide/liquide avec des solvants organiques.

2.2 Fractionnement de l'extrait hydrométhanolique

2.2.1 Élimination des graisses et des pigments

À partir des extraits évaporés de la deuxième décoction et macération, nous avons effectué pour chacun une extraction liquide/liquide, par l'hexane (v/v), à l'aide d'une ampoule à décanter, pour éliminer les graisses et les pigments.

2.2.2 Fractionnement par l'acétate d'éthyle (AE)

La phase aqueuse récupérée de l'extraction par l'hexane, a été fractionnée, à nouveau à une ampoule à décanter, (deux fois) avec l'acétate d'éthyle (v/v). Pour la phase organique, est récupérée puis évaporée à sec à l'aide d'un évaporateur rotatif à 60 °C, tandis que la phase aqueuse est conservée à l'abri de la lumière dans un flacon en verre.

2.3 Extraits récupérés

Dans cette étape, quatre extraits ont été récupérés pour effectuer les analyses phytochimiques et biologiques :

- Extrait brut hydrométhanolique préparé par décoction (**EBD**) ;
- Extrait brut hydrométhanolique préparé par macération (**EBM**) ;
- Fraction acétate d'éthyle de l'extrait brut hydrométhanolique préparé par décoction (**FAED**) ;
- Fraction acétate d'éthyle de l'extrait brut hydrométhanolique préparé par macération (**FAEM**).

2.4 Le rendement d'extraction

Le rendement R est le rapport entre la masse de l'extrait sec obtenu (après évaporation) M1 et la masse du matériel végétal utilisé M0, exprimée en pourcentage. Nous avons calculé le rendement de chaque extrait, selon la formule suivante :

$$R (\%) = (M1 / M0) \times 100$$

R (%) : rendement exprimé en pourcentage.

M1 : masse en gramme « g » de l'extrait sec obtenu.

M0 : masse en gramme « g » du matériel végétal.

3 Criblage phytochimique

Afin de mettre en évidence la présence des principaux groupes chimiques dans les extraits bruts hydrométhanolique préparés par décoction ou macération (EBD ou EBM) de la partie aérienne de *Portuclaca oleracea l.*, nous avons réalisé des analyses qualitatives basées sur les réactions de coloration ou de précipitation. Cette analyse a été effectuée selon les techniques décrites par **Bruneton (2009)** et **Harbone (1998)**.

Les résultats sont classés selon :

- : Négatif, + : faiblement positif, ++ : moyennement positif, +++ : fortement positif.

3.1 Les composés azotés

3.1.1 Alcaloïdes

Dans deux tubes à essai, ajouter 0,5 ml de l'extrait, acidifier le milieu avec quelques gouttes d'HCl 1%, puis ajouter 0,5 ml de réactif de Mayer dans le premier tube et 0,5 ml de réactif de Wagner dans le second tube. La formation d'un précipité blanc ou brun, respectivement révèle la présence des alcaloïdes.

3.2 Les composés phénoliques

3.2.1 Les tanins

Introduire 1 ml de l'extrait à analyser dans le tube à essai et ajouter 0,25 ml de solution aqueuse de FeCl₃ (1%). Le mélange est incubé à température ambiante pendant 15 min. L'apparition d'une coloration verdâtre ou bleu-noirâtre indique la présence des tanins.

3.2.2 Les flavonoïdes

Dans un tube à essai, ajouter 1 ml de l'extrait à tester, 1 ml de HCl concentré et une petite quelques copeaux de magnésium. La présence des flavonoïdes est indiquée par une coloration rose ou rouge ou jaune.

3.2.3 Les quinones libres

Dans un tube à essai, ajouter 1 ml de l'extrait à analyser et ajouter 0,1 ml d'hydroxyde de sodium (1% NaOH). L'apparition d'une couleur vers le jaune, le rouge ou le violet indique la présence des quinones libres.

3.2.4 Anthraquinones

Dans un tube à essai, introduire 1 ml de l'extrait, 1 ml de NH₄OH à 10% puis agité. Une coloration violette indique la présence d'anthraquinones libres.

3.3 Les composés terpéniques

3.3.1 Saponines (test de mousse)

Dans un tube à essai, déposer 10 ml de l'extrait à analyser, puis agiter pendant 15 secondes, laisser le mélange au repos pendant 15 min. L'apparition d'une hauteur supérieure à 1 cm de mousse persistante, indique la présence des saponines.

3.3.2 Terpénoïdes (Test de Slakowski)

Sur 1 ml d'extrait, ajouter 0,4 ml de chloroforme puis 0,6 ml d'acide sulfurique concentré. La présence de terpénoïdes est indiquée par la formation de deux phases et une couleur marron à l'interphase.

3.4 Les composés réducteurs

Ajouter 1 ml de liqueur de Fehling (0,5 ml réactif A et 0,5 ml réactif B) sur 1 ml d'extrait à analyser, puis incuber l'ensemble pendant 08 min dans un bain marie bouillant. L'apparition d'un précipité rouge-brique indique la présence des composés réducteurs.

4 Dosage des composés phénoliques

4.1 Dosage des polyphénols totaux

➤ Principe

Pour déterminer les teneurs en polyphénols totaux dans les extraits étudiés, nous avons suivi la méthode de dosage décrite par Vermerius et Nicholson (2006). Le principe de la méthode repose sur la réaction colorée avec le réactif "Folin-Ciocalteu", qui est un acide de couleur jaune constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$). Le réactif est réduit lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}). L'absorbance est mesurée à 760 nm.

➤ Mode opératoire

L'estimation quantitative des polyphénols totaux contenus dans les extraits de *Portulaca oleracea l.* est réalisée selon les étapes suivantes :

- Mélanger 0,1 ml d'extrait (1 mg/ml) avec 2 ml de solution de carbonate de sodium Na_2CO_3 (2%) ;
- Agiter puis incuber pendant 5 minutes ;
- Ajouter 0,1 ml de réactif de Folin-Ciocalteu 1N ;

- Incuber le mélange obtenu pendant 30 minutes à température ambiante et à l'obscurité ;
- Mesurer l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre à 760 nm contre un blanc ;
- Les essais ont été réalisés en triplet.

La teneur en polyphénols totaux a été déterminée à partir de la droite d'étalonnage, qui a été réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires, en utilisant l'acide gallique comme standard à différentes concentrations de 25 à 300 mg/ml (**Figure 08**).

Les résultats sont exprimés en microgramme Équivalent acide gallique par milligramme d'extrait sec ($\mu\text{g Eq AG/ mg ES}$).

4.2 Dosage des flavonoïdes totaux

➤ Principe

Le dosage des flavonoïdes a été réalisé selon la méthode colorimétrique décrite par Zhishen et al., (1999). L'objectif de cette méthode basée sur l'oxydation des flavonoïdes en milieu alcalin par le nitrite de sodium (NaNO_2) et le chlorure d'aluminium (AlCl_3), pour former des complexes roses qui absorbent à 510 nm.

➤ Mode opératoire

L'estimation quantitative des flavonoïdes contenus dans les extraits de *Portulaca oleracea* L. est réalisée selon les étapes suivantes :

- Mélanger 250 μl de chaque extrait (1 mg/ml) avec 1 ml d'eau distillée et 75 μl de nitrite de sodium (NaNO_2) à 15% ;
- Après 6 minutes d'incubation à température ambiante, additionner 75 μl du réactif chlorure d'aluminium AlCl_3 à 10% ;
- Après 6 minutes, ajouter 1 ml d'hydroxyde de sodium NaOH (4%), puis compléter le volume final à 2,5 ml d'eau distillée ;
- Agiter le mélange, puis incuber à l'obscurité pendant 30 minutes ;
- À l'aide d'un spectrophotomètre, Mesurer l'absorbance à 510 nm contre un blanc.

Dans les mêmes conditions opératoires une gamme d'étalonnage est réalisée avec la catéchine à différentes concentrations de 25 à 400 mg/ml (**Figure 09**). Les essais sont répétés 3 fois.

Les résultats obtenus sont exprimés en microgramme équivalent catéchine par milligramme d'extrait sec ($\mu\text{g Eq C/mg ES}$).

5 Evaluation de l'activité antioxydante

Il existe de nombreux tests permettant de mesurer l'efficacité des antioxydants. Pour évaluer l'effet des extraits de la plante étudiée, nous avons utilisé deux méthodes spécifiques :

5.1 Test du piégeage du radical DPPH

➤ Principe

Dans ce test, les antioxydants réduisent un radical libre, le DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl), ayant une couleur violette, en un composé DPPH-H de couleur jaune dont l'intensité de la couleur est inversement proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans le milieu à donner des protons.

La recherche de l'activité antiradicalaire des extraits de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.* a été réalisée selon le protocole décrit par Atoui et al., (2005).

➤ Mode opératoire

- 50 μl des solutions d'extrait à différentes concentrations de (0,2 à 2 mg/ml) ont été ajoutés à 1950 μl DPPH (0,0025 g fraîchement préparé dans du méthanol) ;
- Pour chaque concentration, un blanc est préparé contenant 50 μl de chaque concentration d'extrait et 1950 μl du méthanol ;
- Parallèlement, un contrôle négatif est préparé en mélangeant 50 μl du méthanol avec 1950 μl de la solution méthanolique de DPPH ;
- La lecture de l'absorbance est faite à 517 nm après 30 min d'incubation à l'obscurité et à température ambiante ;
- Pour chaque concentration, le test est répété 3 fois.

Dans les mêmes conditions, nous avons testé le pouvoir antiradicalaire de trois standards d'antioxydant (contrôle positif) ; l'acide ascorbique, BHA (Butylated hydroxyanisole) et BHT (Butylated hydroxytoluene).

➤ Calcul des pourcentages d'inhibition

$$I (\%) = [(A_{\text{cont}} - A_{\text{éch}}) / A_{\text{cont}}] \times 100$$

I (%) : Pourcentage d'inhibition.

A_{cont} : Absorbance du contrôle négatif.

$A_{\text{éch}}$: Absorbance du l'échantillon testé.

➤ **Calcul des CI₅₀**

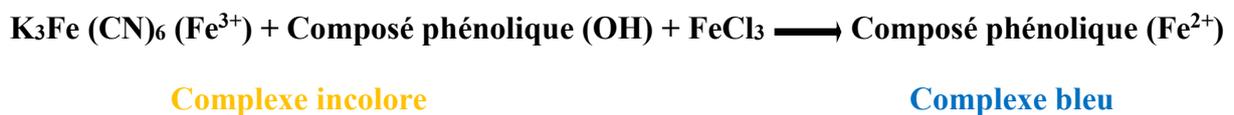
Le CI₅₀ est défini comme étant la concentration de l'extrait qui provoque l'inhibition de 50% du radical libre DPPH.

Il est calculé graphiquement par les régressions logarithmiques des pourcentages d'inhibition en fonction des concentrations des extraits étudiés. Il permet de déterminer l'extrait le plus efficace avec la valeur la plus faible en CI₅₀.

5.2 Test de pouvoir réducteur de fer (Ferric Reducing Antioxidant Power ; FRAP)

➤ **Principe**

La méthode de réduction du fer est basée sur la réduction du fer ferrique Fe³⁺ en fer ferreux Fe²⁺ par les antioxydants qui donnent la couleur bleu (Amarowicz et al., 2010).



➤ **Mode opératoire**

Le protocole est réalisé selon la technique décrite par karagözler et al., (2008) :

- Mélanger 100 µl de l'extrait à différentes concentrations (de 0,2 à 2 mg/ml) avec 250 µl d'une solution tampon phosphate 0,2 M (pH 6,6) et 250 µl d'une solution de ferricyanure de potassium K₃Fe (CN)₆ (1%) ;
- Incuber l'ensemble à 50 °C pendant 20 minutes dans l'étuve ;
- Laisser le mélange refroidi ;
- Ajouter 250 µl de l'acide trichloracétique TCA (10%) pour stopper la réaction ;
- Centrifuger l'ensemble à 3000 rpm pendant 10 min ;
- Combiner 500 µl de surnageant avec 500 µl d'eau distillée et 100 µl d'une solution aqueuse de chlorure de fer FeCl₃ (0,1%) ;
- Mesurer l'absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre à 700 nm contre un blanc, préparé en remplaçant l'extrait par de l'eau distillée ;
- Pour chaque concentration, le test est répété 3 fois.

Le contrôle positif est représenté par des antioxydants standards ; l'acide ascorbique, BHA (Butylated hydroxyanisole) et BHT (Butylated hydroxytoluene), dont l'absorbance chacun a

été mesurée dans les mêmes conditions que les extraits dans différentes concentrations (0,01 à 0,4 mg/ml)

Une augmentation de l'absorbance correspond à une augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés.

➤ **Expression des résultats d'EC₅₀**

L'EC₅₀ est défini comme étant la concentration efficace de l'extrait qui donne une réponse demi-maximale.

A partir des équations de régression linéaire des graphes des absorbances obtenues en fonction des différentes concentrations utilisées pour les différents extraits de la plante étudiée, nous avons calculé l'EC₅₀ qui permet de déterminer l'extrait le plus efficace avec la valeur la plus faible.

6 Analyses statistiques

Dans le but d'obtenir des résultats fiables et significatives pour les différents échantillons collectés, il est important de tenir compte les analyses statistiques suivantes :

6.1 Moyenne

$$\bar{X} = \frac{(X_1 + X_2 + \dots + X_n)}{(n)} = \frac{1 \sum X_j}{n}$$

6.2 Ecart type

$$S = \sqrt{[\sum (x_i - \bar{x})^2 / n - 1]}$$

*Résultats et
interprétations*

1. Caractéristiques des extraits obtenus

L'extraction méthanol-eau (70/30, v/v) par décoction (sous reflux) ou macération (48 h), suivie d'un fractionnement avec l'acétate d'éthyle, de la partie aérienne de *Portulaca oleracea* L., nous a permis de récupérer quatre extraits différents : deux extraits bruts eau-méthanol (EBD et EDM), et deux fractions acétate d'éthyle (FAED et FAEM).

Les caractéristiques et le rendement de chaque extrait obtenu de la plante *Portulaca oleracea* L. sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 04: Caractéristiques de différents extraits préparés de la partie aérienne de *Portulaca oleracea* L.

	EBD	EBM	FAED	FAEM
Rendement (%)	4,68	3,74	0,39	0,12
Aspect	Caramélisé	Caramélisé	Caramélisé	Caramélisé
Couleur	Marron foncé	Marron foncé	Marron foncé	Marron foncé
Solubilité	Eau distillée	Eau distillée	Méthanol	Méthanol

EBD : Extrait brut hydrométhanolique préparé par décoction ; **EBM** : Extrait brut hydrométhanolique préparé par macération ; **FAED** : Fraction acétate d'éthyle de l'extrait brut hydrométhanolique préparé par décoction ; **FAEM** : Fraction acétate d'éthyle de l'extrait brut hydrométhanolique préparé par macération ;

D'après ces résultats, nous avons noté que les rendements des extraits bruts préparés par décoction et macération (EBD et EBM) sont largement supérieurs que celle des fractions acétate d'éthyle (FAEB et FAEM). Le rendement le plus élevé a été enregistré pour l'extrait brut hydrométhanolique préparé par décoction (EBD) avec un pourcentage de 4,68% et le plus faible rendement a été noté pour la fraction acétate d'éthyle de l'extrait brut hydrométhanolique préparé par macération (FAEM) avec un pourcentage de 0,12%.

Par ailleurs, tous les extraits sont récupérés sous forme caramélisé de couleur marron foncé.

Le test de solubilité nous a permis de noter que les deux extraits bruts (EBD et EBM) sont solubles dans l'eau distillée. Tandis que, les fractions acétate d'éthyle (FAED et FAEM) sont solubles dans le méthanol et insoluble dans l'eau distillée.

2. Criblage phytochimiques

Les tests qualitatifs phytochimiques effectués sur les différents extraits bruts hydrométhanolique de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.* ont permis de détecter l'absence ou la présence de différents métabolites secondaires indiquées dans le **tableau 05**.

Tableau 05 : Résultats de l'examen phytochimique des extraits bruts hydrométhanolique préparés de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.*

Métabolites Secondaires	Réactifs	EBD	EBM
Alcaloïdes	Mayer	+	++
Alcaloïdes	Wagner	+++	+++
Tanins	FeCl ₃	+++	+++
Flavonoïdes	HCl et Mg ²⁺	++	+
Quinones libres	NaOH	-	-
Anthraquinones	NH ₄ OH	-	-
Saponines	Test de mousse	+	+
Terpénoïdes	Test de Slakowski	++	+++
Composés réducteur	Liqueur de Fehling	+++	+++

EBD : Extrait brut hydrométhanolique préparé par décoction ; **EBM** : Extrait brut hydrométhanolique préparé par macération ;

- : Négatif, + : faiblement positif, ++ : moyennement positif, +++ : fortement positif.

D'après les résultats obtenus des tests phytochimiques qui ont été effectués sur les extraits préparés de *Portulaca oleracea l.* nous avons noté la présence des alcaloïdes, des tanins, des flavonoïdes, des saponines, des terpénoïdes, et aussi des composés réducteurs dans les deux extraits bruts eau-méthanol (EBD et EBM).

Par contre, les essais réalisés sur les quinones libres et les anthraquinones ont donné des résultats négatifs pour les deux extraits, ce qui indique leurs absences totales.

3. Dosage des composés phénoliques

Les dosages des composés phénoliques des extraits bruts eau-méthanol, et leurs fractions acétate d'éthyle préparés de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.*, ont été réalisés par des méthodes spectrophotométriques.

La teneur en polyphénols totaux a été déterminée par la méthode de Folin-Ciocalteu à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage d'acide gallique ($y=0,0018x$, $R^2=0,9841$) (**Figure 08**). La teneur a été exprimée en microgrammes équivalent acide gallique

par milligramme d'extrait sec ($\mu\text{g Eq AG/ mg ES}$).

La teneur en flavonoïdes totaux a été estimée par la méthode chlorure d'aluminium (AlCl_3) en milieu alcalin à partir de l'équation de la régression linéaire de la droite d'étalonnage, en utilisant la catéchine comme standard ($y=0,0026x$, $R^2=0,9988$) (**Figure 09**). La teneur a été exprimée en microgramme équivalent catéchine par milligramme d'extrait sec ($\mu\text{g Eq C/ mg ES}$).

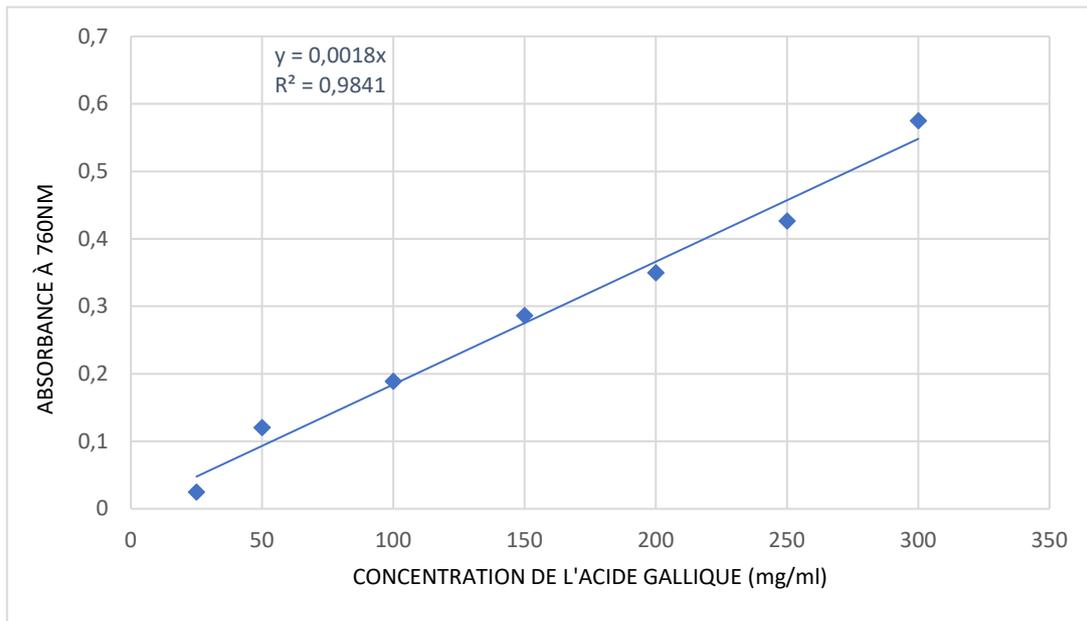


Figure 08: Droite d'étalonnage d'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux.

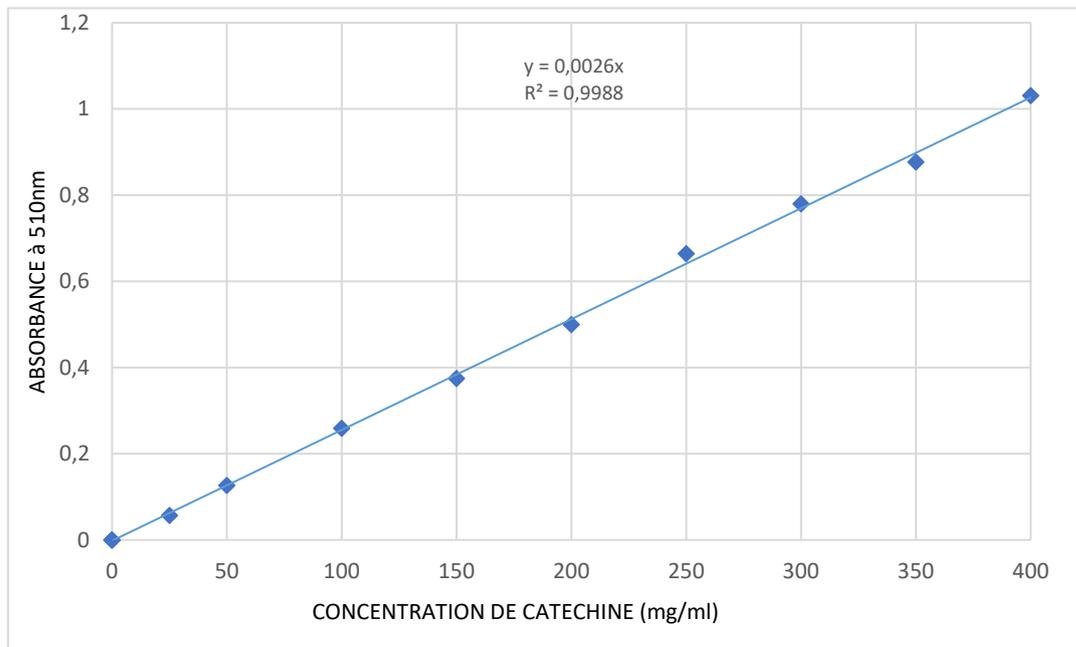


Figure 09: Droite d'étalonnage de catéchine pour le dosage des flavonoïdes totaux.

Le **tableau 06** représente en moyenne, les teneurs en composés phénoliques dans les extraits bruts eau-méthanol préparé par décoction ou macération (EBD, EBM), et leurs fractions d'acétate d'éthyle (FAED, FAEM)).

Tableau 06 : Teneurs en composés phénoliques des extraits de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.*

Extraits	Polyphénols totaux ($\mu\text{g Eq AG/ mg ES}$) \pm Ecart type (n=3)	Flavonoïdes ($\mu\text{g Eq C/ mg ES}$) \pm Ecart type (n=3)
EBD	44,51 \pm 27,15	39,14 \pm 12,57
EBM	28,33 \pm 15,24	25,90 \pm 2,62
FAED	298,47 \pm 62,76	163,455 \pm 2,72
FAEM	193,79 \pm 41,09	138,455 \pm 10,88

EBD : Extrait brut hydrométhanolique préparé par décoction ; **EBM** : Extrait brut hydrométhanolique préparé par macération ; **FAED** : Fraction acétate d'éthyle de l'extrait brut hydrométhanolique préparé par décoction ; **FAEM** : Fraction acétate d'éthyle de l'extrait brut hydrométhanolique préparé par macération ;

Nous avons remarqué d'après les résultats du **tableau 06** que les différents extraits préparés à partir de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.* renferment des quantités en composés phénoliques variables d'un extrait à un autre.

La fraction organique d'acétate d'éthyle FAED (décoction) contient les teneurs les plus élevées en polyphénols et en flavonoïdes totaux (298,47 \pm 62,76 $\mu\text{g Eq AG/ mg ES}$ et 163,455 \pm 2,72 $\mu\text{g Eq C/ mg ES}$, respectivement), suivie par la fraction organique d'acétate d'éthyle FAEM (macération) avec une teneur de 193,79 \pm 41,09 $\mu\text{g Eq AG/ mg ES}$ en polyphénols totaux, et 138,455 \pm 10,88 $\mu\text{g Eq C/ mg ES}$ en flavonoïdes totaux.

Par contre, pour les extraits bruts hydrométhanolique (EBD et EBM) nous avons noté des quantités faibles en polyphénols et en flavonoïdes totaux, par rapport à celle des fractions organiques acétate d'éthyle, avec des teneurs différentes de l'ordre de 44,51 \pm 27,15 $\mu\text{g Eq AG/ mg ES}$ et 39,14 \pm 12,57 $\mu\text{g Eq C/ mg ES}$, respectivement pour l'extrait EBD, et de l'ordre de 28,33 \pm 15,24 $\mu\text{g Eq AG/ mg ES}$, et 25,90 \pm 2,62 $\mu\text{g Eq C/ mg ES}$, respectivement pour l'extrait EBM.

Par ailleurs, nous avons souligné que l'extraction faite par décoction a permis d'enregistrer des quantités élevées en composés phénoliques, par rapport à l'extraction faite par macération.

4. Recherche de l'activité antioxydante

Dans cette partie, nous avons testé l'effet antioxydant des extraits bruts eau-méthanol (EBD et EBM), et leurs fractions acétate d'éthyle (FAED et FAEM), préparés de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.*, par deux méthodes : méthode de piégeage du radical (DPPH) et la méthode du pouvoir réducteur de fer (FRAP).

4.1 Piégeage du radical (DPPH)

Les résultats de l'activité anti-radicalaire, vis-à-vis du radical DPPH des standards acides ascorbique, BHA, BHT et des extraits de *Portulaca oleracea l.* sont exprimés par le pourcentage d'inhibition en fonction des différentes concentrations de chaque extrait et représentés dans les figures ci-dessous :

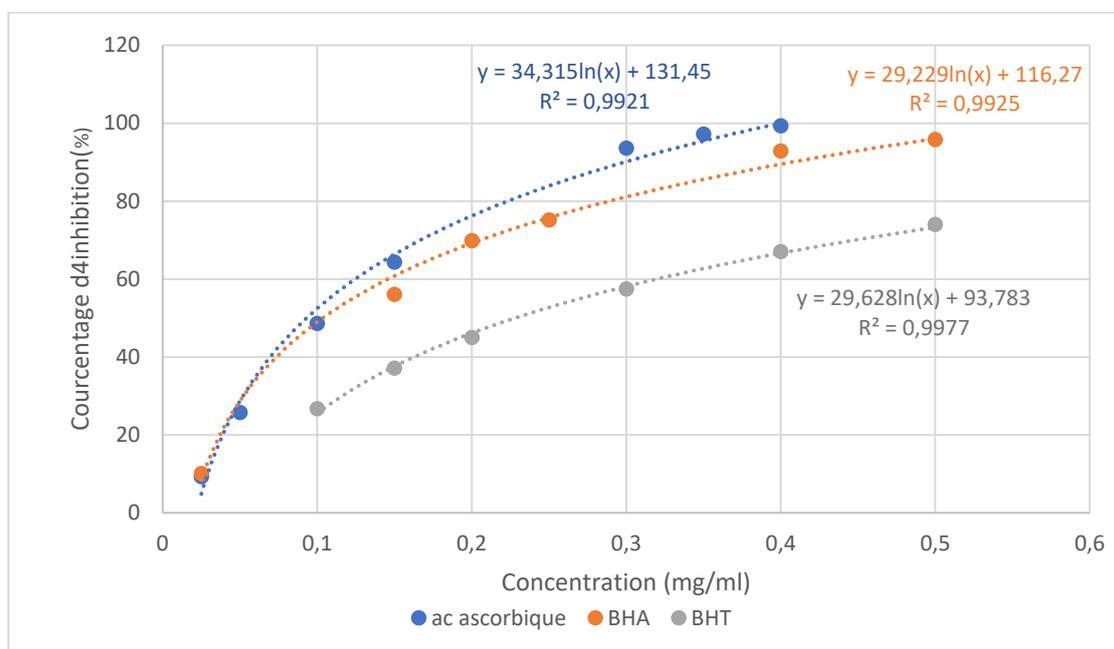


Figure 10: Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en présence de l'acide ascorbique, BHA et BHT.

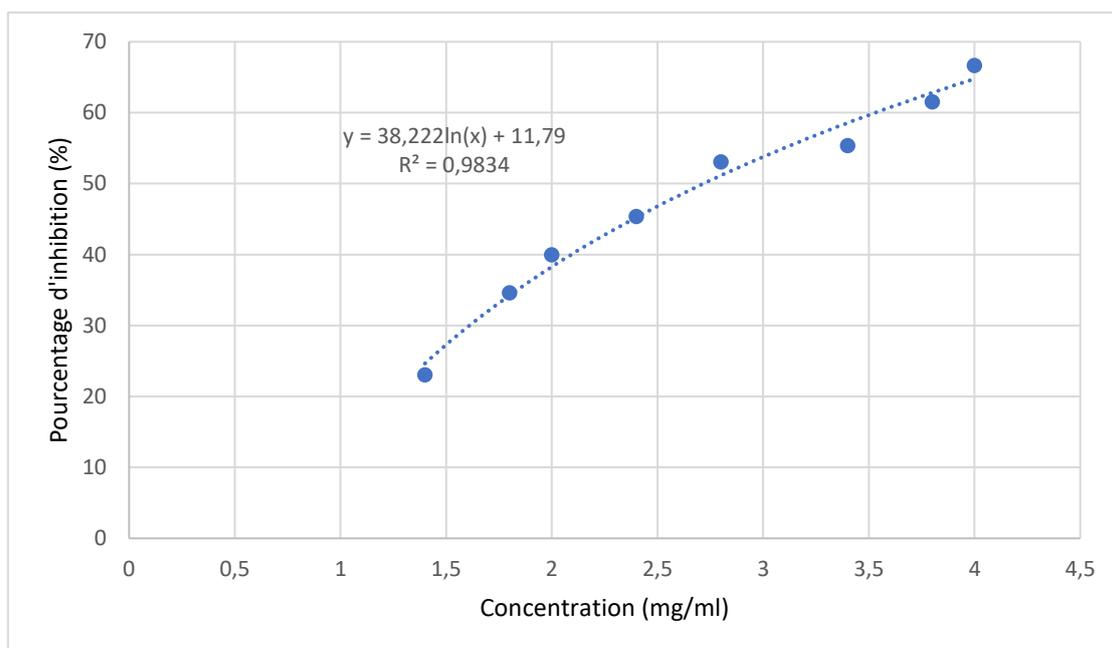


Figure 11: Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de l'extrait brut EBD (décoction) de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.*

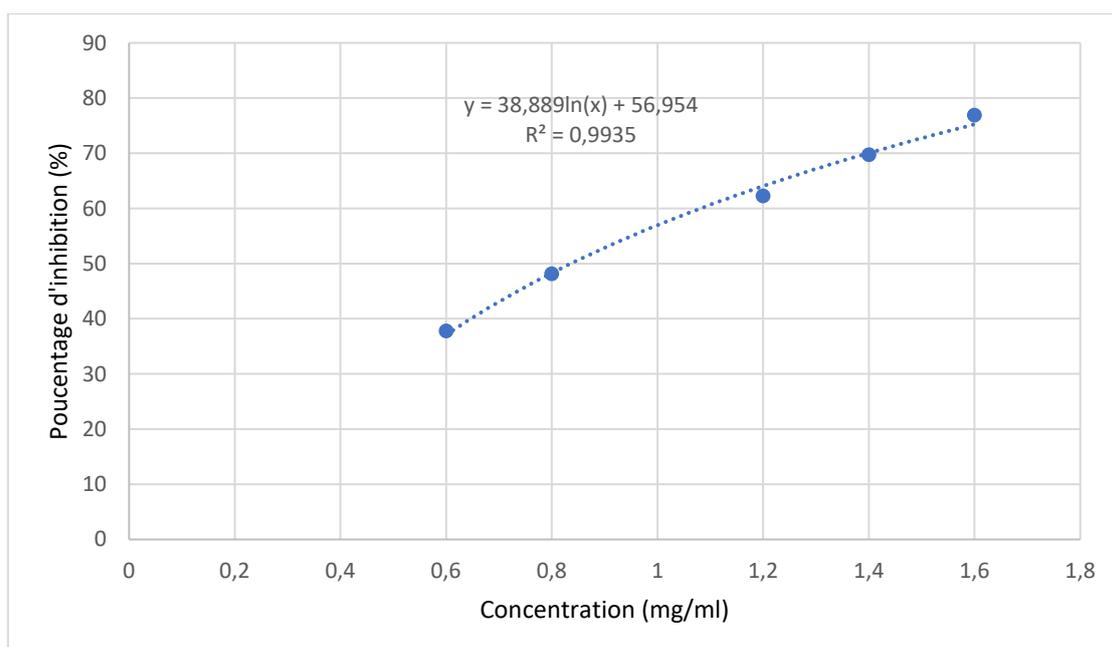


Figure 12: Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de la fraction acétate d'éthyle FAED (décoction) de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.*

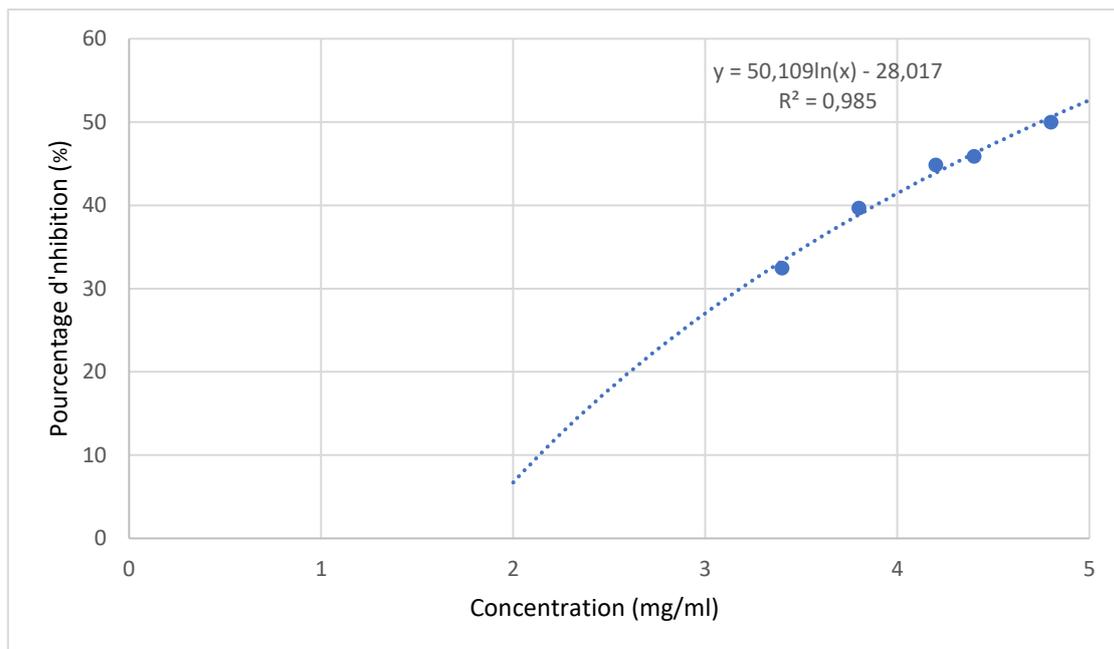


Figure 13: Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de l'extrait brut EBM (macération) de la partie aérienne de *Portulaca oleracea* l.

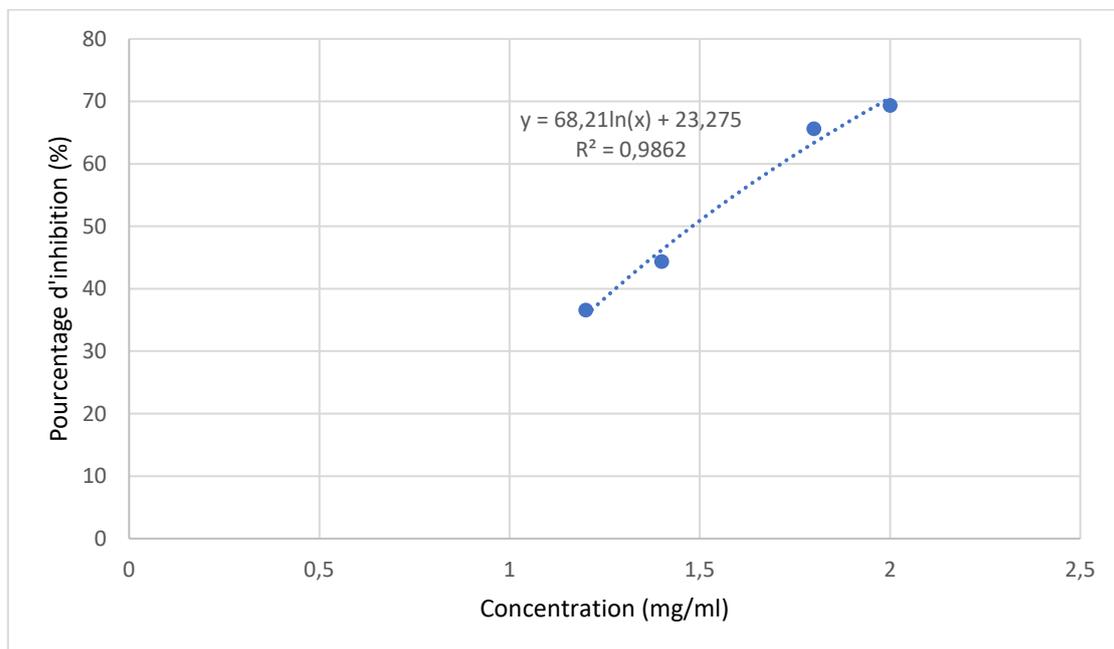


Figure 14: Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de la fraction acétate d'éthyle FAEM (macération) de la partie aérienne de *Portulaca oleracea* l.

À partir des équations des courbes logarithmiques obtenues, nous avons déterminé les CI_{50} (concentrations qui inhibent 50% du radical libre DPPH) de chaque extrait étudié de *Portulaca oleracea l.* et les trois références acides ascorbique, BHA, BHT.

Le tableau suivant regroupe les différents résultats :

Tableau 07: Les valeurs CI_{50} des différents extraits de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.*

Extrait	CI_{50} (mg/ml) \pm écart type
Acide ascorbique	0,09
BHA	0,11
BHT	0,22
EBD	$2,67 \pm 0,27$
FAED	$0,86 \pm 0,10$
EBM	$5,14 \pm 0,63$
FAEM	$1,92 \pm 0,86$

EBD : Extrait brut hydrométhanolique préparé par décoction ; **FAED** : Fraction acétate d'éthyle de l'extrait brut hydrométhanolique préparé par décoction ; **EBM** : Extrait brut hydrométhanolique préparé par macération ; **FAEM** : Fraction acétate d'éthyle de l'extrait brut hydrométhanolique préparé par macération ;

À partir des résultats regroupés dans le tableau ci-dessus, nous avons révélé que les fractions acétate d'éthyle (FAED et FAEM) présentent l'effet anti-radicalaire le plus fort avec des CI_{50} de l'ordre de $0,86 \pm 0,10$ mg/ml et $1,92 \pm 0,86$ mg/ml, respectivement suivie par les extraits bruts eau-méthanol (EBD et EBM) avec des CI_{50} dont la valeur est de $2,67 \pm 0,27$ mg/ml pour la décoction et $5,14 \pm 0,63$ mg/ml pour la macération.

Par ailleurs, ces quatre extraits ont montré un effet anti-radicalaire relativement faible par rapport aux références utilisées : l'acide ascorbique ($CI_{50}=0,09$ mg/ml), BHA ($CI_{50}=0,11$ mg/ml) et BHT ($CI_{50}=0,22$).

4.2 Pouvoir réducteur de fer (FRAP)

Les résultats obtenus du pouvoir réducteur de fer des différents extraits de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.* et les différents standards utilisés sont représentés dans les figures suivantes :

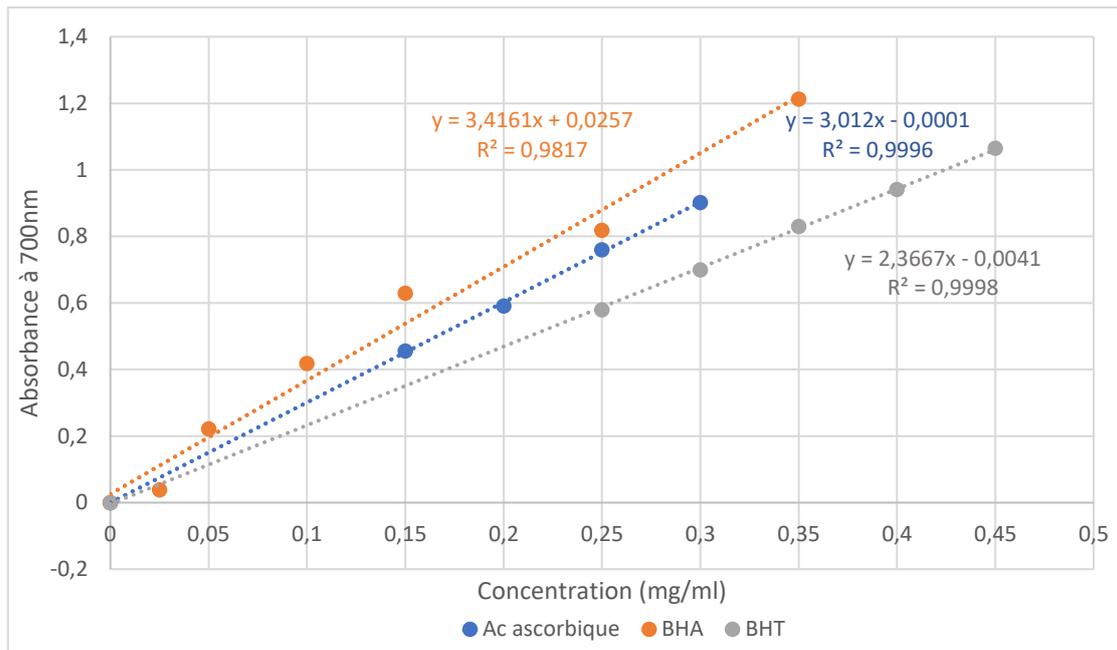


Figure 15: Pouvoir réducteur du fer en présence de l'acide ascorbique, BHA et BHT.

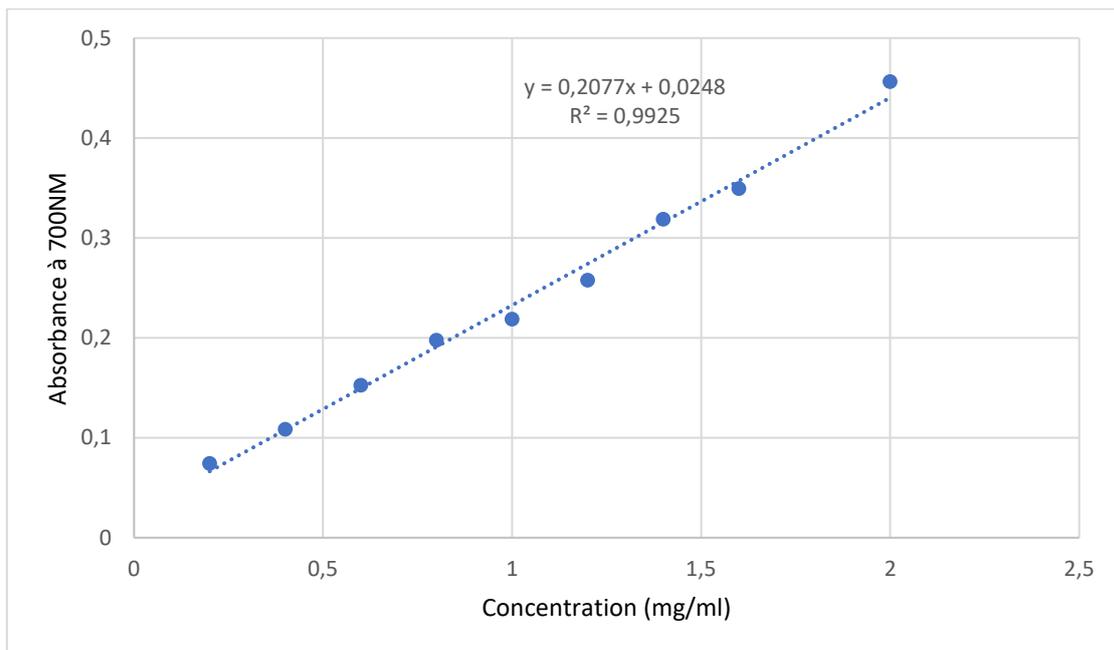


Figure 16: Pouvoir réducteur du fer de l'extrait brut EBD (décoction) de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.*

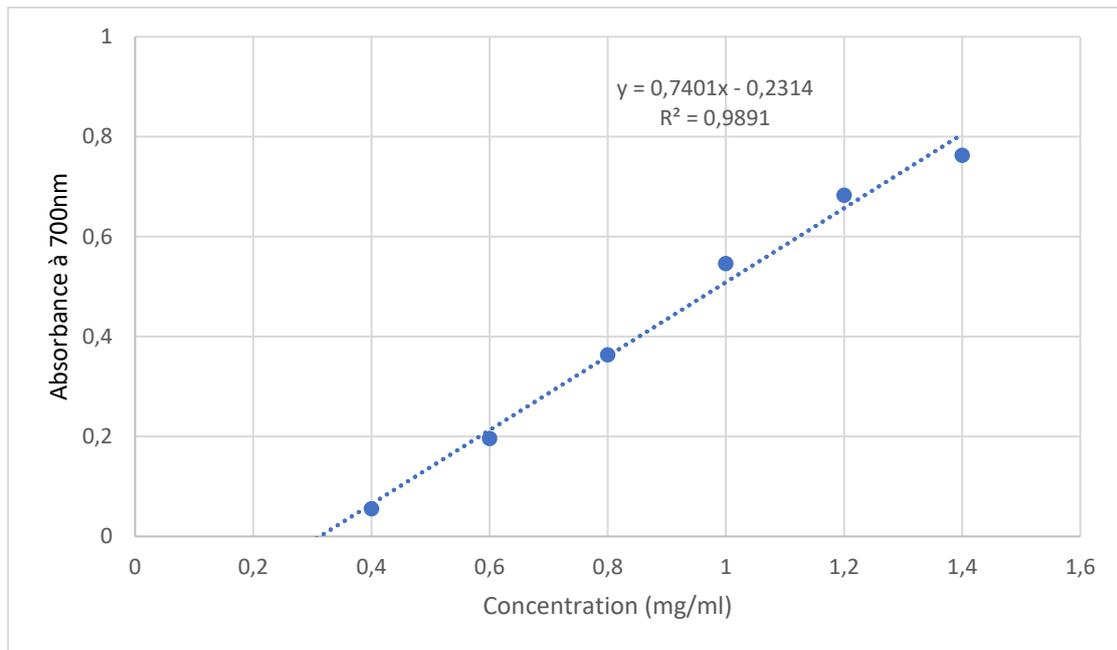


Figure 17: Pouvoir réducteur du fer de la fraction acétate d'éthyle FAED (décoction) de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.*

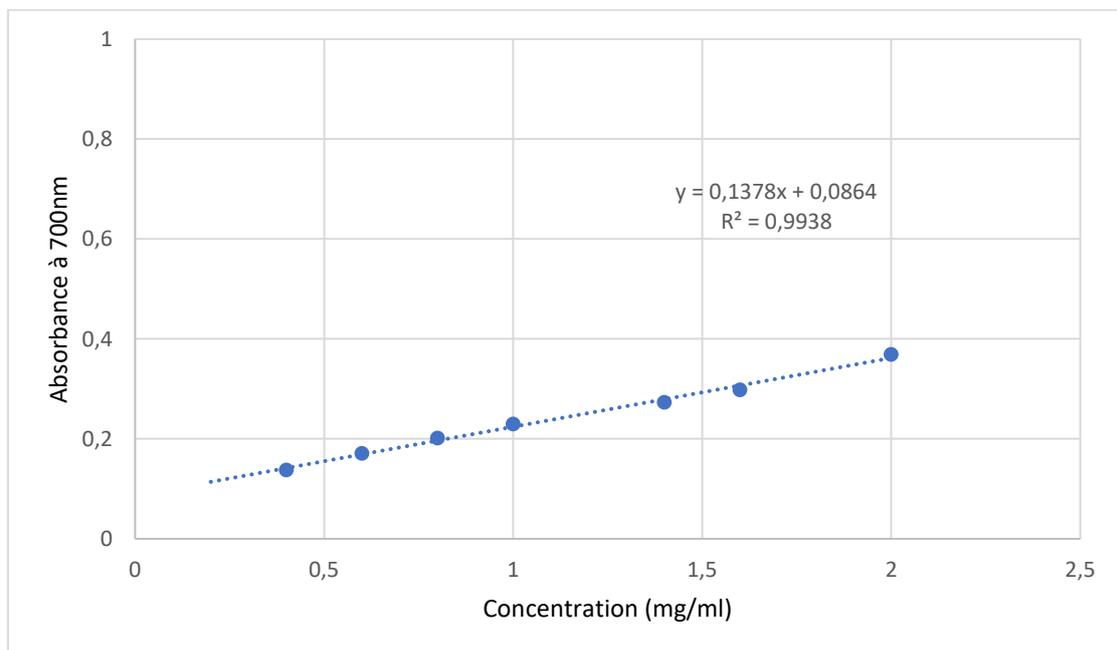


Figure 18: Pouvoir réducteur du fer de l'extrait brut EBM (macération) de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.*

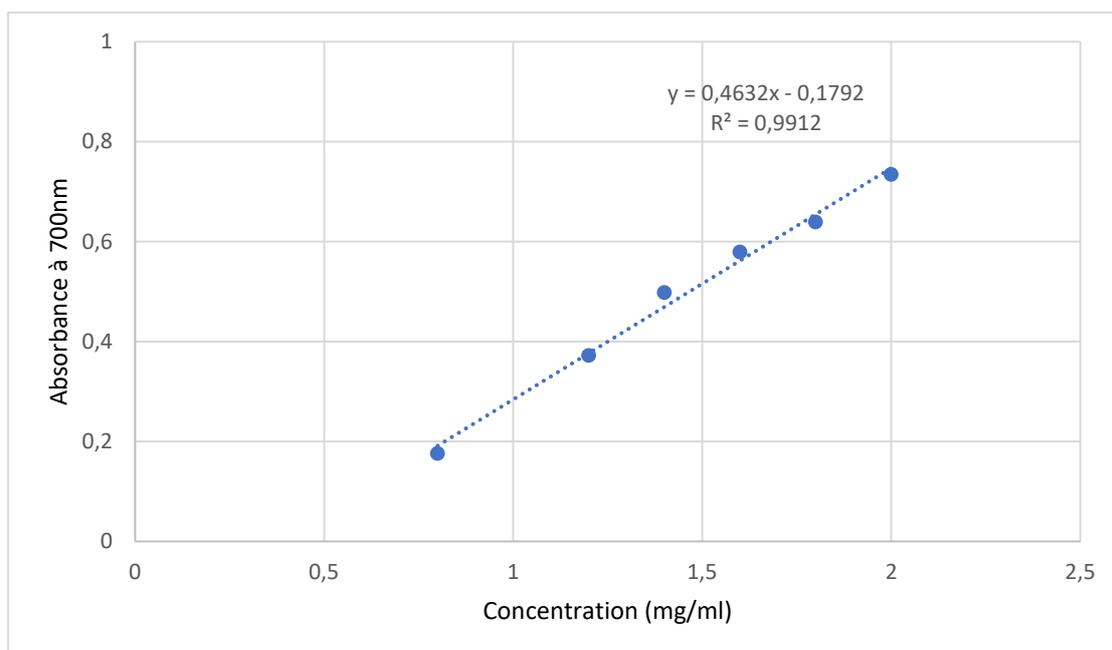


Figure 19: Pouvoir réducteur du fer de la fraction acétate d'éthyle FAEM (macération) de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.*

À partir des équations de régression linéaire des courbes d'absorbances en fonction des différentes concentrations des extraits étudiés, nous avons déterminé les EC_{50} (concentration efficace de l'extrait qui donne une réponse demi-maximale) de chaque extrait de *Portulaca oleracea l.* et les trois standards acides ascorbique, BHA, et BHT.

Le tableau suivant regroupe les différents résultats :

Tableau 08: Les valeurs EC_{50} des différents extraits de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.*

Extrait	EC_{50} (mg/ml) \pm écart type
Acide ascorbique	0,16
BHA	0,13
BHT	0,21
EBD	2,24 \pm 0,10
FAED	0,99 \pm 0,03
EBM	2,44 \pm 0,28
FAEM	1,37 \pm 0,02

EBD : Extrait brut hydrométhanolique préparé par décoction ; **FAED :** Fraction acétate d'éthyle de l'extrait brut hydrométhanolique préparé par décoction ; **EBM :** Extrait brut hydrométhanolique préparé par macération ; **FAEM :** Fraction acétate d'éthyle de l'extrait brut hydrométhanolique préparé par macération ;

Selon les résultats enregistrés, nous avons obtenu une meilleure activité antioxydante pour les fractions acétate d'éthyle, récupérées des extraits bruts préparés par décoction et macération (FAED et FAEM), avec des EC_{50} respectivement de l'ordre de $0,99 \pm 0,03$ mg/ml et $1,37 \pm 0,02$ mg/ml, suivie par les extraits bruts EBD et EBM avec des EC_{50} de l'ordre de $2,24 \pm 0,10$ mg/ml et $2,44 \pm 0,28$ mg/ml, respectivement.

Cette activité reste relativement faible par rapport aux standards utilisés comme contrôles positifs : BHA, acide ascorbique et BHT dont les EC_{50} étaient de l'ordre de 0,13 mg/ml ; 0,16 mg/ml et 0,21 mg/ml, respectivement.

Discussion

Les plantes médicinales constituent des ressources précieuses pour la majorité des populations rurales et urbaines en Afrique, dont l'Algérie qui possède une flore incontestable extrêmement riche et variée, à savoir que la plupart existent à l'état spontané (Badiaga, 2011 ; Amroune, 2018). La valorisation des plantes médicinales reste un domaine de plus en plus important à développer puisque c'est une source essentielle des substances bioactives (Felidj et al., 2010).

Le terme "antioxydant" englobe toutes substances bioactives qui protègent les systèmes biologiques contre les effets délétères potentiels des processus ou réactions qui engendrent une oxydation excessive. Il permet la prévention de nombreuses maladies cardiovasculaires, neurodégénératives et d'autres maladies chroniques...etc, Parmi les antioxydants les plus connus sont les vitamines, les caroténoïdes et les polyphénols (Khelifi et Sid, 2021).

« Légume de longue vie », *Portulaca oleracea l.* est doté de plusieurs constituants chimiques tels que l'Oméga-6, les flavonoïdes, les minéraux, les vitamines A, C, E et le β carotène qui lui confère une classe primordiale dans le monde des plantes médicinales (Gruszycski et al., 2019). De ce fait, notre travail est basé sur l'étude phytochimique et la recherche de l'activité antioxydante des extraits bruts eau-méthanol préparés par décoction ou macération et leurs fractions acétate d'éthyle de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.* Il se base sur des tests phytochimiques, le dosage des polyphénols et des flavonoïdes totaux, et l'évaluation de l'activité antioxydante par deux méthodes DPPH (piégeage de radical libre DPPH[•]) et FRAP (pouvoir réducteur de fer).

D'après les résultats enregistrés, nous avons obtenu quatre extraits présentant un aspect caramélisé de couleur marron foncé. Les rendements d'extraction déterminés par rapport au poids du matériel végétal sec sont variables, les extraits préparés par décoction ont présenté un rendement de 4,68% pour l'extrait brut eau-méthanol et 0,39% pour sa fraction acétate d'éthyle, supérieurs à ceux des extraits préparés par macération qui ont présenté un rendement de 3,74% pour l'extrait brut eau-méthanol et 0,12% pour la fraction acétate d'éthyle.

L'étude effectuée par Rahal et Rahal, (2019) sur les extraits du pourpier préparés par macération avec différents solvants a montré un rendement très élevé pour l'extrait aqueux avec un pourcentage de 31,39% ; 8,71% pour l'extrait méthanolique, et 4,1% pour l'extrait éthanolique. Dans une autre étude réalisée par El Ouardani et Faddi, (2020) les extraits obtenus par macération ont présenté un aspect pâteux de couleur vert foncé avec un rendement de 38% pour l'extrait aqueux et 27% pour l'extrait éthanolique.

Les rendements d'extraction sont généralement variables selon le type de solvant utilisé, la température, les conditions de manipulation et la méthode d'extraction.

Les résultats de criblage phytochimique ont souligné la présence des alcaloïdes, des tannins, des flavonoïdes, des saponines, des terpénoïdes, et aussi des composés réducteurs dans les deux extraits bruts eau-méthanol (EBM et EBD), et l'absence des quinones libres et des anthraquinones.

Ces résultats, dont la majorité sont en accord avec ceux rapportés aux travaux suivants avec quelques différences qui peuvent être dû au type de solvant utilisé ou même à la localisation géographique :

- **Gruszycki et al., (2019)** ont indiqué la présence des alcaloïdes, des tanins, des saponines et l'absence des flavonoïdes et des anthraquinones.
- **El Ouardani et Faddi, (2020)** ont indiqué la présence des quinones libres, des alcaloïdes, des tanins, des flavonoïdes, des saponines, des composés réducteurs et l'absence des terpénoïdes et des anthraquinones.
- **Zobiri, (2017)** a révélé la présence des alcaloïdes, des saponines, des coumarines, des flavonoïdes et des tannins.
- **Okafor et Ezejindu, (2014)** ont souligné la présence des alcaloïdes, des saponines, des terpénoïdes, des flavonoïdes et des tannins.
- **Khursheed et Jain, (2021)** ont indiqué la présence des alcaloïdes, des flavonoïdes, des terpénoïdes et l'absence des tanins et des anthraquinones.

Les résultats de dosages des composés phénoliques ont montré que les fractions acétate d'éthyle solubilisées dans le méthanol contiennent les teneurs les plus élevées en polyphénols totaux de l'ordre de $298,47 \pm 62,76 \mu\text{g Eq AG/ mg ES}$ pour la FAED et $193,79 \pm 41,09 \mu\text{g Eq AG/ mg ES}$ pour la FAEM, et même en flavonoïdes totaux avec des teneurs de l'ordre de $163,455 \pm 2,72 \mu\text{g Eq C/ mg ES}$ pour la FAED et $138,455 \pm 10,88 \mu\text{g Eq C/ mg ES}$ pour la FAEM.

Dans la littérature, plusieurs travaux ont souligné la richesse de *Portulaca oleracea l.* en composés phénoliques, nous citons les travaux suivants :

- **Chen et al., (2022)** ont enregistré des teneurs en phénols totaux dans des extraits préparés avec différents solvants, d'ordre de $27,80 \pm 2,86 \text{ mg EAG/ G ES}$ pour l'extrait méthanolique, $30,91 \pm 3,09 \text{ mg EAG/ G ES}$ pour l'extrait acétate d'éthyle et $219,27 \pm 4,13 \text{ mg EAG/ G ES}$ pour l'extrait éthanolique, pour les mêmes extraits ils ont noté des teneurs en flavonoïdes totaux utilisant l'acide Quercétine comme standard et qui sont

de $27,21 \pm 0,74$ mg EQ/ g ES pour l'extrait méthanolique, $115,49 \pm 8,85$ mg EQ/ g ES pour l'extrait acétate d'éthyle et $437,38 \pm 13,14$ mg EQ/ g ES pour l'extrait éthanolique.

- **Mohamed et al., (2021)** ont montré une teneur en polyphénols totaux de 129,03 mg EAG/ g, et en flavonoïdes totaux de 22,55 mg EQ/ g.
- **Uddin et al., (2012)** ont noté des teneurs en phénols totaux de l'ordre de $360,3 \pm 8,9$ mg EAG/ 100 g ES pour l'extrait méthanolique, $276,8 \pm 5,5$ mg EAG/ 100 g ES pour l'extrait éthanolique et $142,8 \pm 8,7$ mg EAG/ 100 g ES pour l'extrait aqueux, et des teneurs en flavonoïdes totaux utilisant la rutine comme standard de l'ordre de $49,2 \pm 3,4$ mg R/ g ES pour l'extrait méthanolique, $41,30 \pm 4,0$ mg R/ g ES, pour l'extrait éthanolique et $28,7 \pm 2,1$ mg R/ g ES pour l'extrait aqueux.
- **Karoune et al., (2017)** ont marqué des teneurs en polyphénols de l'ordre de $13,401 \pm 1,419$ mg EAG/ g ES pour l'extrait méthanolique et $0,751 \pm 0,076$ mg EAG/ g ES pour l'extrait acétate d'éthyle, et en flavonoïdes de l'ordre de $4,413 \pm 0,150$ mg EC/ g ES pour l'extrait méthanolique et $0,466 \pm 0,005$ mg EC/ g ES pour l'extrait acétate d'éthyle.
- **Binici et al., (2021)** ont montré des teneurs en polyphénols totaux comprises entre $4,40 \pm 0,16$ mg EAG/ g et $17,95 \pm 0,84$ mg EAG/ g et des teneurs en flavonoïdes comprises entre $5,57 \pm 0,32$ mg R/ g et $28,20 \pm 2,11$ mg R/ g (**R : Rutine**) utilisant la plante sous différentes formes soit frais soit séché par plusieurs méthodes (lyophilisation, séchage au soleil, Séchage sous vide et séchage dans l'étuve).

La différence entre les résultats précédents de dosage peut être expliquée par des différents solvants extracteurs choisis, sachant que les composés phénoliques sont généralement solubles dans les solvants organiques polaires et les solutions aqueuses et peu solubles dans les solvants organiques apolaires (Macheix et al., 2006), par le type de standard (quercétine, rutine et acide gallique), par les différentes méthodes d'extraction utilisées et par les méthodes de séchages.

Les fractions acétate d'éthyle préparées par décoction et macération ont présenté l'activité antiradicalaire (piégeage du radical du DPPH) la plus puissante avec des valeurs des CI_{50} d'ordre de $0,86 \pm 0,10$ mg/ml et $1,92 \pm 0,86$ mg/ml, respectivement suivie par les extraits bruts avec une CI_{50} de $2,67 \pm 0,27$ mg/ml pour la décoction et $5,14 \pm 0,63$ mg/ml pour la macération. Cette activité reste faible par rapport à celle des standards utilisés qui ont noté une CI_{50} la plus efficace pour l'acide ascorbique $0,09$ mg/ml, suivie par le BHA et le BHT avec des CI_{50} de $0,11$ mg/ml et $0,22$ mg/ml, respectivement dans les mêmes conditions.

Les résultats de piégeage de DPPH par les extraits de *Portulaca oleracea l.* sont en accord avec ceux obtenus par l'examen quantitatif dont on a enregistré que la fraction acétate d'éthyle (décoction) présente la quantité la plus élevée en polyphénols totaux, ceci nous permet de déduire que les polyphénols seraient responsables de l'activité antioxydante.

Parmi les travaux qui ont recherché l'activité antiradicalaire (piégeage du radical du DPPH) des extraits préparés de *Portulaca oleracea l.*, nous citons :

- **El Ouardani et Faddi, (2020)** ont montré des valeurs plus faibles avec des CI_{50} d'ordre 0,0043 mg/ml pour l'extrait aqueux, 0,0025 mg/ml pour l'extrait éthanolique et 0,0040 g/l pour le standard vitamine C.
- **Karoune et al., (2017)** ont montré une forte activité antiradicalaire avec des valeurs des CI_{50} d'ordre 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 et 0,0115 mg/ml pour le standard BHT utilisé.
- **Gruszycki et al., (2019)** ont présenté un effet antiradicalaire proche à nos résultats obtenus avec des valeurs des CI_{50} d'ordre de $0,49 \pm 0,09$ mg/ml pour l'extrait méthanolique et $1,96 \pm 0,24$ mg/ml pour l'extrait éthanolique.

Pour le test de FRAP, nous avons obtenu les meilleurs résultats de pouvoir réducteur de fer dans les fractions acétate d'éthyle, avec des EC_{50} de l'ordre de $0,99 \pm 0,03$ mg/ml pour la FAED et $1,37 \pm 0,02$ mg/ml pour la FAEM, suivie par les extraits bruts préparés par décoction et macération avec un EC_{50} respectivement est de l'ordre de $2,24 \pm 0,10$ mg/ml et de $2,44 \pm 0,28$ mg/ml. Ces résultats restent faibles en comparaison avec les EC_{50} des standards utilisés qui sont de l'ordre de 0,13 mg/ml pour le BHA, 0,16 mg/ml pour l'acide ascorbique et 0,21 mg/ml pour le BHT.

Parmi les études qui ont recherché le pouvoir antioxydant (FRAP) des extraits de *Portulaca oleracea l.*, nous citons :

- **Alam et al., (2014)** ont mesuré le pouvoir antioxydant (FRAP) à partir des 13 extraits de pourpier recueillis et exprimés en mg de Trolox par g. Il y avait signé une différence significative entre les valeurs du FRAP, qui variaient entre $104,2 \pm 6,34$ mg/g de poids sec et $7,39 \pm 0,08$ mg/g de poids sec.
- **Uddin et al., (2012)** ont montré un pouvoir antioxydant (FRAP) aux différents stades de croissance de 15 et 60 jours dont les EC_{50} varient de 1,8 à 4,3 mg GAE/g.

À travers les résultats obtenus, nous avons noté que l'activité antioxydante est corrélée relativement avec le taux de composé phénolique dans les différents extraits. La fraction acétate

d'éthyle récupérée de l'extrait brut préparé par décoction a présenté la teneur la plus élevée en polyphénols et en flavonoïde totaux et possède le pouvoir antioxydant le plus fort.

L'activité antioxydante des composés phénoliques dépend de leurs structures chimiques, généralement les polyphénols avec un nombre élevé des groupements hydroxyles présentent l'activité antioxydante la plus élevée et qui due à leur pouvoir de donner plus d'atomes pour stabiliser les radicaux libres.

L'activité anti-radicalaire est dépendante du nombre, de la position et de la nature des substituants sur les cycles B et C (groupements hydroxyles, metaxylés, glycosylés) et le degré de polymérisation. Ainsi, l'effet antioxydant n'est pas seulement dose-dépendant, mais également structure-dépendant (Laraba et al., 2016).

Conclusion et prescriptives

Dans le présent travail, nous sommes intéressés à l'étude phytochimique et à l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits bruts eau-méthanol, et ses fractions organiques acétate d'éthyle de la partie aérienne de *Portulaca oleracea l.* préparés par deux méthodes d'extraction : décoction et macération.

Les tests phytochimiques effectués sur les extraits bruts hydrométhanolique préparés ont révélé la présence des flavonoïdes, des tannins, des alcaloïdes, des terpénoïdes, des saponines et des composés réducteurs, et l'absence totale des quinones libres et des anthraquinones.

L'évaluation quantitative des polyphénols totaux par la méthode de Folin-Ciocalteu et des flavonoïdes totaux par la méthode de chlorure d'aluminium ($AlCl_3$) a montré que la fraction organique acétate d'éthyle préparé par décoction est la plus riche en polyphénols et en flavonoïdes totaux, avec des teneurs de l'ordre de $298,47 \pm 62,76 \mu\text{g Eq AG/ mg ES}$ et $163,455 \pm 2,72 \mu\text{g Eq C/ mg ES}$, respectivement.

La même fraction a présenté le meilleur pouvoir antioxydant avec des valeurs de CI_{50} de l'ordre de $0,86 \pm 0,10 \text{ mg/ml}$ pour le test DPPH (piégeage du radical du DPPH) et d' EC_{50} $0,99 \pm 0,03 \text{ mg/ml}$ pour le test FRAP (pouvoir réducteur du Fer). Cette activité reste faible par rapport à celle des standards utilisés (acide ascorbique, BHA et BHT).

Le travail mené dans ce mémoire mérite d'être complété, en proposant les perspectives suivantes :

- Utiliser d'autres solvants organiques pour optimiser le rendement d'extraction, le fractionnement et la purification des composés phénoliques ;
- Identifier les composés phénoliques par des techniques spectrométriques et chromatographiques : RMN, Spectrométrie de masse, HPLC, ...etc et étudier le dosage d'autres métabolites secondaires ;
- Evaluer l'activité antioxydante par différentes méthodes : ORAC (Oxygen Radical Absorbance), TRAP (Total-Radical trapping Antioxidant Parameter assay), CUPRAC (Cupric reducing antioxidant capacity), et rechercher d'autres activités biologiques de *Portulaca Oleracea L.* (antimicrobienne, antiinflammatoire, ...etc) ;
- Etudier *in vivo* l'effet antioxydante de *Portulaca oleracea l.*

*Références
bibliographiques*

A

- **Abourashed, E. A., & El-Alfy, A. T.** (2016). Chemical diversity and pharmacological significance of the secondary metabolites of nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt). *Phytochemistry Reviews*, 15: 1035-1056.
- **Ackermann-Liebrich, U.** (2011). Respiratory and Cardiovascular Effects of NO₂ in Epidemiological Studies. *Encyclopedia of Environmental Health*: 840–844. DOI:[10.1016/B978-0-444-52272-6.00065-9](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52272-6.00065-9).
- **Agarwal, A., Gupta, S., & Sharma, R. K.** (2005). Role of oxidative stress in female reproduction. *Reproductive biology and endocrinology*, 3: 1-21.
- **Ait Yahia, L., & Zemoura, H. D.** (2014). Etude de l'effet d'un stress oxydatif et le système défensif enzymatique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de master en biologie et génomique végétales. Université, Frères Mentouri- Constantine.
- **Alam, M., Juraimi, A. S., Rafii, M. Y., Abdul Hamid, A., Aslani, F., Hasan, M. M., ... & Uddin, M.** (2014). Evaluation of antioxidant compounds, antioxidant activities, and mineral composition of 13 collected purslane (*Portulaca oleracea* L.) accessions. *BioMed research international*, 2014: 1-10.
- **Amarowicz, R., Estrella, I., Hernandez, T., Robredo, S., Troszyska, A., Kosinska, A., & Pegg, R.** (2010). Free radicals-scavenging capacity: antioxidant activity and phenolic composition of green lentil (*Lens culinaris*). *Food Chemistry*, 121 (3): 705-711.
- **Amroune, S. E.** (2018). Phytothérapie et plantes médicinales. Mémoire de master en écologie et environnement. Université, des Frères Mentouri- Constantine: 01.
- **Apak, R., Guclu, K., Ozyurek, M., & Karademir, S. E.** (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: cuprac method. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 52 (26): 7970–7981.
- **APG III.** (2009). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Bot. J. Linn. Soc*, 161: 105-121.
- **Atoui, A. K., Mansouri, A., Boskou, G., & Kefalas, P.** (2005). Tea and herbal infusions: their antioxidant activity and phenolic profile. *Food Chemistry*, 89 (1): 27-36.

- **Attia, D., & Ammari, E.** (2019). Les propriétés de *Portulaca oleracea* L. Mémoire de master en biochimie. Université, Mohamed El bachir El Ibrahimi- B.B.A.

B

- **Badiaga, M.** (2011). Étude ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de *nauclea latifolia* (smith). Une plante médicinale africaine récoltée au mali. Thèse de doctorat en chimie organique. Université, Bamako- Mali: 137.
- **Barrat, E.** (2020). Tout savoir sur le coenzyme Q10. Repéré à <https://www.laboratoire-lescuyer.com>. Consulter le 05/06/2023.
- **Bensakhria, A.** (2018). Le stress oxydatif, Aide- mémoire de toxicologie générale (p. 70-86). ISBN: 9-781234-567897.
- **Bibi Sadeer, N., Montesano, D., Albrizio, S., Zengin, G., & Mahomoodally, M. F.** (2020). The versatility of antioxidant assays in food science and safety—Chemistry, applications, strengths, and limitations. *Antioxidants*, 9 (8): 709.
- **Binici, H. I., Şat, İ. G., & Aoudeh, E.** (2021). The effect of different drying methods on nutritional composition and antioxidantactivity of purslane (*Portulaca oleracea*). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45 (5): 680-689.
- **Blois, M. S.** (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181: 1199-1200.
- **Brahimi, I., & Terrai, R.** (2018). Evaluation de l'activité antioxydante des deux plantes *Rosmarinus officinalis* et *Curcuma longa*. Mémoire de Master en biochimie de la nutrition. Université, Frères Mentouri- Constantine: 25.
- **Bruneton, J.** (2009). Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales. Paris, France : Ed Lavoisier.

C

- **Castronovo, V.** (2003). Alimentation et cancer. *Revue Médicale de Liège*, 58 (4): 231-239.
- **Chabrier, J. Y.** (2010). Plantes médicinales et formes d'utilisation en phytothérapie. Thèse de doctorat en pharmacie. Université, Henri Poincaré Nancy1- France: 28.
- **Chelikani, P., Fita I., & Loewen, P. C.** (2004). Diversity of structures and properties among catalases. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 61: 192-208.

- **Chen, J., Shi, Y. P., & Liu, J. Y.** (2003). Determination of noradrenaline and dopamine in Chinese herbal extracts from *Portulaca oleracea* L. by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1003 (1-2): 127-132.
- **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.
- **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.
- **Claire, C.** (2017). Tout sur le Pourpier. Repéré à <http://1ruche3pintades.over-blog.com/2017/09/tout-sur-le-pourpier.html>. Consulter le 05/06/2023.
- **Cocher, E.** (1998). Celse, Scribonius, Aurelianus et la douleur dentaire. Trois conceptions différentes. *Chirurgiendentiste de France*, 908: 68-73.
- **Cronquist, A.** (1981). An integrated system of classification of flowering plants. *Columbia University Press New York*, 34: 1753.
- **Cui, W., Yin, M., & An, L. G.** (2002). Antitumor activity of polysaccharides from *Portulaca oleracea* L. *Journal of Shandong Normal University (Natural Science)*, 17 (1): 72-76.

D

- **De Smet, P.** (1993). An introduction to herbal pharmacoepidemiology. *Journal of Ethnopharmacology*, 38 (2-3): 189-195.
- **Delahaye, J.** (2015). Utilisations de l'ortie-*Urtica dioïca* L. Thèse de doctorat en pharmacie. Université, Rouen- France: 51.
- **Delattre, J., Beaudoux, J. L., & Bonnefont-Rousselot, D.** (2005). Radicaux libres et stress oxydant : aspects biologiques et pathologiques. Paris, France : Ed Tec & Doc.
- **Dellatre, A.** (2022). Comment compter les plantes ?. Repéré à <https://www.tela-botanica.org>. Consulter le 05/06/2023.
- **Démarchez, M.** (2012). Le stress oxydant cutané. Repéré à <https://biologiedelapeau.fr>. Consulter le 05/06/2023.

- **Demirhan, E., & Özbek, B.** (2010). Drying kinetics and effective moisture diffusivity of purslane undergoing microwave heat treatment. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 27 (5): 1377-1383.
- **Di Meo, S., Reed, T. T., Venditti, P., & Victor, V. M.** (2016). Role of ROS and RNS sources in physiological and pathological conditions. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2016: 44.
- **Ding, H. W., YAO, J. Q., & SONG, S. J.** (2008). Research progress on chemical constituents and pharmacological activities of *Portulaca oleracea* L. *Journal of Shenyang Pharmaceutical University*, 25 (10): 831-836.
- **Dong, C. X., Hayashi, K., Lee, J. B., & Hayashi, T.** (2010). Characterization of structures and antiviral effects of polysaccharides from *Portulaca oleracea* L. *Chemical and pharmaceutical bulletin*, 58 (4): 507-510.
- **Droge, W.** (2002). Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiological reviews*, 82 (1): 47-95.
- **Duthie, G., & Crozier, A.** (2000). Plant-derived phenolic antioxidants. *Current opinion in lipidology*, 11 (1): 43-47.

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-Newary, S. A.** (2016). The hypolipidemic effect of *Portulaca oleracea* L. stem on hyperlipidemic Wistar Albino rats. *Annals of Agricultural Sciences*, 61 (1): 111-124.
- **Erboristeria, C.** (2021). *Portulaca Oleracea: benefits and uses on your skin*. Repéré à <https://www.erboristeriacomo.it/en/2021/06/16/portulaca-oleracea-2/>. Consulter le 05/06/2023.
- **Esiyok, D., Otles, S., & Akcicek, E.** (2004). Herbs as a food source in Turkey. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 5 (3): 334-339.

F

- **Farag, O. M., Abd-Elsalam, R. M., Ogaly, H. A., Ali, S. E., El Badawy, S. A., Alsherbiny, M. A., ... & Ahmed, K. A.** (2021). Metabolomic profiling and neuroprotective effects of purslane seeds extract against acrylamide toxicity in rat's brain. *Neurochemical Research*, 46: 819-842.
- **Felidj, M., Bouazza, M., & Ferouani, T.** (2010). Note sur le cortège floristique et l'intérêt de la plante médicinale *Ammoides pussila* (verticillata) dans le Parc national des Monts de Tlemcen (Algérie occidentale). *Geo-Eco-Trop*, 34: 147-154.
- **Fouché, J. G., Marquet, A., & Hambuckers, A.** (2000). Les plantes médicinales. De la plante au médicament. Exposition temporaire. *Observatoire du monde des plantes*, 19.

G

- **Gruffat, X.** (2017). Définition de la phytothérapie. Repéré à <https://www.creapharma.ch/phytotherapie.htm>. Consulter le 05/06/2023.
- **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.

H

- **Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J. O., Charlier, C., & Chapelle, J. P.** (2007). Le stress oxydant. *Revue médicale de Liège*, 62 (10): 628-638.
- **Halliwell, B.** (2012). Free radicals and antioxidants: updating a personal view. *Nutrition reviews*, 70 (5): 257-265.
- **Hamma, S., Nouri, N., Fergani, I., Lekhal, A., & Cheriet, S.** (2015). Biologie des espèces réactives et Stress oxydant. *Journal Algérien de Médecine (JAM)*, 2: 49-50.
- **Hammoudi, R.** (2015). Activités biologiques de quelques métabolites secondaires extraits de quelques plantes médicinales du Sahara méridional algérien. Thèse de doctorat en biologie. Université, Kasdi Merbah- Ouargla.
- **Harbone, J. B.** (1998). Phytochemical methods a guide to modern techniques of plant analysis. Londres, Angleterre: Ed chapman et hall Thomson science.

- **Harrington, H. D., & Matsumura, Y.** (1967). Edible Native Plants of the Rocky Mountains. Albuquerque, Nouveau- Mexique: Ed University of New Mexico.
- **Herrera, E., & Barbas, C.** (2001). Vitamin E: action, metabolism and perspectives. *Journal of Physiology and Biochemistry*, 57 (1): 43-56.
- **Hou, J., Zhou, X., Wang, P., Zhao, C., Qin, Y., Liu, F., ... & Xu, H.** (2021). An integrative pharmacology-based approach for evaluating the potential effects of purslane seed in diabetes mellitus treatment using UHPLC-LTQ-orbitrap and TCMIP V2.0. *Frontiers in Pharmacology*, 11: 1-18.
- **Hwess, H., Ayadi, R., Mahouachi, W., Rezgui, M., Balti, H., & Hamrouni, L.** (2018). Notes ethnobotanique et ethnopharmacologique sur *Portulaca oleracea* L. *Phytothérapie*, 16: 215-219.

K

- **Karagözler, A. A., Erdag, B., Emek, Y. G., & Uygum, D. A.** (2008). Antioxidant activity and proline content of leaf extracts from *Dorystoechas hastata*, *Food Chemistry*, 111: 400-407.
- **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.
- **Khanam, B., Begum, W., & Tipu, F. A.** (2019). Pharmacological profile, phytoconstituents, and traditional uses of Khurfa (*Portulaca oleracea* L.) : Unani perspective. *J. Pharm. Innov*, 8 (4): 367-372.
- **Khelifi, E., & SID, M.** (2021). L'importance des nutriments comme des antioxydants pour lutter contre le stress oxydatif. Mémoire de master en biochimie et nutrition. Université, Frères Mentouri- Constantine: 26.
- **Khursheed, A., & Jain, V.** (2021). Phytochemical screening, antioxidant, and antimicrobial ac-tivity of different *portulaca oleracea* l. Extracts growing in kashmir valley. *Journal of bio-chemical technology*, 12 (3): 1-8.
- **Kishore, D. V., Moosavi, F., & Varma, R. K.** (2013) Effect of ethanolic extract of *Portulaca oleracea* linn. On ethylene glycol and ammonium chloride induced urolithiasis. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5 (2): 134-140.

- **Koolman, J., & Röhm, K. H.** (1999). Atlas de poche de biochimie. France : Ed Flammarion médecine-sciences.
- **Kumar, A., Sreedharan, S., Kashyap, A. K., Singh, P., & Ramchiary, N.** (2021). A review on bioactive phytochemicals and ethnopharmacological potential of purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Heliyon*, 8: 1-16.
- **Kurbano, M.** (2009). Pategull Extraction and bacterio static activities of polysaccharide inseed of *Portulaca Oleracea* L. *Food Research and Development*, 30 (7): 28-30.

L

- **Lamendin, H.** (2007). Soignez votre bouche par les plantes : Remèdes d'hier et d'aujourd'hui. Paris, France : Ed L'Harmattan.
- **Laraba, M., Serrat, A., Ouassaa, G.** (2016). Etude in vitro de l'activité antioxydante des polyphénols isolés à partir d'une plante médicinale. Mémoire de master en toxicologie et santé. Université, Frères Mentouri- Constantine.
- **Lesca, A. M.** (2012). Pourpier maraîcher. Repéré à <http://data.abuledu.org/wp/?LOM=3393>. Consulter le 05/06/2023.
- **Leung, A. Y., & Foster, S.** (1996). Encyclopedia of Common Natural Ingredients used in food, drugs and cosmetics. Hoboken, États-Unis : Ed John Wiley.
- **Leverve, X.** (2009). Stress oxydant et antioxydants ?. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 44 (5): 219-224.
- **Li, F. L., & al.** (2012). Effects of polysaccharide of *Portulaca oleracea* L. On factors related to glucose and lipid metabolism in diabetic mice. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 40 (4): 15-20.
- **Li, Y. H., Lai, C. Y., Su, M. C., Cheng, J. C., & Chang, Y. S.** (2019). Antiviral activity of *Portulaca oleracea* L. against influenza a viruses. *Journal of ethnopharmacology*, 241: 1-8.
- **Li, Y. P. & al.** (2009). Preliminary screening of anticancer effects of active ingredients from *Portulaca oleracea*. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 20 (11): 2726-2728.
- **Limonier, A. S.** (2018). La Phytothérapie de demain : les plantes médicinales au cœur de la pharmacie. Thèse de doctorat en pharmacie. Université, Aix-Marseille: 20.

M

- **Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Sarni-Manchado, P.** (2006). Les Polyphénols en agroalimentaire. Paris, France : Ed Tec et Doc.
- **Majhenič, L., Škerget, M., & Knez, Ž.** (2007). Antioxidant and antimicrobial activity of guarana seed extracts. *Food chemistry*, 104 (3): 1258-1268.
- **Malecot, V.** (2009). APG III – Classification des angiospermes. Repérer à <https://www.tela-botanica.org/2009/11/article3354/>. Consulter le 05/06/2023.
- **Mancinelli, R., Barlocchi, E., Palminiello, S., & Saso, L.** (2011). Oxidative stress and brain diseases. *Biomarkers and analytical methodologies*, 10: 395-403.
- **Mathew, B. B., Tiwari, A., & Jatawa, S. K.** (2011). Free radicals and antioxidants: A review. *Journal of Pharmacy Research*, 4 (12): 4340-4343.
- **Mebarki, K., Derbal, N., & Serrab, B.,** (2016). Implication de stress oxydatif dans la maladie de Parkinson. Mémoire de Master en Toxicologie et santé. Université, Frères Mentouri- Constantine.
- **Melilli, M. G., Pagliaro, A., Bognanni, R., Scandurra, S., & Di Stefano, V.** (2020). Antioxidant activity and fatty acids quantification in Sicilian purslane germplasm. *Natural product research*, 34 (1): 26-33.
- **Michel, T.** (2011). Nouvelles méthodologies d'extraction, de fractionnement et d'identification : Application aux molécules bioactives de l'argousier (*Hippophaë rhamnoides*). Thèse de doctorat en chimie analytique- phytochimie. Université, Orléans- France.
- **Mitich, L. W.** (1997). Common purslane (*Portulaca oleracea*). *Weed Technology*, 11 (2): 394-397.
- **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 rats model. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 9 (4): 746-750.

- **Moon, J. K., & Shibamoto, T.** (2009). Antioxidant assays for plant and food components. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57 (5): 1655-1666.
- **Musa, K. Y., Ahmed, A., Ibrahim, G., Ojonugawa, O. E., Bisalla, H., Musa, H., & Danmalam.** (2007). Toxicity studies on the methanolic extract of *Portulaca oleracea* L. (Fam. Portulacaceae). *Journal of biological sciences*, 7 (7): 1293-1295.

N

- **Negi, S.** (2018). Quantitative phytochemical analysis of *Portulaca oleracea* Linn. Growing in unpolluted and polluted area. *The Pharma Innovation*, 7: 619-621.
- **Nemzer, B., Al-Taher, F., & Abshiru, N.** (2020). Phytochemical composition and nutritional value of different plant parts in two cultivated and wild purslane (*Portulaca oleracea* L.) genotypes. *Food chemistry*, 320: 1-9

O

- **Okafor, I. A., & Ezejindu, D. N.** (2014). Phytochemical studies on *portulaca oleracea* (purslane) plant. *GJBAHS*, 3 (1): 132-136.
- **Osman, A. M., Wong, K. K. Y., & Fernyhough, A.** (2006). ABTS radical-driven oxidation of polyphenols: isolation and structural elucidation of covalent adducts. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 346 (1): 321-329.
- **Ou, B., Hampsch-Woodill, M., & Prior, R. L.** (2001). Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 49: 4619 – 4626.
- **Ovirgili. (2016).** Le pourpier : une « mauvaise herbe » comestible, savoureuse pleine de nutriments. Repéré à <https://therapeutesmagazine.com/pourpier-comestible>. Consulter le 05/06/2023.

P

- **Poiret, D.** (2014). Plantes Médicinales. Repéré à <https://www.mr-plantes.com/2014/10/pourpier>. Consulter le 05/06/2023.

Q

- **Qi, J., Ma, M., Zhang, Q., Wang, Y., Sun, Y., Gan, Q., & Mao, B.** (2022). Development Status of Chemical Constituents and Pharmacological Effects of *Portulaca Oleracea* L. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 2: 243-252.

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.
- **Rahimi, V. B., Ajam, F., Rakhshandeh, H., & Askari, V. R.** (2019). A pharmacological review on *Portulaca oleracea* L.: focusing on anti-inflammatory, anti-oxidant, immuno-modulatory and antitumor activities. *Journal of pharmacopuncture*, 22 (1): 7-15.
- **Rahman, T., Hosen, I., Islam, M. M., & Shekhar, H. U.** (2012). Oxidative stress and human health. *Advances in bioscience and biotechnology*, 03 (07): 997-1019.
- **Rao, P. S., Kalva, S., Yerramilli, A., & Mamidi, S.** (2011). Free radicals and tissue damage: Role of antioxidants. *Free radicals and antioxidants*, 1 (4): 2-7.
- **Ren, J., & Zhou, J.** (2007). Effect of *Portulaca oleracea* on improving blood glucose. *Science & Technology Review*, 25 (5): 38-41.
- **Righi, H., Boukhalat, N. E.** (2021). Phytochimie et activité antioxydante du genre *Thymus* (synthèse théorique). Mémoire de Master en biodiversité et physiologie végétal. Université, Mohamed Boudiaf- Msila: 26.
- **Rivas-Arancibia, S., Guevara-Guzmán, R., López-Vidal, Y., Rodríguez-Martínez, E., Zanardo-Gomes, M., Angoa-Pérez, M., & Raisman-Vozari, R.** (2010). Oxidative stress caused by ozone exposure induces loss of brain repair in the hippocampus of adult rats. *Toxicological Sciences*, 113 (1): 187-197.

S

- **Sachdev, P.** (2022). Health Benefits of Purslane. Repéré à <https://www.webmd.com/diet/health-benefits-purslane>. Consulter le 05/06/2023.
- **Sachdeva, M., Karan, M., Singh T., & Dhingra, S.** (2014). Oxidants and Antioxidants in Complementary and Alternative Medicine: A Review. *Spatula DD*, 4 (1): 1-16.

- **Sakai, N., Inada, K., Okamoto, M., Shizuri, Y., & Fukuyama, Y.** (1996). Portuloside A, a monoterpene glucoside, from *Portulaca oleracea*. *Phytochemistry*, 42 (6): 1625-1628.
- **Sandrine.** (2021). Le pourpier. Repéré à <https://www.naturopathe-on-the-road.com>. Consulter le 05/06/2023.
- **Sarr, S. O., Fall, A. D., Gueye, R., Diop, A., Diatta, K., Diop, N., ... & Diop, Y. M.** (2015). Etude de l'activité antioxydante des extraits des feuilles de *Vitex doniana* (Verbenacea). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9 (3): 1263-1269.
- **Sassoui, D.** (2016). Etude ethnobotanique, phytochimique, histologique et activité antidépressive de *Portulaca oleracea* L. et *Peganum harmala* L. Thèse de doctorat en biologie végétal et environnement. Université, Badji Mokhtar- Annaba.
- **Scalbert, A., Manach, C., Morand C., Rémésy, C. & Jiménez, L.** (2005). Dietary Polyphenols and the Prevention of Diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45 (4): 287-306.
- **Sen, S., Chakraborty, R., Sridhar, C., Reddy, Y. S. R., & De, B.** (2010). Free radicals, antioxidants, diseases and phytomedicines: current status and future prospect. *International journal of pharmaceutical sciences review and research*, 3 (1): 91-100.
- **Seo, Y. W., Shin, J. H., Cha, H. J., Kim, Y. A., Ahn, J. W., Lee, B. J., & Lee, D. S.** (2003). A new monoterpene glucoside from *Portulaca oleracea*. *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 24 (10): 1475-1477.
- **Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., & Pessarakli, M.** (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of botany*, 2012: 1-26.
- **Shen, H., Tang, G., Zeng, G., Yang, Y., Cai, X., Li, D., ... & Zhou, N.** (2013). Purification and characterization of an antitumor polysaccharide from *Portulaca oleracea* L. *Carbohydrate polymers*, 93 (2): 395-400.
- **Shils, M. E., Shike, M., Ross, A. C., Caballero, B., & Cousins, R. J.** (2006). Modern Nutrition in Health and Disease. États-Unis: Ed Lippincott Williams & Wilkins.
- **Sies, H.** (1993). Strategies of antioxidant defense. *European journal of biochemistry*, 215 (2): 213-219.
- **Sillaro, E.** (2016). Le pourpier, une plante à ne (surtout) pas piétiner. Repéré à <https://www.bioalaune.com/fr/actualite-bio>. Consulter le 05/06/2023.

- **Simopoulos, A. P., Norman, H. A., Gillasp, J. E., & Duke, J. A.** (1992). Common purslane: a source of omega-3 fatty acids and antioxidants. *Journal of the American College of Nutrition*, 11 (4): 374-382.
- **Sohal, R. S., Mockett, R. J., & Orr, W. C.** (2002). Mechanisms of aging: an appraisal of the oxidative stress hypothesis. *Free Radical Biology and Medicine*, 33 (5): 575-586.
- **Stief, T. W.** (2003). The physiology and pharmacology of singlet oxygen. *Medical Hypotheses*, 60 (4): 567-572.

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.
- **Ullah, M., Khan, M. U., Mahmood, A., Malik, R. N., Hussain, M., Wazir, S. M., Daud, M., & Shinwari, Z. K.** (2013). An ethnobotanical survey of indigenous medicinal plants in wana district South Waziristan agency, pakistan. *Journal of Ethnopharmacology*, 150 (3): 918-924.

V

- **Varro, T. E.** (1993). *The honest herbal: A Sensible Guide to the Use of Herbs and Related Remedies*. Binghamton, New York: Ed Pharmaceutical Products Press.
- **Venkateshwari, V., Vijayakumar, A., Vijayakumar, A. K., Reddy, L. P. A., Srinivasan, M., & Rajasekharan, R.** (2018). Leaf lipidome and transcriptome profiling of *Portulaca oleracea*: characterization of lysophosphatidylcholine acyltransferase. *Planta*, 248 : 347-367.
- **Vermerius, W., & Nicholson, R.** (2006). Isolation and Identification of Phenolic Compounds. In: *Phenolic Compound Biochemistry*. Springer, Dordrecht, p. 35-191.
- **Vijaya Lakshmi, N., Naga Manasa, C. H., Jaswanthi, P., Avinash, P. S. K., Tahseen, S., & Rosemary, P.** (2018). Review on phytochemistry and pharmacological activities of *Portulaca Oleracea*. *WJPPS*, 7 (3): 271-283.

X

- **Xiang, L., Xing, D., Wang, W., Wang, R., Ding, Y., & Du, L.** (2005). Alkaloids from *Portulaca oleracea* L. *Phytochemistry*, 66 (21): 2595-2601.
- **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.
- **Yue, M. E., Jiang, T. F., & Shi, Y. P.** (2005). Simultaneous determination of noradrenaline and dopamine in *Portulaca oleracea* L. by capillary zone electrophoresis. *Journal of Separation Science*, 28 (4): 360-364.

Z

- **Zaman, S., Bilal, M., Du, H., & Che, S.** (2020). Morphophysiological and comparative metabolic profiling of purslane genotypes (*Portulaca oleracea* L.) under salt stress. *BioMed Research International*, 2020: 1-17.
- **Zhang, Y. N., & Liu, Y. C.** (2018). Experiment of Antifungal Activities in Vitro in Water Extraction of *Impatiens Balsamina* L. and *Portulaca oleracea* L. *Chinese and Foreign Medical Research*, 16 (9): 8-9.
- **Zhishen J., Mengcheng T., & Jianming W.** (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem*, 64: 555–559.
- **Zhou, Y. X., Xin, H. L., Rahman, K., Wang, S. J., Peng, C., & Zhang, H.** (2015). *Portulaca oleracea* L.: a review of phytochemistry and pharmacological effects. *BioMed research international*, 2015: 1-11.
- **Zhu, H., Wang, Y., Liu, Y., Xia, Y., & Tang, T.** (2010). Analysis of flavonoids in *Portulaca oleracea* L. by UV–vis spectrophotometry with comparative study on different extraction technologies. *Food Analytical Methods*, 3: 90-97.
- **Zidan, Y., Bouderbala, S., Djellouli, F., Lacaille-Dubois, M. A., & Bouchenak, M.** (2014). *Portulaca oleracea* reduces triglyceridemia, cholesterolemia, and improves

lecithin: cholesterol acyltransferase activity in rats fed enriched-cholesterol diet. *Phytomedicine*, 21 (12): 1504-1508.

- **Zillich, O. V., Schweiggert- Weisz, U., Eisner, P., Kerscher, M.** (2015). Polyphenols as active ingredients for cosmetic products. *International Journal of Cosmetic Science*, 37 (5): 455-464.
- **Zobiri, W.** (2017). Caractérisation de certaines propriétés biologiques, biochimiques, pharmacologiques et rhéologiques du pourpier. Thèse de doctorat en Biotechnologie microbienne. Université, Mouloud Mam-Meri- Tizi-Ouzzou: 44.

