

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Biologiques



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie appliquée

THEME

**VALORISATION DE QUELQUES PLANTES MÉDICINALES :
ÉTUDE PHYTOCHIMIQUE ET ÉVALUATION DE L'ACTIVITÉ
ANTIOXYDANTE**

Présenté par :

M^{elle} BENSEDDIK Kenza

M^{elle} HADJI Anfal

Soutenu publiquement :

Le 16/06/2025

Devant le jury :

M^{elle} HAMMOUDI Roukia	Président	Pr.	UKM Ouargla
M^{elle} HADJADJ Soumia	Promoteur	Pr.	UKM Ouargla
M^{elle} BENAOUN Fatima	Examineur	MCB	UKM Ouargla

Année Universitaire :2024/2025

Remerciements

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Louange à Allah pour Sa lumière, Sa bienveillance et Son soutien tout au long de ce travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadrante, **Pr. HADJADJ Soumia**, pour son accompagnement inestimable, sa bienveillance, sa patience et son soutien constant, tant sur le plan scientifique que moral. Son engagement exemplaire a été une source d'inspiration tout au long de cette recherche.

Nos sincères remerciements vont également aux membres du jury :

Madame la Présidente **HAMMOUDI Roukia**, pour l'honneur de présider cette soutenance.

Madame l'Examinatrice **BENOUN Fatima**, pour ses remarques pertinentes et enrichissantes.

Nous tenons à remercier **Dr. Ahmed Amara** pour son soutien, ainsi que **Dr. BOURICHA Mohamed** pour sa précieuse aide en fournissant les souches bactériennes nécessaires à la réalisation de l'activité antimicrobienne.

Notre reconnaissance va aussi à l'équipe des laboratoires de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université KASDI Merbah-Ouargla, en particulier **Madame Karima**, pour son accueil chaleureux et son assistance technique.

Anfal et Kenza

Dédicace

*Je loue Dieu, qui m'a tracé ce chemin et m'a permis de vivre ce grand jour le
jour où le rêve a fleuri après une longue patience,*

*Le jour où je gravis les premières marches de la réussite, portée par les prières et
l'amour de ceux qui ont cru en moi.*

À ceux par qui mes premiers pas sur le chemin du rêve ont commencé

*Je suis Anfal Hadji, la première fleur à s'épanouir dans le jardin de ma famille
sur la voie du savoir, la première diplômée parmi les miens.*

*Je dédie cet accomplissement, avec fierté et amour, à tous ceux qui m'ont aimée
sincèrement.*

*À mon cher père **Hadji Fateh**, mon modèle et mon appui, toi qui nous as appris
la confiance, la dignité et le sens de l'effort silencieux. Tu m'as montré que le
soutien le plus puissant est souvent celui qu'on ne dit pas.*

*À ma douce mère **Hadja Fatima**, tes prières ont été mes ailes, tes larmes
silencieuses, mes repères dans les nuits de doute. Tu es la source, le refuge, et la
lumière de chaque réussite.*

*À mon frère **Firas**, ton épaule a été mon abri, ton amour un calme dans mes
tempêtes. Tu as été bien plus qu'un frère un cœur qui battait à l'unisson avec le
mien. À mes amies chères, celles qui ont été proches du cœur malgré la
distance, qui ont partagé mes silences, mes larmes, et ma joie comme si elle leur
appartenait.*

*Ce diplôme est autant le vôtre que le mien une victoire que nous avons portée
ensemble.*

Anfal

Dédicace

Louange à Dieu, amour, remerciements et gratitude pour le début et la fin.

Et dans mes moments de plus grande fierté, je dédie ce travail

À Mon cher père.

Celui dont je porte le nom avec fierté, à la lumière qui illumine mon chemin et à la lampe dont la lumière ne s'éteint jamais dans mon cœur, à celui qui a donné ses choses les plus précieuses et de qui j'ai tiré ma force et mon estime de moi-même, puisses-tu vivre longtemps, ô maître des hommes.

À ma très chère mère

La lumière de mes yeux et de mon chemin, la joie de ma vie, qui m'a donné de l'espoir, m'a embrassé avec son cœur devant ses mains, et a rendu mes difficultés faciles avec ses prières.

À mes très chers frères

En tant que symbole de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je ressens pour toi. Je vous souhaite un avenir rempli de joie, de bonheur, de succès et de paix.

À toute la famille Benseddik et Chahed

Merci pour votre soutien, avec toute mon affection et mon respect.

À mon binôme Anfal

La meilleure partenaire d'équipe qu'on puisse rêver d'avoir. Merci pour les fous rires, les idées brillantes et cette complicité qui rend tout plus simple, merci pour ton énergie, ta bonne humeur on forme une belle équipe.

À tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail

KENZA

Valorisation de quelques plantes médicinales sahariennes : étude phytochimique et évaluation de l'activité antioxydante.

Résumé :

Le présent travail a pour objectif l'analyse phytochimique et l'évaluation de l'activité antioxydante d'extraits phénoliques d'*Azadiratcha indica* (Neem), *Limoniastrum guyonianum* (Zeita) et *Bunium bulbocastanim* (Targhouda).

Le dosage des phénols totaux, flavonoïdes et tanins totaux et condensés des macérats hydro-méthanoliques à 80% a été effectué par des méthodes colorimétriques spectrophotométriques. L'évaluation de l'activité antioxydante a été effectuée par les tests de phosphomolybdate, DPPH et ABTS. Les extraits de Targhouda sont riches en flavonoïdes (83,13 mg eq QR/g E) et présentent la plus forte activité antioxydante globale (270 mg eq AAC/g E). Les extraits des galles de *L. guyonianum* sont les plus riches en polyphénols totaux (360,13 mg eq AG/g E) et tanins condensés (949,25 mg eq C/g E), affichant la deuxième meilleure activité antioxydante totale (229 mg eq AAC/g E) et une activité anti-radicalaire modérée (IC₅₀ DPPH= 0,44 mg/mL et IC₅₀ ABTS= 0,23 mg/mL). Les extraits de Neem montrent des niveaux modérés de composés phénoliques et la plus faible activité antioxydante totale (159 mg eq AAC/g E). Les IC₅₀ élevées du Neem (DPPH=1,19 mg/mL ; ABTS= 0,78 mg/mL) traduisent une activité anti-radicalaire relativement faible comparée aux extraits des galles et à l'acide ascorbique. Ces résultats confirment l'intérêt pharmacologique des plantes médicinales comme source naturelle de puissants composés bioactifs antioxydants.

Mots-clés: *Azadiratcha indica*, *Limoniastrum guyonianum*, *Bunium bulbocastanim*, composés phénoliques, activité antioxydante.

Valorization of some Saharan medicinal plants: phytochemical study and evaluation of antioxidant activity.

Abstract:

The objective of this study was the phytochemical analysis and evaluation of the antioxidant activity of phenolic extracts of *Azadirachta indica* (Neem), *Limoniastrum guyonianum* (Zeita), and *Bunium bulbocastanum* (Targhouda).

The determination of total phenols, flavonoids, total and condensed tannins in the 80% hydromethanolic macerates was performed using colorimetric spectrophotometric methods. Antioxidant activity was assessed using phosphomolybdate, DPPH, and ABTS tests. Targhouda extracts are rich in flavonoids (83.13 mg ERQ/g E) and exhibit the highest overall antioxidant activity (270 mg EAC/g E). *L. guyonianum* gall extracts were richest in total polyphenols (360.13 mg EAG/g E) and condensed tannins (949.25 mg EC/g E), displaying the second best total antioxidant activity (229 mg EAC/g E) and moderate free radical scavenging activity (IC₅₀ DPPH = 0.44 mg/mL and IC₅₀ ABTS = 0.23 mg/mL). Neem extracts showed moderate levels of phenolic compounds and the lowest total antioxidant activity (159 mg EAC/g E). The high IC₅₀ of Neem (DPPH = 1.19 mg/mL; ABTS = 0.78 mg/mL) reflected relatively low free radical scavenging activity compared to gall extracts and ascorbic acid. These results confirm the pharmacological value of medicinal plants as a natural source of powerful bioactive antioxidant compounds.

Keywords: *Azadirachta indica*, *Limoniastrum guyonianum*, *Bunium bulbocastanum*, phenolic compounds, antioxidant activity.

ثمين بعض النباتات الطبية الصحراوية: دراسة كيميائية نباتية وتقييم نشاط مضادات الأكسدة.

الملخص:

يهدف العمل الحالي إلى التحليل الكيميائي النباتي وتقييم النشاط المضاد للأكسدة للمستخلصات الفينولية من

Bunium bulbocastanum و *Limoniastrum guyonianum* (الزيتا) و *d'Azadiratcha indica* (النيم)

(ترغودة).

تم تحديد إجمالي الفينولات والفلافونويدات والعفص الكلي والمكثف من الماكرات المائية الميثانولية 80% بالطرق اللونية الطيفية. تم إجراء تقييم نشاط مضادات الأكسدة عن طريق اختبارات الفوسفوموليبيدات و DPPH و ABTS. مستخلصات ترغودة غنية بالفلافونويدات (83.13 ملي غرام مكافئ QR / غرام E) ولها أعلى نشاط مضاد للأكسدة بشكل عام (270 ملي غرام مكافئ AAC / غرام E). المستخلصات من galles الزيتا هي الأغنى من إجمالي البوليفينول (360.13 ملي غرام مكافئ AG / غرام E) والعفص المكثف (949.25 ملي غرام مكافئ C / غرام E) ، حيث تظهر ثاني أفضل نشاط مضاد للأكسدة الإجمالي (229 ملي غرام مكافئ AAC / غرام E) ونشاط مضاد للجذور الحرة = IC50 DPPH = 0.44 ملي غرام / مل و IC50 ABTS = 0.23 ملي غرام / مل). تظهر مستخلصات النيم مستويات معتدلة من المركبات الفينولية وأقل نشاط مضاد للأكسدة الإجمالي (159 ملي غرام مكافئ AAC / غرام E) . يعكس ارتفاع IC50 للنيم DPPH=1.19 ملي غرام / مل؛ ABTS= 0.78 ملي غرام / مل نشاطاً منخفضاً نسبياً مضاداً للجذور الحرة مقارنة بمستخلصات galles الزيتا وحمض الأسكوربيك. تؤكد هذه النتائج عن أهمية النباتات الطبية كمصدر طبيعي للمركبات المضادة للأكسدة النشطة بيولوجياً.

الكلمات المفتاحية: *d'Azadiratcha indica* (النيم)، *Limoniastrum guyonianum* (الزيتا)، *Bunium*

bulbocastanum (ترغودة)، مركبات فينولية، نشاط مضاد للأكسدة.

Liste des figures

Figure 1 : Structure générale des stilbènes.....	8
Figure 2 : Squelette de base des flavonoïdes	9
Figure 3 : Transfert d'un atome d'hydrogène	12
Figure 4 : Transfert d'un électron unique.	12
Figure 5 : Plantes étudiées.....	21
Figure 6 : Préparation des extraits.....	22
Figure 7 : Réaction du radical stable DPPH avec un composé antiradicalaire (AOH).....	25
Figure 8 : Génération et piégeage du radical ABTS•+par un antioxydant donneur de H+.....	26
Figure 9 : Teneurs en polyphénols totaux des extraits des plantes étudiées	29
Figure 10 : Teneurs en flavonoïdes des extraits des plantes étudiées	30
Figure 11 : Teneurs en tanins totaux des extraits des plantes étudiées	31
Figure 12 : Teneurs en tanins condensée des extraits des plantes étudiées.	32
Figure 13 : Activité antioxydante totale des extraits des plantes étudiées	34
Figure 14 : Concentration inhibitrice à 50 % du radicale DPPH des extraits des plantes étudiées.....	35
Figure 15 : Concentration inhibitrice à 50 % du radicale ABTS des extraits des plantes étudiées.....	36

Liste des tableaux

Tableau I : Différentes classes des flavonoïdes 9

Tableau II : Aspect, couleur et rendements en extraits bruts des trois plantes étudiées..... 28

Tables des matières

Remerciements	
Résumé	
Abstract	
المخلص	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction.....	2

CHAPITRE I : SYNTHESE

BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Généralités sur les plantes médicinales et les principes actifs.	5
I.1.1 Définition des plantes médicinales	5
I.1.2 Définition du principe actif	5
I.1.3 Classification des métabolites secondaires	6
I.1.3.1 Alcaloïdes.....	6
I.1.3.2 Terpènes.....	6
I.1.3.3 Saponines	6
I.1.3.4 Composés phénoliques.....	7
I.1.3.4.1 Acides phénoliques.....	7
I.1.3.4.2 Stilbènes	7
I.1.3.4.3 Lignanes et lignines.....	8
I.1.3.4.4 Coumarines	8
I.1.3.4.5 Xanthones	8
I.1.3.4.6 Flavonoïdes	9
I.1.3.4.7 Tanins.....	10
I.1.3.4.8 Tanins condensés	11
I.1.3.4.9 Tanins hydrolysables.....	11
I.1.4 Activités biologiques des composés phénoliques	11
I.1.4.1 Activités antioxydants	11
I.1.4.2 Activité anticancéreuse.....	13
I.1.4.3 Activité anti-inflammatoire.....	13
I.1.4.4 Activité antidiabétique	14
I.2 Généralités sur les espèces étudiées.....	15
I.2.1 <i>Limoniastrum guyonianum</i> L	15
I.2.1.1 Description botanique	15
I.2.1.2 Classification systématique	15
I.2.1.3 Utilisation traditionnelle	16
I.2.2 <i>Azadirachta indica</i>	16
I.2.2.1 Description botanique	16
I.2.2.2 Classification systématique	17

I.2.2.3 Utilisation traditionnelle	17
I.2.3 <i>Bunium bulbocastanum</i> L.....	18
I.2.3.1 Description botanique	18
I.2.3.2 Classification systématique	18
I.2.3.3 Utilisation traditionnelle	19

CHAPITRE II : MATERIEL et METHODES

II.1 Matériel végétal	21
II.2 Méthodes d'extraction et de dosage des métabolites secondaires.....	21
II.2.1 Préparation des principes actifs.....	21
II.2.2 Détermination du rendement d'extraction	22
II.2.3 Dosage des polyphénols totaux.....	23
II.2.4 Dosage des flavonoïdes totaux.....	23
II.2.5 Dosage des tannins totaux	23
II.2.6 Dosage des tannins condensées	24
II.3 Evaluation de l'activité antioxydante	24
II.3.1 Test de phosphomolybdate	24
II.3.2 Test de DPPH.....	25
II.3.3 Test d'ABTS	26

CHAPITRE III : RESULTATS et

DISCUSSIONS

III.1 Résultats des rendements en extraits bruts.....	28
III.2 Résultats d'analyse quantitative.....	29
III.2.1 Résultats de dosage des polyphénols totaux	29
III.2.2 Résultats de dosage des flavonoïdes	30
III.2.3 Résultats de dosage des tanins totaux	31
III.2.4 Résultat de dosage des tanins condensées.....	32
III.3 Résultats d'évaluation des activités biologiques	33
III.3.1 Résultats d'évaluation de l'activité antioxydante totale	34
III.3.2 Résultats d'évaluation de l'activité anti-radicalaire par le test DPPH.....	35
III.3.3 Résultats d'évaluation de l'activité anti-radicalaire par le test ABTS	36
Conclusion	39
References bibliographiques	42
Annexe	56

INTRODUCTION

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les remèdes naturels et plus spécifiquement les plantes médicinales ont longtemps constitué la principale voire l'unique solution dans la tradition orale pour traiter diverses pathologies, tout en servant également de matière première pour la médecine moderne (**Haddouchi et al., 2016**).

Depuis l'Antiquité, les plantes médicinales occupent une place essentielle dans les pratiques médicales traditionnelles à travers le monde. Près de quatre milliards de personnes dépendent encore des plantes médicinales pour assurer leurs soins de santé primaires, notamment dans les régions rurales et les pays en développement (**Ekor, 2014**).

Les plantes médicinales constituent de véritables usines biochimiques naturelles capables de produire diverses substances actives telles que les alcaloïdes, les huiles essentielles et les polyphénols, mises à la disposition de l'homme pour préserver sa santé et répondre à ses besoins essentiels (**Schauenberg et Paris, 1997**). Elles offrent par ailleurs des avantages que les médicaments de synthèse ne présentent pas toujours, notamment en raison de l'origine biotique de leurs principes actifs, largement répandus dans le monde vivant, contrairement aux xénobiotiques issus de la synthèse chimique, souvent associés à des effets secondaires difficiles à maîtriser (**Simonichi, 2021**). De ce fait, les plantes médicinales occupent une place importante tant dans le domaine de la recherche pharmaceutique que comme source de matière première pour la production et la synthèse de nouveaux médicaments (**Verdrager, 1978**).

Les polyphénols, un groupe des métabolites secondaires les plus abondants dans les plantes supérieures, avec plus de 10000 composés identifiés à ce jour, ils présentent une grande diversité des structures, allant des dérivés simples comme les acides phénoliques, aux matériaux polymériques plus complexes telles que les flavonoïdes, les tanins et les lignanes (**Kiselev et al., 2023**). Ils sont reconnus pour leur activité importante contre plusieurs virus humains, par exemple l'épigallocatechine gallate, principal polyphénol du thé vert, a montré une activité antivirale contre les virus de la dengue, Zika et le virus de l'hépatite C en inhibant l'entrée et la réplication virale (**Carneiro et al., 2016**). De même, le resvératrol, présent dans le raisin et le vin rouge a démontré son efficacité contre le virus de la grippe et le virus herpès simplex en réduisant l'expression des protéines virales et la réplication du génome viral (**Docherty et al., 1999**). De plus, la quercétine, un flavonoïde courant dans de nombreux fruits et légumes, a montré une activité antivirale notable contre les virus de l'hépatite B, de la grippe et de la dengue en inhibant la réplication virale et en interférant avec les enzymes

INTRODUCTION

virales clés (**Cheng et al., 2015**). Elle possède également des propriétés anti-inflammatoires intéressantes, susceptibles de limiter l'orage cytokinique associé aux infections virales sévères telles que le COVID-19 (**Derosa et al., 2021**). Ainsi que des effets antioxydants, anti-cancéreux, anti-diabétiques et antimicrobiens (**Sun et Hesam, 2023**).

On estime qu'il existe entre 50000 et 80000 espèces des plantes médicinales connues, mais seulement 10% à 15% ont été scientifiquement étudiées, laissant ainsi une majorité encore inexplorée au niveau scientifique (**Akerle et al., 1991**), et en Afrique, près de 5400 espèces ont été identifiées, bien que beaucoup restent peu étudiées (**Vanwyk, 2015**).

En Algérie, et notamment dans les zones sahariennes, la flore spontanée est d'une richesse exceptionnelle, présentant une grande diversité d'espèces et de composés bioactifs, et occupe une place importante dans les pratiques de médecine traditionnelle, d'ailleurs plusieurs espèces endémiques possèdent des vertus médicinales reconnues par les populations locales et sont utilisées pour traiter diverses affections, allant des troubles digestifs aux maladies infectieuses (**Benarba, 2016**).

Ce constat démontre l'importance de valoriser ces ressources naturelles et de renforcer la recherche scientifique afin de découvrir de nouveaux principes actifs d'origine végétale, susceptibles de répondre aux défis thérapeutiques actuels (**Rates, 2001**). Dans ce contexte, le présent travail se concentre sur l'analyse phytochimique et l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits phénoliques de quelques plantes médicinales, *Azadirachta indica* (Neem), *Limonium guyanicum* (Zeita) et *Bunium bulbocastanum* (Targhouda).

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Généralités sur les plantes médicinales et les principes actifs**I.1.1 Définition des plantes médicinales**

Une plante est dite médicinale lorsqu'elle est inscrite à la pharmacopée et que son usage est exclusivement médicinal. C'est-à-dire qu'elle est présentée via ces propriétés préventives ou curatives à l'égard des maladies humaines ou animales (**Bakiri et al., 2016**). Les plantes médicinales sont des plantes qui renferment un ou plusieurs principes actifs capables de prévenir, soulager ou guérir des maladies (**Adomou et al., 2012**). Elles représentent une source de matière première essentielle pour la découverte des nouvelles molécules nécessaires à la synthèse des médicaments (**Sofowora, 1993**).

I.1.2 Définition du principe actif

Les plantes sont le siège d'une intense activité métabolique conduisant à la biosynthèse de deux grandes catégories de composés ; les métabolites primaires et secondaires (**Hartmann, 2007**).

Les métabolites primaires sont essentiels à la croissance et à la survie de la plante. Présents dans toutes les cellules végétales, ils comprennent principalement les glucides, les lipides, les acides aminés (constituants des protéines) ainsi que les acides nucléiques. En revanche, les métabolites secondaires sont des substances qui ne sont pas directement impliquées dans les fonctions vitales de base de la plante, mais jouent des rôles écologiques importants (**Abderrazak et Joël, 2007**), protègent les plantes des rayons du soleil et de l'oxydation et agissent comme des signaux d'échange avec l'environnement (attirer les insectes pollinisateurs)(**Chabrier, 2010 ; Ouedraogo et al., 2021**).

Le principe actif sont des molécules présentant un intérêt thérapeutique curatif ou préventif pour l'homme ou l'animale et issue de plantes fraîches ou séchées ou même des parties des plantes (les racines, écorces, feuilles, fleurs, fruits, ou encore les graines)(**Pelt, 1980**). Elles présentent une grande diversité structurale et une distribution souvent restreinte à certaines espèces ou familles végétales, ces composés se classent généralement en trois grandes familles ; les polyphénols, les terpènes et les alcaloïdes (**Bruneton, 1999**).

I.1.3 Classification des métabolites secondaires**I.1.3.1 Alcaloïdes**

Les alcaloïdes sont des substances organiques azotées d'origine végétale, de nature basique, et caractérisées par une structure hétérocyclique complexe. Ils constituent l'un des groupes de métabolites secondaires les plus importants en pharmacologie et en médecine en raison de leurs effets physiologiques et psychotropes marqués (**Dewick, 2009**). Ils présentent plusieurs applications thérapeutiques, antitumorales (vinblastine, vincristine, taxol, camptothécine), antalgiques (morphine, codéine), spasmolytiques (papavérine, tubocurarine), vasodilatateurs (vincamine, ajmalicine), émétiques (émétine), antitussifs (codéine), antiarythmiques (quinidine, ajmaline), antipaludiques (quinine), et dans le traitement de la maladie d'Alzheimer (galanthamine) (**Piska et al., 2023**).

I.1.3.2 Terpènes

Le terme de terpénoïde est attribué à tous les composés possédant une structure moléculaire construite d'un monomère à 5 carbones appelé isoprène, ces composés sont majoritairement d'origine végétale synthétisés par les plantes (**Maddaluno et al., 2023**), organismes marins, les champignons et même les animaux (**Benaissa, 2011**). Ils sont des arômes et des parfums, des antibiotiques, des hormones végétales et animales, des lipides membranaires, des attracteurs d'insectes, des anti-inflammatoires et des médiateurs des processus essentiels de transport d'électrons (**Humphrey et Beale, 2008**).

I.1.3.3 Saponines

Les saponosides, également appelés saponines sont des composés glycosides d'origine végétale, dérivés du mot latin "*sapo*" signifiant savon et "*oside*" signifiant sucre, ces composés ont la particularité de former la mousse en présence d'eau en raison de leur effet tension actif, qui consiste à diminuer la tension superficielle entre les particules d'eau (**MERAD et MAHIOUT, 2019**). Les saponines possèdent majoritairement une activité hémolytique, ce qui les rend toxiques pour les organismes à sang froid, notamment chez les poissons (**Sparg et al., 2004**), certaines saponines interagissent spécifiquement avec les stérols, comme le cholestérol, présents dans les membranes des globules rouges. Cette interaction compromet la structure membranaire, permettant l'entrée de sodium et d'eau, provoquant une fuite de potassium et aboutissant à la lyse cellulaire et la libération

d'hémoglobine (**Dimitrova et al., 2023**). D'autre part, les saponosides jouent un rôle central dans la protection des plantes contre les infections microbiennes et fongiques en déstabilisant les membranes des pathogènes (**Khan et al., 2025**).

I.1.3.4 Composés phénoliques

Les composés phénoliques représentent une grande classe de métabolites secondaires dans les plantes, jouant un rôle clé dans la protection contre les agents pathogènes et les stress environnementaux, leur abondance dans le règne végétal est bien documentée et ils sont essentiels pour les fonctions physiologiques des plantes (**Cheyrier et al., 2013**). Ils se répartissent en plusieurs classes chimiques, partageant toutes une caractéristique structurale commune : la présence d'au moins un cycle aromatique à six atomes de carbone, portant un ou plusieurs groupes hydroxyles (OH) (**Vermerris et Nicholson, 2006**). Parmi les principales catégories de composés phénoliques figurent les acides phénoliques, les tanins et les flavonoïdes, qui constituent l'un des groupes phytochimiques les plus importants des plantes (**Beta et al., 2005**).

I.1.3.4.1 Acides phénoliques

Dans le règne végétal, les acides phénoliques sont des métabolites secondaires fréquents. Ils possèdent un cœur aromatique garni de groupes hydroxyles et d'une fonction carboxylique. On classe habituellement ces composés en deux catégories, ceux qui proviennent de l'acide benzoïque, à l'instar de l'acide gallique, et ceux qui dérivent de l'acide cinnamique, tel que l'acide caféique et l'acide férulique (**Manach et al., 2004 ; Balasundram et al., 2006**).

I.1.3.4.2 Stilbènes

Les stilbènes présentent une structure de type « C6-C2-C6 » deux cycles benzéniques reliés par un pont éthylène (**Figure1**)(**Jean-Denis, 2005**). Leur solubilité dans l'eau est très faible, mais ils se dissolvent bien dans la majorité des solvants organiques. Ils sont souvent extraits des plantes sous forme hydroxylée comme le resvératrol (monomères et oligomères), méthylée comme le ptérostilbène, ou sous forme estérifiée et glycosylée. On les retrouve dans plusieurs parties des plantes : les fruits, l'écorce, et les feuilles. Ces composés sont liés à la défense des plantes contre les pathogènes et les stress environnementaux (**Piotrowska et al., 2012**).

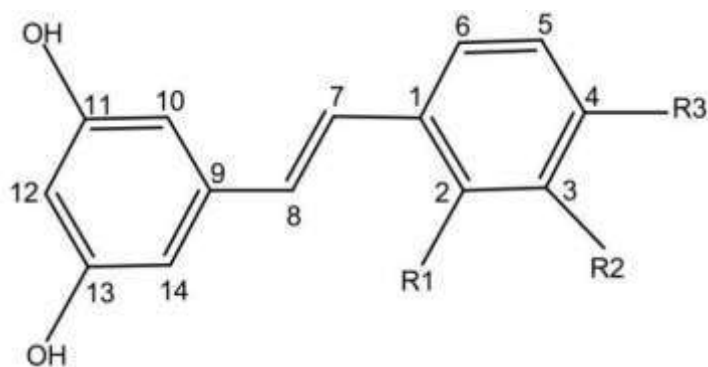


Figure 1 : Structure générale des stilbènes (Jean-Denis, 2005).

I.1.3.4.3 Lignanes et lignines

Les lignanes sont des composés formés par la condensation de deux unités phénylpropaniques (C6-C3), généralement via des réactions de couplage radicalaire impliquant trois types d'alcools ; *p*-coumarique, coniférique et sinapique (DellaGreca et al., 2008). Ces composés présentent une grande diversité structurale et sont largement distribués dans le règne végétal. La lignine, quant à elle, est un polymère tridimensionnel issu de la polymérisation de ces mêmes unités phénylpropaniques. Elle représente le deuxième biopolymère le plus abondant sur terre après la cellulose, et joue un rôle essentiel dans la rigidité et la résistance mécanique du bois (Boerjan et al., 2003).

I.1.3.4.4 Coumarines

Les coumarines sont des composés naturels appartenant à la famille des dérivés C6-C3, caractérisés par la présence d'un noyau benzo- α -pyrone. Elles se rencontrent souvent sous forme libre ou glycosidique dans les plantes, et possèdent généralement un groupe hydroxyle en position 7, comme c'est le cas de l'ombelliférone (Venugopala et al., 2013). Ces substances sont produites en réponse à divers stress biotiques ou abiotiques et jouent un rôle important en tant que phytoalexines dans les systèmes de défense des plantes (O'Kennedy et Thornes, 1997).

I.1.3.4.5 Xanthonnes

Les xanthonnes sont des composés tricycliques naturellement constitués de deux cycles aromatiques (anneaux A et B) reliés par un cycle central contenant un groupe carbonyle et un atome d'oxygène, formant ainsi une structure appelée dibenzo- γ -pyrone. Cette configuration leur confère une grande stabilité moléculaire, facilitant diverses interactions biologiques telles

que l'intercalation avec l'ADN ou l'inhibition d'enzymes impliquées dans la réplication virale et la prolifération cellulaire (Kurniawan et al., 2021). certaines positions clés sur le squelette xanthone, notamment les carbones C-1, C-3, C-6 et C-8, sont souvent les sites de substitution par des groupes fonctionnels tels que hydroxyle, méthoxyle, prényle ou glycosyle, influençant significativement leurs propriétés biologiques (Bandyopadhyay et al., 2013).

I.1.3.4.6 Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés poly-phénoliques comportant 15 atomes de carbone organisés selon un squelette C6-C3-C6, constitué de deux noyaux aromatiques reliés par une chaîne de trois atomes de carbone (Figure 2) (Kumar et Pandey, 2013). Ce sont les composés les plus abondants parmi tous les composés phénoliques, Ils ont des rôles variés dans les plantes en tant que métabolites secondaires, étant impliqués dans les processus de défense contre les UV, la pigmentation, la stimulation des nodules de fixation de l'azote et la résistance aux maladies (Chira et al., 2008).

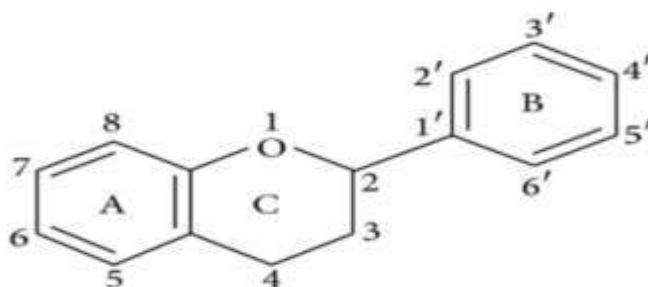
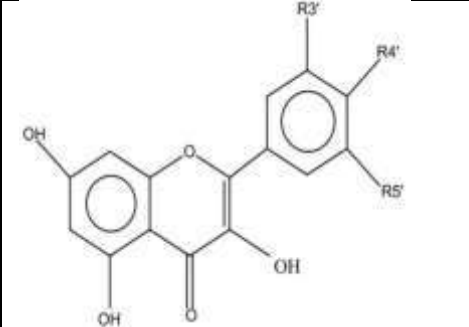
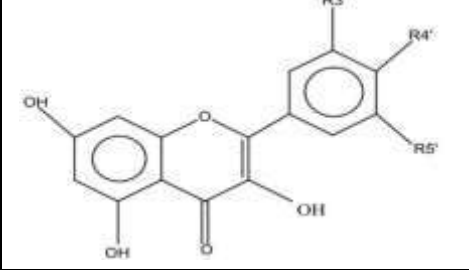
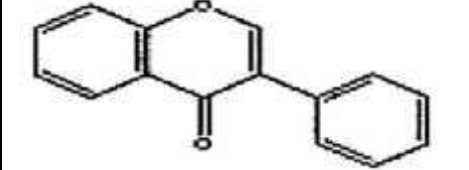
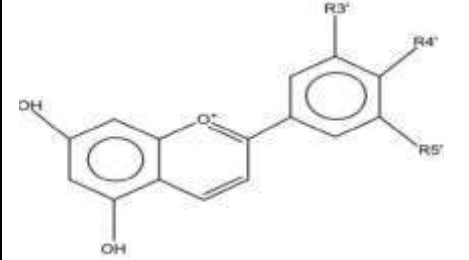
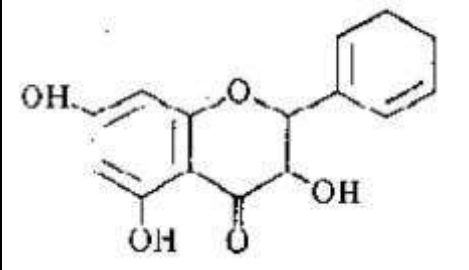
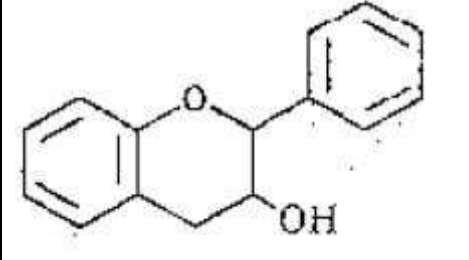


Figure 2 : Squelette de base des flavonoïdes (Williams et al., 2004).

Les différentes classes des flavonoïdes sont mentionnées dans le tableau ci-dessous

Tableau I : Différentes classes des flavonoïdes (Narayanan et al., 2001; Erdman et al., 2007).

Classes	Structures chimiques	R3'	R4'	R5'	Exemple
Flavones		OH	H	H	Luteolin
		H	H	H	Baicalein
		H	OH	H	Rpoifolin

Flavonols		OH	OH	H	Rutin
		H	H	H	Kæmpferol
Flavanones		H	H	H	Pinocembrin
		H	OH	H	Naringin
Isoflavones		H	OH	H	Genistein
Anthocyanidines		OH	OH	H	Cyanidine
Flavanolols		OH	OH	H	Taxifolin
		H	H	H	Pinobanksin
Flavan-3-ols		R3'	R5'	R7'	Catechin
		OH	OH	OH	

I.1.3.4.7 Tanins

Les tanins sont des métabolites secondaires avec une masse moléculaire variable allant de 500 à 3000 kDa, leur structure chimique est caractérisée par la présence de nombreux

groupes hydroxyles (-OH) souvent plus de cinq par unité attachés à des cycles aromatiques (anneaux benzéniques), ce qui leur confère une forte réactivité chimique et leur permet d'établir plusieurs types d'interactions (**Haslam, 1998**). En général, la formule chimique moyenne des tanins peut être représentée comme une chaîne polyphénolique complexe, où plusieurs unités phénoliques par exemple, des groupes galloyles $C_7H_6O_5$ sont liées entre elles. Cette structure polyfonctionnelle leur permet d'interagir avec diverses molécules, notamment les protéines, par formation de liaisons hydrogène et des interactions hydrophobes (**Scalbert, 1991**), ce qui explique leur effet astringent et leur rôle protecteur contre les herbivores (**Kraus et al., 2003**). La présence des multiples groupes phénoliques leur confère une capacité à piéger les radicaux libres, protégeant ainsi les cellules contre le stress oxydatif (**Li et al., 2006**).

Selon leur structure et leurs propriétés, deux types de tanins se distinguent.

I.1.3.4.8 Tanins condensés

Les tannins condensés, aussi appelés pro anthocyanidines, sont des polymères formés d'unités flavaniques reliées principalement par des liaisons entre les carbones C4 et C8 ou C4 et C6. Ces composés sont des métabolites secondaires importants chez les plantes, connus pour leurs activités antioxydants et antimicrobiennes (**Prieur et al., 1994**).

I.1.3.4.9 Tanins hydrolysables

Les tanins hydrolysables sont des esters du D-glucose et de l'acide gallique ou de ses dérivés, notamment l'acide ellagique. Ces composés peuvent être facilement hydrolysés par des procédés chimiques ou enzymatiques, notamment grâce à l'enzyme tannase (**Cowan, 1999; O'connell et al., 2001**).

I.1.4 Activités biologiques des composés phénoliques

I.1.4.1 Activités antioxydants

Les substances antioxydants sont définies comme des composés d'origine naturelle ou synthétique, capables de contrer les effets néfastes des radicaux libres dans l'organisme. Ces derniers sont des molécules instables possédant des électrons non appariés, ce qui les pousse à réagir avec divers constituants cellulaires tels que les lipides, les protéines ou même l'ADN (**Lobo et al., 2010**).

Les composés phénoliques exercent leur action antioxydant principalement à travers deux mécanismes ; le transfert d'un atome d'hydrogène (HAT)(Figure 3) ou le transfert d'un électron unique (SET) (Figure 4), permettant ainsi la neutralisation des radicaux libres et la protection des cellules contre les dommages oxydatifs (Prior et al., 2005).



Figure 3 : Transfert d'un atome d'hydrogène.

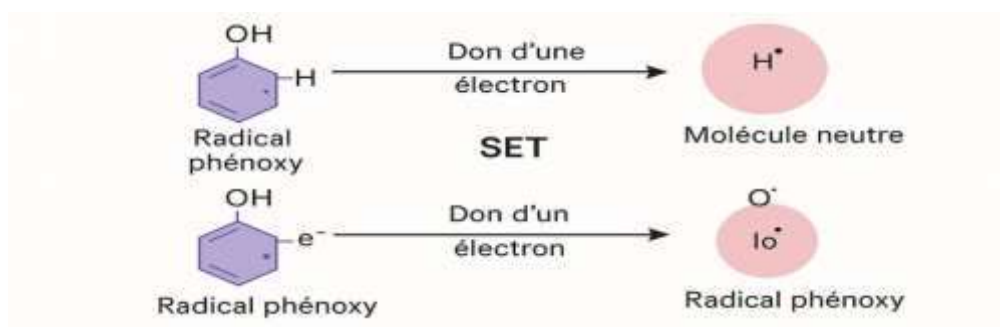


Figure 4 : Transfert d'un électron unique.

Les composés phénoliques antioxydants sont naturellement présents dans plusieurs plantes médicinales, telles que le thé vert (*Camellia sinensis*), le raisin (*Vitis vinifera*) et la grenade (*Punica granatum*). Ces plantes doivent leurs propriétés antioxydantes puissantes à la présence des groupes fonctionnels spécifiques, notamment les groupes hydroxyles phénoliques, qui permettent de neutraliser les radicaux libres et d'inhiber les réactions d'oxydation, offrant ainsi une protection cellulaire significative (Dufresne et Farnworth, 2001; Seeram et al., 2005 ; Rockenbach et al., 2011).

Dans le thé vert, l'épigallocatechine gallate est l'un des catéchines les plus actives. Grâce à la présence de quatre groupes hydroxyles dans sa structure chimique, ce composé présente une forte capacité à faire don d'atomes d'hydrogène, inhibant ainsi l'oxydation des lipides et des protéines, et contribuant à la protection des cellules contre les dommages oxydatifs (Dufresne et Farnworth, 2001). Le resvératrol est un stilbène phénolique reconnu pour ses propriétés antioxydantes. Il agit principalement par donation d'atomes d'hydrogène, stabilisant ainsi les radicaux libres et prévenant les dommages cellulaires induits par l'oxydation (Rockenbach et al., 2011).

I.1.4.2 Activité anticancéreuse

Les composés naturels issus des plantes démontrent un potentiel remarquable en tant qu'agents anticancéreux, grâce à leur capacité à interférer avec divers mécanismes cellulaires impliqués dans l'inhibition de la prolifération tumorale et l'induction de l'apoptose. Par exemple, les flavonoïdes stimulent l'apoptose en activant la cascade des caspases, notamment Caspase-3 et Caspase-9, ce qui entraîne la dégradation des mitochondries, la libération du cytochrome C et, par conséquent, la désintégration programmée de la cellule sans provoquer de réponse inflammatoire (Middleton et al., 2000 ; Kuo, 2007). Le resvératrol contribue à l'élimination des cellules tumorales en inhibant des facteurs de survie cellulaire comme NF- κ B, en stimulant l'expression des protéines pro- apoptotiques et en réduisant le stress oxydatif, ce qui limite les mutations de l'ADN (Aggarwal et Harikumar, 2009).

I.1.4.3 Activité anti-inflammatoire

Les flavonoïdes agissent par plusieurs mécanismes complémentaires pour lutter contre l'inflammation, notamment l'inhibition des enzymes inflammatoires, leurs propriétés antioxydantes et la modulation des voies de signalisation responsables de l'expression des médiateurs inflammatoires (Middleton et al., 2000; Pietta, 2000 ; Li et al., 2016).

La principale propriété qui confère aux flavonoïdes leur activité anti-inflammatoire est la présence de groupes hydroxyle (-OH) sur les cycles aromatiques, qui joue un rôle crucial dans l'interaction avec les enzymes impliquées dans l'inflammation, telles que les cyclooxygénases (COX) et les lipoxygénases (LOX). Les flavonoïdes inhibent ces enzymes par un mécanisme compétitif ou non compétitif. Plus précisément, les flavonoïdes se lient aux sites actifs de ces enzymes via deux types d'interactions clés ; des liaisons hydrogène, formées entre les groupes hydroxyle du flavonoïde et les résidus polaires des acides aminés situés dans le site catalytique, des liaisons π - π (pi-pi stacking), qui se produisent entre les cycles aromatiques du flavonoïde et ceux présents dans le site actif de l'enzyme et limitant la production des médiateurs inflammatoires (Li et al., 2016). Empêchant ainsi la conversion de l'acide Arachidonique en médiateurs inflammatoires comme les prostaglandines et les leucotriènes, ce qui réduit l'intensité de la réponse inflammatoire (Middleton et al., 2000). De plus, les flavonoïdes possèdent une forte activité antioxydante, leur permettant de donner des électrons et de piéger les radicaux libres responsables de l'aggravation de l'inflammation et des lésions cellulaires (Pietta, 2000). En réduisant le stress oxydatif, les flavonoïdes contribuent à atténuer la réponse inflammatoire et à protéger les cellules et les tissus.

Au niveau cellulaire, les flavonoïdes modulent également les voies de signalisation en inhibant l'activation des facteurs de transcription tels que NF- κ B, qui régulent l'expression des gènes codant pour des médiateurs inflammatoires tels que les cytokines (TNF- α , IL-1 β , IL-6) (Li et al., 2016). Par ailleurs, ils inhibent des enzymes telles que la synthase inductible de l'oxyde nitrique (iNOS), réduisant ainsi la production de l'oxyde nitrique impliqué dans l'inflammation (Middleton et al., 2000). Une autre caractéristique des flavonoïdes est leur capacité à chélater des métaux comme le fer et le cuivre, ce qui empêche les réactions de Fenton génératrices de radicaux libres, réduisant ainsi le stress oxydatif associé à l'inflammation (Pietta, 2000).

I.1.4.4 Activité antidiabétique

Les flavonoïdes sont connus pour leur capacité à inhiber les enzymes α -amylase et α -glucosidase, qui sont responsables de l'hydrolyse des glucides en glucose dans l'intestin grêle. Cette inhibition peut se produire via une liaison compétitive ou non compétitive avec le site actif de l'enzyme, facilitée par les groupes hydroxyles (-OH) formant des liaisons hydrogène fortes avec les acides aminés du site actif, ainsi que par des interactions π - π entre les cycles aromatiques des flavonoïdes et les résidus aromatiques (phénoliques) de l'enzyme (Tadera et al., 2006). Ce mécanisme permet un ralentissement de l'absorption du glucose et une atténuation de l'hyperglycémie postprandiale. Des composés comme le resvératrol (Resvératrol) ou l'EGCG (épigallocatechine gallate) du thé vert activent l'enzyme AMPK (AMP-activated protein kinase), un régulateur central du métabolisme énergétique. Cette activation se fait soit par une augmentation du rapport AMP/ATP intracellulaire, soit via l'activation de l'enzyme amont LKB1. Une fois activée, l'AMPK inhibe la gluconéogenèse hépatique et stimule l'absorption cellulaire du glucose en favorisant la translocation du transporteur GLUT-4 (Hardie, 2007).

De plus, l'inflammation chronique est un facteur aggravant de la résistance à l'insuline. Les flavonoïdes interviennent ici aussi, en inhibant la voie de signalisation NF- κ B. Ils empêchent l'activation de l'enzyme IKK β , responsable de la phosphorylation du facteur NF- κ B, ce qui bloque la transcription de cytokines pro-inflammatoires comme TNF- α et IL-6 (Kim et al., 2008). Cette inhibition découle également de leur pouvoir antioxydant, neutralisant les espèces réactives de l'oxygène (ROS) impliquées dans l'activation de cette voie.

Les antioxydants végétaux tels que la quercétine et les catéchines protègent les cellules β pancréatiques contre les dommages oxydatifs en activant le facteur Nrf2.

Ce dernier induit l'expression d'enzymes antioxydantes comme la superoxyde dismutase (SOD) et la catalase, contribuant ainsi à préserver la fonction mitochondriale et à maintenir une sécrétion normale d'insuline (Tanaka et al., 2011).

I.2 Généralités sur les espèces étudiées

I.2.1 *Limoniastrum guyonianum* L.

I.2.1.1 Description botanique

Limoniastrum guyonianum est une espèce halophile appartient à la famille des plumbaginaceae (Chaabi et al., 2008), arbuste buissonnant, atteignant 1 mètre de haut, grisâtre. Tiges naturellement rameuses. Feuilles entières, longilignes, étroites et épaisses, portant des concrétions calcaires. Fleurs rose pourpre, en si large nombre. Elle porte des galles nombreuses qui ont deux origines, les galles des jeunes tiges de l'année, volumineuses et récipient la nymphe d'une tineïde (*Eocusguyonella*) et les galles principalement petites, sur les grosses branches, suite à la piqûre d'un insecte (*Scleroceus pulverosella*) (Chehema, 2006).

Limoniastrum guyonianum est une espèce endémique du Sahara septentrional (Algérie, Tunisie); plus rare au Sahara occidental et central, atteint le Tademaït et le Fezzan au sud; manque dans le sud marocain (Ozenda, 2004). Elle se rencontre en colonies, couvrant de très grandes surfaces, au niveau des regs et en grande abondance dans les terrains salés des sebkhas et des chotts (Chaieb et Boukhris, 1998).

I.2.1.2 Classification systématique

D'après Euro+Med PlantBase (2013), la classification systématique de *Limoniastrum guyonianum* est la suivante :

Règne : Végétal

Embranchement : Spermatophytes

Sous-embranchement : Angiosperme

Classe : Dicotylédones

Ordre : Plumbaginales

Famille : Plumbaginaceae

Genre : *Limoniastrum*

Espèce : *Limoniastrum guyonianum* L.

Nom vernaculaire : Zeita

I.2.1.3 Utilisation traditionnelle

En médecine traditionnelle, les feuilles et les galles sont largement utilisées sous forme d'infusion et de décoction pour le traitement de diverses affections. Dans le sud de la Tunisie, elles sont employées comme anti-dysentériques et contre les maladies infectieuses bactériennes, notamment les bronchites, ainsi que les affections parasitaires provoquant des diarrhées douloureuses et sanglantes (**Chaieb et Boukhris, 1998 ; Debouba et al., 2013**). Au sud-est du Maroc, dans la région de Tafilalet, ces mêmes parties sont utilisées en décoction pour soigner les diarrhées (**El Rhaffari et Zaid, 2002 ; Adouane, 2016**).

Dans la région méridionale des Aurès, la partie aérienne de la plante est traditionnellement employée en décoction contre la bronchite et l'inflammation de la gorge. Enfin, à Ouargla, **Hadjadj et al. (2015)** ont rapporté que cette espèce est utilisée, soit seule, soit en association avec *Punica granatum*, sous forme de décoction ou de poudre, pour traiter diverses pathologies telles que les maladies de la peau, les troubles métaboliques et les affections respiratoires.

I.2.2 *Azadirachta indica*

I.2.2.1 Description botanique

Azadirachta indica A. Juss (Synonymes ; *Antelaea azadirachta* L. ou *Melia azadirachta* L.), plus communément de son nom vernaculaire margousier ou, en anglais, Neem (**Aribi et al., 2020**). *Azadirachta indica* de la famille des Méliaceae, est un arbre vert attrayant avec une multitude de feuilles, caractérisé par une croissance rapide et par certaines variétés résistantes aux gelées, mesurant de 6 à 15 m de haut (**Gherida et Goetz, 2014**), et pouvant atteindre 20 à 30 m (**Puri, 1999**). Elle est aussi caractérisée par un tronc solide dur, brun foncé avec une croûte brune fissurée de 75 à 150 cm, les feuilles, qui mesurent jusqu'à 25 cm de long, sont constituées de cinq à huit paires de folioles. L'inflorescence en forme de panicules axillaires est constituée de nombreuses fleurs. La fleur est aromatique et blanche, et

le fruit peut atteindre un centimètre de long. Il est vert et devient jaune lorsqu'il mûrit, et a un goût amer de graine (**Ketkar, 1976 ; Radwanski et Wickens, 1981**).

Azadirachta indica originaire de l'Inde et du sud-est de l'Asie, sa présence est aujourd'hui largement répandue dans le monde entier, en particulier dans les pays tropicaux et subtropicaux (**Schmutterer, 2002 ; Morgan, 2009 ; Paes et al., 2011; Koriem, 2013 ; Chattopadhyay et al., 2014**).

I.2.2.2 Classification systématique

Selon **Schmutterer (1995) et Puri (1999)**, la position systématique d'*Azadirachta indica* est la suivante :

Règne : Végétal

Embranchement : Magnoliophyta

Sous-embranchement : Angiospermae

Classe : Dicotylédones

Ordre : Sapindales

Famille : Meliaceae

Genre : *Azadirachta*

Espèce : *Azadirachta indica*

Non vernaculaire : Neem, Margousier

I.2.2.3 Utilisation traditionnelle

Azadirachta indica est largement reconnue pour ses applications médicinales dans les pratiques traditionnelles depuis plus de 2000 ans (**Mordue et al., 2005 ; Benelli et al., 2017**). Les extraits de ses feuilles, de son écorce, de ses graines et de ses fleurs sont utilisés pour traiter plusieurs affections humaines, notamment les maladies cutanées, les troubles digestifs, les infections microbiennes et pour renforcer le système immunitaire (**Biswas et al., 2002**).

Les extraits de cette plante ont une activité antimicrobienne notable, inhibent la croissance de nombreux agents pathogènes bactériens comme *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*, ainsi que de plusieurs espèces fongiques, grâce à la richesse en limonoïdes et flavonoïdes (**Subapriya et Nagini, 2005**). De plus, ils possèdent des propriétés antioxydantes, contribuant à la protection cellulaire contre les dommages oxydatifs et participant potentiellement à la prévention du vieillissement prématuré (**Kharwar et al.,**

2011). Outre ses vertus médicinales, *Azadirachta indica* est également très prisé dans le domaine agricole. L'azadirachtine, l'un de ses principaux composés actifs, agit comme un biopesticide naturel en perturbant le cycle de vie des insectes nuisibles tout en étant respectueux de l'environnement, ce qui en fait un atout majeur pour l'agriculture durable (Mordue et Nisbet, 2000).

I.2.3 *Bunium bulbocastanum* L.

I.2.3.1 Description botanique

Bunium bulbocastanum, noix de terre ou châtaigne de terre de la famille des *Apiaceae*, connue en Algérie par Talghouda ou Targhouda; cette espèce provient des Baléares, de l'ouest de l'Europe centrale au nord-ouest de l'ex Yougoslavie (Taufel et al., 1993). Le tubercule souterrain, de la taille et de l'aspect d'une truffe de moyenne grosseur, présente une surface extérieure rugueuse, mamelonnée, de couleur brun noirâtre, tandis que sa chair est blanche à l'intérieur. La tige est dressée, fistuleuse (creuse), striée longitudinalement et ramifiée, atteignant environ 60 cm de hauteur en culture. Les feuilles basales sont triternatiséquées (divisées trois fois), tandis que les feuilles caulinaires présentent des segments étroits, linéaires, d'un vert foncé. Les involucre et involucrelles sont généralement composés d'un nombre réduit de bractées. Le calice est formé de lobes triangulaires et aigus ; le stylopode est conique, surmonté de styles persistants. Les vallécules du fruit comportent une seule bandelette conductrice (Battandier, 1885).

I.2.3.2 Classification systématique

Selon Cronquist(1981), la position systématique de *Bunium bulbocastanum* est la suivante :

Règne : Végétal

Embranchement : Angiospermes

Sous embranchement : Spermatophytina

Classe : Dicotylédones

Ordre : Apicales

Famille : Apiacées

Genre : *Bunium*

Espèce : *Bunium bulbocastanum* L.

Nom vernaculaire : Targhouda, noix de terre, châtaigne de terre

I.2.3.3 Utilisation traditionnelle

La plante Targhouda est traditionnellement utilisée dans la médecine populaire pour traiter une grande variété de maladies. Ses tubercules sont employés pour soigner les troubles de la thyroïde (**Benkhalifa et Toumi, 2019**), notamment l'hyperthyroïdie et l'hypothyroïdie (**Bouhalla et al., 2025**). Elle est également utilisée dans le traitement de la bronchite et de l'asthme grâce à ses propriétés anti-inflammatoires et sédatives. Elle possède un effet calmant utile contre les hémorroïdes, utilisé pour traiter les troubles gastro-intestinaux tels que la diarrhée (**Khanal et al., 2021**). Par ailleurs, ses tubercules sont consommés comme aliment, après séchage et mouture, souvent incorporés dans le pain. En plus de ses propriétés laxatives et carminatives, elle est bénéfique dans le traitement des affections rénales telles que les calculs, ainsi que des douleurs gastriques. Elle est aussi utilisée contre les troubles digestifs comme l'indigestion et les ballonnements, et pour soulager les douleurs liées aux rhumes et à la grippe. Grâce à ses composés aux effets antiseptiques et anti-inflammatoires, elle est utilisée dans le traitement des troubles hépatiques et des infections urinaires. Enfin, elle stimule l'appétit et la circulation sanguine, ce qui lui confère une valeur importante pour l'amélioration de la santé générale (**Adoui et al., 2022**).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES



Le présent travail a été effectué au sein des laboratoires pédagogiques de l'Université KASDI Merbeh- Ouargla, qui a pour objectif l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits phénoliques issus de trois plantes, *Azadirachta indica*, *Limoniastrum guyonianum* et *Bunium bulbocastanum*.

II.1 Matériel végétal

La partie aérienne (feuilles et tiges) d'*Azadirachta indica* a été récoltée en Février 2025 dans la Région d'El-Menia, les galles de *Limoniastrum guyonianum* ont été collectées en 21 Décembre 2024 dans la région de Méggarine, Touggourt et les racines tubérisées du *Bunium bulbocastanum* ont été achetées d'herboriste à Souk El-Hadjar à Ouargla.



A) Partie aérienne
d'*Azadirachta indica*.

B) Galles de
L. guyonianum.

C) Racine tubérisée de
Bunium bulbocastanum.

Figure 5 : Plantes étudiées (Benseddik et Hadji, 2025).

Les galles de *Limoniastrum guyonianum* et les racines tubérisées du *Bunium bulbocastanum* sont finement broyées à l'aide d'un broyeur électrique, la poudre végétale est conservée dans des flacons sombres hermétiquement fermés. Alors que, la partie aérienne d'*Azadirachta indica* est utilisée à l'état frais.

II.2 Méthodes d'extraction et de dosage des métabolites secondaires

II.2.1 Préparation des principes actifs

L'extraction des principes actifs est effectuée par macération selon le protocole décrit par **Chaabi et al. (2008)** en y apportant quelques modifications ; 15 g de poudre végétale est

mise à macérer individuellement dans 150 mL du mélange hydro-méthanolique (méthanol/eau) (80/20 : V/V), pendant 24 heures à température ambiante (**Figure 6**).

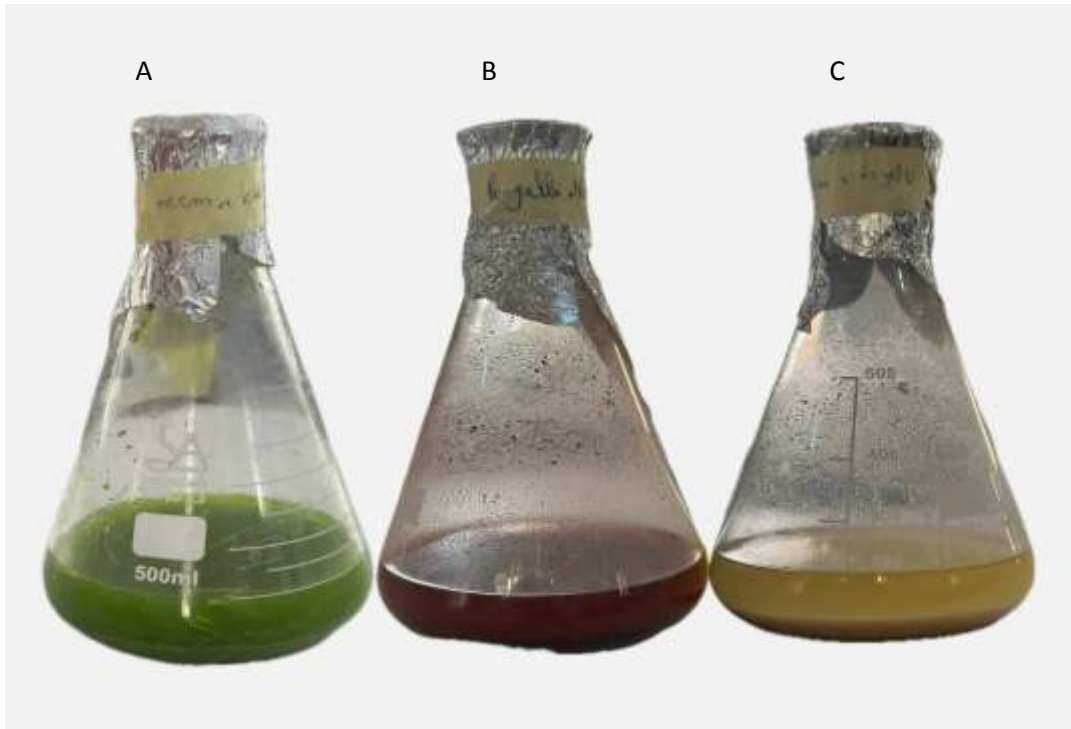


Figure6 : Préparation des extraits (**Benseddik et Hadji,2025**).

Les extraits hydro-méthanoliques sont récupérés dans un premier temps après filtration du mélange à travers le papier filtre Wattman N°1 de 125 μ m de porosité et les résidus obtenus sont repris pour une deuxième et une troisième extraction avec la moitié du volume initial du mélange hydro-alcoolique (75 mL), d'une durée respective de 24 heures. Les filtrats sont réunis et concentrés dans un rota-vapeur sous vide à 45 °C permettant ainsi d'obtenir des résidus secs qui sont considérés comme étant les extraits bruts.

II.2.2 Détermination du rendement d'extraction

Le poids des extraits secs obtenus est déterminé par la différence entre le poids de la boîte de Pétri pleine (après évaporation) et vide (avant évaporation). Le rendement en extrait brut est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Rendement d'extraction (\%)} = \left[\frac{\text{PE}}{\text{PV}} \right] \times 100$$

PE : Poids des extraits secs.

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

II.2.3 Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux a été fait par la méthode de Folin-Ciocalteu décrite par **Singleton et Rossi (1965)**, qui est basée sur l'oxydation des composés phénoliques par le complexe d'acide phosphotungstène ($H_3PW_{12}O_{40}$) et phosphomolybdène ($H_3PMo_{12}O_{40}$) de couleur jaune, ce qui entraîne la formation d'un nouveau complexe molybdène (MO_8O_3)⁻ tungstène (W_8O_{23}) de couleur bleue.

Une prise de 100 µl d'extraits ou de standard avec des dilutions convenables est mélangée avec 0,5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu (10 fois dilué) après un repos 4 min, 1500 µl d'une solution de carbonate de sodium (20%) et 1 ml d'eau distillée sont additionnés au milieu réactionnel après 60 min d'incubation à l'abri de la lumière et à température ambiante. L'absorbance est mesurée par un spectrophotomètre de type Shimadzu à 765 nm, Les essais sont répétés trois fois.

La teneur des polyphénols totaux est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage établie avec l'acide gallique (**Figure1, Annexe**) Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait (mg eq AG/ g E).

II.2.4 Dosage des flavonoïdes totaux

Le dosage des flavonoïdes a été réalisé selon la méthode colorimétrique de **KIM et al. (2003)**. Un volume de 1,5 ml d'extraits ou standard est additionné à 1,5 ml d'une solution de chlorure d'aluminium $AlCl_3$ fraîchement préparée (2% dans le méthanol). Le mélange est laissé au repos pendant 10 min de réaction, l'absorbance est lue au spectrophotomètre à 430 nm. Les essais sont répétés trois fois.

La concentration des flavonoïdes est déduite à partir d'une gamme d'étalonnage établie avec la quercétine (**Figure 2, Annexe**). Les résultats sont exprimés en milligramme équivalent de la quercétine par gramme d'extrait (mg eq QR/ gE).

II.2.5 Dosage des tannins totaux

Les tanins sont dosés par la procédure de Folin-Ciocalteu après leur précipitation par la gélatine en mélangeant 03 ml d'échantillon avec 03 ml d'eau distillée et 250 mg de gélatine. L'ensemble fut agité au vortex et maintenu à 4°C pendant 15 min puis centrifugés à 3000 g à 4 °C pendant 15 min. Après récupération des surnageants (600 µL), ils sont dosés

par la méthode de Folin Ciocalteu comme précédemment décrit. Les essais sont répétés trois fois.

Les valeurs obtenues sont soustraites de la teneur des polyphénols totaux et les taux des tanins sont exprimés en milligramme d'équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait (mg eq AG/ g E).

II.2.6 Dosage des tannins condensés

La méthode de dosage des tanins condensés par la vanilline repose sur la réaction des unités flavan-3-ols contenues dans les tanins condensés avec le réactif de vanilline en milieu acide, produisant un complexe coloré rougeâtre (**Waterman et Mole, 1994**).

1 mL d'extrait est mélangé avec 1,5 mL du réactif de vanilline méthanolique à 4% (p/v) et 750 µl d'une solution HCl (4%) dans un tube à essai après agitation. Le mélange est ensuite incubé dans un bain-marie à température de 25°C pendant 20 minutes pour favoriser le développement optimal de la coloration. Après incubation, l'absorbance est mesurée à 500 nm à l'aide d'un spectrophotomètre contre un blanc préparé avec le solvant et le réactif sans extrait. Une courbe d'étalonnage est réalisée à partir de solutions standards de catéchine (**Figure 3, Annexe**). Les résultats sont exprimés en mg d'équivalents catéchine par gramme d'extrait (mg eq CE/g E).

II.3 Evaluation de l'activité antioxydante

II.3.1 Test de phosphomolybdate

L'activité antioxydante totale de nos extraits est évaluée par la méthode de réduction de phosphomolybdate selon la méthode de **PRIETO et al.(1999)**. Le test consiste à introduire dans un tube 400 µl d'échantillon et mélanger à 4000 µl de réactif composé de H₂SO₄ (0,6 M), de Na₂HPO₄ (28 mM) et du molybdate d'ammonium (4 mM). Le tube est ensuite bien fermé puis incubé à 95°C pendant 60 minutes. Après refroidissement, l'absorbance est mesurée à 695 nm, le blanc est constitué de 400 µl de méthanol mélangé avec 4000 µl du réactif mentionné ci-dessus. Tous les essais sont répétés trois fois.

II.3.3 Test d'ABTS

Cette méthode est basée sur la mesure de la capacité des antioxydants à piéger le radical cation acide 2,2'-azinobis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique (ABTS^{•+}). Ce dernier est réduit à la forme ABTS en acceptant un atome d'hydrogène (H•). La capacité de nos extraits à piéger l'ABTS^{•+} est mesurée par la procédure décrite par **RE et al. (1999)**.

Le cation ABTS^{•+} est obtenu par la réaction de la solution mère d'ABTS (5 ml) avec 88 µl de la solution du persulfate de potassium (140 mM). Le mélange est incubé à l'obscurité et à température ambiante pendant 12-16 h avant l'utilisation (Figure 8).

La solution ABTS^{•+} est diluée avec de l'eau distillée (1/50) jusqu'à l'obtention d'une absorbance de 0,700 à 790nm. Ensuite, 2.9 ml de cette solution est ajouté à 100 µl d'extraits ou d'acide ascorbique à différentes concentrations. Après 05 min d'incubation, l'absorbance est lue à 734 nm. Tous les essais sont répétés trois fois et le pourcentage d'inhibition est calculé pour chaque concentration comme dans le cas du test DPPH.

Les résultats sont exprimés en IC50 % qui est la concentration qui a piégé 50% du radical ABTS^{•+}

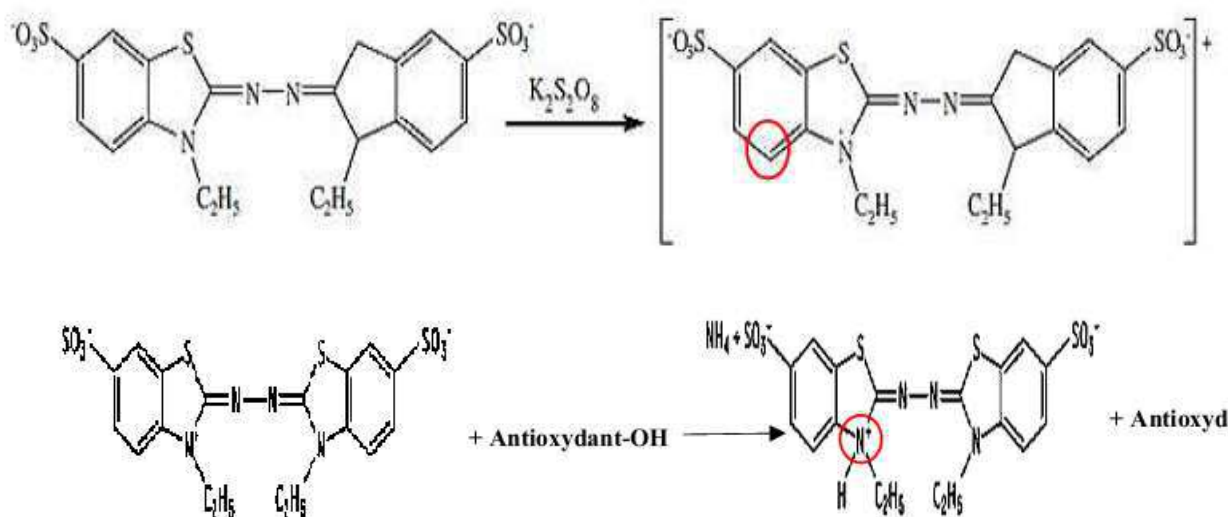


Figure8: Génération et piégeage du radical ABTS^{•+} par un antioxydant donneur de H⁺
(De Oliveira et al., 2014).

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1 Résultats des rendements en extraits bruts

Après la préparation des extraits et leur filtration, les filtrats obtenus sont concentrés à 45°C jusqu'à la dessiccation totale en vue de déterminer leur rendement d'extraction, couleur et aspect physique. Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau ci-dessous.

Tableau II : Aspect, couleur et rendements en extraits bruts des trois plantes étudiées.

Extrait	Aspect	Couleur	Rendement (%)
Galle	Poudre cristallisée	Rouge-grenat	09,39
Neem	Poudre	Vert-jaunâtre	10,59
Targhouda	Pâte	Jaune	16,44

Le tableau II révèle que le rendement le plus élevé a été obtenu avec l'extrait brut des racines tubérisées de Targhouda (*B. bulbocastanum*) (16,44%), il est suivi par les extraits des parties aériennes de Neem (*A. indica*) (10,59%) et les galles de *L. guyonianum* (9,39%).

Nos résultats pour le rendement des extraits de Neem sont inférieurs à ceux de **Bohui et al. (2018)**, qui ont obtenu des rendements plus élevés (16,3 % par décoction, 15,1 % par macération et 14,3 % par infusion) pour les extraits aqueux de feuilles séchées récoltées à Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). De même, nos résultats pour l'extrait des galles sont inférieurs à ceux de **Krifa et al. (2013)**, qui ont enregistré un rendement plus élevé de 17.8% d'un décocté des galles récoltées à El-Hamâ, Gabès (sud de la Tunisie). Aussi, **Hadjadj et al. (2016)**, ont rapporté des rendements de 17.06 et 14.8% des parties aériennes de *L. guyonianum* extraites par macération avec du méthanol à 70% et de l'éthanol à 70%, respectivement.

Cette différence dans les rendements d'extraction peut s'expliquer par plusieurs facteurs. D'une part, la nature du matériel végétal joue un rôle crucial ; les feuilles fraîches contiennent une forte teneur en eau, ce qui peut diluer les composés actifs et réduire leur extraction (**Waseem et al., 2023**), même avec un solvant polaire efficace comme le méthanol. En revanche, les feuilles sèches, utilisées par **Bohui et al. (2018)**, sont plus concentrées en métabolites secondaires, ce qui augmente leur rendement. D'autre part, la méthode d'extraction est déterminante. La décoction, qui implique un chauffage prolongé, favorise la libération des composés phénoliques hydrosolubles par rupture des parois cellulaires, ce qui

améliore significativement le rendement (Falleh et al., 2021). À l'inverse, la macération à température ambiante, bien qu'efficace pour extraire des composés thermosensibles, reste moins performante en termes de quantité extraite. La nature du solvant utilisé pour l'extraction, même si le méthanol à 80 % est reconnu pour sa forte polarité et sa capacité à extraire un large spectre de composés phénoliques (Martínez-Ávila et al., 2021), les extraits aqueux chauffés (comme dans la décoction) permettent parfois une meilleure diffusion des métabolites hydrophiles, ce qui pourrait expliquer les rendements supérieurs obtenus dans l'étude comparative.

III.2 Résultats d'analyse quantitative

Une analyse quantitative des extraits a été réalisée afin de déterminer leur contenu en polyphénols totaux, flavonoïdes et tanins. Les résultats obtenus permettent de mieux comprendre le potentiel biochimique des extraits analysés.

III.2.1 Résultats de dosage des polyphénols totaux

Les teneurs en polyphénols totaux de nos extraits sont représentées dans la figure ci-dessous.

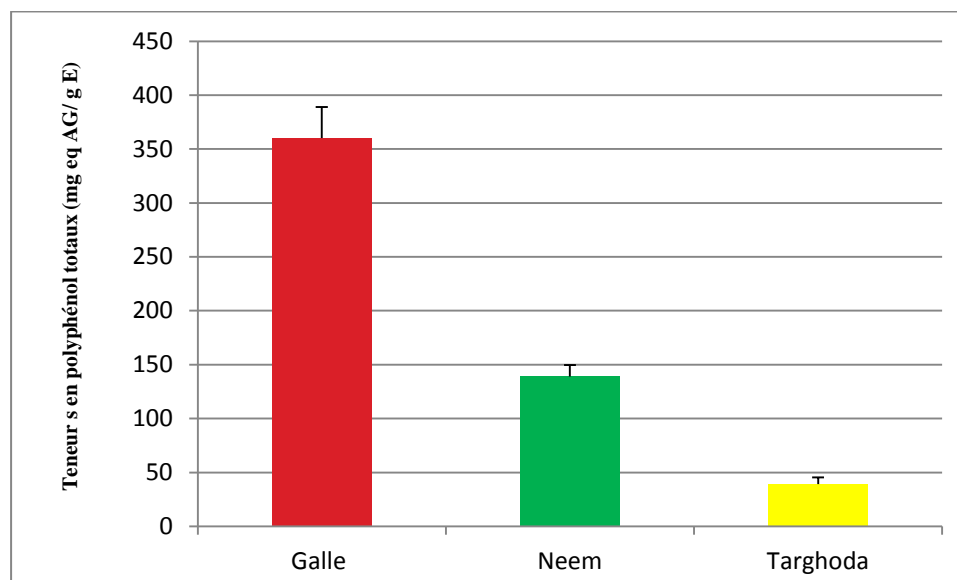


Figure 9 : Teneurs en polyphénols totaux des extraits des plantes étudiées.

L'analyse des données de la figure 9 montre que les extraits bruts des galles sont les plus riches en composés phénoliques, avec une quantité de 360.13 mg eq AG/g E, suivis par

les extraits des parties aériennes de Neem, puis par ceux des racines tuberculées de Targhouda, avec des valeurs respectives de 138.98 et 39.28 mg eq AG/g E.

Nos résultats des extraits de Neem sont nettement supérieurs à ceux rapportés par **Bader et al. (2015)**, leur étude a montré que les macérats hydroéthanolique à 80%, à l'acétate d'éthyle et au n-butanol des feuilles d'*A. indica* récoltées à Bahra en Arabie Saoudite contenaient respectivement $69,17 \pm 1,57$, $38,13 \pm 1,25$ et $24,38 \pm 3,13$ mg eq AG/g E. Cependant, nos résultats sont inférieurs à ceux rapportés par **Hossain et al. (2014)**, ont indiqué que les extraits aqueux des racines séchées de la même plante (*A. indica*), préparés par macération dans l'éthanol à 80 % et récoltées au Bangladesh, présentaient une teneur de $238,81 \pm 0,98$ mg eq AG/g E. Nos extraits de galles présentent une teneur en polyphénols supérieure à celle rapportée par **Krifa et al. (2013)**, qui était de 85 ± 6 μ g eq AG/g E pour l'extrait aqueux de galles. À l'inverse, nos résultats dépassent ceux de **Bouhalla et al. (2024)**. Ces derniers ont en effet trouvé des teneurs de 11,65 et 7,35 mg eq AG/g E dans les macérats méthanoliques de tubercules de Targhouda, récoltés à Mostaganem et Relizane, respectivement.

III.2.2 Résultats de dosage des flavonoïdes

Les résultats d'évaluation des teneurs en flavonoïdes de nos extraits bruts sont présentés dans la figure ci-dessous.

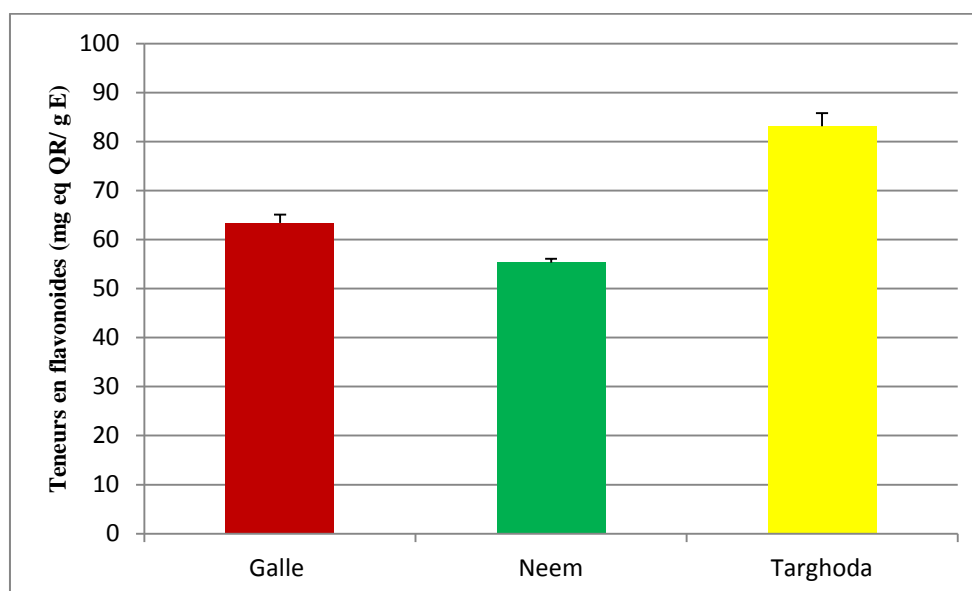


Figure 10: Teneurs en flavonoïdes des extraits des plantes étudiées.

Les résultats de la figure 10 indiquent que l'extrait de de Targhouda possède la plus haute teneur en flavonoïdes totaux (83.13 mg eq Q/g E). Les extraits des galles de *L.*

guyonianum et de Neem sont les moins riches en ces composés, avec des teneurs respectives de 63.39 et 55.30 mg EQ/g E.

Nos résultats concernant les extraits de Neem sont inférieurs à ceux rapportés par **Widiyana et Illian (2022)**, qui ont montré que les macérats éthanoliques à 70% et à l'acétate d'éthyle des feuilles d'*A. indica* récoltées en Indonésie étaient de 118.57 ± 0.08 et 74.17 ± 0.20 mg/g eq Q E, successivement. Cependant, la teneur en flavonoïdes de nos extraits de galles est supérieure à celle trouvée par **Krifa et al. (2013)**, qui était de 460 ± 14 μ g EQ/g E dans les décoctés aqueux de galles de *L. guyonianum*. De même, **Bouhalla et al. (2024)**, ont noté des teneurs plus faibles en flavonoïdes soit $9,42 \pm 0,43$ et $4,70 \pm 0,38$ mg eq Q/g E, pour les macérats méthanoliques des tubercules de Targhoda, récoltés respectivement à Relizane et Mostaganem.

III.2.3 Résultats de dosage des tanins totaux

Les résultats d'évaluation des teneurs en tanins totaux de nos extraits bruts sont présentés dans la figure ci-dessous.

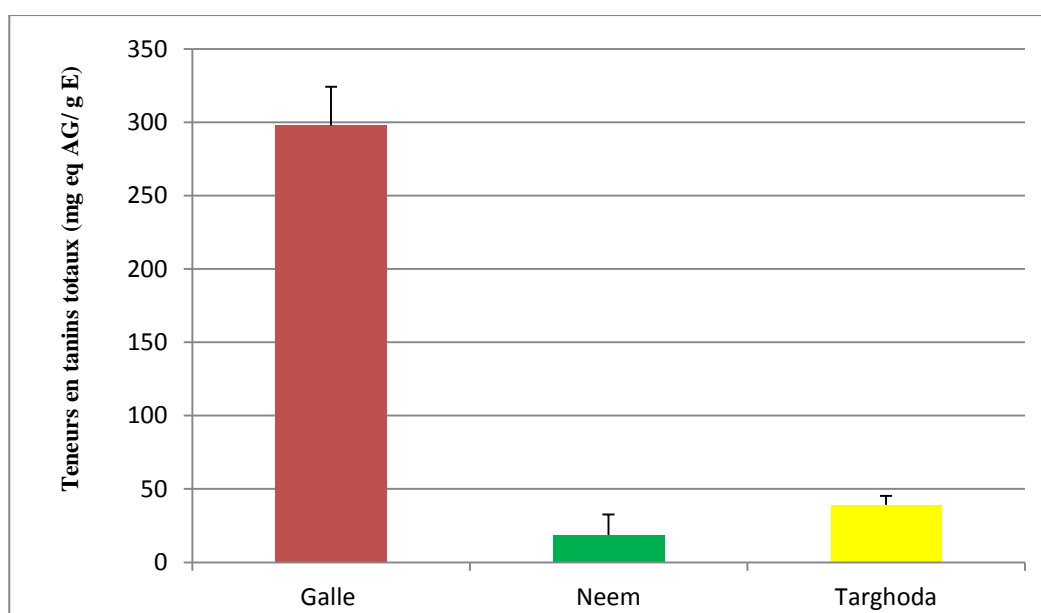


Figure 11: Teneurs en tanins totaux des extraits des plantes étudiées.

Les extraits méthanoliques des galles présentent une teneur en tanins totaux estimée à 298 ± 26.37 mg eq AG/g E. Cette valeur est considérablement supérieure à celle des extraits de Targhoda (39 mg eq AG/g E) et de Neem (19 mg eq AG/g E), représentant respectivement près de 7 et 15 fois en faveur des galles.

Pandey et al. (2014) ont signalé que les extraits hydroéthanoliques à 50% des feuilles séchées d'*A. indica*, récoltées dans la région de Lucknow (Uttar Pradesh, Inde) présentaient un taux de $1.83\% \pm 0.24$ (soit 18.3 mg/ g). Cette teneur est proche de nos données pour le Neem (19 mg eq AG/g E). De leur côté, **Hadjadj et al. (2020)** ont enregistré des teneurs beaucoup plus faibles, soit $5,4 \pm 1,7$ mg aq AT/g MS dans les extraits méthanoliques des parties aériennes de *L. guyonianum* récoltées dans la région de Méggarine.

III.2.4 Résultat de dosage des tanins condensés

Les résultats d'évaluation des teneurs en tanin condensés de nos échantillons sont présentés dans la figure ci-dessous.

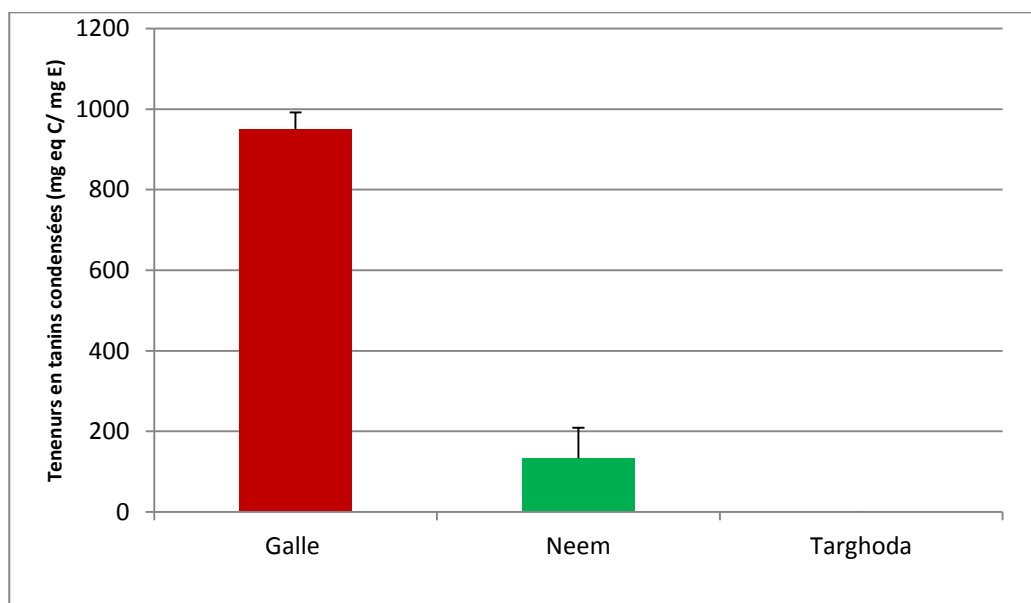


Figure 12: Teneurs en tanins condensée des extraits des plantes étudiées.

Au vu des données de la figure 12 il ressort que les extraits bruts des galles sont les plus riches en tanins condensés (949,25 mg eq C/g E). En comparaison, les extraits de Neem ne contiennent que 132,94 mg eq C/g E, soit près de 7 fois moins que la teneur trouvée dans ceux des galles.

Il a noté que les extraits de Targhoda n'ont montré aucune teneur détectable en tanins condensés.

Nos extraits de galles présentent une teneur en tanins condensés supérieure à celle rapportée par **Trabelsi et al. (2013)**. Leur étude sur *L. guyonianum* récolté dans la région d'El Akarit (Gabès) a montré une teneur maximale de 763,9 mg CE/g MS pour la Fraction 4,

obtenue par chromatographie par partition centrifuge de l'extrait acétate d'éthyle des parties aériennes. En ce qui concerne *Azadirachta indica* (Neem), la teneur en tanins condensés de nos extraits (132,94 mg eq C/g E) est légèrement inférieure à celle de $144,8 \pm 2,63$ mg CE/g E, rapportée par **Banerjee et al. (2017)** pour les extraits méthanoliques de feuilles d'*A. indica* provenant de la région de Greater Noida (Inde).

Globalement, la variabilité des contenus en composés phénoliques (polyphénols, flavonoïdes et tanins) observée entre les espèces étudiées et par rapport aux travaux antérieurs s'explique par plusieurs facteurs. L'influence des facteurs génétiques est primordiale, chaque espèce a un potentiel biosynthétique qui lui est propre (**Santiago-Saenz et al., 2018**). Les facteurs édapho-climatiques, l'origine géographique et conditions environnementales jouent également un rôle crucial, les régions arides, comme le Sahara, soumises à des stress environnementaux, peuvent stimuler la biosynthèse de ces composés en tant que mécanisme de défense naturelle de la plante (**Chaves et al., 2009**). Les conditions opératoires, la technique d'extraction utilisée, la macération prolongée, répétée sur trois jours, permet une extraction plus exhaustive et approfondie des métabolites secondaires (**Martínez-Ávila et al., 2021**). À l'inverse, la décoction, qui implique une exposition à la chaleur, peut entraîner la dégradation thermique de certains polyphénols sensibles (**Oancea et al., 2018**). Le choix du solvant, le méthanol à 80 % est un solvant plus polaire que l'éthanol, ce qui favorise une meilleure extraction des composés phénoliques hydrosolubles. La partie végétale utilisée joue un rôle essentiel : les racines, souvent riches en composés phénoliques accumulés au fil du temps (**Radusienė et al., 2024**), peuvent présenter des concentrations plus élevées que les parties aériennes. Aussi, l'état du matériel végétal, L'utilisation de matériel végétal frais est préférable. Contrairement aux échantillons séchés, elle permet de préserver l'intégrité et la stabilité des polyphénols, qui sont sensibles à l'oxydation et à la dégradation lors du séchage (**Shahidi et Yeo, 2016**).

III.3 Résultats d'évaluation des activités biologiques

Selon **Pisoschi et Pop. (2015)**, le stress oxydatif est défini comme une production excessive d'espèces réactives de l'oxygène qui ne peut être contrebalancée par l'action des antioxydants, perturbant ainsi l'équilibre redox cellulaire.

La richesse des extraits de *L. guyonianum*, *A. indica*, et *B. bulbocastanum* en composés phénoliques, ces métabolites sont reconnus pour leurs puissantes propriétés antioxydantes, ce qui signifie qu'ils peuvent efficacement neutraliser les ERO. Grâce à cette capacité, ces extraits pourraient offrir des solutions naturelles pour combattre le stress oxydatif et ainsi favoriser une meilleure santé. Pour évaluer ce potentiel antioxydant, trois tests sont utilisés phosphomolybdate, DPPH et ABTS.

III.3.1 Résultats d'évaluation de l'activité antioxydante totale

La méthode de réduction de phosphomolybdate par les antioxydants selon la méthode de **Prieto et al. (1999)**, permis d'étudier l'activité antioxydante totale de nos extraits. Les résultats obtenus sont représentés dans le graphe suivant :

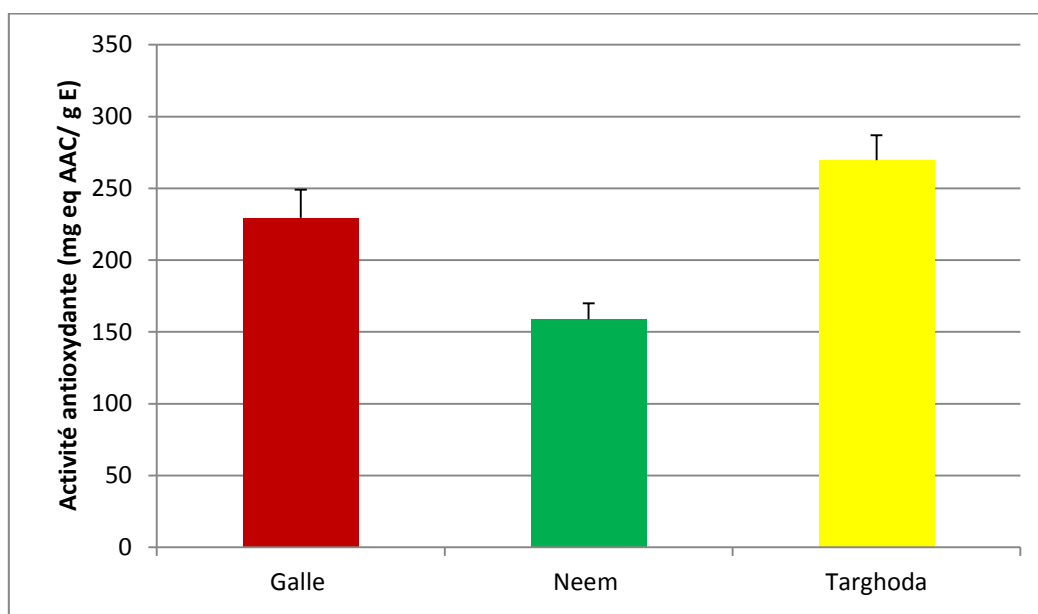


Figure 13: Activité antioxydante totale des extraits des plantes étudiées.

L'examen des données de la figure 13 révèle que les extraits bruts des racines tubérisées de Targhouda montrent la plus forte activité antioxydante, ils affichent une moyenne de 270 ± 6.11 mg eq AAC/g E. Ils sont suivis par les extraits des galles avec 229 ± 5.43 mg eq AAC/g E. En revanche, les extraits méthanoliques des parties aériennes de Neem présentent le pouvoir antioxydant le plus faible (159 ± 3.12 mg eq AAC/g E).

El-Sayed et al. (2009) ont signalé que les extraits méthanoliques à 70% des feuilles d'*A. indica*, récoltés au Caire (Egypte) avaient une activité antioxydante totale de 231,39 mg AAE/g E. Cette valeur est plus élevée que celle obtenue dans notre expérimentation pour les

extraits méthanoliques des parties aériennes de Neem (159 ± 3.12 mg éq AAC/g E). En revanche, **Hadjadj et al. (2016)** ont indiqué que les extraits hydrométhanoliques et hydroéthanoliques à 70% des parties aériennes de *L. guyonianum* montraient une activité antioxydante totale de 55,57 et 45,59 mg AAE/g MS, respectivement. Ces valeurs sont inférieures comparativement à nos estimations pour *L. guyonianum*.

III.3.2 Résultats d'évaluation de l'activité anti-radicalaire par le test DPPH

Les résultats d'évaluation de l'activité anti-radicalaire de nos échantillons sont illustrés dans la figure 14.

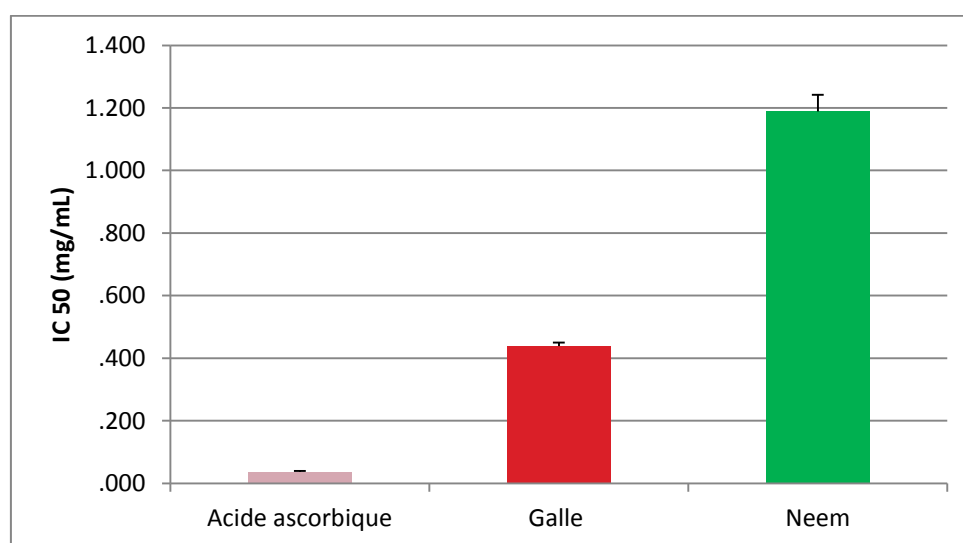


Figure 14: Concentration inhibitrice à 50 % du radical DPPH des extraits des plantes étudiées.

La figure 14 indique que les extraits des galles ont affiché une valeur d'IC₅₀ de $0,44 \pm 0,011$ mg/mL, cela montrait une activité antioxydante modérée lorsqu'on la compare à l'acide ascorbique (0.04 mg/mL), qui sert de contrôle positif. Quant à l'extrait de Neem, il a présenté une valeur d'IC₅₀ plus élevée, de $1,19 \pm 0,053$ mg/mL, indiquant une activité antioxydante faible par rapport à l'acide ascorbique qu'aux extraits des galles.

Nos concentrations inhibitrices à 50% pour les extraits des galles se révèlent plus efficaces pour piéger le radical DPPH que celles rapportées par **Radjah. (2020)**. Cette étude a obtenu une valeur d'IC₅₀ de 1,451 mg/mL pour l'extrait éthanolique des feuilles de *L. guyonianum* récoltées à Chemta (Nord-est de Biskra).

Les extraits aqueux de feuilles récoltées à Yamoussoukro (Côte d'Ivoire), ont démontré un pouvoir anti-radicalaire remarquable comparativement à ceux de nos extraits de Neem. Les valeurs d'IC₅₀ obtenues sont de 0,65 mg/ml pour le macérât, 0,47 mg/ml pour le décocté et 1,09 mg/ml pour l'infusé (Bohui et al., 2018).

III.3.3 Résultats d'évaluation de l'activité anti-radicalaire par le test ABTS

Les résultats d'évaluation de l'activité anti-radicalaire par le test ABTS de nos échantillons sont représentés dans la figure 15.

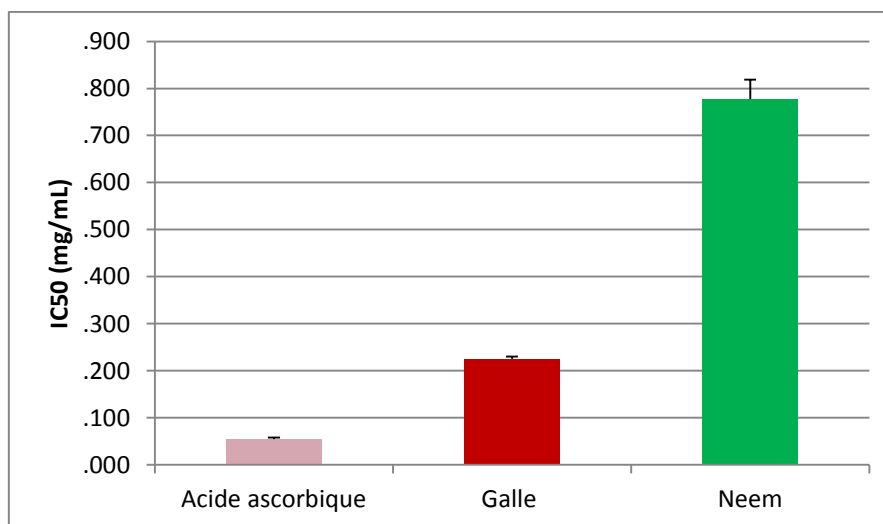


Figure 15 : Concentration inhibitrice à 50 % du radicale ABTS des extraits des plantes étudiées.

De manière similaire aux résultats du test de DPPH, les extraits des galles ont présenté une valeur d'IC₅₀ de $0,23 \pm 0,005$ mg/mL, traduisant une activité anti-radicalaire modérée par rapport à celle de l'acide ascorbique (0,055 mg/mL). En ce qui concerne les extraits de Neem, leur valeur d'IC₅₀ s'est élevée à $0,78 \pm 0,042$ mg/mL. Ceci traduit une activité antioxydante relativement faible par rapport à la fois aux extraits des galles et au contrôle positif.

Il est important de signaler que les IC₅₀ pour les tests DPPH et ABTS des extraits de Targhouda n'ont pas pu être déterminées dans nos conditions expérimentales.

Nos concentrations inhibitrices à 50% pour les extraits de Neem sont moins importantes que celles trouvées par **Abadi et al. (2024)**, qui ont mentionné que les extraits méthanoliques des graines d'*A. indica* récoltées dans la région d'El Oued (Sud-Est algérien), avaient une activité antioxydante avec une IC₅₀ de 28,09 µg/mL (soit 0,02809 mg/mL).

Nos résultats d'évaluation de l'activité antioxydante sont en corrélation avec ceux de l'analyse quantitative des composés phénoliques :

Les extraits de Targhouda montrent la plus forte activité antioxydante globale ($270 \pm 6,11$ mg eq AAC/g E), malgré leur faible teneur en phénols totaux ($39,28$ mg eq AG/g E) et aucune teneur détectable en tanins condensés. Targhouda avait la plus haute teneur en flavonoïdes ($83,13$ mg eq QR/g E). Il est possible qu'une concentration relativement faible de flavonoïdes spécifiques très puissants contribue de manière significative à l'activité globale. Une autre possibilité est qu'une synergie entre différents composés opère. Par ailleurs, cette forte activité pourrait ne pas être principalement due aux composés phénoliques eux-mêmes, mais plutôt à d'autres types de composés antioxydants (comme des vitamines, des caroténoïdes, des lignanes ou certains polysaccharides).

L'incapacité de déterminer les valeurs d'IC50 pour Targhouda pour les tests DPPH et ABTS pourrait être due à plusieurs raisons : Les composés antioxydants de Targhouda pourraient avoir des cinétiques de réaction différentes avec les radicaux, entraînant des réactions plus lentes et l'atteinte d'un plateau d'inhibition avant d'atteindre 50 % d'inhibition dans la gamme de concentrations testées. La présence d'autres composés dans l'extrait brut pourrait interférer avec les composés phénoliques de cette espèce, rendant la détermination de l'IC50 complexe.

Les extraits des galles se classent en deuxième position pour la capacité antioxydante totale ($229 \pm 5,43$ mg eq AAC/g E). Leurs valeurs d'IC50 pour le DPPH ($0,44 \pm 0,011$ mg/mL) et ABTS ($0,23 \pm 0,005$ mg/mL) confirment une activité anti-radicalaire modérée comparée à l'acide ascorbique. Cette activité est clairement corrélée avec leur richesse en phénols totaux ($360,13$ mg eq AG/g E), en tanins totaux ($298 \pm 26,37$ mg eq AG/g E), et particulièrement en tanins condensés ($949,25$ mg eq C/g E). Cela renforce l'idée que les composés phénoliques, et plus particulièrement les tanins, sont les principaux contributeurs à l'activité antioxydante des galles.

Les extraits de Neem présentent le pouvoir antioxydant total le plus faible ($159 \pm 3,12$ mg eq AAC/g E). C'est également confirmé par leurs valeurs d'IC50 élevées (DPPH : $1,19 \pm 0,053$ mg/mL ; ABTS : $0,78 \pm 0,042$ mg/mL), indiquant une activité anti-radicalaire relativement faible comparée à l'acide ascorbique et aux extraits de galles. Cette activité plus faible est en cohérence avec l'analyse quantitative, qui a montré que le Neem avait une teneur

inférieure en composés phénols totaux (138,98 mg eq AG/g E) et en tanins condensés (132,94 mg eq C/g E) par rapport aux extraits des galles.

Les composés phénoliques, qui regroupent les flavonoïdes, les tanins et d'autres structures, sont des antioxydants puissants. Leur capacité à neutraliser les radicaux libres est cruciale pour protéger les cellules contre le stress oxydatif, facteur impliqué dans de nombreuses maladies. Cette activité est directement liée à leur structure phénolique qui confère à la molécule la capacité de générer des radicaux libres stabilisés par résonance (YORDI, 2012). Ces métabolites possèdent des groupes hydroxyles phénoliques (Ar-OH) capables de céder des atomes d'hydrogène pour neutraliser et stabiliser les radicaux libres. Le composé phénolique «radicalaire» résultant, est stabilisé par la délocalisation des électrons sur le cycle benzénique (LÜ et al., 2010).

CONCLUSION

CONCLUSION

CONCLUSION

Les ressources naturelles du règne végétal restent la source fiable et capitale pour la mise au point de nouveaux remèdes thérapeutiques. Le présent travail a pour objectif l'analyse phytochimique et l'évaluation de l'activité antioxydante d'extraits phénoliques de quelques plantes médicinales, *Azadirachta indica* (Neem), *Limoniastrum guyonianum* (Zeita) et *Bunium bulbocastanum* (Targhouda).

L'analyse phytochimique quantitative des macérats hydrométhanoliques issus des galles de *L. guyonianum*, des parties aériennes de Neem et des racines tubérisées de Targhouda a révélé la richesse de ces espèces en ces métabolites bioactifs.

Les extraits de Targhouda présentent le rendement le plus élevé (16,44 %). Cependant, ils contiennent la plus faible quantité de polyphénols totaux (39,28 mg eq AG/g E) mais une forte concentration en flavonoïdes totaux (83,13 mg eq QR/g E). Ceci suggère que le profil phénolique de Targhouda est davantage axé sur les flavonoïdes que sur d'autres sous-classes phénoliques comme les tanins condensés.

Les extraits de Neem affichent un rendement intermédiaire (10,59 %) et des niveaux modérés pour toutes les catégories des composés phénoliques.

Les extraits des galles ont eu le rendement le plus bas (9,39 %), mais ils se sont avérés les plus riches en polyphénols totaux (360,13 mg eq AG/g E) et en tanins totaux ($298 \pm 26,37$ mg eq AG/g E). De plus, ils constituent la source prédominante de tanins condensés (949,25 mg eq C/g E).

L'évaluation de l'activité antioxydante totale et anti-radicalaire montre que les extraits de Targhouda ont montré la plus forte activité antioxydante globale ($270 \pm 6,11$ mg eq AAC/g E). Les extraits de galles se sont classés en deuxième position pour la capacité antioxydante totale ($229 \pm 5,43$ mg eq AAC/g E). Leurs valeurs d'IC50 (DPPH : $0,44 \pm 0,011$ mg/mL ; ABTS : $0,23 \pm 0,005$ mg/mL) confirment une activité anti-radicalaire modérée comparée à l'acide ascorbique.

Les extraits de Neem présentent le pouvoir antioxydant total le plus faible ($159 \pm 3,12$ mg eq AAC/g E). Leurs valeurs d'IC50 plus élevées (DPPH : $1,19 \pm 0,053$ mg/mL ; ABTS : $0,78 \pm 0,042$ mg/mL) confirment une activité anti-radicalaire relativement faible comparée à l'acide ascorbique et aux extraits de galles.

CONCLUSION

Dans l'ensemble, nos résultats mettent en évidence des profils antioxydants distincts pour chaque extrait. Alors que les extraits des galles et de Neem montrent une forte corrélation entre leurs teneurs en composés phénoliques et leurs activités antioxydantes. L'extrait de Targhouda présente une activité antioxydante totale remarquable qui pourrait être attribuée à des classes de composés non encore entièrement explorées ou à des synergies complexes. L'absence de valeur d'IC50 pour Targhouda ne signifie pas qu'il n'est pas un bon antioxydant ; cela indique plutôt que ses composés pourraient agir différemment, nécessitant l'exploration d'autres méthodes d'évaluation spécifiques. Des recherches supplémentaires telles que le profilage par HPLC-MS et l'identification bioguidée, seraient nécessaires pour identifier ces potentiels contributeurs et mieux comprendre leur mode d'action.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **A**
- Abadi, A., Neghmouche Nacer, S., Lakhdari, W., Boussebaa, W., Benyahia, I., Mouhoubi, D., Ladjal, A., & Hammi, H. (2024). Phytochemical composition, antioxidant, antibacterial, and antifungal activities of the methanolic extract of neem seeds (*Azadirachta indica*) grown in El Oued. *Journal of Propulsion Technology*, 45(4), 881–894.
- Abderrazak M., Joël R. (2007). *La botanique de A à Z*. Ed. Dunod, Paris,177.
- Adomou, A., Yedomonhan, H., Djossa, B., Legba, S., Humorous, M., &Akoègninou, A. (2012). Étude ethnobotanique des plantes médicinales vendues dans le marché d'Abomey-Calavi au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(2), 745-772.
- Adouane, S. (2016). Etude ethnobotanique des plantes médicinales dans la région méridionale des Aurès (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- Aggarwal, B. B., &Harikumar, K. B. (2009). Resveratrol: A multitargeted agent for age-associated chronic diseases. *Cell Cycle*, 8(10), 1451–1457.
- Ahmad Syed., & Zafar, Mohammad. (2014)- Antioxidant and antimicrobial potential of *Buniumbulbocastanum* tubers. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 6(2): 235–239.
- Akerle, O., Heywood, V., & Synge, H. (1991). *Conservation of Medicinal Plants*. Cambridge University Press.
- Alizadeh, A., Goli, S. A. H., Kadivar, M., &Firuzi, O. (2018). Antioxidant activity of *Buniumbulbocastanum* essential oil and extracts. *Industrial Crops and Products*, 112, 152–158.
- Aribi, N., Denis, B., Kilani-Morakchi, S., Joly, D., 2020. L'azadirachtine, un pesticide naturel aux effets multiples. *médecine/sciences* 36, 44–49.
- **B**
- Bader, A., Abdelhady, M. I. S., Shaheen, U., El-Malah, Y., Abourehab, M. A. S., & Barghash, M. F. (2015). *Azadirachta indica* as a source for antioxidant and cytotoxic polyphenolic compounds. *Bioscience Biotechnology Research Asia*, 12(2).
- Bakiri N., Bezzi M., Khelifi L. et Khelifi-Slaoui M.,2016-Enquête ethnobotanique d'une plante médicinale *Peganumharmala* l. dans la région de M'sila.*RevueAgriculture*,Numéro spécial 1 : 38 – 42.
- Balasundram, N., Sundram, K., &Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191–203.
- Bandyopadhyay, D., Mukherjee, D., Ghosh, P., & Mukherjee, P. K. (2013). Xanthones: Chemistry and Biology. In K. G. Ramawat& J.-M. Mérillon (Eds.), *Natural Products:Phytochemistry, Botany and Metabolism of Alkaloids, Phenolics and Terpenes* (Vol. 2, pp. 1231–1254).
- Banerjee, S., Kaushik, S., & Tomar, R. S. (2017). Effect of different solvents on antioxidant activity of leaf extracts of *Calotropis procera* and *Azadirachta indica*. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 10(1), 100-104.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Battandier, J. A. (1885). Flore d'Algérie. Alger : A. Jourdan.
- Ben Salah, A., & Belhamidi, E. (2014). Effet du séchage solaire sur la composition en sucres et en phénols de la datte variété Deglet Nour. École Nationale d'Ingénieurs de Gabès, Université de Gabès, Tunisie.
- Benaïssa, O. (2011). Étude des métabolismes terpénique et flavonique d'espèces de la famille des composées, genres *Chrysanthemum* et *Rhantherium* : Activité biologique. Thèse de Doctorat en Sciences, spécialité Chimie Organique, option Phytochimie, Université Mentouri Constantine, Algérie.
- Benarba, B. (2016). Medicinal plants used by traditional healers from south-west Algeria: An ethnobotanical study. *Journal of Intercultural Ethnopharmacology*, 5(4), 320-330.
- Benarfa, A., Belboukhari, N., & Charef, N. (2012). Phytochemical screening and antioxidant activity of *Limoniastrum guyoniana*. *Food Chemistry*, 135(4), 2418–2425.
- Benelli, G., Canale, A., Toniolo, C., Higuchi, A., Murugan, K., Pavela, R., Nicoletti, M., 2017. Neem (*Azadirachta indica*): towards the ideal insecticide? *Natural product research* 31, 369–386.
- Beta, T., Nam, S., & Dexter, J. E. (2005). Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and roller-milled fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(11), 3913–3917.
- Biswas, K., Chattopadhyay, I., Banerjee, R. K., & Bandyopadhyay, U. (2002). Biological activities and medicinal properties of neem (*Azadirachta indica*). *Current Science*, 82(11), 1336–1345.
- Boerjan, W., Ralph, J., & Baucher, M. (2003). Lignin biosynthesis. *Annual Review of Plant Biology*, 54, 519–546.
- Bohui, N. D., Yapo, A. F., Kouadio, J. P., & Kone, M. (2018). Comparative study of the antioxidant activities of aqueous extracts from *Azadirachta indica* leaves obtained by different extraction methods. *Journal of Applied Biosciences*, 129, 12985–12992.
- Bohui, P. S. G., Adima, A. A., Niamké, F. B., & N'Guessan, J. D. (2018). Étude 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.
- Bouchenak, M., Djeridane, A., Yousfi, M., & Vidal, N. (2022). Antioxidant properties of medicinal plants from Algerian Sahara. *Journal of Ethnopharmacology*, 285, 114926.
- Bouhalla, A. W., Benabdelmoumene, D., Dahmouni, S., Bengharbi, Z., Chera, A. M., & Bekada, A. (2025). Therapeutic Potential of the Algerian Ground Nut (*Bunium bulbocastanum*) Dietary Supplement in the Treatment of Thyroid-induced Dysfunction and Associated Growth Performance and Meat Quality in Rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). *Indian Journal of Animal Research*, 59(3), 430–437.
- Bouhalla, A.-W., Benabdelmoumene, D., Dahmouni, S., Bengharbi, Z., Hellal, K., Qadi, W. S. M., Al-Olayan, E., Moreno, A., Bekada, A., Buzgaia, N., Aziz, H., & Mediani, A. (2024). Comparative LC–MS-based metabolite profiling, antioxidant, and

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- antibacterial properties of *Bunium bulbocastanum* tubers from two regions in Algeria. *Scientific Reports*, 14, 21719.
- Bourgou, S., Serairi Beji, R., Medini, F., & Ksouri, R. (2020). Effet du solvant et de la méthode d'extraction sur la teneur en composés phénoliques et les potentialités antioxydantes d'*Euphorbia helioscopia*. *Agri & BioTech*, 28, Article 12.
 - Bouzidi, Y., Chérif, J. K., & Mekki, K. (2016). Phytochemical screening and antioxidant activity of *Limoniastrum guyonianum* (Coss.) aqueous and organic extracts. *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(8), 2840-2847.
 - Brahmi, F., Lounis, N., Mebarakou, S., Guendouze, N., Yalaoui-Guellal, D., Madani, K., Boulekbache-Makhlouf, L., & Duez, P. (2022). Impact of growth sites on the phenolic contents and antioxidant activities of three Algerian *Mentha* species (*M. pulegium* L., *M. rotundifolia* (L.) Huds., and *M. spicata* L.). *Frontiers in Pharmacology*, 13, 886337.
 - Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.
 - Bruneton, J. (1999). *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales* (3^e éd.). Paris: Tec & Doc, Lavoisier. 1120 p.
 - C
 - Cakilcioglu U., Khatunb S., Turkoglu I., Haytad S. (2011). Ethnopharmacological survey of medicinal plants in Maden (Elazig Turkey). *Journal of Ethnopharmacology*, 137: 469–486.
 - Carneiro, B. M., Batista, M. N., Braga, A. C. S., Nogueira, M. L., & Rahal, P. (2016). Evaluation of antiviral activity of EGCG against Zika virus. *Antiviral Research*, 134, 123–130.
 - Chaabi M, Beghidja N, Benayache S, and Lobstein A, Activity-Guided Isolation of Antioxidant principles from *Limoniastrum Feei* (Girard) batt *Zeitschrift fur Naturforschung*. (2008). 63(11-12) :p801-807.
 - Chabrier, J.-Y. (2010). *Plantes médicinales et formes d'utilisation en phytothérapie*. Thèse de Doctorat en Pharmacie, Université Henri Poincaré - Nancy 1, 181 p.
 - Chaieb, M. and Boukhris, M. (1998). *Flore succinte et illustrée des zones arides et sahariennes de Tunisie*. l'Or du Temps.
 - Chattopadhyay, S., Raychaudhuri, U., Chakraborty, R., (2014). Artificial sweeteners—a review. *Journal of food science and technology* 51, 611–621.
 - Chaves, M. M., Flexas, J., & Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103(4), 551–560.
 - Chehma, A. (2006). *Les plantes sahariennes : Usages traditionnels et perspectives de valorisation*. Université KasdiMerbah Ouargla.
 - Cheng, Z., Sun, G., Guo, W., Huang, Y., Sun, W., Zhao, F., & Hu, K. (2015). Inhibition of hepatitis B virus replication by quercetin in human hepatoma cell lines. *Virologica Sinica*, 30(4), 261–268.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cheynier, V., Comte, G., Davies, K. M., Lattanzio, V., & Martens, S. (2013). Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. *Plant Physiology and Biochemistry*, 72, 1-20.
- Chira, K., Such, J., Saucier, C., & Teissèdre, L. (2008). Grapephenolics. *Phytothérapie*, 6(1), 75-82.
- Chowdhury, M. M. I., Kubra, K., & Ahmed, F. (2015). Phytochemical screening and antioxidant activities of *Azadirachta indica* leaves extract. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 3(6), 108-113.
- Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 564-582.
- Cronquist A., (1981). *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. Ed. Columbia University Press, 12-62.
- **D**
- Dash, S. P., Dixit, S., & Sahoo, S. (2017). Phytochemical and biochemical characterizations from leaf extracts from *Azadirachta indica*: An important medicinal plant. *Biochemistry & Analytical Biochemistry*, 6(3), 323.
- De Oliveira, S., de Souza, G. A., Eckert, C. R., Silva, T. A., Sobral, E. S., Fávero, O. A., Ferreira, M. J. P., Romoff, P., & Baader, W. J. (2014). Evaluation of antiradical assays used in determining the antioxidant capacity of pure compounds and plant extracts. *Química Nova*, 37(3), 478–483.
- Debouba, M., Zouari, S., & Zouari, N. (2013). Evaluation of Antioxidant Status of Two *Limoniastrum* Species Growing Wild in Tunisian Salty Lands. *Antioxidants*, 2(3), 122–131.
- DellaGreca, M., Iesce, M.R., Previtiera, L., & Zarrelli, A. (2008). Lignans by photo-oxidation of propenyl phenols. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 7(1), 28–32.
- Derosa, G., Maffioli, P., D'Angelo, A., & Di Pierro, F. (2021). A role for quercetin in coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Phytotherapy Research*, 35(3), 1230–1236.
- Dewick, P. M. (2009). *Medicinal Natural Products: A Biosynthetic Approach* (third Ed.). Wiley.
- Dimitrova, N., Obreshkova, D., Benbassat, N., Tsokeva, Z., & Tsvetkova, A. (2023). Hemolysis by Saponin Is Accelerated at Hypertonic Conditions. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(22), 16132.
- Docherty, J. J., Fu, M. M., Hah, J. M., Sweet, T. J., Faith, S. A., & Booth, T. (1999). Resveratrol inhibition of herpes simplex virus replication. *Antiviral Research*, 43(3), 145–155.
- Dufresne, C. J., & Farnworth, E. R. (2001). A review of latest research findings on the health promotion properties of tea. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 12(7), 404–421.
- **E**
- Ekor, M. (2014). The growing use of herbal medicines: issues relating to adverse reactions and challenges in monitoring safety. *Frontiers in Pharmacology*, 4, 177.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- El Rhaffari, L. and Zaid, A. (2002). Pratique de la phytothérapie dans le sud-est du Maroc (Tafilalet) : Un savoir empirique pour une pharmacopée rénovée.
- Erdman, J. W. Jr., Balentine, D., Arab, L., Beecher, G., Dwyer, J. T., Folts, J., Harnly, J., Hollman, P. C. H., Keen, C. L., Mazza, G., Messina, M., Scalbert, A., Vita, J., & Williamson, G. (2007). Flavonoids and heart health: Proceedings of the ILSI North America Flavonoids Workshop, May 31-June 1, 2005, Washington, DC. *The Journal of Nutrition*, 137(3Suppl 1), 718S-737S.
- Euro+Med. (2013). The information resource for Euro-Mediterranean plant diversity. Euro + Med Plant Base. <https://www.euoplusmed.org/>
- **F**
- Falleh, H., Hafsi, C., Mohsni, I., & Ksouri, R. (2021). Évaluation de différents procédés d'extraction des composés phénoliques d'une plante médicinale : *Verbena officinalis*. *Biologie Aujourd'hui*, 215(3-4), 133–142
- **G**
- Génard, M., Robin, C., Gautier, H., Massot, C., Bénard, C., Larbat, R., Bertin, N., Le Bot, J., Adamowicz, S., & Bourgaud, F. (2010). Élaboration de la qualité du fruit : composition en métabolites primaires et secondaires. *Innovations Agronomiques*, 9, 47–57.
- Ghedira, K., Goetz, P., (2014). *Azadirachta indica* A. Juss- Neem, Meliaceae. *Phytothérapie* 12:252-257.
- **H**
- Haddouchi, F., Chaachouay, N., & Zellagui, A. (2016). Ethnobotanical study of medicinal plants used in the region of Bouira (Northern Algeria). *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 4(4), 140-156.
- Hadjadj, M., Baaliouamer, A., Didi, M. A. (2016). Study of antioxidant activity and phenolic content of *Limoniastrum guyonianum* extracts using different solvents. *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy*, 8(3), 25-31.
- Hadjadj, S., Bayoussef, Z., El Hadj-Khelil, A. O., Beggat, H., Bouhafis, Z., Boukaka, Y., Khaldi, I.A., Mimouni, S., Sayah, F. and Tey, M. (2015). Ethnobotanical study and phytochemical screening of six medicinal plants used in traditional medicine in the Northeastern Sahara of Algeria (area of Ouargla). *Journal of Medicinal Plants Research*, 9(41), 1049-1059.
- Hadjadj, S., Esnault, M.-A., Berardocco, S., Guyot, S., Bouchereau, A., Ghouini, F., Lamini, R., Ould El Hadj-Khelil, A. (2020). Polyphenol composition and antioxidant activity of *Searsia tripartita* and *Limoniastrum guyonianum* growing in Southeastern Algeria. *Scientific African*, 10, 585.
- Hadjadj, S., Khadir, A., Bensaci, S., Ould El Hadj, M. D., Ould El Hadj-Khelil, A. (2016). Comparison of phenolic content and antioxidant activity of methanolic and ethanolic extracts of *Limoniastrum guyonianum*. *International Journal of Biosciences*, 9(6), 35–44.
- Hardie, D. G. (2007). AMP-activated/SNF1 protein kinases: Conserved guardians of cellular energy. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 8(10), 774–785.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Hartmann, T. (2007). From waste products to ecochemicals: Fifty years research of plant secondary metabolism. *Phytochemistry*, 68(22–24), 2831–2846.
- Haslam, E. (1998). *Practical polyphenolics: From structure to molecular recognition and physiological action*. Cambridge University Press.
- Hazarika, I., Kalita, J. C., & Nath, S. C. (2016). Antioxidant and anticancer property of *Buniumbulbocastanum* fruits' various fractions. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 7(6), 1697–1705.
- Hossain, M. D., Sarwar, M. S., Rahman Dewan, S. M., Hossain, M. S., Shahid-Ud-Daula, A. F. M., & Safiqul Islam, M. (2014). Investigation of total phenolic content and antioxidant activities of *Azadirachta indica* roots. *Avicenna Journal of Phytomedicine*, 4(2), 97–102.
- Humphrey, A. J., & Beale, M. H. (2008). Terpenes. In A. Crozier, M. N. Clifford, & H. Ashihara (Eds.), *Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet* (1st ed., pp. 47–101). Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- **I**
- Islam, M. E., Haque, M. E., & Alam, M. A. (2014). Antioxidant and total phenolic content of *Azadirachta indica* leaves. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 5(8), 3294–3298.
- **J**
- Jassbi A. R., Mehrdad M., Soleimani M., Mirzaeian M., and Sonboli A. (2005). Chemical composition of the essential oils of *Bunium melegans* and *Bunium caroides*. *Chemistry of Natural Compounds* 41 (4), 415-416.
- Jean-Denis, J. B. (2005). Caractérisation de polyphénols stilbéniques et de dérivés induits ou constitutifs de la vigne impliqués dans sa défense contre l'agent pathogène du mildiou de la vigne, *Plasmopara viticola* (Berk. and Curt.) (Thèse de doctorat, Université de Neuchâtel).
- **K**
- Kamal, M. V., Belle, V. S., & Pai, S. R. K. (2022). Ethnobotanical review of *Buniumbulbocastanum* (Black Cumin) for the treatment of diseases: The clinical and mechanistic evidence. *Ymer*, 21(4), 374–388.
- Kaur, M., Kaur, R., Singh, D., & Singh, B. (2019). Phytochemical screening and antioxidant activity of *Azadirachta indica* extracts. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(2), 233–237.
- Ketkar, C. M. (1976). Utilization of Neem (*Azadirachta indica* Juss.) and its by-products. Final Technical Report. Directorate of Non-Edible Oils and Soap Industry, Khadi and Village Industries Commission.
- Khan I., Ahmad H., Ali N., Ahmad B and Tanoli H. (2013). Screening of *Buniumbulbocastanum* for antibacterial, antifungal, phytotoxic and haemagglutination activities. *Pakistan Journal of Pharmacy Sciences* 26 (4) : 787-791.
- Khan, M. A., Ahmad, M., Zafar, M., & Sultana, S. (2024). Phytochemical screening and determination of total phenolic contents of *Buniumbulbocastanum*. *Journal of Medicinal Plants Research*, 18(1), 15–21.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Khan, M., Ali, K., Riaz, M., Nazir, R., Fatima, R. A., Saeed, A., & Imran, M. (2025). Saponins, the Unexplored Secondary Metabolites in Plant Defense: Opportunities in Integrated Pest Management. *Plants*, 14(6), 861.
- Khanal, P., Paudel, N., Aryal, S., & Aryal, P. (2021). Phytochemical screening and evaluation of antidiarrhoeal activity of *Bunium bulbocastanum* seeds extract in experimental Wistar rats. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 13(6), 1–5.
- Khanna, J., Medvigy, D., Fueglistaler, S. and Walko, R., (2017). Regional dry-season climate changes due to three decades of Amazonian deforestation. *Nature Climate Change*, 7(3), pp.200-204.
- Kharwar, R. N., Mishra, A., Gond, S. K., & Stierle, A. (2011). Antioxidant and antimicrobial activities of neem (*Azadirachta indica*). *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(7), 1285–1291.
- Kim, H. J., Jeong, S. M., Kim, M. J., & Jo, S. C. (2008). Inhibitory effects of green tea polyphenol on inflammatory pathways. *Biochemical Pharmacology*, 76(3), 337–345.
- Kiselev, K. V., Lysenko, E. A., Vasyukova, N. I., & Dubrovina, A. S. (2023). Polyphenols as Important Plant Secondary Metabolites for Human Health: A Review. *Plants*, 12(3), 501.
- Koriem, K.M.,(2013). Review on pharmacological and toxicological effects of oleum azadirachti oil. *Asian Pacific journal of tropical biomedicine* 3, 834–840.
- Kraus, T. E. C., Zasoski, R. J., Dahlgren, R. A., Horwath, W. R., & Preston, C. M. (2003). Tannins in nutrient dynamics of forest ecosystems—a review. *Plant and Soil*, 256(1), 41–66.
- Krifa, M., Alhosin, M., Muller, C. D., Gies, J.-P., Chekir-Ghedira, L., Ghedira, K., Mély, Y., Bronner, C., & Mousli, M. (2013). *Limoniastrum guyonianum* aqueous gall extract induces apoptosis in human cervical cancer cells involving p16INK4A re-expression related to UHRF1 and DNMT1 down-regulation. *Journal of Experimental & Clinical Cancer Research*, 32(1), 30.
- Krifa, M., Alhosin, M., Muller, C. D., Gies, J.-P., Chekir-Ghedira, L., Ghedira, K., Mély, Y., Bronner, C., & Mousli, M. (2013). *Limoniastrum guyonianum* aqueous gall extract induces apoptosis in human cervical cancer cells involving p16INK4A re-expression related to UHRF1 and DNMT1 down-regulation. *Journal of Experimental & Clinical Cancer Research*, 32, Article 30.
- Kumar, S., & Pandey, A. K. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids: an overview. *The Scientific World Journal*.
- Kumar, S., & Navaratnam, V. (2013). Neem (*Azadirachta indica*): Prehistory to contemporary medicinal uses to humankind. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 3(7), 505–514.
- Kuo, S. M. (2007). Antiproliferative potency of structurally distinct dietary flavonoids on human colon cancer cells. *Cancer Letters*, 245(1-2), 144–151.
- Kurniawan, Y. S., Priyanga, K. T. A., Jumina, Pranowo, H. D., Sholikhah, E. N., Zulkarnain, A. K., Fatimi, H. A., & Julianus, J. (2021). An Update on the Anticancer Activity of Xanthone Derivatives: A Review. *Pharmaceuticals*, 14(11), 1144.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

• L

- Lahiri, D., Nag, M., Dutta, B., Mukherjee, I., Ghosh, S., Dey, A., ... & Ray, R. R. (2021). Catechin as the most efficient bioactive compound from *Azadirachta indica* with antibiofilm and anti-quorum sensing activities against dental biofilm: An in vitro and in silico study. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 193(6), 1617–1630.
- Lefahal M., Zaabat N., Djarri L., Benahmed M., Medjroubi K., Laouer H., Akkal S. (2017). Evaluation of the antioxidant activity of extracts and flavonoids obtained from *Bunium alpinum* Waldst. & Kit. (Apiaceae) and *Tamarix gallica* L. (Tamaricaceae). *Pharmacy and Medical Sciences* 30: 5-9.
- Li, H., Wang, Z., & Liu, Y. (2006). Review in the studies on tannins activity of cancer prevention and anticancer. *Zhong-Yao-Cai*, 29(9), 894–896.
- Li, Y., Yao, J., Han, C., Yang, J., Chaudhry, M. T., Wang, S., & Yin, Y. (2016). Quercetin, inflammation and immunity. *Nutrients*, 8(3), 167.
- Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 118–126.
- LÜ J.M., LIN P. H., YAO Q., CHEN C., 2010- Chemical and molecular mechanisms of antioxidants: experimental approaches and model systems. *J. Cell. Mol. Med.* 14(4): 840–860.

• M

- Maddaluno, J., Bellosta, V., Chataigner, I., Couty, F., Harrison-Marchand, A., Lasne, M.-C., Lopin-Bon, C., & Rouden, J. (2023). Fiche 182. Les terpènes et stéroïdes. Dans *Le cours de chimie organique (4e éd., pp. 444–445)*. Dunod.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: Food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727–747.
- Martínez-Ávila, G. C. G., Aguilar-Zarate, P., & Rojas, R. (2021). Currently applied extraction processes for secondary metabolites from *Lippia turbinata* and *Turnera diffusa* and future perspectives. *Separations*, 8(9), 158.
- Merad, F., & Mahiout, T. (2019). Contribution à l'étude de conformité des drogues pour tisanes vendues en officines (Thèse de doctorat en pharmacie). Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- Middleton, E., Jr., Kandaswami, C., & Theoharides, T. C. (2000). The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease, and cancer. *Pharmacological Reviews*, 52(4), 673–751.
- Mordue L.A.J., Morgan E.D., Nisbet A.J., (2005). Azadirachtin, a natural product in insect control. In: Gilbert LI, Iatrou K, Gill SS eds. *Comprehensive Molecular Insect Science*. Oxford, UK: Elsevier: 117-35. 7.
- Mordue, A. J., & Nisbet, A. J. (2000). Azadirachtin from the neem tree (*Azadirachta indica*): its action against insects. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 29(4), 615–632.
- Morgan, E.D., (2009). Azadirachtin, a scientific gold mine. *Bioorganic & medicinal chemistry* 17, 4096–4105.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **N**
- Narayana, K. R., Reddy, M. S., Chaluvadi, M. R., & Krishna, D. R. (2001). Bioflavonoids: classification, pharmacological, biochemical effects and therapeutic potential. *Indian Journal of Pharmacology*, 33(1), 2–16.
- **O**
- O'Connell, J., Sharp, R., & Provan, G. J. (2001). Structural and chemical properties of hydrolyzable tannins. *Phytochemistry*, 58(3), 245-251.
- O'Kennedy, R., & Thornes, R. D. (1997). *Coumarins: Biology, Applications and Mode of Action*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Oancea, A.-M., Onofrei, C., Turturică, M., Bahrim, G., Râpeanu, G., & Stănciuc, N. (2018). The kinetics of thermal degradation of polyphenolic compounds from elderberry (*Sambucus nigra* L.) extract. *Food Science and Technology International*, 24(4), 361–369.
- Ouedraogo, M., Ouédraogo, S., & Zongo, C. (2021). Phytochemical composition and biological activities of some medicinal plants from Burkina Faso. *Journal of Medicinal Plants Research*, 15(3), 143-153.
- Ozenda P(2004) : flore et végétation du Sahara. 3^{ème} édition, CNRS, paris, France.
- **P**
- Paes J.B., Souza A.D., Lima, C.R., Medeiros Neto, P.N., (2011). Efficiency of neem (*Azadirachta indica*) and castor (*Ricinus communis*) oils on protection of *Ceiba pentandra* wood against xylophagous termites under feed preference assay. *RevÁrvore* 35: 751-758.
- Pandey, G., Verma, K. K., & Singh, M. (2014). Evaluation of phytochemical, antibacterial and free radical scavenging properties of *Azadirachta indica* (neem) leaves. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6(2), 444–447.
- Pelt, J.-M. (1980). *Les Plantes: amours et civilisations végétales*. Fayard.
- Pietta, P. G. (2000). Flavonoids as antioxidants. *Journal of Natural Products*, 63(7), 1035–1042.
- Piotrowska, H., Kucinska, M., & Murias, M. (2012). Biological activity of piceatannol: Leaving the shadow of resveratrol. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 750(1), 60–82.
- Piska, K., Kurek, A., & Nowak, R. (2023). Therapeutic Role of Alkaloids and Alkaloid Derivatives in Cancer. *Molecules*, 28(14), 5578.
- Pisoschi, A. M., & Pop, A. (2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 97, 55–74.
- Price, M. L., Van Scoyoc, S., & Butler, L. G. (1978). A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26(5), 1214–1218.
- Prieto, P., Pineda, M., & Aguilar, M. (1999). Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex:

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Specific application to the determination of vitamin E. *Analytical Biochemistry*, 269(2), 337–341.
- Prieur, C., Rigaud, J., Cheynier, V., & Moutounet, M. (1994). Structure and properties of condensed tannins: Comparison between procyanidins and prodelphinidins. *Phytochemistry*, 36(4), 793-799.
 - Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290–4302.
 - Puri, H.S., (1999). *Neem: the divine tree Azadirachta indica*. CRC Press, Amsterdam.
 - **R**
 - Radjah, A. (2020). Valorisation et identification phytochimique des principes actifs de quelques plantes médicinales de la région de Biskra (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider Biskra).
 - Radusienė, J., Karpavičienė, B., Vilkickytė, G., Marksa, M., & Raudonė, L. (2024). Comparative Analysis of Root Phenolic Profiles and Antioxidant Activity of Five Native and Invasive *Solidago L.* Species. *Plants*, 13(1), 132.
 - Radwanski, S.A., Wickens, G.E., (1981). Vegetative fallows and potential value of the neem tree (*Azadirachta indica*) in the tropics. *Economic Botany* 35, 398–414.
 - Rates, S.M.K. (2001). Plants as source of drugs. *Toxicon*, 39(5), 603-613.
 - RE R., PELLEGRINI N., PROTEGGENTE A., PANNALA A., YANG M., RICE-EVANS C., (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorisation assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26 (9-10): 1231- 1237.
 - Rockenbach, I. I., Gonzaga, L. V., Rizelio, V. M., Gonçalves, A. E. S. S., Genovese, M. I., & Fett, R. (2011). Phenolic compounds and antioxidant activity of seed and skin extracts of red grape (*Vitis vinifera* and *Vitis labrusca*) varieties. *Food Research International*, 44(4), 897–901.
 - **S**
 - Santiago-Saenz, Y. O., Hernández-Fuentes, A. D., Monroy-Torres, R., Cariño-Cortés, R., & Jiménez-Alvarado, R. (2018). Physicochemical, nutritional and antioxidant characterization of three vegetables (*Amaranthus hybridus L.*, *Chenopodium berlandieri L.*, *Portulaca oleracea L.*) as potential sources of phytochemicals and bioactive compounds. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(4), 2923–2935.
 - Scalbert, A. (1991). Antimicrobial properties of tannins. *Phytochemistry*, 30(12), 3875–3883.
 - Schmitterer H. (2002). *Azadirachta indica A. Juss and other meliaceae plants: sources of unique natural products for integrated pest management, medicine, industry and other purposes*. Second edn. Neem Foundation. Mumbai, India. 760-779.
 - Schmitterer H., 1995. (eds.), *The Neem Tree, Azadirachta indica A. Juss and other Meliaceae Plants*. VCH: Weinheim.
 - Seeram, N. P., Adams, L. S., Henning, S. M., Niu, Y., Zhang, Y., Nair, M. G., & Heber, D. (2005). In vitro antiproliferative, apoptotic and antioxidant activities of

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- punicalagin, ellagic acid and a total pomegranate tannin extract. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 16(6), 360–367.
- Siddiqui, B. S., Afshan, F., Gulzar, T., & Hanif, M. (2004). Tetracyclic triterpenoids from the leaves of *Azadirachta indica*. *Phytochemistry*, 65(16), 2363–2367.
 - Simonichi, J. (2021). *Antibiotiques végétaux : La puissance des plantes médicinales*. Scribd.
 - Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158.
 - Singleton, V.L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178.
 - Sofowora, A. (1993). *Medicinal plants and traditional medicine in Africa* (2nd ed.). Spectrum Books Ltd.
 - Sparg, S. G., Light, M. E., & van Staden, J. (2004). Biological activities and distribution of plant saponins. *Journal of Ethnopharmacology*, 94(2-3), 219-243.
 - Subapriya, R., & Nagini, S. (2005). Medicinal properties of neem leaves: a review. *Current Medicinal Chemistry - Anti-Cancer Agents*, 5(2), 149–156.
 - Schauenberg, P., & Paris, F. (1997). *Guide des plantes médicinales : analyse, description et utilisation de 400 plantes* (p. 80). Paris: Delachaux ET Niestlé.
 - Sun, W., Shahrajabian, M. H., Petropoulos, S. A., & Shahrajabian, N. (2023). Developing Sustainable Agriculture Systems in Medicinal and Aromatic Plant Production by Using Chitosan and Chitin-Based Biostimulants. *Plants*, 12(13), 2469.
 - **T**
 - Tadera, K., Minami, Y., Takamatsu, K., & Matsuoka, T. (2006). Inhibition of alpha-glucosidase and alpha-amylase by flavonoids. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 52(2), 149–153.
 - Tanaka, M., Kataoka, K., Tsubuku, S., & Ueno, H. (2011). Protective effect of quercetin on pancreatic β -cell dysfunction. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 75(4), 816–820.
 - Taufel A., et.al, (Hrsg): *Lebensmittel-Lexikon*, Behr'sVerlage, Hamburg 1993, Nachdruck 1998.
 - Tobgay, T., Chai, L. C., & Tan, L. W. (2020). Comparison of hot water and methanol extraction combined with ultrasonic pretreatment on antioxidant and flavonoid contents from pigmented rice. *Food Research*, 4(2), 547–556.
 - Trabelsi, N., Megdiche, W., Ksouri, R., Falleh, H., Oueslati, S., Soumaya, K., & Abdelly, C. (2013). Variation of phenolic composition and antioxidant activity of *Limoniastrum guyonianum* aerial parts under saline conditions. *Comptes Rendus Biologies*, 336(9), 576-584.
 - Trabelsi, N., Oueslati, S., Henry-Vitrac, C., Waffo-Téguo, P., Medini, F., Mérillon, J. M., Abdelly, C., & Ksouri, R. (2013). Phenolic contents and biological activities of *Limoniastrum guyonianum* fractions obtained by centrifugal partition chromatography. *Industrial Crops and Products*, 49, 740–746.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **V**
- Van Wyk, B.-E. (2015). A review of commercially important African medicinal plants. *Journal of Ethnopharmacology*, 176, 118-134.
- Venugopala, K. N., Rashmi, V., & Odhav, B. (2013). Coumarins: a potential source of pharmaceutically important molecules. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 5(4), 241–249.
- Verdrager, J. (1978). *Ces médicaments qui nous viennent des plantes : ou les plantes médicinales dans les traitements modernes*. Paris: Maloine.
- Vergallo, C., Panzarini, E., & Dini, L. (2019). High performance liquid chromatographic profiling of antioxidant and antidiabetic flavonoids purified from *Azadirachta indica* (neem) leaf ethanolic extract. *Pure and Applied Chemistry*, 91(10), 1631–1640.
- Vermerris, W., & Nicholson, R. (2006). *Phenolic compound biochemistry*. Springer Science & Business Media.
- **W**
- Waseem, M., Majeed, Y., Nadeem, T., Naqvi, L. H., Khalid, M. A., Sajjad, M. M., Sultan, M., Khan, M. U., Khayrullin, M., Shariati, M. A., & Lorenzo, J. M. (2023). Conventional and advanced extraction methods of some bioactive compounds with health benefits of food and plant waste: A comprehensive review. *Food Frontiers*, 4(1), 1–15.
- Waterman, P. G., & Mole, S. (1994). *Analysis of Phenolic Plant Metabolites*. Blackwell Scientific Publications.
- Widiyana, A. P., & Illian, D. N. (2022). Phytochemical analysis and total flavonoid content on ethanol and ethyl acetate extract from neem (*Azadirachta indica* Juss.) leaves using UV–Vis spectrophotometric. *Jurnal Farmasi Sains dan Praktis (JFSP)*, 8(1), 60–65.
- Widiyana, A. P., & Illian, D. N. (2022). Phytochemical analysis and total flavonoid content on ethanol and ethyl acetate extract from neem (*Azadirachta indica* Juss.) ves utilizing UV–Vis spectrophotometric. *Jurnal Farmasi Sains dan Praktis*, 8(1), 71–77.
- Williams, C. A., & Grayer, R. J. (2004). Anthocyanins and other flavonoids. *Natural Product Reports*, 21(3), 539–573.
- **Y**
- YORDI E. G., PÉREZ E. M., MATOS M. J. VILLARES E. U., 2012-Antioxidant and Pro-Oxidant Effects of Polyphenolic Compounds and Structure-Activity. Relationship Evidence. *Nutrition, Well-Being and Health*, pp: 2-48.
- **Z**
- Zhang, W. L., Chen, J. P., Lam, K. Y., Zhan, J. Y., Yao, P., Dong, T. T., & Tsim, K. W. (2014). Hydrolysis of glycosidic flavonoids during the preparation of Danggui Buxue Tang: An outcome of moderate boiling of Chinese herbal mixture. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2014, 608721.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Zhao, X., Zhang, Y., Wang, Y., & Wang, Y. (2023). The stability and degradation products of polyhydroxy flavonols in thermal processing. *Food Chemistry*, 407, 135050.

ANNEXE

ANNEXE

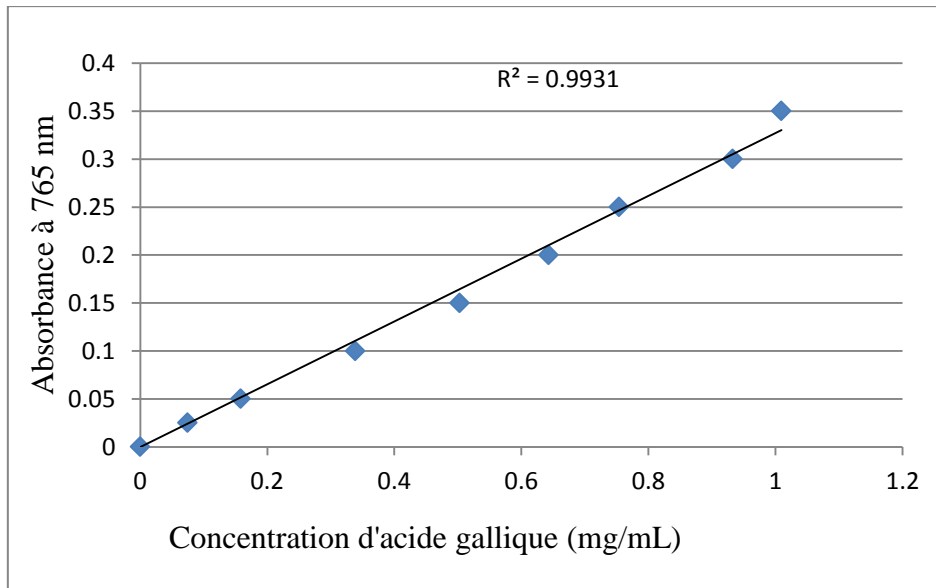


Figure 1 : Courbe étalonnage d'acide gallique.

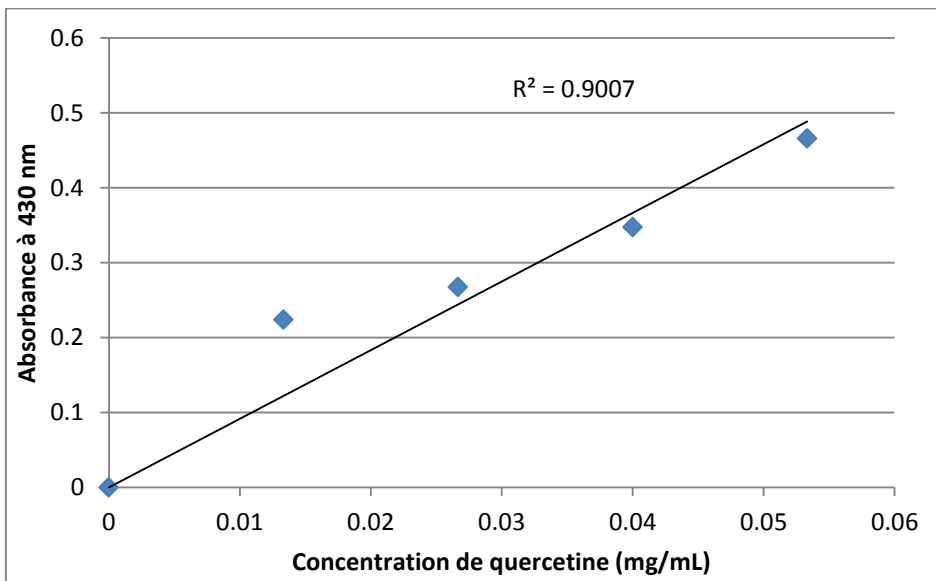


Figure 2 : Courbe étalonnage de quercétine.

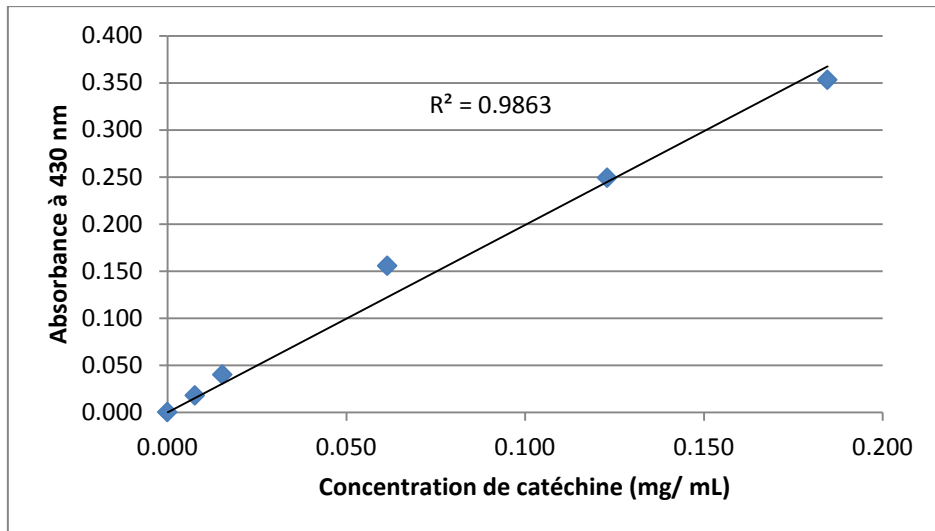


Figure 3 : Courbe étalonnage de catéchine.

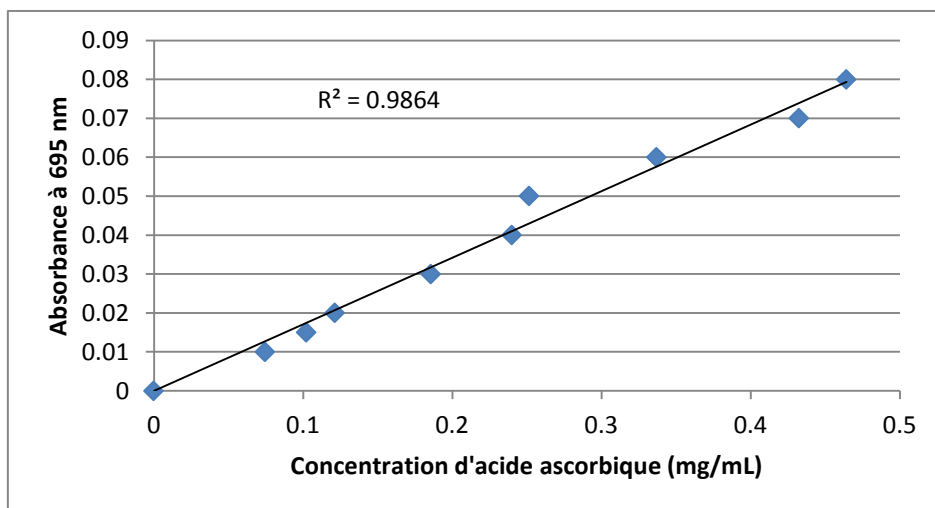


Figure 4 : Activité antioxydante totale de l'acide ascorbique.