

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abbès Laghrour-Khenchela
Faculté des Sciences de la nature et de la vie



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

Master Académique

FILIERE: Sciences Biologique

OPTION : Biochimie Appliquée

Thème

**Evaluation de pouvoir antioxydant de l'extrait
brut d'une plante médicinale**

Présenté par :

M^{elle}. Boussalem Meroua, *M^{elle}*. Khellaf hadil, *M^{elle}*. Bouziane Rayen

Date de soutenance

06/2023

Membres du jury :

Présidente :	<i>M^{me}</i> . Krim meriem	MCB	Université Abbès Laghrour-Khenchela
Promotrice :	<i>M^{me}</i> . Arab yasmine	MCB	Université Abbès Laghrour-Khenchela
Examinatrice :	<i>M^{elle}</i> . Lekmine Sabrina	MAB	Université Abbès Laghrour-Khenchela

Année universitaire : 2022/2023

Remerciements

En premier lieu, nous tenons à remercier le grand ***Dieu*** qui nous à aidée et nous a donné le courage, la santé et la patience durant ces longues années d'étude pour mener à terme notre travail.

Tout d'abord nous tenons surtout à adresser nos plus vifs remerciements à notre promotrice : **M^{me} Arab Yasmine** pour l'orientation, pour l'aide compétent qu'elle nous apporté, pour sa patience, sa confiance, son encouragement pour structurer ce travail et pour améliorer la qualité des différentes sections de notre mémoire merci infiniment

Nous remercions tous les membres du jury qui ont accepté de juger la qualité de ce travail :

M^{me}. KRIM Meriem qui nous avons honoré en acceptant de présider ce jury de nos présents mémoires.

M^{elle} Lekmine Sabrina d'avoir bien voulu accepter de juger ce travail en qualité d'examinatrice.

Nous offrons nos plus sincères remerciements à toute l'équipe du laboratoire ou nous avons fait notre travail pratique.

Nos remerciements s'adressent également à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, pour leurs efforts tout au long des années d'études passés à l'université.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail une grande fierté à tous ceux qui me sont chers :

A la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie ma mère **Hafida** qui m'a apporté son appui durant toutes mes années d'étude, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donné confiance, courage et sécurité.

A mon très agréable père **Mohamed khellaf**, tu as toujours été pour moi un exemple de père respectueux, honnête, de la personne méticuleuse, je tiens à honorer l'homme que tu es.

Vous n'avez jamais cessé de déployer tous vos efforts afin de subvenir à nos besoins, nous encourager et nous aider à choisir le chemin de réussite.

Mes yeux, ma sœur **Abir** et mes chers frères **Adam**, **Sifou** dieu me les garde pour le reste de ma vie.

A mes chères tantes et les roses de la famille **Karima**, **Noura**, **Rabia**, **Nasira**, **khira**, merci infiniment.

A mes jumelles **Marwa**, **Rawnek**, **Aya** qui restent toujours gardent une grande place dans mon cœur, qu'avec eux j'ai passé des milliers de moments.

Pour moi, j'ai été la plus belle provocatrice de ma carrière.

Hadil

Dédicace

A mon dieu le tout puissant, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail

A la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie **Ma mère** qui m'a apporté son appui durant toutes mes années d'étude, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donné confiance, courage et sécurité.

A mon très agréable père **Atheman Boussalem**, tu as toujours été pour moi un exemple de père respectueux, honnête, de la personne méticuleuse, je tiens à honorer l'homme que tu es.

Vous n'avez jamais cessé de déployer tous vos efforts afin de subvenir à nos besoins, nous encourager et nous aider à choisir le chemin de réussite.

Mes yeux, ma sœur **Bessma** et mes chers frères : **Houcine et louay** dieu me les garde pour le reste de ma vie.

A mes jumelles **Hadil, Rawnek, Aya** qui restent toujours gardent une grande place dans mon cœur, qu'avec eux j'ai passé des milliers de moments.

Pour moi, j'ai été la plus belle provocatrice de ma carrière.

Meroua

Dédicace

A mon dieu le tout puissant, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

A **ma mère** qui m'a mis au monde, qui m'a encouragé et qui a veillé à ce que je réussisse à mes études je t'aime.

A mon père, rien au monde ne peut compenser les efforts fournis jour et nuit pour
Mon éducation.

A ma agréable sœur : *Assile, Roukia*.

A mes chers frères : *Rida, Dhaia, Eddine*.

A mes chères amies que j'ai vécues avec eux les plus beaux moments de ma vie

A tous ceux qui nous ont témoigné

Rayen

Table des matières

Remerciement	
Résumé.....	I
Liste des abréviations.....	IV
Liste des figures	V
Liste des tableaux.....	VI
Introduction.....	1

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre I : *Bunium mauritanicum*

I- Généralité sur les plantes médicinales	3
I.2- La famille des Apiaceae	3
I.3- Le genre <i>Bunium</i>	3
I.4- <i>Bunium mauritanicum</i>	4
I.4.1- Nomenclature	4
I.4.2- Classification	4
I.4.3- Description botanique.....	5
I.4.4- Répartition géographique	5
I.4.5- Composition chimique	5
I.4.6- Les activités biologique.....	6

Chapitre II : *Les métabolites secondaires*

II- Les métabolites secondaires	8
II.1- Les principales classes des métabolites secondaires	8
II.1.1- Les terpénoïdes	8
II.1.1.1- Classification des terpénoïdes	8
II.1.2- Les alcaloïdes	9
II.1.2.1- Classification des alcaloïdes	10
II.1.3- Les composés phénoliques.....	10
II.1.3.1- Classification des composés phénoliques	11
A. Acide phénolique	12

B. Flavonoïdes	12
C. Les tanins.....	12
D. Lignine	12
E. Les stilbènes	13
F. Les coumarines	13
II.1.4..Les saponines	13

Chapitre III : Le stress oxydant et les antioxydants

III- Le stress oxydant et les antioxydants	14
III.1- Le stress oxydant	14
III.1.1- Définition.....	14
III.1.2- Conséquence du stress oxydant	14
III.1.2.1- L'oxydation des protéines	15
III.1.2.2- L'oxydation des lipides	15
III.1.2.3- L'oxydation de l'ADN.....	15
III.1.3- Implication pathologique de stress oxydant	16
III.2- Les radicaux libres.....	16
III.2.1- Source des radicaux libres	16
III.2.2- Rôle physiologique des radicaux libres	17
III.3- Les antioxydants	18
III.3.1- Classification d'antioxydants	18
III.3.1.1- Antioxydant enzymatique.....	18
III.3.1.2- Les antioxydants non enzymatiques	19
III.3.1.2.1. Le système antioxydant non enzymatique d'origine endogène	19
III. 3.1.2.2. Le système antioxydant non enzymatique d'origine alimentaire.....	20

Partie II : Etude expérimentale

Chapitre I : Matériel et méthodes

I- Matériel et Méthodes.....	23
I.1- Réactifs chimiques utilisés	23
I.2- Appareillage	23
II- Etude phytochimique	23

II.1- Le matériel végétal.....	23
II.2- L'extraction.....	24
II.3- Analyse qualitative	24
II.3.1- Screening phytochimique.....	24
II.3.1.1- Test des composés phénoliques	24
II.3.1.2- Test de mucilage	25
II.3.1.3- Recherche des tanins.....	25
II.3.1.4- Recherche des saponosides	25
II.3.1.5- Recherche des flavonoïdes	25
II.3.1.6- Recherche des coumarines	25
II.3.1.7- Recherche des composés réducteurs.....	26
II.3.1.8- Recherche des alcaloïdes	26
II.3.1.9- Recherche des terpénoïdes.....	26
II.3.1.10- Détection des stéroïdes	26
II.3.1.11- Détection des polyuronides (pectines, mucilage et gencive).....	26
II.4- Analyse quantitative	26
II.4.1- Dosage des polyphénols totaux.....	26
II.4.1.1- Le principe	27
II.4.1.2- Mode opératoire	27
II.4.1.3- Expression des résultats	27
II.4.2- Dosage des flavonoïdes.....	27
II.4.2.1- Principe	27
II.4.2.2- Mode opératoire	27
II.4.2.3- Expression des résultats	28
II.5- Activité antioxydante	28
II.5.1- Test de piégeage du radical libre DPPH (2,2-diphényle-1-picrylhydrazyl).....	28
II.5.1.1- Principe	28
II.5.1.2- Mode opératoire	29
II.5.1.3- Expression des résultats	29

Chapitre II : Résultats et discussion

II- Etude phytochimique	30
II.1- Détermination de rendement de l'extraction	30
I.2- Analyse qualitative	31
I.2.1- Screening phytochimique	31
I.2.3- Analyse quantitative	31
1.2.3.1- Teneur des polyphénols totaux	34
1.2.3.2- Teneur des flavonoïdes totaux	35
II. Activité antioxydant	37
Conclusion	39
Références bibliographie.....	40

Résumé

Dans le cadre de la découverte de nouveaux antioxydants à partir des sources naturelles, nous sommes intéressés dans ce travail à la caractérisation phytochimique et l'évaluation de l'activité antioxydante de l'extrait éthanolique (70%) d'une plante médicinale *Bunium mauritanicum* connue sous le nom de Talghouda, qui appartient à la famille des Apiacées utilisées dans la médecine traditionnelle. Le criblage phytochimique a mis en évidence la présence des différents métabolites secondaires tels que polyuronides, les mucilages, des terpénoïdes, des tanins, des saponosides, composés phénoliques et les coumarines. Cette richesse en substances phytochimiques est confirmée par le rendement de l'extrait hydro-éthanolique où il a donné un rendement de 19,72%. L'analyse quantitative basée sur le dosage des polyphénols et des flavonoïdes a révélé des teneurs appréciables égales à $65,64 \pm 0,369 \mu\text{g EAG/mg E}$ et $35,69 \pm 0,255 \mu\text{g EQ/mg E}$ respectivement *in vitro*, l'extrait éthanolique présente de fortes propriétés de piéger les molécules du radical libre DPPH avec un IC_{50} égal à $1,675 \pm 0,013 \text{ mg/ml}$. Les résultats obtenus contribuent à prouver que l'extrait éthanolique de la plante *Bunium mauritanicum* exerce un effet antiradicalaire important, il pourrait être une source prometteuse de principes actifs qui pourraient constituer des modalités thérapeutiques potentielles dans différents contextes cliniques.

Mots clés : *Bunium mauritanicum*, screening phytochimique, métabolites secondaires, activité antioxydante.

Abstract

In the context of the discovery of new antioxidants from natural sources, we are interested in this work to the study of the phytochemical characterization and the evaluation of the antioxidant activity of the ethanolic extract (70%) of a medicinal plant *Bunium mauritanicum* known as Talghouda, which is belongs to the Apiaceae family used in traditional medicine. Phytochemical screening revealed the presence of differents secondary metabolites such as polyuronide, mucilage, terpenoids, tannins, saponosides, phenolic compounds and coumarin. This richness in phytochemicals is confirmed by the yield of hydro-ethanolic extract where it gave a yield of 19.72%. Quantitative analysis based on polyphenols and flavonoids content revealed significant levels equal to 65.64 ± 0.369 μg EAG/mg E and 35.69 ± 0.255 μg EQ/mg E respectively *in vitro*, the ethanolic extract exhibited strong properties of trapping free radical molecules DPPH with an IC_{50} equal to 1.675 ± 0.013 mg/ml. The results obtained contribute to proving that the ethanolic extract of the *Bunium mauritanicum* exerts a significant antiradical effect, it could be a promising source of active in gradients that could constitute potential therapeutic modalities in different clinical settings.

Keywords: *Bunium mauritanicum*, phytochemical screening, secondary metabolites, antioxidant activity.

ملخص:

في سياق اكتشاف مضادات الأكسدة الجديدة من مصادر طبيعية ، نحن مهتمون بهذا العمل لدراسة التوصيف الكيميائي النباتي وتقييم النشاط المضاد للأكسدة لمستخلص الإيثانولي (70%) من نبات طبي بونيوم موريتانيكوم المعروف باسم تلغودا ، وهو ينتمي إلى عائلة أبياسي المستخدمة في الطب التقليدي. كشف الفحص الكيميائي النباتي عن وجود مستقلبات ثانوية مختلفة مثل البوليفورونيد والصمغ والتربينويدات والعفص والصابونوسيدات والمركبات الفينولية والكومارين. يتم تأكيد هذا الثراء في المواد الكيميائية النباتية من خلال محصول المستخلص المائي الإيثانولي حيث أعطى عائدا بنسبة 19.72%. كشف التحليل الكمي على أساس محتوى البوليفينول والفلافونويد عن مستويات كبيرة تساوي 0.369 0 65.64 g إغ/ملغ و 0 35.69 0.255 G إغ/ملغ ه على التوالي في المختبر ، أظهر استخراج إيثانوليك خصائص قوية من محاصرة جزيئات الجذور الحرة دبه مع إي 50 يساوي 0.013 0 1.675 ملغ/مل. تساهم النتائج التي تم الحصول عليها في إثبات أن المستخلص الإيثانولي للونيوم الموريتانيكوم يمارس تأثيرا مضادا للجذور ، ويمكن أن يكون مصدرا واعدًا للنشاط في التدرجات التي يمكن أن تشكل طرائق علاجية محتملة في بيئات سريرية مختلفة.

الكلمات المفتاحية: بونيوم موريتانيكوم ، فحص كيميائي نباتي ، مستقلبات ثانوية ، نشاط مضاد للأكسدة.

Liste des abréviations

Abs :	Absorbance
AlCl₃ :	Chlorure aluminium
AP-1 :	Activator protein 1
CAT :	Catalase
CuZnSOD :	Cuivre zinc superoxyde dismutase
DPPH :	2,2-diphényl-1picrylhydrazyl
EAG :	Equivalent acide gallique
EQ :	Equivalent quercétine
FeCl₃ :	Chlorure de fer
GPX :	Glutathion peroxyde
GSH :	Glutathion réduit
GSSG :	Glutathion oxydé
HSF-1 :	Heat shock factor-1
IC₅₀ :	Concentration d'inhibiteur requise pour produire 50% d'inhibition
NADPH :	Le nicotinamide adénine di nucléotide pyrophosphate
O₂^{•-} :	Nion superoxyde
OH :	Radical hydroxyle
ROO :	Le radical peroxyde
ROS :	Réactive oxygène species = espèces réactifs de l'oxygène
SOD :	La superoxyde dismutase
UV :	Ultra-violet
OMS :	Organisation mondiale de la Santé

Liste des Figures

Figure 1 : <i>Bunium mauritanicum</i>	5
Figure 2 : Déséquilibre de la balance entre antioxydants et les radicaux libres	14
Figure 3 : Photographie de la plante <i>Bunium mauritanicum</i>	23
Figure 4 : Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH.....	28
Figure 5 : Droite d'étalonnage de l'acide gallique	34
Figure 6 : Droite d'étalonnage de la quercétine	36
Figure 7 : Pourcentage d'inhibition de l'extrait et de l'acide ascorbique	37

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Classification de plantes <i>Bunium mauritanicum</i> L	4
Tableau 2 : Composition chimique de la plante <i>Bunium mauritanicum</i> L.	6
Tableau 3 : Les différentes classes terpénoïdes	9
Tableau 4 : Les principales classes des composés phénoliques.....	11
Tableau 5 : Principales sources de production des radicaux libres.....	17
Tableau 6 : Le rendement de l'extrait éthanolique de <i>Bunium mauritanicum</i>	28
Tableau 7 : Résultat de screening phytochimique de la plante <i>Bunium mauritanicum</i>	31
Tableau 8 : Reneur en polyphénols de l'extrait éthanolique de la plante <i>Bunium mauritanicum</i>	35
Tableau 9 : Teneur en flavonoïdes de l'extrait éthanolique de la plante <i>Bunium mauritanicum</i>	36
Tableau 10 : IC ₅₀ de l'extrait et de l'acide ascorbique	38



Introduction

Introduction

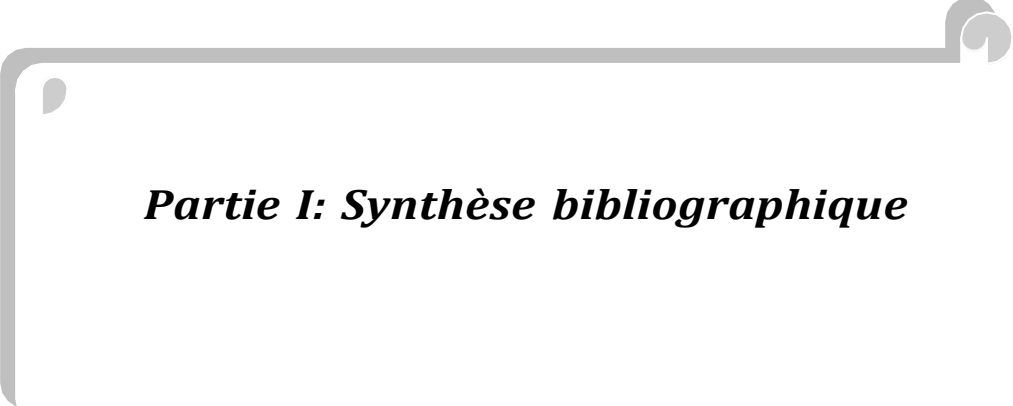
Depuis plusieurs années, l'homme est habitué à utiliser les plantes pour leurs propriétés médicinales et nutritives, afin de traiter et soigner toutes sortes de maladies. Ces plantes sont l'aptitude de synthétiser de nombreux composés appelés métabolites secondaires, elles constituent donc un immense réservoir de composés d'une grande diversité chimique, possédant un large éventail d'activités biologiques. Ainsi, l'évaluation de ces activités demeure une tâche très intéressante qui peut faire l'intérêt de nombreuses études (**Jacotot et Campillo, 2003**). Parmi ces molécules on trouve : les alcaloïdes, les composés phénoliques et les terpénoïdes..., qui peuvent être utilisés comme produits pharmacologiques actifs (**López et al., 2007**), afin de prévenir diverses pathologies liées au stress oxydatif. Dans ce cas, les antioxydants dérivés des plantes sont fortement recommandés, ils sont plus sûrs pour le corps et peuvent bloquer les dommages oxydatifs en réduisant les effets nocifs des radicaux libres (**Sayuti et Yenrina, 2015**). Les radicaux libres sont des molécules produites lorsque nos corps décomposent les aliments ou par des expositions environnementales comme la fumée de tabac et rayonnement qui peuvent endommager les cellules et jouer un rôle dans les divers maladies (**Sharma et al., 2013**). Les propriétés antioxydantes des plantes médicinales dépendent de la plante de sa variété, des variations climatiques et saisonnières, des régions géographiques de croissance, et de nombreux autres facteurs (**Skarovankova et al., 2012**).

L'Algérie bénéficie d'une grande diversité végétale grâce à sa situation géographique : les massifs montagneux, les hauts-plateaux, la steppe et les oasis sahariennes. Parmi ces ressources naturelles, les plantes aromatiques et médicinales occupent une large place, elles sont utilisées pour leurs propriétés thérapeutiques multiples (**Karouche et al., 2020**).

A cet égard, l'objectif de cette étude est la mise en évidence des composés phytochimiques présents dans les parties aériennes la plante *Bunium mauritanicum* et d'estimer la teneur de cette espèce végétale en ces composés phénoliques et d'évaluer leurs pouvoirs antioxydants.

Notre travail a été divisé en deux parties : nous aborderons dans une première partie une étude bibliographique qui regroupe trois chapitres dont le premier concerne une description détaillée de la plante *Bunium mauritanicum*. Le deuxième chapitre est consacré aux métabolites secondaires. Nous donnerons dans le troisième le stress oxydatif et les antioxydants.

La deuxième partie est réservée à l'étude expérimentale subdivisée en deux chapitres : le premier décrit le matériel et les méthodes utilisées dans ce travail qui porte sur l'étude phytochimique de la plante sélectionnée : l'étude de l'activité antioxydante de l'extrait brute de la plante. Dans le deuxième chapitre nous présenterons les résultats obtenus et leurs discussions. Enfin une conclusion générale qui résume l'ensemble des résultats obtenus.



Partie I: Synthèse bibliographique



Chapitre I : Bunium mauritanicum

I. Généralité sur les plantes médicinales

Les plantes médicinales sont riches en molécules actives d'intérêt multiple mis à profit dans plusieurs domaines y compris, la cosmétologie et l'alimentation (**Bahorun, 1998**). Selon l'OMS, une plante médicinale est une plante qui contient, dans un ou plusieurs organes, des substances qui peuvent être utilisées à des fins thérapeutiques, ou qui sont des précurseurs de la chimio-pharmaceutique hémi synthèse (**Neffati et Sghaier, 2014**).

Les plantes médicinales sont toutes les plantes qui contiennent une ou des substances pouvant être utilisées à des fins thérapeutiques ou qui sont des précurseurs dans la synthèse de drogues utiles (médicaments). Ils sont utilisés en médecine traditionnelle dont au moins une partie possède des propriétés médicamenteuses. Leur action provient de leurs métabolites primaires ou secondaires ou de la synergie entre les différents composés présents (**Sanago, 2006**). Elles sont utilisées de différentes manières, décoction, macération et infusion (**Djerri, 2011**).

I.2. La famille des Apiaceae

La famille des Apiaceae, est une famille des plantes appartenant à la classe Magnoliopsida (Dicotylédones) relativement homogène, caractérisée, notamment par son inflorescence typique, l'ombelle (**Stephen et al., 2000**). Les Apiécées anciennement appelées Umbellifères, comprennent environ 3.000 espèces regroupées en 300-450 genres se répartissant dans toutes les régions tempérées mais surtout dans l'hémisphère Nord (**Filliat, 2012**). La famille des Apiaceae occupe une place importante dans la flore algérienne où elle est représentée par 56 genres, 130 espèces (dont 24 endémiques) et 26 sous espèces (**Noui, 2018**).

I.3. Le genre *Bunium*

Le genre, avec environ 50 espèces, est réparti en Asie, en Europe et en Afrique du nord. Toutes les espèces de ce genre sont des géophytes arides ou subarides. Ils ont des racines de stockage tubériformes, des segments primaires pétiolés de limbes foliaires bi- ou tri-pinnatifides, des calices sans dents et des pétales blancs avec des lobes terminaux infléchis. Les fruits ne sont pas significativement comprimés dorsalement ou latéralement. Ils ont des côtes carénées ou filiformes plus ou moins égales, aucun élément lignifié particulier dans le mésocarpe et l'endosperme est aplati du côté commissural (**Degtjareva et al., 2009**).

I.4. *Bunium mauritanicum*

Bunium mauritanicum est une plante herbacée de la famille des Apiaceae, originaire d'Afrique du Nord et d'Afrique de l'Ouest. Elle est utilisée en médecine traditionnelle pour traiter diverses affections. Les graines de *Bunium mauritanicum* ont une saveur épice et sont utilisées comme épices dans la cuisine locale. C'est une plante familière des milieux ruraux dans toutes les régions du tell en Algérie. Elle évoque pour certains une source alimentaire remarquable mais pour d'autres elle est un symbole de misère qui rappelle la famine des années de disette en particulier au cours et durant les années de la deuxième guerre mondiale et aussi durant la période de révolution nationale (1954-1962). De nos jours, elle est évoquée par de rares collectionneurs mais elle est souvent présente chez herboristes pour son intérêt et usage thérapeutique. Cette plante cache une qualité nutritive exceptionnelle et peut avoir un double intérêt pour sa valorisation. Elle peut être considérée comme une culture bien adaptée pour les régions (**Boumediou et Addoun, 2017**).

I.4.1. Nomenclature

Synonymes : *Bunium bulbocastanum*, *Bunium incrassatum* (Boiss) Batt. et Trab.

Nom vernaculaire : Talghouda, gland de terre.

I.4.2. Classification

La classification de la plante *Bunium mauritanicum* L est montrée dans le tableau 1 (**Lim, 2015**).

Tableau 1 : Classification de plantes *Bunium mauritanicum* L.

Règne	Plantea
Sous règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Apiales
Famille	Apiacea
Genre	<i>Bunium</i>
Espèce	<i>Bunium mauritanicum</i>

I.4.3. Description botanique

Bunium mauritanicum est une plante herbacée annuelle ou bisannuelle qui peut atteindre jusqu'à 60 cm de hauteur. Elle possède une racine pivotante qui lui permet de survivre dans des sols arides et pauvres en nutriments. Les feuilles sont finement divisées, avec des segments linéaires et lancéolés, mesurant de 1 à 4 cm de long. Les fleurs sont petites, blanches ou rosées, et sont regroupées en ombelles, typiques de la famille des Apiaceae. Les fruits sont des diakènes aplatis, de forme ovale, brun foncé à maturité, mesurant environ 3 à 5 mm de long et 2 à 3 mm de large. Les graines ont une saveur épicée et aromatique (**Battandi et Trabut, 1985**).



Figure 1: *Bunium mauritanicum* (Chentouh *et al.*, 2018).

I.4.4. Répartition géographique

Bunium mauritanicum pousse dans les zones arides et semi-arides d'Afrique du Nord et d'Afrique de l'Ouest, et est souvent associée à des communautés végétales xérophytes (**Battandier et Trabut, 1985**). Elle est familière des milieux ruraux dans toutes les régions du tell en Algérie (**Boumediou et Addoun, 2017**).

I.4.5. Composition chimique

La composition chimique de *Bunium mauritanicum* permet de mettre en évidence la présence des coumarines et des huiles essentielles selon le tableau suivant :

Tableau 2 : Composition chimique de la plante *Bunium mauritanicum* L.

Principe actif	Composition chimique	Références
Les huiles essentielles	Acide palmitique (18,39%), oxyde de caryophyllène (17,36%), β -eudesmol (13,95%), <i>n</i> -pentacosane (5,13%) 10-épi- α -muurolol hedycaryol (4,14%) et spatuléneol (4,04%).	(El kolti <i>et al.</i> , 2017).
	Oxyde de caryophyllène 16 (31,0 %), (Z)- β -farnésène (8,7), β -caryophyllène (7,2) et germacrene B (5,8)	(Bousetla <i>et al.</i> , 2014).
Les coumarines	Scopoletine, Scoparone.	(Bousetla <i>et al.</i> , 2011).

I.4.6. Les activités biologiques

Selon les activités biologiques de la plante *Bunium mauritanicum* lors l'évaluation de l'activité antioxydante de cette dernière, des différents extraits de *B. mauritanicum* par le test de DPPH. En effet, le pouvoir antioxydant a été évalué par un pourcentage d'inhibition plus important par rapport à l'extrait méthanolique et éthanolique (El kolti *et al.*, 2016).

Lors de l'évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait hydrométhanolique, hydroéthanolique et les huiles essentielles de la partie racinaire de *Bunium mauritanicum* à différents dilutions contre des souches bactériennes ont montré que les molécules bioactives que l'on pense être responsables de l'activité antibactérienne sont les terpènes et les sesquiterpènes (Gagi et Toubal, 2018), qui ont été trouvé en grandes quantités dans les huiles essentiels de *B.mauritanicum* (El kolti *et al.*, 2017).

Des études hématologiques physiologiques et histologiques *in vivo* ont confirmés l'effet antithyroïdiens de la poudre sèche de tubercules du *B.mauritanicum* chez les rats Wistar avec

hyper et hypothyroïdie. Le traitement au *B.mauritanicum* a montré un gain de poids significatif dans les groupes traités par cette plante par rapport aux autres groupes, ainsi que cette plante affecte sur la régénération et réactivation des follicules de la glande thyroïdienne (Aiouaz et Arezki, 2022).



***Chapitre II : Les métabolites
secondaires***

II. Les métabolites secondaires

On appelle métabolites secondaires des composés biosynthétisés naturellement par les végétaux mais qui ne participent pas directement au métabolisme végétal mais joue un rôle dans l'interaction de la cellule (organisme) avec son environnement, assurant la continuité de l'existence de l'organisme dans ses écosystèmes (**Guillaume et Charouf, 2005**).

Plusieurs métabolites secondaires possèdent des propriétés thérapeutiques et sont utilisés en médecine humaine, ils appartiennent à des groupes chimiques variés (alcaloïdes, terpènes, composés phénoliques ...) qui sont très inégalement répartis chez les végétaux mais dont le niveau d'accumulation peut quelquefois atteindre des valeurs élevées (**Guillaume et Charouf, 2005**).

Ces composés diffèrent souvent entre individus d'une même population de plantes en fonction de leur quantité et de leurs types, ils protègent les plantes contre les stress, tant biotiques (bactéries, champignons, nématodes, insectes ou brouteurs par les animaux) et abiotiques (température et l'humidité, l'ombrage, les blessures ou la présence de lourds les métaux). Ils sont surtout utilisés comme produits chimiques comme les médicaments, les arômes, les parfums, les insecticides, et colorants par l'homme en raison d'une grande économie de valeur (**Pagar, 2015**).

II.1. Les principales classes des métabolites secondaires

Les métabolites secondaires des plantes sont essentiellement divisés en trois catégories : Les terpènes, les alcaloïdes et les composés phénoliques (**Kreif, 2003**).

II.1.1. Les terpénoïdes

Les terpénoïdes et les isoprénoïdes sont des produits naturels constitués d'unités d'isoprène, qui contient cinq atomes de carbone et par conséquent le nombre d'atomes de carbone dans n'importe quel terpénoïde est un multiple de cinq, les terpénoïdes sont constitués de deux unités isoprène, soit dix atomes de carbone (**Nasser et al., 2010**). Les terpénoïdes sont normalement produits dans les tissus végétatifs, des fleurs et, occasionnellement, des racines (**Cheng et al., 2007**).

II.1.1.1. Classification des terpénoïdes

La classification primaire des terpénoïdes basé sur le nombre d'unités de carbone Les monoterpènes comprennent deux isoprènes unités (C10), sesquiterpènes comportent trois

unités isoprène (C₅H₈), diterpènes (C₂₀H₃₂), sesterterpènes (C₂₅H₄₀), triterpènes (C₃₀H₄₈) et tétraterpènes (C₄₀H₆₄) (**Jahanger, 2021**). Si les terpénoïdes sont des hydrocarbures purs formés d'unités isoprènes, sans élimination ou addition de groupes méthyle ou addition d'atomes d'oxygène, ils sont appelés terpènes (**Jarmo et al., 2013**).

Tableau 3 : Les différentes classes terpénoïdes (**Jahanger, 2021**).

Classe	Formule chimique	Exemple de molécule
Hemiterpènes	C ₅ H ₈	Isoprène
Monoterpènes	C ₁₀ H ₁₆	Géranol
Sesquiterpènes	C ₁₅ H ₂₄	Carotol
Diterpènes	C ₂₀ H ₃₂	Sclaréol, Squalène
Triterpènes	C ₃₀ H ₄₈	Lanostérol
Tétraterpènes	C ₄₀ H ₆₄	Caroténoïdes
Polyterpènes	(C ₅ H ₈) _n	Caoutchouc

II.1.2. Les alcaloïdes

Les alcaloïdes représentent un groupe large et structurellement diversifié de métabolites secondaires que l'on peut trouver dans 300 familles de plantes, ainsi que dans les bactéries, les champignons et les animaux (**Casciaro et al., 2020**). Ils sont des composés organiques d'origine naturelle (généralement d'origine végétale), azotés, plus ou moins basiques à distribution restreinte aux propriétés pharmacologiques prononcées à faible dose (**Badiaga, 2011**).

II.1.2.1. Classification des alcaloïdes

La classification la plus correcte et la plus courante des alcaloïdes est leur distribution selon la structure principale :

- **Les alcaloïdes vrais** : Il contient un cycle hétérocyclique avec de l'azote et provient d'acides aminés. Ex : atropine, nicotine, morphine (**Bribi, 2018**).
- **Proto-alcaloïdes** : Pas de cycle hétérocyclique avec de l'azote et dérivé d'acides aminés. Ex : éphédrine, mescaline, adrénaline (**Badri et al., 2019**).
- **Les pseudo alcaloïdes** : Peuvent être dérivés de l'acétate et de la phénylalanine ou des terpénoïdes, ainsi que des alcaloïdes stéroïdiens. Ex : la capsaïcine, l'éphédrine, la solanidine, la caféine et la théobromine (**Aniszewski, 2007**).

II.1.3. Les composés phénoliques

Les composés phénoliques, classiquement considérés comme des métabolites secondaires, sont présents dans toutes les plantes supérieures. Ils correspondent à une très large gamme de structures chimiques, caractérisée par une distribution qualitative bien que très inégal quantitativement selon les espèces considérées et aussi les organes, les tissus et les stades physiologiques (**Macheix, 1996**).

On peut distinguer deux catégories : les composés phénoliques simples et les composés phénoliques complexes (**Long et al., 2010**). Les substances phénoliques jouent un rôle important dans les aspects de la physiologie de la plante : les interactions moléculaire avec certains micro-organismes ou parasites dans les interactions des plantes avec leur environnement biologique (relations avec les champignons, les bactéries, les insectes, résistance aux UV), régulation de la croissance dans la protection de l'homme contre certaines maladies en raison de leur interaction possible avec différents enzymes et de leurs propriétés antioxydantes (**Macheix et al., 2005**).

Les composés phénoliques sont caractérisés en ce qu'ils ont au moins un cycle aromatique avec un ou plusieurs groupes hydroxyle attachés, plus de 8000 structures phénoliques ont été rapportées et elles sont largement répandues dans tous les végétaux (**Crozier et al., 2006**).

II.1.3.1. Classification des composés phénoliques

Les composés phénoliques (ou polyphénols) sont un groupe très vaste et diversifié de composés chimiques. C'est les composés les plus importants tant par le nombre que la diversité de ses activités pharmacologiques (**Ragnault-Roger, 2016**). Ils peuvent être classés de plusieurs manières en fonction du nombre de carbone dans la molécule (**Vermerris et Nicholson, 2008**).

Tableau 4 : Les principales classes des composés phénoliques (**Macheix, 1996**).

Squelette carboné	Classe	Exemple	Origine
C6	Phénols simples	Catéchol	Nombreuses espèces
C6 - C1	Acides hydroxybenzoïques	P-hydroxybenzoïque	Épices, fraises
C6-C3	Acides hydroxycinnamiques	Acide caféique Acide férulique	Pomme de terre, pomme
	Coumarines	Scopolétine	Citrus
C6-C4	Naphtoquinones	Juglone	Noix
C6-C2-C6	Stilbène	Resvératrol	Vigne
C6-C3-C6	Flavonoïdes - Flavonols - Anthocyanes - Flavanols Isoflavonoïdes	Kaempférol, Quercétine, cyanidine, Catéchine Epicathéchine, Naringénine Daidzéine	Fruit, légumes Fleurs soja, pois Pomme, fruit rouge
(C6-C3)₂	Lignanes	Pinorésinol	Pin
(C6-C3)_n	Lignines		Bois, fruits à noyaux
(C6-C3-C6)_n	Tanins condensés		Raisins, kaki

A. Acide phénolique

Les acides phénoliques (ou acides phénols) sont des composés formés d'un cycle phénolique et au moins une fonction acide carboxylique organique, les acides phénols peuvent être divisés selon les unités carbonatées de la chaîne latérale attachée au cycle phénolique en composés C6-C1, C6-C2 et C6-C3, Les deux sous classes les plus importantes sont les C6-C3 (acide hydroxycinnamique) et les C6 -C1 (acide hydroxybenzoïque) (**Golebiowski *et al.*, 2013**).

B. Flavonoïdes

Les flavonoïdes L'ensemble des flavonoïdes, de structure générale en C15 (C6 - C3 - C6) comprend à lui seul plusieurs milliers de molécules regroupées en plus de dix classes dont certaines ont une très grande importance biologique et technologique, les flavones dont les produits de condensation sont à l'origine d'un groupe important de tannins et les isoflavones qui jouent un rôle dans la santé humaine Pour désigner chacun des flavonoïdes . C'est d'abord la structure de l'hétérocycle central et son degré d'oxydation qui permettent de distinguer les différentes classes de flavonoïdes (**Macheix *et al.*, 2005**).

C. Les tanins

Les tanins sont définis comme des composés phénoliques hydrosolubles, masse moléculaire comprise entre 500 et 3000, ayant la propriété de précipiter la gélatine et d'autres protéines et colorer avec des sels ferriques (**Kreif, 2003**).

Les tanins sont plus abondants dans les parties de la plante qui lui sont les plus précieuses, par exemple les nouvelles feuilles et fleurs (qui sont plus susceptibles d'être mangées par herbivores) (**Frutos, 2004**).

D. Lignine

La lignine est un polymère phénolique de haut poids moléculaire, c'est le deuxième biopolymère le plus abondant sur terre et il joue un rôle important dans le support structurel des plantes, son hydrophobicité facilite également le transport de l'eau à travers les tissus vasculaires (**Vermerris et Nicholson, 2008**).

La complexité chimique et le manque apparent de régularité dans sa structure rendent la lignine extrêmement appropriée comme barrière physique contre les insectes et les champignons (**Badria, 2021**).

E. Les stilbènes

Les stilbènes (1.2 - diphényléthylène) sont des composés polyphénoliques formés de deux noyaux phényles reliés entre eux par un pont éthylène générant une structure en C6-C2-C6, cette double liaison permet de générer des stilbènes pouvant exister sous deux formes : la forme *trans* (*E*) et la forme *cis* (*Z*) (**Pawlus et al., 2012**).

Les noyaux aromatiques sont généralement substitués par différentes fonctions tels que des groupes hydroxyles, méthyles, méthoxyles, prényles ou géranyles (**Shen et al., 2013**).

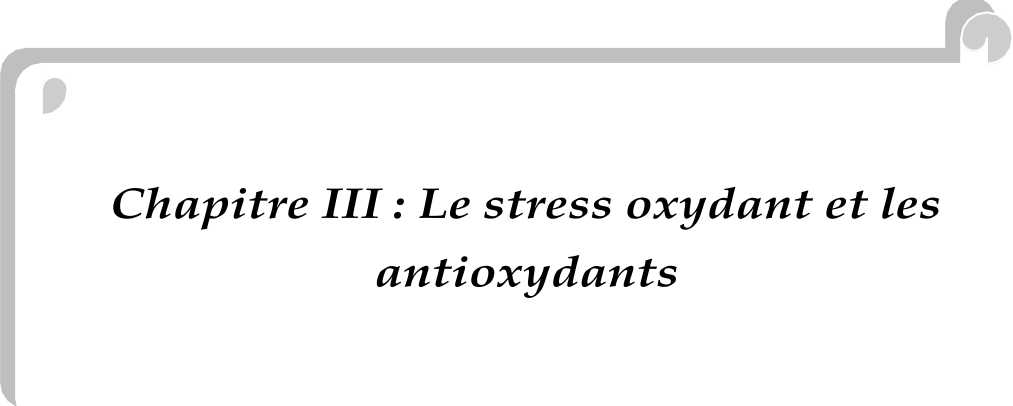
F. Les coumarines

Les coumarines sont des substances phénoliques constituées de cycles benzène et α -pyrone condensés, ils sont responsables de l'odeur caractéristique de foin, En 1996 au moins 1300 avaient été identifiées (**Cowan, 1999**). Se sont avérées présentes dans les graines, les racines, les tiges, les fleurs, Les feuilles et les fruits, leur renommée vient principalement de leur activité anti-thrombotiques, anti-inflammatoire, et vasodilatatrices, La warfarine est une coumarine particulièrement connue qui est utilisée à la fois comme anticoagulants oral et fait intéressant comme rodenticide, il peut également avoir des effets antiviraux (**Hussain et al., 2017**).

II.1.4 Les saponines

Les saponines sont des glycosides de poids moléculaire élevé dans lesquels les sucres (1 à 8 résidus) sont liés à un groupement triterpène ou aglycone stéroïdien (**Hostettmann et Marston, 1995**). Les saponines possèdent une variété de groupes glycosylé liés de manière covalente à la position C3, mais certaines saponines contiennent deux chaînes de sucre attaché aux positions C3 et C17 (via C28) (**Vincken et al., 2007**). Un grand nombre de saponines pourrait être possible en fonction des modifications de la structure cyclique des fragments aglycones et du nombre de sucres qui y sont ajoutés, et à leur tour produire des propriétés biologiques différentes (**Das et al., 2012**).

Les saponines protègent la plante hôte et découragent les insectes phytophages s'explique généralement en fonction de leur performance dans le corps de l'organisme exposé, comme une consommation alimentaire moindre, des obstructions ainsi que d'autres poisons (**Hussain et al., 2019**).



***Chapitre III : Le stress oxydant et les
antioxydants***

III. Le stress oxydant et les antioxydants

III.1. Le stress oxydant

III.1.1. Définition

le stress oxydant est généralement défini comme le déséquilibre entre le système oxydatif et la capacité antioxydant d'un organisme, d'une cellule ou d'un compartiment cellulaire (**Barouki, 2006**). Cette situation peut être causée par un dysfonctionnement de la chaîne mitochondriale (ischémie-reperfusion, vieillissement), une activation des systèmes enzymatiques (xanthine oxydase, NADPH oxydase, glucose oxydase, monoamine oxydase) et la libération de fer libre à partir des protéines chélatées (ferritine) ou l'oxydation de certaines molécules (glucose, hémoglobine, catécholamines, etc.) (**Pincemail et al., 2002**).



Figure 02 : Déséquilibre de la balance entre antioxydants et radicaux libres (**Belaïch et Boujraf, 2016**).

III.1.2. Conséquence du stress oxydant

Les radicaux libres sont des substances produites par le métabolisme cellulaire qui peuvent être toxiques pour les tissus biologiques et source de lésions des lipides de membranes cellulaires de l'ADN et des protéines (**Morena et al., 2002**) ainsi que des lésions cytotoxiques et mutagènes par les produits libérés notamment lors de l'oxydation des lipides (**Favier, 2003**).

III.1.2.1. L'oxydation des protéines

Tous les acides aminés sont des cibles potentielles des radicaux libres, néanmoins, les principales cibles sont les acides aminés soufrés (cystéine, méthionine), basiques (arginine, histidine, lysine) et aromatiques (phénylalanine, tyrosine, tryptophane) (**Migdal et serres, 2011**). Chaque attaque radicalaire sur un acide aminé provoque l'oxydation d'un résidu spécifique, entraînant la formation d'un groupe carbonyle, une scission de la chaîne peptidique et des ponts bi-tyrosine intra et inter chaînes. La plupart des dommages sont irréparables et peuvent entraîner des altérations fonctionnelles profondes (non reconnaissance du récepteur par le ligand, perte d'activité enzymatique) (**Haleng et al., 2007**).

L'oxydation radicalaire des acides aminés contenant des atomes de soufre conduit à la formation de ponts disulfure, c'est-à-dire à l'agrégation de certaines molécules protéiques. Ils peuvent également cliver des liaisons peptidiques pour former des fragments de protéines. De plus, non seulement les radicaux OH mais aussi l'anion superoxyde O₂ attaquent les protéines tissulaires de soutien telle que le collagène dans le tissu conjonctif, l'oxydation de ces acides aminés entraîne des changements conformationnels spatiaux et une altération de la fonction protéique (**Koechlin-Ramonatxo, 2006**).

III.1.2.2. L'oxydation des lipides

L'oxydation des lipides polyinsaturés (LH) en présence d'oxygène et un processus de réaction radicalaire en chaîne connu sous le nom de peroxydation lipidique (**Michel et al., 2008**). C'est une série de réactions qui se déroulent en trois étapes : initiation, propagation et terminaison (**Genet et Michalski, 2010**).

Les lipoprotéines comme les LDL, riches en cholestérol et en phospholipide sont également des cibles privilégiées de la peroxydation lipidique, les LDL oxydées significativement impliquées dans l'athérogènes. De nombreuses autres pathologies sont associées à la peroxydation lipidique (**Cillard, 2006**).

III.1.2.3. L'oxydation de l'ADN

L'ADN est également la cible principale des radicaux libres. Ils peuvent interagir avec le désoxyribose de l'ADN mais ils peuvent également interagir avec les bases puriques et pyrimidiques (**Koechlin-Ramonatxo, 2006**). Cela conduit à divers processus la formation d'adduits à l'ADN, l'oxydation des bases et des résidus de sucre, le clivage des brins (simple

et double brin) par l'élimination des atomes d'hydrogène du 2-désoxyribose, pontages - protéines dans les nucléoprotéines ; formation des sites abasiques (**Bensakhria, 2018**). Leurs sur L'ADN peuvent impliquer la mutagenèse, l'arrêt de la division cellulaire en bloquant les mécanismes de réplication, l'arrêt de la synthèse protéique en bloquant les mécanismes de transcription / traduction et finalement la mort cellulaire (**Bouزيد, 2014**).

III.1.3. Implication pathologique de stress oxydant

Le stress oxydatif est une cause majeure de plusieurs maladies. Parmi ces maladies figurent les maladies cardiovasculaires, le diabète, la carcinogenèse, les maladies auto-immunes (sclérose en plaques, l'immunosuppression (SIDA), les maladies du système nerveux, le maladies neurodégénératives (maladie d'Alzheimer, maladie parkinson, etc.), déficience visuelle (cataracte), maladie rénale, maladie respiratoire, maladie inflammatoire (**Mezouare et al., 2014**) ;(**Nathalie, 2014**). La plupart des maladies causées par stress oxydatif apparaissent avec l'âge car le vieillissement réduit les défenses antioxydantes et augmente la prolifération mitochondriale des radicaux libres (**Bidie et al., 2011**).

III.2. Les radicaux libres

Parmi tous les radicaux libres susceptibles de se former dans les cellules, il est important de distinguer un groupe limité de composées radicales jouant un rôle spécifique dans la physiologie que l'on appelle les radicaux primaires. D'autres radicaux libres, appelés radicaux libres secondaires, se forment à partir de ces radicaux libres primaires réagissant avec des substances biochimiques dans la cellule (**Favier, 2003**).

Les radicaux primaires proviennent de O₂, comme le radical superoxyde (O₂) et le radical hydroxyle (OH), ou de l'azote, comme l'oxyde d'azote (NO). D'autres espèces dérivées de l'oxygène, appelées espèces réactives de l'oxygène, telles que l'oxygène singulet (O₂), le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) ou le nitroperoxyde (ONOOH) ne sont pas des RLO mais des précurseurs de l'espèce radicalaire (**Nathalie, 2014**).

III.2.1. Source des radicaux libres

Les radicaux libres peuvent être exogènes : produits de rayonnement (rayons X et UV), polluants atmosphériques (N, NO₂), solvants organiques, anesthésiques, pesticides, médicaments, xénobiotiques et hyperoxie. S'ils sont d'origine endogène ils sont

majoritairement produits au niveau des chaînes respiratoires mitochondriales dans les cellules des organismes aérobies (Tessier et Marconnet, 1995).

Tableau 5 : Principales sources de production des radicaux libres (Pincemail *et al.*, 2001).

Endogène	Exogène
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Altération du transport des électrons dans la chaîne respiratoire mitochondriale (ischémie-reperfusion) ➤ Biosynthèse des prostaglandines (prosta-noïdes et leucotriènes inflammatoires) ➤ Oxydation de l'hémoglobine ➤ Oxydation du glucose ➤ Libération du fer de ses protéines de transport ➤ Agrégation des plaquettes ➤ Activation des cellules endothéliales ➤ Activation des globules blancs ➤ Cytochrome P 450 ➤ Fumée de cigarette ➤ Alcool ➤ Médicament ... 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Exposition au soleil (UV) ➤ Exposition aux irradiations (rayon) ➤ Amiante ➤ Pollution ➤ Ozone ➤ Alimentation...

III.2.2. Rôle physiologique des radicaux libres

Les radicaux libres sont utilisés par l'organisme comme médiateurs régulant des fonctions cellulaires comme la prolifération et la mort cellulaire programmée (apoptose), à la différenciation cellulaire, à la régulation de la dilatation capillaire, au fonctionnement de certains neurones et notamment ceux de mémoire, la fécondation de l'ovule (Afonso *et al.*, 2007); (Favier, 2003) et un rôle dans la signalisation cellulaire par exemple, au niveau musculaire, l'exposition de fibres musculaire au H₂O₂ augmente toutes les caractéristiques de la contraction musculaire : pic de force, constante de temps, temps de demi-relaxation. Les radicaux libres participent également à l'amélioration du captage musculaire du glucose,

et à la reconstitution des stocks en glycogène musculaire, enfin régulent de nombreux facteurs de transcription tels que l'activator-protein-1(AP-1)et l'heat shok factor-1(HSF-1) qui activent des gènes dits (protecteurs) pour la cellule .en effet ces gène régulent l'expression de molécules de défense telle que les antioxydants ou les heat shok protein (HSP) contribuant aux processus de réparation et régénération cellulaire (**Koechlin-Ramonatx, 2006**).

III.3. Les antioxydants

Un antioxydant est « toute substance » qui, lorsqu'elle est présente à de faible concentrations par rapport à la concentration d'un substrat oxydable, retarde ou empêche de manière significative l'oxydation de ce substrat (**Antolovich et al., 2002**). Le corps possède un vaste réseau d'antioxydants ou de défenses qui ne se limitent pas aux seules vitamines C et E d'un part, divers antioxydants sont synthétisés par l'organisme ou le plus souvent apportés par l'alimentation (**Defraigne et pincemail, 2008**).

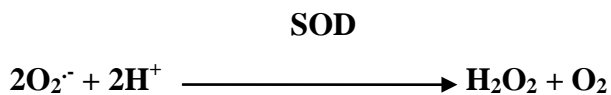
III.3.1. Classification d'antioxydants

III.3.1.1. Antioxydant enzymatique

Toutes les cellules eucaryotes contiennent de puissants enzymes antioxydants. Les trois principales classes d'enzymes antioxydants sont la superoxyde dismutase, la catalase et la glutathion (GSH) (**Sies, 1997**).

➤ La superoxyde dismutase (SOD)

Le superoxyde dismutase (SOS) est un enzyme qui protège les cellules consommatrices D'oxygène contre espèces réactives de l'oxygène (**Woodruff et al., 2004**) catalyser la conversion de l'anion superoxyde en peroxyde d'hydrogène par la réaction suivant (**Elias et al., 2008**) :



Il existe trois isoformes compartimentées de l'enzyme SOD qui ont été caractérisées biochimiquement et moléculairement, la Cu Zn-SOD ou SOD1 cytosolique et la EC-SOD ou SOD3 extracellulaire utilisent le cuivre et le zinc comme cofacteurs nécessaires à l'activité enzymatique. Tandis que la SOD2 mitochondriale utilise le manganèse (**Afonso et al., 2007**).

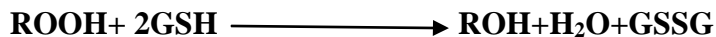
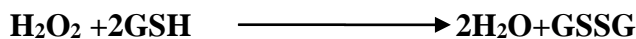
➤ **Catalase (CAT)**

Convertit le peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène (en utilisant des cofacteurs de fer et de manganèse) pour compléter le processus de détoxification initié par le SOD (Dontha, 2016).



➤ **Glutathion peroxydase (GPX)**

Une enzyme à cofacteur de sélénium se localise dans la mitochondrie et dans le cytosol (Favier, 2003). Elle a pour activité de dégradation des hydroperoxydes organiques (ROOH) et du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) (Valko *et al.*, 2006).



III.3.1.2. Les antioxydants non enzymatiques

Cela comprend une variété de composés alimentaires naturels, tels que la vitamine E et la vitamine C, ou divers thiols et polyphénols. Les antioxydants sont également d'origine endogène, tels que la coenzyme Q et l'acide urique. Enfin, il y a ceux d'origine synthétique qui sont utilisés comme additifs alimentaires et pharmaceutiques (Vamecq *et al.*, 2004).

III.3.1.2.1. Le système antioxydant non enzymatique d'origine endogène

➤ **Le glutathion**

Le glutathion est un tripeptide, la fonction thiol confère au glutathion des propriétés antioxydantes. C'est-à-dire des agents réducteurs 5 donneurs d'électrons ou d'atomes d'hydrogène, agissant contre de nombreuses espèces oxydantes, notamment le peroxyde d'hydrogène et les radicaux hydroxyles (Albert *et al.*, 2003).

Les autres propriétés antioxydantes du GSH sont nombreuses. Cofacteur du GPx, chélateur des métaux de transition, régénérant final des vitamines E et C à partir de leurs formes radicales) (Haleng *et al.*, 2007).

➤ **L'acide urique**

L'acide urique est le produit final d'oxydation du métabolisme des purines et excrété par les reins (**Giordano et al., 2015**), les deux dernières réactions de la chaîne biochimique qui conduit à la formation d'acide urique. à savoir la conversion de l'hypoxanthine en xanthine et la xanthine en UA sont catalysées par l'enzyme xanthine oxydoréductase (XOR) existe principalement sous forme d'anion urate au pH physiologique : cependant, il existe surtout dans le forme d'acide urique dans l'urine à un pH d'environ 5-6, ce qui affecte sa solubilité et son transport (**Fathallah-Shaykh et Cramer, 2014**); (**Glantzounis et al., 2005**).

➤ **Le coenzyme Q**

La coenzyme Q, non trivial de 2, 3-diméthoxy-5-méthyl-6-multiprényl-1,4-benzoquinone, également connue sous le nom d'ubiquinone (**Beyer, 1991**) est un composant de la chaîne de transport d'électrons mitochondriale (**Chai et al., 2010**), Pour transférer les électrons des complexes respiratoires I et II au complexe III et facilite le pompage de H⁺ à travers la membrane interne pour alimenter la synthèse d'ATP par le complexe V (**subramanian et al., 2019**).

Il est également présent dans les lipoprotéines ou il a un effet antioxydant : il inhibe la peroxydation lipidique en piégeant les radicaux pyroxyles. Son effet antioxydant s'exerce aussi au niveau de l'ADN et des protéines, étant donné que le coenzyme Q est le seul antioxydant liposoluble endogène (**Poisson-Moreau de Lizerieux, 2003**).

III. 3.1.2.2. Le système antioxydant non enzymatique d'origine alimentaire

➤ **Les polyphénols**

Les phénols sont divers métabolites secondaires (flavonoïdes, tanins, hydroxycinnamate et esters de lignine) (**Blokhina, 2003**), les polyphénols végétaux constituent les antioxydants les plus abondants présents dans l'alimentation humaine. Il sont principalement fournis par les fruits, les légumes, les céréales, ainsi que certaines boissons comme le thé, le café, le cacao et le jus (**Hatia et al., 2014**) peuvent aider à réduire l'incidence de certains types de cancer, de maladies cardiovasculaires, des maladies neurovégétatives et de dommages à l'ADN (**Obrenovich et al., 2010**).

Les composés phénoliques ont la capacité d'agir comme donneurs d'hydrogène ou de chélateur des ions métallique tels que le fer et le cuivre, en inhibant l'oxydation des lipoprotéines de basse densité (LDL) (**Santos-Sanchez et al., 2010**).

➤ **Vitamine E**

Le vitamine E est composé de huit composés liposoluble naturels, les α -, β -, γ - et δ -tocophérols et les α -, β -, γ - et δ -tocotriénols (**Hermes-Lima, 2004**), est un excellent antioxydant membranaire et a la capacité d'arrêter la réaction en chaîne (peroxydation lipidique) qui transfère les radicaux peroxydes d'un lipide à une autre, les convertissant en une forme radicalaire relativement stable (**Vamecq et al., 2004**).

➤ **Caroténoïde**

Les caroténoïdes sont également divisés en deux groupe .xanthophylles oxygénées comme la lutéine, la zéaxanthine et la violaxanthine .carotènes d'hydrocarbures tels que l' β -carotène, le β -carotène et le lycopène (**Mcelroy et Kopsel, 2009**), cependant le principal candidat caroténoïde est le β -carotène (**Haleng et al., 2007**) qui est fourni par l'alimentation il est doué de plusieurs capacités précurseur de la vitamine A, piège l'oxygène singulet sous faible pression d'oxygène et avec les autres caroténoïdes, a la capacité de mettre fin à la réaction en chaîne peroxydation lipidique, protège les structures cellulaires contre l'agression oxydant : il s'oppose fi lacyto et fi la gènotoxicite de nombreux agents (**Goudable et Favier, 1997**).

➤ **L'acide ascorbique**

La plupart des eucaryotes produisent de l'acide ascorbique (ASA ou vitamine C), il s'agit d'un antioxydant soluble dans l'eau qui piège les ROS (**Ahmad et al., 2009**) l'acrobate est un puissant agent réducteur et subit deux pertes ultérieurs d'un électron pour former un radical acrobate et de l'acide déhydro ascorbique. Le radical acrobate est relativement stable car l'électron non appariée est délocalisé par résonance (**Santos-Sanchez et al., 2019**).

Une propriété importante de l'acide ascorbique est son potentiel de réparation des formes radicalaires de deux autres antioxydant, le glutathion et l'atocophérol, l'acide ascorbique est au moins partiellement recyclé par dismutation du radical d'ascorbyle) (**Albert et al., 2003**).

➤ **Les oligoéléments**

Les oligo-éléments connus pour être nécessaires à l'homme sont le fer, le zinc, le cuivre, le sélénium, chrome, manganèse, molybdène, cobalt et iode sont des éléments naturels présents en faibles ou très faibles concentrations dans l'organisme. Néanmoins, il joue un rôle biologique important, en effet, comme de nombreuses vitamines, ce sont principalement des cofacteurs d'enzymes (métallo enzymes) (**Baudin, 2021**).



Partie II: Etude expérimentale



Chapitre I : Matériel et méthodes

Ce travail expérimental, ayant objet de l'étude phytochimique (analyse qualitative et quantitative) et l'évaluation *in vitro* de l'activité antioxydante de l'extrait hydroalcoolique 70% de la plante *Bunium mauritanicum* connu sous le nom Talghouda en Algérie.

I. Matériel et Méthodes

I.1. Réactifs chimiques utilisés

Dans cette étude nous avons utilisé : éthanol, carbonate de sodium (Na_2CO_3) Folin ciocalteau, 2,2'- diphenylel-picryl hydrazyl (DPPH), trichlorure d'aluminium (AlCl_3), tournures de mg, trichlorure de fer (FeCl_3), réactif de Mayar, liqueur de Fehling, acide gallique, quercétine, ammoniacque (NH_4OH), anhydride acétique acétone, acide ascorbique, acide acétique, acide sulfurique (H_2SO_4).

I.2. Appareillage

Parmi l'appareilles utilisés : étuve, évaporateur rotatif, spectrophotomètre UV, chambre d'observation UV, balance de précision, vortex et bain marie.

II. Etude phytochimique

II.1. Le matériel végétal

La plante *Bunium mauritanicum* (la partie aérienne) a été récoltée au mois d'avril 2021 de la wilaya d'Oum El Bouaghi. La plante a été séchée, broyée puis conservée à l'abri de la lumière et l'humidité.



Figure 3 : Photographie de la plante *Bunium mauritanicum*.

II.2. L'extraction

L'extraction est l'étape la plus importante et le début de tous les tests et les recherches qualitatives ou quantitatives, elle est choisie en fonction des composés phytochimiques étudiés. La préparation de l'extrait consiste à macérer la quantité de matériel végétale qui a été séché à l'abri de la lumière, dans un endroit sec et aéré après le broyage de la plante dans un mélange hydroalcoolique (eau / éthanol ;70 :30 ; v/v) pendant 24 heures à température ambiante, cette opération est répétée trois fois avec renouvellement du solvant, l'homogénéat et filtré sur du papier filtre, ensuite l'extrait brute obtenue est évaporé à l'aide d'un évaporateur rotatif sous pression réduite et à température de 40°C. La solution ainsi obtenue est filtrée puis séchée à l'aide d'une étuve de type à 40°C. Le résidu pesé est conservé à 4°C (**Fellah et al., 2008**).

➤ Calcul du rendement :

Le rendement d'extrait hydro-éthanolique est le rapport entre le poids de l'extrait sec et le poids de la plante en poudre utilisée. Il est exprimé en pourcentage selon la formule suivante (**Bohui et al., 2018**) :

$$\text{Rendement d'extraction (\%)} = \text{Ps} / \text{Pp} * 100$$

Où :

Ps : Masse en gramme (g) de l'extrait sec résultant.

Pp : Masse en gramme (g) de matériel végétale à traiter.

II.3. Analyse qualitative

II.3.1. Screening phytochimique

Le test phytochimique (screening) est un test qualitatif qui permet d'identifier la présence ou l'absence des principaux groupes chimiques des plantes (**Daoudi, 2015**), en fonction de leurs précipitations ou de leurs couleurs caractéristiques (**Bammou, 2015**).

II.3.1.1. Test des composés phénoliques

Environ 0,1 g de l'extrait a été solubilisé dans 3 ml de l'eau distillée puis sont additionnés 5 gouttes de trichlorure du fer (FeCl₃ 1%), l'apparition d'un couleur verdâtre indique la présence des phénols, et la présence des composés phénolique est indiquée par un aspect bleu verdâtre (**Rosine et Momo, 2009**).

II.3.1.2. Test de mucilage

La détection des mucilages est effectuée en introduisant 1 ml d'extrait dans un tube à essai, et l'ajout de 5 ml d'éthanol pendant quelques minutes. Il apparaît un précipité qui témoigne de leur présence (**Awor et Samseny, 2003**).

II.3.1.3. Recherche des tanins

A 1ml d'extrait, on ajoute quelque goutte de trichlorure de fer (FeCl_3 1%). Le développement d'une coloration bleue noir signifie la présence des tanins gallique et une coloration brune verdâtre indique la présence des tanins catéchiques (**Dohou et al., 2003**).

II.3.1.4. Recherche des saponosides

2 mg de l'extrait sont mélangés avec 4 ml d'eau distillée versés dans un tube à essai puis ils sont chauffés pendant 5 minutes. Après refroidissement et filtration, 5 ml de filtrat ont été ajoutés à un deuxième tube à essai et agités pendant 1 minute, après laissé au repos durant 15 min. Une hauteur de mousse persistante, supérieure à 1 cm, indique la présence de saponosides (**Rosine et Momo, 2009**).

- Pas de mousse = test négatif
- Mousse moins de 1 cm = test faiblement positif
- Mousse de 1-2 cm = test positif
- Mousse plus de 2 cm = test très positif

II.3.1.5. Recherche des flavonoïdes

Traiter 5 ml de l'extrait préparé avec 1 ml de l'HCL concentré et ajouter une quantité de tournures de mg (3-4 graines) et laisser agir. La présence des flavones est confirmée par l'apparition d'une couleur virage au rouge pourpre (flavonols), rouge violacées (flavonones et flavonols) (**Lock et al., 2006**).

II.3.1.6. Recherche des coumarines

L'extrait sec est dissous dans l'eau distillée par chauffage, après refroidissement, la solution obtenue est répartie dans 2 tubes à essai. Le premier sert de témoin et on ajoute 0.5 ml de NH_4OH 10% dans le 2^{ème} tube. L'apparition d'une fluorescence bleue ou verte à la lampe UV 365 nm indique la présence des coumarines (**Zellagui et al., 2012**).

II.3.1.7. Recherche des composés réducteurs

Introduire 2 ml de l'extrait dans un tube à essai, et ajouter 2 ml de la liqueur de Fehling après le mélange est porté au bain-marie bouillant durant 8 min, la présence des composés réducteurs est indiquée par l'obtention d'un précipité rouge brique (**Bentab Lasгаа, 2015**).

II.3.1.8. Recherche des alcaloïdes

1 ml de l'extrait est mélangé avec 5 gouttes de réactif de Mayer (Potassium Mercuriic Iodide), L'obtention d'un précipité jaune indique la présence des alcaloïdes (**Tiwari et Kakkar, 1990**).

II.3.1.9. Recherche des terpénoïdes

0,5 g de l'extrait avec 2 ml de chloroforme et 3 ml d'acide sulfurique (H₂SO₄) concentré. La présence de la couleur brune rougeâtre à l'interface indique la présence des terpénoïdes (**Ayoola et al., 2008**).

II.3.1.10. Détection des stéroïdes

L'ajout de 5 ml d'anhydride acétique à 5 ml d'extrait. 0,5 ml d'acide sulfurique concentré sont ajoutés au mélange. Après agitation l'apparition à l'interphase, d'un anneau pourpre ou violet, virant au bleu puis au vert, indique une réaction positive (**Bruneton, 1999**).

II.3.1.11. Détection des polyuronides (pectines, mucilage et gencive)

2 ml de l'extrait ont été ajoutés goutte à goutte dans un tube à essai ou 10 ml d'acétone avaient déjà été placés, L'obtention d'un précipité indiquant la présence de polyuronides (**Zellagui et al., 2012**).

II.4. Analyse quantitative

II.4.1. Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué par une méthode décrite par **Wong et al. (2006)**. Son utilisation s'est largement répandue pour décrire des extraits végétaux d'origines les plus diverses.

II.4.1.1. Le principe

Le réactif de Folin Ciocalteu est un acide de couleur jaune, constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$) qui sont réduits lors de l'oxydation des phénols en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène (**Lakache et al., 2021**). La coloration bleue produite dont l'absorption maximum à environ 760-765nm est proportionnelle à la concentration des composés phénoliques (**Ojeil et al., 2010**).

II.4.1.2. Mode opératoire

Selon la méthode décrite par **Wong et al. (2006)**. 100 μ l de chaque extrait sont ajoutés à 500 μ l du réactif de Folin- Ciocalteu (10 fois dilué dans l'eau distillée) après 4 min d'incubation 400 μ l de carbonate de sodium 7.5% sont additionnés. Les solutions sont maintenues à l'obscurité pendant 2 heures à température ambiante. L'absorbance de chaque solution a été lue à 765 nm contre un blanc par unspectrophotomètre.

II.4.1.3. Expression des résultats

La concentration des polyphénols totaux est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage établie avec l'acide gallique à différentes concentrations (10-100 μ g/ml) et exprimée en microgramme d'équivalent d'acide gallique par milligramme d'extrait (μ g EAG/mg).

II.4.2. Dosage des flavonoïdes

II.4.2.1. Principe

La procédure la plus courante pour déterminer la teneur totale en flavonoïdes est un dosage spectrophotométrique (**Popova, 2004**), basée sur la formation d'un complexe très stable, entre le chlorure d'aluminium et les atomes d'oxygène présent sur les carbones 4 et 5 des flavonoïdes (**Ali-Rachedi, 2018**). Dans ce dernier, un couleur jaune se forme indiquant la formation de ce complexe entre le chlorure d'aluminium et le composé phénolique o-hydroxy carbonylé (**Ribéreau-Gayon, 1968**).

II.4.2.2. Mode opératoire

La teneur en flavonoïdes totaux est déterminée selon la méthode décrite par **Djeridane et al. (2006)**. 500 μ l d'extrait a été ajouté à un volume égal d'une solution d' $AlCl_3$ (2% dans le

méthanol) le mélange est soumis à une agitation au vortex. L'absorbance à 430 a été lue nm, après dix minutes d'incubation.

II.4.2.3. Expression des résultats

Les taux des flavonoïdes des extraits ont été calculés à partir de la courbe d'étalonnage de la quercitrine à des concentrations de (0,25 à 40 µg/ml) pratiquée dans les mêmes conditions opératoires que celle d'échantillon. Les résultats sont exprimés en microgramme d'équivalent de la quercétine par milligramme d'extrait (µg EQ /mg E).

II.5. Activité antioxydante

II.5.1. Test de piégeage du radical libre DPPH (2,2-diphényle-1-picrylhydrazyl)

II.5.1.1. Principe

Afin d'étudier l'activité anti-radicalaire, nous avons utilisé la méthode de piégeage du radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl (test DPPH) : Il s'agit de la méthode la plus simple et la plus répandue pour évaluer l'activité antioxydant des aliments et de nombreux médicaments d'origine végétale comme un radical relativement stable (**Ghedadba, 2014**). La solution d'alcool de DPPH est de couleur violette foncée caractérisée par son spectre UV avec une absorption maximale à 517 nm (**Noureddine, 2015**). Lorsqu'une solution de DPPH est mélangée à une substance qui peut donner un atome d'hydrogène, cela donne lieu à la forme réduite (diphényl picryl hydrazine ; non radicalaire) avec une perte de violet (jaune pâle du groupe picryl présent). Dans ce test, une solution de radical est décolorée après réduction par un antioxydant (AH) ou un radical(R) (**Dontha, 2016**).

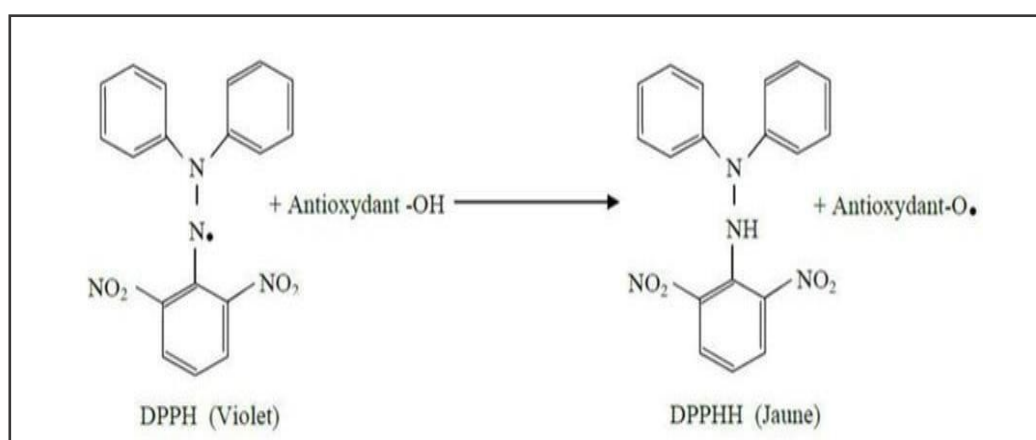


Figure 4 : Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH (**Endo et al 2006**).

II.5.1.2. Mode opératoire

Brièvement, 2,4mg de DPPH dans 100 ml de méthanol. 25µl de différentes dilutions l'extrait de la plante ou d'acide ascorbique comme standard (0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 ; 2,5 et 3 mg/ml), sont ajouté à 975 µl de solution méthanolique de DPPH. Le mélange obtenu est ensuite gardé à l'abri de la lumière à la température ambiante pendant 30 minutes. La lecture est effectuée par la mesure de l'absorbance à 517 nm (**Mansouri et al., 2005**).

II.5.1.3. Expression des résultats

En présence d'un antioxydant, l'intensité d'absorption est diminuée et la décoloration résultante est stœchiométrique en ce qui concerne le nombre d'électrons captés (**Bastos et al., 2007**). Les résultats sont exprimés en tant que l'inhibition des radicaux libres en pourcentages (I %) en utilisant la formule suivante (**Wang et al., 2006**) :

$$I\% = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100$$

A₀ : Absorbance du Control négatif ; **A₁** : Absorbance de l'extrait testé.

Ou en calculant l'IC₅₀ qui est la concentration en extrait nécessaire pour réduire 50% du radical DPPH.



Chapitre II : Résultats et discussion

II. Etude phytochimique

II.1. Détermination de rendement de l'extraction

L'extraction par macération dans le mélange (MeOH/H₂O : 7/3, v/v) nous a permis d'obtenir les quantités (g) récupérées. La couleur, l'aspect ainsi que le rendement de l'extrait par rapport au poids sèches sont représentés dans le tableau 6 ci-dessous.

Tableau 6 : Le rendement de l'extrait éthanolique de *Bunium mauritanicum*.

Extrait	Couleur	Aspect	Rendement
ETOH	Marron	pâteux	19.72%

L'extraction a été faite après le séchage de la plante à l'obscurité qui empêche les transformations chimiques telles que l'isomérisation et la dégradation causées par les radiations ultraviolettes de la lumière solaire, l'utilisation de la poudre à la place de la plante entière pour augmenter la surface du contact avec le solvant et faciliter sa pénétration dans les cellules qui ne sont pas endommagées après broyage donc le but c'est l'amélioration (**Jones et Kinghorn, 2005**).

Les résultats obtenus montrent que le rendement de l'extrait éthanolique est de l'ordre de 19.72%.

En comparant le rendement en extrait éthanolique avec celui d'extrait méthanolique des autres travaux, on trouve qu'il est relativement élevé. A titre d'exemple, un rendement de 1,82% a été enregistré pour l'extrait obtenu à partir des parties aériennes dans le travail réalisé par **El kolli et al. (2017)**, de 7,81% à partir des tubercules récoltés de la région Aïn Dis de la wilaya d'Oum El-Bouaghi (**Karouche et al., 2020**), on a 3,36 % à partir des tubercules récoltés de la région M'sila (**Dehimi et al., 2020**) puis on trouve 7,1 % à partir des graines récoltées de la région Telemann (**Toul et al., 2022**).

Le rendement de l'extraction dépend de plusieurs facteurs à savoir la méthode d'extraction, les différentes origines géographiques de la plante, la période de la récolte de l'échantillon ainsi que le PH de milieu d'extraction, la durée de macération du matériel végétal et la température (**Chaabani, 2019**).

Il est difficile de comparer ces résultats avec ceux de la bibliographie de manière générale à cause de la variation des teneurs en extraits secs nos seulement d'une plante à une autre de la même famille mais aussi en fonction des autres paramètres (Majehnic *et al.*, 2007). Ainsi, les différences pourraient être expliquées selon Bansal *et al.* (2013) ; Oussalah et Saiche. (2014) par la méthode, la nature de la composition chimique, la nature du solvant (éthanol, méthanol ou eau...), la durée et les conditions de stockage, l'âge de la plante et autres...

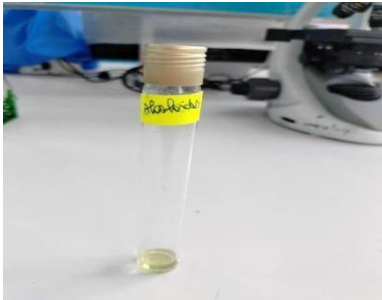
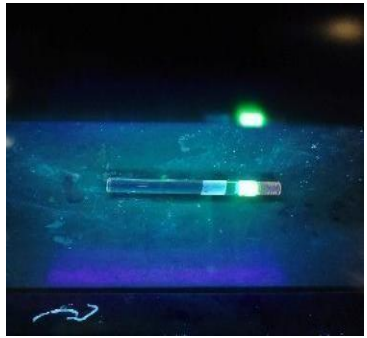
I.2. Analyse qualitative

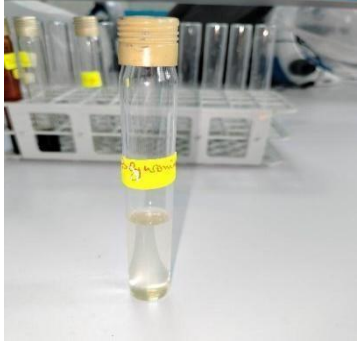

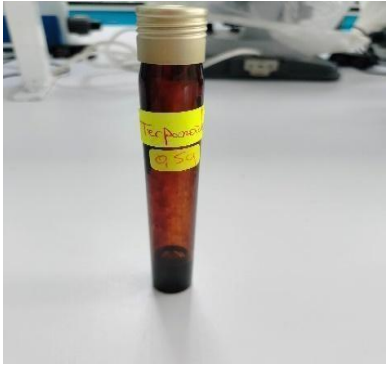

I.2.1. Screening g phytochimique





Des tests phytochimiques ont été réalisés sur la plante de *Bunium mauritanicum* afin de déterminer les métabolites secondaires. Afin d'avoir une idée sur la nature chimique des métabolites secondaires, nous avons effectué un screening. Phyto-chimiques Cette étude a utilisé un seul extrait brut de la partie aérienne de *Bunium mauritanicum* basé sur les réactions chimiques conduisant à la formation de coloration ou de précipité.

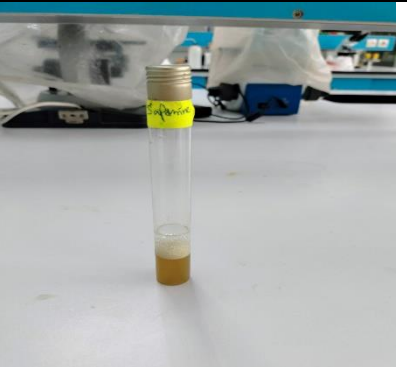
Les résultats expérimentaux des tests phytochimiques figurent dans le tableau ci-après :

Tableau 7 : Résultat de screening phytochimique de la plante *Bunium mauritanicum*.

Les métabolites secondaire	Présence /absence	Observation	
Des alcaloïdes	-	Il n'y a pas de précipitations blanches	
Des coumarines	+	Présent une fluorescence intense sous UV	

Des polyonides	+	Il y a un précipité épais	
Les composés réducteurs	-	L'absence de précipitation rouge brique	
Les terpénoïdes	+	Apparition d'une coloration Brun rougeâtre	
Les mucilages	+	Formation d'une précipitation	

<p>Les flavonoïdes</p>	<p>-</p>	<p>La couleur rouge ne se forme pas</p>	
<p>Des stéroïdes</p>	<p>-</p>	<p>Un anneau violet ne se forme pas</p>	
<p>Les composés phénoliques</p>	<p>+</p>	<p>Aspect bleu verdâtre</p>	
<p>Des tanins Catéchique</p>	<p>+</p>	<p>Coloration brune verdâtre</p>	

Des saponines	+	Formation d'une mousse ersistante	
---------------	---	--------------------------------------	---

+ : réaction positive - : Absence totale

Les résultats de criblage phytochimique effectués sur la partie aérienne de la plante de *Bunium mauritanicum*, on en déduit que l'extrait éthanolique de la plante *Bunium mauritanicum* a contenu les molécules suivantes : les coumarines, les polyuronides, les mucilages, les composés phénoliques, les terpénoïdes et les tanins. Une composition similaire a été enregistré sur les feuilles de la même espèce *Bunium mauritanicum*, Ils ont contenu les triterpènes, les alcaloïdes, les tanins, les coumarines, les polyuronides et une trace des saponines à l'exception de la présence des huiles essentielles, les stérols, les flavones aglycones (**Karouche et al., 2022**).

I.2.3. Analyse quantitative

1.2.3.1. Teneur des polyphénols totaux

La détermination de la teneur en phénol total dans l'extrait éthanoïque de la *Bunium mauritanicum*, est estimée par la méthode de Folin-Ciocalteu. L'acide gallique est le standard (Figure 5) utilisé dans cette méthode.

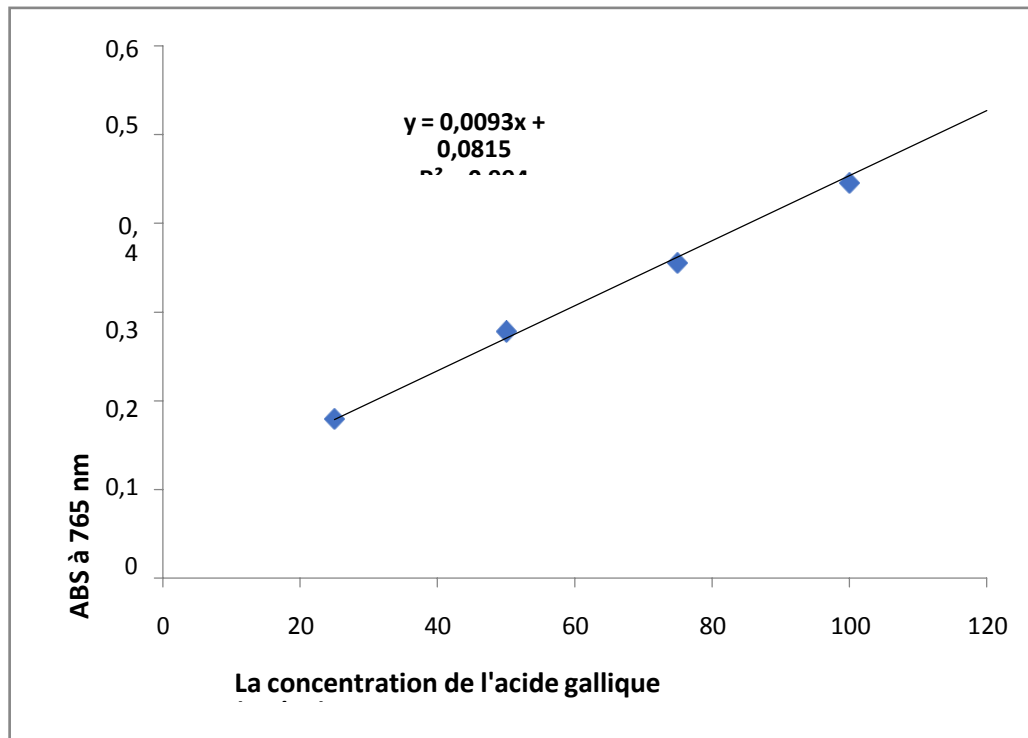


Figure 5 : Droite d'étalonnage de l'acide gallique.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant. Les teneurs ont été rapportées en μg équivalent d'acide gallique/mg d'extrait du matériel végétal.

Tableau 8 : Teneur en polyphénols de l'extrait éthanolique de plante *Bunium mauritanicum*

Extrait	Teneur en polyphénols
Extrait éthanolique	65.64 ± 0.369^a

(a) μg d'équivalent d'acide gallique par mg d'extrait. Les valeurs représentent la moyenne de 3 mesures \pm SD

Les résultats du dosage des polyphénols totaux montrent que l'extrait de *Bunium mauritanicum* est riche en polyphénol, dont la valeur est de $65.64 \pm 0.369 \mu\text{g}$ d'équivalent d'acide gallique /mg d'extrait.

En modifiant, le solvant d'extraction dans l'étude de **El kolli et al. (2017)** sur l'extrait méthanolique de la partie aérienne, une teneur très élevée a été enregistrée avec une valeur de $236.6 \mu\text{g}$ EAG/mg E. (**Toul et al., 2022**), ont trouvé des valeurs supérieures aussi pour l'extrait méthanolique des graines avec des teneurs de $185,04 \pm 4,0 \text{ mg}$ EAG/g E. Par contre **Dehimi et al. (2020)** ont rapporté dans leurs travaux des teneurs plus faibles avec $13,00 \mu\text{g}$ EAG/mg E.

Cette différence dans les teneurs peut être expliquée par plusieurs facteurs :

- Les composés phénoliques sont plus élevés lorsque le milieu de vie de la plante est défavorable, auquel cas la plante favorise la synthèse de métabolites secondaires pour l'adaptation et la survie (**Apak et al., 2007**).
- La solubilité des composés phénoliques est en fait régie par le type de solvant utilisé, le degré de polymérisation des composés phénoliques et composition des complexes insolubles (**Fellah et al., 2008**).

1.2.3.2. Teneur des flavonoïdes totaux

Les teneurs en flavonoïdes dans l'extrait de *Bunium mauritanicum* ont été estimées par la méthode de trichlorure d'aluminium. Les résultats obtenus sont représentés dans une courbe d'étalonnage à l'aide de différentes concentrations de la quercétine.

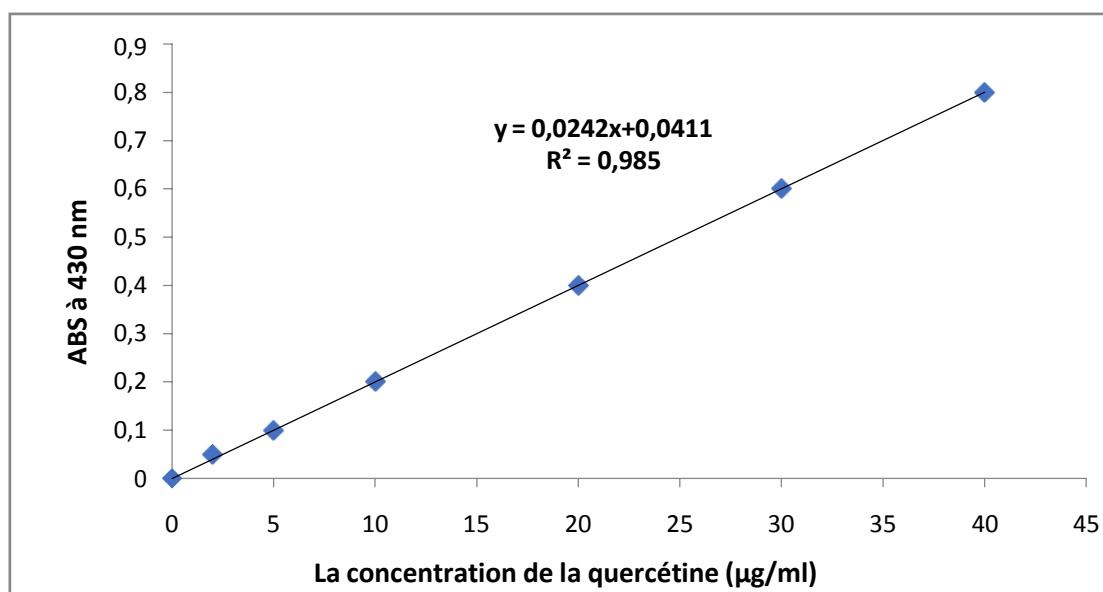


Figure 6 : Droite d'étalonnage de la quercétine.

La teneur en flavonoïdes a été rapportées en microgramme équivalent de quercétine par un milligramme d'extrait de matériel végétal ($\mu\text{g EQ/mg}$ d'extrait) à partir une l'équation de la régression linéaire avec un coefficient de régression $R^2 = 0.985$.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Teneur en flavonoïdes de l'extrait éthanolique de la plante *Bunium mauritanicum*.

Extrait	Teneur en Flavonoïdes ^b
Extrait éthanolique	35,69±0,255

(b) μg d'équivalent de la quercétine par mg d'extrait. Les valeurs représentent la moyenne de 3 mesures \pm SD

La détermination quantitative des teneurs en flavonoïdes totaux de l'extrait brut étudié révèle que ce dernier était plus faible en teneur des flavonoïdes 35,69±0,255 $\mu\text{g EQ/mg}$ d'extrait).

Nos résultats sont supérieurs à ceux de **Karouche et al. (2020)** et **Dehimi et al. (2020)**, qui indiquent que l'extrait éthanolique de la même espèce, présentent des teneurs de 4,031±0.141 et de 16.32±0.05 μg équivalent de la quercétine par mg d'extrait respectivement

En utilisant le méthanol comme solvant d'extraction, d'après une étude réalisée par **Toul et al. (2022)**, ont rapporté un teneur en flavonoïdes plus élevé avec une valeur de 72,07±3,80 (mg EQ/g E).

En effet, le teneur des flavonoïdes varie, cela peut être attribué plusieurs facteurs :

- La saison de croissance, la diversité, les conditions environnementales et climatiques, les maladies des plantes, le type de sol, les emplacements géographiques et même la maturité affectent la concentration des composés phénoliques (**Park et Cha, 2003**).
- La répartition des métabolites secondaires peut fluctuer entre différents organes végétaux et peut changer au cours développement (**Karouche et al., 2022**) ; (**Falleh et al., 2008**).

II. Activité antioxydant

Les résultats obtenus lors du test de mesure de pourcentage DPPH (1,1- Diphenyl-2-picrylhydrazyl) sont enregistrés Les résultats de notre extrait éthanolique dans la figure suivante :

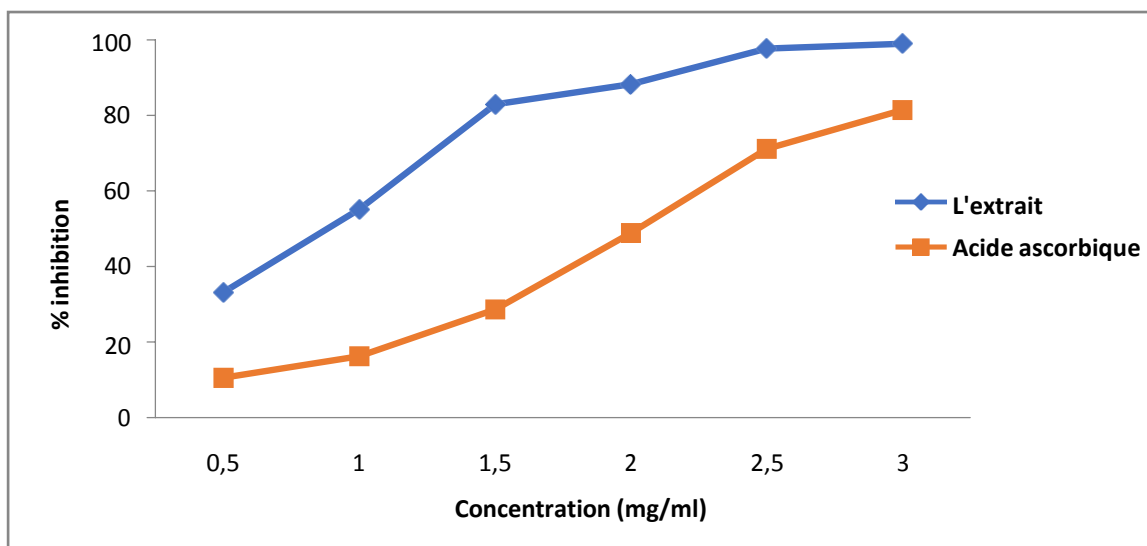


Figure 7 : Pourcentage d'inhibition de l'extrait et de l'acide ascorbique.

On remarque que l'activité antioxydant de l'extrait éthanolique de *B.mauritanicum* ainsi que d'acide ascorbique est fortement augmente de leurs concentrations. Il semble que l'extrait a présenté une forte activité antioxydante avec un pourcentage d'activation de l'ordre de 98,97% qui est supérieures à celui de l'acide ascorbique prise comme référence, pour toutes les concentrations utilisées.

Notre résultat sont nettement inférieures, en comparant les pourcentages d'inhibition obtenus par l'extrait MEOH des tubercules de *Bunium mauritanicum* selon l'étude présentée

par **Karouche et al. (2020)**, qui ont trouvé des pourcentages d'inhibition de 75.407% pour une concentration égale 0,4mg/ml.

Détermination d'IC₅₀

IC₅₀ est inversement lié à la capacité antioxydante d'un composé, car il exprime la quantité d'antioxydant requise pour diminuer la concentration du radical libre de 50%. Plus la valeur d'IC₅₀ est basse, plus l'activité antioxydante d'un composé est grande, cette activité est mesurée comparativement à l'acide ascorbique (antioxydant standard) (**Ismaili et al., 2017**). Les calculs des IC₅₀ sont schématisés sur le tableau suivant :

Tableau 10 : IC₅₀ de l'extrait et de l'acide ascorbique.

Extrait et standards	IC ₅₀ (mg/ml)
Extrait	1,675 ± 0,013
Acide ascorbique	4,016 ± 0,0036

Comme figurant dans le tableau ci-dessus, l'extrait éthanolique représente un IC₅₀= 1,675 ± 0,013 mg/ml suivi par l'acide ascorbique avec IC₅₀= 4,016±0,0036 mg/ml.

Les résultats obtenus pour les propriétés antioxydantes de l'extrait éthanolique de *B. mauritanicum* dans ce travail sont conformes à ceux rapportées par **Aiouaz et Arezki. (2022)**, sur l'extrait brut qui a montré une activité similaire avec un IC₅₀ de l'ordre de 1.602± 0,002 mg/ml.

Une autre étude réalisée par **El kolli et al. (2017)**, qui ont montré que l'extrait méthanolique de la partie aérienne de la même espèce, a été présenté une forte activité antiradicalaire avec un IC₅₀ de 55.77±3.25 µg/ ml, par contre les résultats des extraits de tubercules ont montré une faible activité réductrice contre le radical DPPH avec des valeurs IC₅₀ égales à 21,11 mg/ml, tandis que aucune activité n'a été enregistrée l'extrait aqueux même pour la dose la plus élevée testée 21 mg/ml (**Dehimi et al., 2020**).

Diverses études ont déterminé expérimentalement les capacités des extraits naturels à piéger les radicaux libres. Cette activité dépend d'un certain nombre de paramètres : la dose, la structure, les substituants et le degré de polymérisation de la molécule type de solvants, pH.



Conclusion

Conclusion

Pendant très longtemps, les plantes médicinales ont été un produit fini destiné à la consommation et une matière première pour l'obtention de substances actives, et en effet les substances naturelles issues des plantes présentent un intérêt connu pour leur propriété thérapeutique. *Bunium mauritanicum* de la famille des Apiaceae est une plante médicinale importante qui trouve son application dans le domaine médical.

Cette étude a porté sur le criblage phytochimique ainsi que l'évaluation de l'activité antioxydante de l'extrait brut éthanolique de la partie aérienne de *Bunium mauritanicum*. Le rendement de l'extraction est estimé à 19,72%.

Le criblage phytochimique effectué par les réactions de caractérisation nous a permis de mettre en évidence la présence de différents métabolites secondaires comme : les coumarines, les polyuronides, les mucilages, les composés phénoliques, les tarpenoïdes, des tanins.

L'analyse quantitative représentée par le dosage spectral des composés phénoliques et flavonoïdes contenus dans l'extrait a révélé des teneurs considérables en polyphénol que des flavonoïdes avec des taux estimés à 65,64 µg EAG/mg E et 35,69µg EQ/mg E.

L'étude du pouvoir antioxydant par la méthode de DPPH a confirmé les propriétés puissantes de réduire Ce radical libre avec un IC₅₀ égal à 1,675 ± 0,013 mg/ml.

Pour conclure, d'après notre étude, la plante médicinale de *Bunium mauritanicum* possède une bonne activité antioxydante et des substances bioactives naturelles qui pourraient être utilisées en pharmacologie dans le traitement ou la prévention de diverses maladies liées au stress oxydatif. Cependant, Il serait souhaitable de mener une étude plus approfondie afin d'isoler et de caractériser les principes actifs responsables de ces propriétés antioxydantes et d'évaluer d'autres activités biologiques *in vitro* et *in vivo* de chacun de ces composés pris séparément.



Références Bibliographie

(A)

- Afonso V., Champy R., Mitrovic D., Collin P., Lomri A. (2007).** Radicaux libres dérivés de l'oxygène et superoxydes dismutases : rôle dans les maladies rhumatismales. *Revue du rhumatisme*, 74(7): 636-643.
- Ahmad P., Jaleel C. A., Azooz M. M., Nabi, G. (2009).** Generation of ROS and non-enzymatic antioxidants during abiotic stress in plants. *Botany Research International*, 2(1): 11-20.
- Aiouaz M., Arezki B. (2022).** *Bunium incrassatum* Bois.Trab (Talghouda) in the improvement of thyroid tissue damages in female rats. *Journal of Fundamental and Applied Pharmaceutical science*. 2:2.
- Albert M. G., Rousselot D. B., Abedinzadeh, Z., Jore, D. (2003).** Espèces réactives de l'oxygène : comment l'oxygène peut-il devenir toxique. *L'Actualité Chimique*, 11: 91-96.
- Ali-Rachedi F., Meraghni S., Touaibia N., Mesbah S. (2018).** Analyse quantitative des composés phénoliques d'une endémique algérienne *Scabiosa Atropurpurea* sub. *Maritima* L. *Bulletin de la société royale des sciences de liège*. 12: 13 -21
- Aniszewski T. (2007).** *Alkaloids-Secrets of Life: Alkaloid Chemistry, Biological Significance, Applications and Ecological Role*. Elsevier.
- Antolovich M., Prenzler P. D., Patsalides E., McDonald S., Robards K. (2002).** Methods for testing antioxidant activity. *Analyst*, 127(1): 183-198.
- Apak R, Güçlü K., Demirata B., Özyürek M., Çelik S. E., Bektaşoğlu B., Berker K. I., Özyurt D. (2007).** Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compound with the CUPRAC assay. *Molécules*, 12(7) : 1496-1547.
- Awor R., Samseny R. (2003).** Contribution à l'étude phytochimique d'une plante traditionnellement utilisée comme poison d'épreuve au Gabon : *le Strychnos Icaja* Baillon (*Mbundu*), *Loganiacée*. Thèse, Université de Bamako, Faculté de Médecine, de Pharmacie, Odonto - Stomatologie.
- Ayoola G.A., Coker H.A., Adesegun S.A., Adepoju A.A., Obaweya K., Ezennia E.C., (2008).** Atangbayila1 Phytochemical screening and antioxidant activities of some selected medicinal plants used for Malaria therapy in southwestern nigeria. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 7: 3, 1019-1024.

(B)

- Badiaga M. (2011).** Etude ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de *Nauclea latifolia* Smith, une plante médicinale africaine récoltée au Mali (Doctoral dissertation, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II).
- Badri S., Basu V. R., Chandra K., Anasuya D. (2019).** A review on pharmacological activities of alkaloids. *World Journal of Current Medical and Pharmaceutical Research*, 230-234.
- Badria F. A., Blumenberg M. (2021).** Phenolic Compounds: Chemistry, Synthesis, Diversity, Non-Conventional Industrial, Pharmaceutical and Therapeutic Applications. Bod-Books on Demand.
- Bahorun T. (1998, March).** Substances naturelles actives: la flore mauricienne, une source d'approvisionnement potentielle. *In Second Annual Meeting of Agricultural Scientists*. 83: 83-94.
- Bammou M., Daoudi A., Slimani I., Najem M., Bouiamrine E. H., Ibijbijen J., Nassiri L. (2015).** Valorisation du lentisque « *Pistacia lentiscus L.* » : Étude ethnobotanique, Screening phytochimique et pouvoir antibactérien. *Journal of applied biosciences*, 86: 7966-7975.
- Bansal S., Choudhary S., Sharma M., Kumar S.S., Lohan S., Bhardwaj V., Syan N. et Jyoti S. (2013).** Tea: A native source of antimicrobial agents. *Food Research International*, 53: 568-584.
- Barouki R. (2006).** Stress oxydant et vieillissement. *Médecine/sciences*, 22(3): 266-272.
- Bastos D. H. M., De Oliveira D. M., Matsumoto R. T., Carvalho P. D. O., Ribeiro M. L. (2007).** Yerba mate: pharmacological properties, research and biotechnology. *Med Aromat Plant Sci Biotechnol*, 1(1): 37-46.
- Battandier A., Trabut R., Amarani A., Berretima W., Nouari D., & Riab M. (1985).** Effet de l'extrait aqueux d'une plante médicinale sur les fonctions de glande thyroïde et certains paramètres physiologiques chez les rats traités par un pesticide.
- Baudin B. (2021).** Oligoéléments cofacteurs enzymatiques. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2021(533): 18-24.
- Belaïch R., Boujraf S. (2016).** Facteurs inflammatoires et stress oxydant chez les hémodialysés : effets et stratégies thérapeutiques. *Médecine des maladies Métaboliques*, 10(1) : 38-42.
- Bensakhria A. (2018).** Le stress oxydatif. *Toxicologie générale*, 70-86.
- Bentabet Lasгаа N. (2015).** Étude phytochimique et évaluation des activités biologiques de deux plantes *Fredoliaaretioides* et *echiumvulgare* de l'ouest algérien. Thèse de doctorate, 20-21.
- Beyer R. E. (1992).** An analysis of the role of coenzyme Q in free radical generation and as an antioxidant. *Biochemistry and Cell Biology*, 70(6): 390-403.

Bidie A. P., N'guessan B. B., Yapo A. F., N'Guessan J. D., Djaman A. J. (2011). Activités antioxydants de dix plantes médicinales de la pharmacopée ivoirienne. *Sciences & Nature*, 8(1-2): 1-12.

Blokhina O., Virolainen E., Fagerstedt K. V. (2003). Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of botany*, 91(2): 179-194.

Bohui P. S. G., Adima A. A., Niamké F. B., N'Guessan J. D. (2018). Etude comparative de trois méthodes d'extraction des flavonoïdes totaux à partir des feuilles de plantes médicinales : *Azadirachta indica* et *Psidium guajava*. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, 46 :50-58.

Boumediou A., Addoun S. (2017). Etude Ethnobotanique sur l'usage des plantes toxiques, en médecine traditionnelle, dans la ville de Tlemcen (Algérie).

Bousetla A., Kurkcuoglu M., Konuklugil B., Baser K.H.C., Rhouati S. (2014). Composition d'huile essentielle de *Bunium incrassatum* d'Algérie. *Journal du naturel composés*, 50 :4.

Bousetla A., Zellagui A., Derouiche K., Rhouati S. (2011). Constituants chimiques de la racine de *Bunium incrassatum* algérien et évaluation de son activité antimicrobienne. *Arabe Journal of Chemistry*, 8:313-316.

Bribi N. (2018). Pharmacological activity of alkaloids: a review. *Asian journal of botany*, 1(1):1-6.

Bruneton J. (1999). Pharmacognosie, Phytochimie – Plantes médicinales – 3ème Ed Techniques et documentations. Paris. pp : 227-.494

(C)

Casciaro B., Mangiardi L., Cappiello F., Romeo I., Loffredo M. R., Iazzetti A., Quaglio D. (2020). Naturally-occurring alkaloids of plant origin as potential antimicrobials against antibiotic-resistant infections. *Molecules*, 25(16): 19-36.

Chaabani E. (2019). Eco-extraction et valorisation des métabolites primaires et secondaires des différentes parties de *Pistacia lentiscus* (Doctoral dissertation, Université d'Avignon ; Université de Carthage (Tunisie).

Chai W., Cooney R. V., Franke A. A., Shvetsov Y. B., Caberto C. P., Wilkens L. R., ... & Goodman, M. T. (2010). Plasma coenzyme Q10 levels and postmenopausal breast cancer risk: the multiethnic cohort studycoenzyme Q10 and postmenopausal breast cancer risk. *Cancer epidemiology, biomarkers & prevention*, 19(9): 2351-2356.

Cheng A. X., Lou Y. G., Mao Y. B., Lu S., Wang L. J., Chen X. Y. (2007). Plant terpenoids: biosynthesis and ecological functions. *Journal of integrative plant biology*, 49(2): 179-186.

Chentouh S., Boulahbel S., Adjal F., TOLBA M., ALLOUA N., MOUMEN Y., et al. (2018). Effets des extraits organiques de *Bunium incrassatum* sur quelques paramètres.

hematologiques chez les lapines de Population la race locale. *Revue des Bioressources*, 8(2).

Cillard J., Cillard P. (2006). Mécanismes de la peroxydation lipidique et des anti-oxydations. *Oleagineux, corps grass, lipids*, 13(1): 24-29.

Cowan M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical microbiology reviews*, 12(4): 564-582.

Crozier A., Clifford M. N., Ashihara H. (Eds.). (2006). Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet. Edt Blackwell Publishing Ltd. Thèse Présentée Par Mme Belyagoubi Née Benhamou Nabila.

(D)

Daoudi A., Hrouk H., Belaidi R., Slimani I., Ibijbijen J., Nassiri L. (2016). Valorisation de *Ruta montana* et *Ruta chalepensis* : étude ethnobotanique, screening phytochimique et pouvoir antibactérien. *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(3): 685-1063.

Das T. K., Banerjee D., Chakraborty D., Pakhira M. C., Shrivastava B., Kuhad R. C. (2012). Saponin: role in animal system. *Veterinary World*, 5(4): 248.

Defraigne J. O., Pincemail, J. (2008). Stress oxydant et antioxydants : mythes et réalités. *Revue médicale de Liège*, 63.

Degtjareva G. V., Kljuykov E. V., Samigullin T. H., Valiejo-Roman C. M., Pimenov M. G. (2009). Molecular appraisal of *Bunium* and some related arid and subarid geophilic *Apiaceae*–*Apioideae* taxa of the Ancient Mediterranean. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 160(2): 149-170.

Dehimi K., Djoudi Z., Boulaouad A., Maadadi A.R., Dahamna S., Khennouf S. (2020). A Contribution to the valorization of two medicinal plants: *Atriplex Halimus* Sub. Sp. *Schweinfurthii* and *Bunium Incrassatum*, growing in the region of Msila (North-East Algeria). *Indian journal of novel drug delivery*, 12(4): 208-216.

Djeridane M., Yousfi M., Nadjema B., Boutassouna D., Stocher P. and Vidal N. (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food chemistry*, 97(4):654-660.

Djerri L. (2011). Contribution à l'étude des huiles essentielles et des métabolites secondaires de trois plantes algériennes de la famille des *Apiaceae* (*Daucus reboudii* coss. Ex Batt. & Trab., *Kundmannia sicula* (L.) DC., et *Elaeoselinum thesioides* Maire). Thèse de doctorat en Chimie Organique. Université mentouri de constantine.

Dohou R., Yamni, K., Tahrouch S., Hassani L. I., Badoc A., Gmira N. (2003). Screening phytochimique d'une endémique iberomarocaine, *Thymelaea lythroides*. *Bulletin-Société de Pharmacie de Bordeaux*, 142(1/4): 61-78.

Dontha S. (2016). A review on antioxidant methods. *Asian J. Pharm. Clin. Res*, 9(2): 14-32.

(E)

El kolli H., Laouer H., El kolli M. (2017). chemical composition and biological activities of the essential oils and the methanolic extracts of *Bunium Incrassatum* and *Bunium Alpinum* from Algeria. *J. Chil. Chem. Soc*, 62 (1): 3335-3341.

El kolli M., Laouer H., El Kolli H., Akkal S., Sahl F. (2016). Chemical analysis, antimicrobial and anti-oxidative properties of *Daucus gracilis* essential oil and its mechanism of action, *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6(1):8-15.

Elias R. J., Kellerby S. S., Decker E. A. (2008). Antioxidant activity of proteins and peptides. *Critical reviews in food science and nutrition*, 48(5): 430-441.

Endo T., Fukunaga T., Yoshimura T., Esumi, K. (2006). Scavenging DPPH radicals catalyzed by binary noble metal–dendrimer nanocomposites. *Journal of colloid and interface science*, 302(2): 516-521.

(F)

Falleh H., Ksouri R., Chaieb K., Karray-Bouraoui N., Trabelsi N., Boulaaba M., Abdelly, C. (2008). Phenolic composition of *Cynara cardunculus L.* organs, and their biological activities. *Comptes rendus biologies*, 331(5): 372-379.

Fathallah-Shaykh, S. A., Cramer M. T. (2014). Uric acid and the kidney. *Pediatric nephrology*, 29(6): 999-1008.

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

Filliat Palomat. (2012). Les plantes de la famille des *Apiacées* dans les troubles digestifs.

Frutos P., Hervas G., Giráldez F. J., Mantecón A. R. (2004). Tannins and ruminant nutrition. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2(2): 191-202.

(G)

Gagi S., Toubal S.(2018). Contribution à l'étude phytochimique et évaluation de l'activité antibactérienne d'une plante médicinale endémique Talghouda : *Bunium incrassatum*.

Genet C., Michalski M. C. (2010). Impact métabolique des structures et de l'oxydation des lipides dans les aliments. *Innovations Agronomiques*, 10: 43-67.

Ghedadba N., Bousselfela H., Hambaba L., Benbia S., Mouloud Y. (2014). Évaluation de l'activité antioxydant et antimicrobienne des feuilles et des sommités fleuries de *Marrubium vulgare L.* *Phytothérapie*, 12(1): 15-24.

Giordano C., Karasik O., King-Morris K., Asmar A. (2015). Uric acid as a marker of kidney disease: review of the current literature. *Disease markers*, 2015.

Glantzounis G. K., Tsimoyiannis E. C., Kappas A. M., Galaris D. A. (2005). Uric acid and oxidative stress. *Current pharmaceutical design*, 11(32): 4145-4151.

Golebiowski M., Biskup E., Szyklarz B., Borsuk K., Stepnowski P., Lojkowska, E. (2013). Composition and biological activity of *Rhaponticum carthamoides* extracts obtained from plants collected in Poland and Russia. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(11): 687-695.

Goudable J., Favier A. (1997). Radicaux libres oxygénés et antioxydants. *Nutrition clinique et metabolism*, 11(2), 115-120.

Guillaume D., Charrouf Z. (2005). Saponines et métabolites secondaires de *l'arganier* (*Argania spinosa*). *Cahiers Agricultures*, 14(6): 509-516.

(H)

Haleng J., Pincemail J., Defraigne J.O., Charlier C., Chapelle J. P. (2007). Le stress oxydant. *Revue médicale de Liège*, 62(10).

Hatia S., Septembre-Malaterre A., Le Sage F., Badiou-Bénéteau A., Baret P., Payet B., Gonthier M. P. (2014). Evaluation of antioxidant properties of major dietary polyphenols and their protective effect on 3T3-L1 preadipocytes and red blood cells exposed to oxidative stress. *Free radical research*, 48(4): 387-401.

Hermes-Lima M. (2004). Oxygen in biology and biochemistry: role of free radicals. *Functional metabolism: regulation and adaptation*, 1: 319-66.

Hostettmann K., Marston A. (1995). Saponins, Chemistry and Pharmacology of Natural Products.

Hussain M. I., Qamar Abbas S., Reigosa M. J. (2017). Activities and novel applications of secondary metabolite coumarins. *Planta Daninha*, 36.

Hussain M., Debnath B., Qasim M., Bamisile B. S., Islam W., Hameed M. S., Qiu D. (2019). Role of saponins in plant defense against specialist herbivores. *Molecules*, 24(11): 2067.

(I)

Ismaili R., Houbairi S., Lanouari S., Moustaid K., Lamiri A. (2017). Etude de l'activité antioxydante des huiles essentielles de plantes aromatiques et médicinales marocaines, 13:1857-7431.

(J)

Jacotot, B., & Campillo, B. (2003). Nutrition Humaine. Masson. Paris.127-163.

Jahangeer M., Fatima R., Ashiq M., Basharat A., Qamar S. A., Bilal M., Iqbal, H. M. (2021). Therapeutic and biomedical potentialities of terpenoids—A review. *J. Pure Appl. Microbiol*, 15: 471-483.

Jarmo H. K., Himanen S. J., Yuan J. S., Chen F., Stewart C. N. (2013). Ecological functions of terpenoids in changing climates. *Natural products*, 2913-2940.

Jones W. P., & Kinghorn A. D. (2005). Extraction of plant secondary metabolites. *Natural products isolation*, 323-351.

(K)

Karouche S., Benbott A., Henouda S., Malki S., Boudchicha I. (2020). Evaluation of Phenolic content and biological activities of *Bunium mauritanicum* tubers. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 12(2): 916-930.

Karouche S., Benbott, A., Henouda, S. (2022). Contenu phénolique et activités biologique des feuilles de l'espèce *Bunium mauritanicum*.

Kattoor A. J., Pothineni N. V. K., Palagiri D., Mehta J. L. (2017). Oxidative stress in atherosclerosis. *Current atherosclerosis reports*, 19: 1-11.

Koechlin-Ramonatxo C. (2006). Oxygène stress oxydant et suppléments antioxydants ou un aspect différent de la nutrition dans les maladies respiratoires. *Nutrition clinique et métabolisme*, 20(4): 165-177.

Krief S. (2003). Métabolites secondaires des plantes et comportement animal : Surveillance sanitaire et observations de l'alimentation des chimpanzés (*Pan troglodytes schweinfurthii*) en Ouganda. Activités biologiques et étude chimique de plantes consommées.

(L)

Lakache Z., Tigrine C., Aliboudhar H., Kameli, A. (2021). Composition chimique, activités anti-inflammatoire, antalgique et cytotoxique in vivo de l'extrait méthanolique des feuilles d'*Olea europaea*. *Phytothérapie*, 19(2): 83-92.

Lim K., Amarani A., Berretima W., Nouari D., Riab M. (2015). Effet de l'extrait aqueux d'une plante médicinale sur les fonctions de glande thyroïde et certains paramètres physiologiques chez les rats traités par un pesticide.

Lock O., Cabello I., Doroteo V.H. (2006). Analysis of flavonoids in plants. *Current Medicinal Chemistry*, 20: 6-11.

Long J., Zhang Y., Tan W., Liu W. (2010). Effect of different treatment rapeseeds on activity of cellulose enzyme in sheep. *Journal of Northeast Agricultural University (English Edition)*, 17(1): 57-61.

López V., Akerreta S., Casanova E., Garcí'a-Mina J.M., Caveró R.Y., Calvo M.I. (2007). In vitro antioxidant and anti-rhizopus activities of *Lamiaceae* herbal extracts. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 62:151-155.

(M)

Macheix J. J. (1996). Les composés phénoliques des végétaux : quelles perspectives à la fin du XXème siècle ? *Acta botanica gallica*, 143(6): 473-479.

Macheix J. J., Fleuriet A., Jay-Allemand C. (2005). Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. PPUR presses polytechniques.

Majhenic L., Kerget M.S., Knez Z. (2007). Antioxidant and antimicrobial activity guarana seed extracts. *Food Chemistry*, 104: 1258–1268.

Mansouri A., Embarek G., Kokkalou E. et Kefalas P. (2005). Phenolic profile and antioxidant activity of the Algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*). *Food chemistry*, 89(3), 411-420.

Mcelroy J. S., Kopsell D. A. (2009). Physiological role of carotenoids and other antioxidants in plants and application to turfgrass stress management. *New Zetland Journal of Crop and Horticultural Science*, 37(4): 327-333.

Mezouar D., Lahfa F. B., Djaziri R., Boucherit-Otmani, Z. (2014). Évaluation de l'activité antioxydante de *Berberis vulgaris* L. *Phytothérapie*, 12(5): 297-301.

Michel, F., Bonnefont-Rousselot, D., Mas, E., Draï, J., & Thérond, P. (2008, November). Biomarkers of lipid peroxidation: analytical aspects. *In Annales de biologie Clinique*, 66(6): 605-620.

Migdal C., Serres, M. (2011). Espèces réactives de l'oxygène et stress oxydant. *Médecine/sciences*, 27(4): 405-412.

Morena M., Martín-Mateo M., Cristol J. P., Canaud, B. (2002). Stress oxydant, hémoincompatibilité et complications de la dialyse au long cours. *Néphrologie*, 23(5): 201-208.

(N)

Nassar Z. D., Aisha A. A., Majid A. M. S. A. (2010). The pharmacological properties of terpenoids from *Sandoricum koetjape*.

Nathalie C. (2014). Effet protecteur du safran contre la cardiotoxicité de la doxorubicine en condition ischémique. Université de reims champagne-Ardenne, 11-16.

Neffati M., Sghaier M. (2014). Développement et valorisation des plantes aromatiques et médicinales (PAM) au niveau des zones désertiques de la région MENA (Algérie, Egypte, Jordanie, Maroc et Tunisie). *Observatoire du Sahara et du Sahel : Tunis, Tunisia*.

Noui A., Akkal S. (2018). Etude phytochimique et évaluation des activités biologiques de la plante *Daucus muricatus* (Apiaceae) (Doctoral dissertation, Université Frères Mentouri-Constantine 1).

Noureddine A., Saidat B., Bakchiche B., Matalan M. (2015). Etude comparative des indices d'activité antioxydante des essais du Cérium et du DPPH: Application sur trois plantes médicinales locales [Comparative study of antioxidant activity index by the tests of cerium and DPPH: Application on three local medicinal plants]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 13(3): 681.

(O)

Obrenovich M. E., Nair N. G., Beyaz A., Aliev G., Reddy V. P. (2010). The role of polyphenolic antioxidants in health, disease, and aging. *Rejuvenation research*, 13(6): 631-643.

Ojeil A., El Darra N., El Hajj Y., Mouncef P. B., Rizk T. J., Maroun R. G. (2010). Identification et caractérisation de composés phénoliques extraits du raisin château KSARA. *Lebanese Science Journal*, 11(2), 117-131.

(P)

Pagare S., Bhatia M., Tripathi N., Pagare S., Bansal Y. K. (2015). Secondary metabolites of plants and their role: Overview. *Current Trends in Biotechnology and Pharmacy*, 9(3): 293-304.

Park H. J., Cha H. C. (2003). Flavonoids from leaves and exocarps of the grape Kyoho. *Korean Journal of Biological Sciences*, 7(4): 327-330.

Pawlus A. D., Riviere C., Merillon J. M. (2012). Natural stilbenoids: distribution in the plant kingdom and chemotaxonomic interest in Vitaceae. *Natural product reports*, 29(11), 1317-1333.

Pincemail J., Bonjean K., Cayeux K., Defraigne J. O. (2002). Mécanismes physiologiques de la défense antioxydante. *Nutrition clinique et métabolisme*, 16(4): 233-239.

Pincemail J., Heusele C., Bonté F., Limet R., Defraigne J. O. (2001). Stress oxydant, antioxydants nutritionnels et vieillissement. *Actualité Médicale Internationale. Métabolismes-Hormones-Nutrition*, 5(4): 158-164.

Poisson-Moreau de Lizerieux C. (2013). Rôle du stress oxydant au niveau hépatique et rénal dans la toxicité de l'uranium après exposition chronique (Doctoral dissertation, Paris 11).

Popova M., Bankova V., Butovska D., Petkov V., Nikolova- Damyanova B., Sabatini A. G., Bogdanov, S. (2004). Validated methods for the quantification of biologically active constituents of poplar- type propolis. *Phytochemical Analysis: An International Journal of Plant Chemical and Biochemical Techniques*, 15(4): 235-240.

(R)

Regnault-Roger C., Philogene B. J. R., Vincent CH. (2008). Biopesticides d'origine végétale. Ed. Lavoisier, 259-280.

Ribéreau-Gayon P. (1968). Les Composés phénoliques des végétaux : Par Pascal Ribéreau-Gayon. Dunod.

Rosine C., Momo D. (2009). Evaluation de l'activité antidermatophytique des extraits au méthanol et fractions d'*acalyphamma hirtum (melastomatacees)*. Université de Dschang– Master en biochimie clinique et pharmacologie.

(S)

Sanogo R., Diallo D., Diarra S., Ekoumou C., Bougoudogo F. (2006). Activité antibactérienne et antalgique de deux recettes traditionnelles utilisées dans le traitement des infections urinaires et la cystite au Mali. *Med. Afr. Noire (En ligne)*: 18-24.

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

Sayuti K., Yenrina R. (2015). natural and synthetic antioxidants. Andalus University Press. Matter, 10-14.

Shen T., Xie, C. F., Wang X. N., Lou H. X. (2013). Stilbenoids. *Natural products*, 1901-1949.

Sies H. E. (1997). Physiological society symposium: Impaired endothelial and smooth muscle cell function in oxidative stress. *Exp Physiol*, 82(2): 291-5.

Škrovánková S., Mišurcová L., Machů L. (2012). Antioxidant activity and protecting health effects of common medicinal plants. *Advances in food and nutrition research*, 67: 75-139.

Stephen R. D., Deborah S. K., Krzysztof S., (2000). A phylogeny of *Apiacea* et ribe scanadiceae evidance from nuclear ribosom aldnain ternaltran scribed spacer sequences. *American Journal of Botany*, 87(1): 76-95.

Subramanian K., Jochem A., Le Vasseur M., Lewi S., Paulson B. R., Reddy T. R., Nunnari J. (2019). Coenzyme Q biosynthetic proteins assemble in a substrate-dependent manner into domains at ER–mitochondria contacts. *Journal of Cell Biology*, 218(4): 1353-1369.

(T)

Tessier F., Marconnet P. (1995). Radicaux libres, systèmes antioxydants et exercice. *Science & sports*, 10(1): 1-13.

Tiwari & Kakkar H.P.A. (1990). Phytochemical examination of *Spilanthus acemella*(Murr.). *Journal of the Indian Chemical Society*, 67 (9):784–785.

Toul F., Djendar A., Seladji M., Berroukeche, F. (2022). Algerian *Bunium incrassatum* seeds: effects of extraction solvent polarity on phenolic profile and antioxidant activity. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 9(2): 475-482.

(V)

Valko M., Rhodes C.J., Moncol J., Izakovic M., Mazur M. (2006). Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biological Interactions*, 160 (1): 1-40.

Vamecq J., Vallée L., Storme L., Gelé P., Bordet, R. (2004). Les acteurs immédiats du stress oxydatif. *Pharmacologie*, 18(8).

Vermerris W., Nicholson R. (2008). Phenolic compound biochemistry. Springer Science & Business Media.

Vincken J. P., Heng L., Groot A., Gruppen H. (2007). Saponins, classification and occurrence in the plant kingdom. *Phytochemistry*, 68(3): 275-297.

(W)

Wang S.Y., Wu J.H., Shyur L.F., Kuo Y.H et Chang S.T. (2002). Activité antioxydante de Diterpènes de type abietane du bois de cœur de *Taiwania cryptomerioides* Hayata *Holzforchung*, (5); 56 .

Wong CC, Li HB, Cheng KW, Chen F. (2006): A systematic survey of antioxidant activity of 30 Chinese medicinal plants using the ferric reducing antioxidant power assay. *Food Chemistry*,97:705-711.

Woodruff R. C., Phillips J. P., Hilliker A. J. (2004). Increased spontaneous DNA damage in Cu/Zn superoxide dismutase (SOD1) deficient *Drosophila*. *Genome*, 47(6): 1029-1035.

(Z)

Zellagui A., Said N. L., Gherraf N., Rhouati S. (2012). Phytochemical screening office Algerian plants and the assessment of the antibacterial activity of two *Euphorbia Guyoniana* extracts. *Der Pharmacia Lettre*, 4(5): 1438-1444.