



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire N série: ...
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة الشهيد حمدة لخضر الوادي
Université Echahid Hamma Lakhdar -El OUED
كلية علوم الطبيعة والحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
قسم البيولوجيا الخلوية والجزئية
Département de biologie Cellulaire et Moléculaire.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Sciences
biologiques

Spécialité : Toxicologie

THEME

*Évaluation du potentiel thérapeutique d'un extrait de
plante médicinale de la flore algériennes
(Haloxylon scoparium)*

Présenté par :

- Zobeidi Ikram

- Reguibi Karima

- Hammia Khaled

- Dida Laïd

Devant le jury composé de :

Président : Dr. Maayouf Rabeh MCA Université d'El Oued.

Examineur : Dr. Khelef Yahia MCB Université d'El Oued.

Encadreur : Dr. Bouali Nourredine MCA Université d'El Oued.

Année Universitaire 2024-2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
مَنْ كَانَ فِي حَرْبٍ مَعَهُ نَسْرَةٌ مِنْ بَنِي إِسْرَائِيلَ فَلْيُحْرِمِهَا
وَلْيُؤْتِهَا مَا فِي بَيْتِهَا مِنْ ثَمَرٍ حَلَالٍ وَلَا يَكْفُلْهَا
فَإِنْ كَفَلَهَا فَوَافَقْتَهَا بِهَا بَلَغًا حَرَامٌ
وَلَا يَكْفُلُهَا فَمَا فِيهَا مِنْ ثَمَرٍ فَلْيَكْتَسِبْ
وَلْيَكُلْ مِنْهَا حَيْثُ شَاءَ وَلَا يَجْرِمِهَا
إِلَى الْكُفْرِ بِمَا كَفَرَ بِهِ إِنَّهَا لَمِنْ
أُمَّةٍ قَدِيمَةٍ لَقَدْ أَخَذَ اللَّهُ مِيثَاقَ
بَنِي إِسْرَائِيلَ وَكُتِبَ فِي الْكِتَابِ لَأُقْبِلَنَّ
إِلَيْكُمْ فَيَكُونُوا حَرَمًا بَيْنَ يَدَيْكُمْ
فَتَقْتُلُوا كُفْرًا بِمَا كَفَرْتُمْ فَمَا كُنْتُمْ
بِعَابِدِي إِذْ كُنْتُمْ تَكْفُرُونَ فَمَا كُنْتُمْ
بِعَابِدِي إِذْ كُنْتُمْ تَكْفُرُونَ فَمَا كُنْتُمْ
بِعَابِدِي إِذْ كُنْتُمْ تَكْفُرُونَ فَمَا كُنْتُمْ
بِعَابِدِي إِذْ كُنْتُمْ تَكْفُرُونَ

١٤٣٨ هـ

Remerciements

Nous exprimons avant tout notre profonde gratitude à Dieu Tout-Puissant, dont le soutien spirituel nous a permis d'achever ce travail avec force et persévérance.

*Nous adressons nos remerciements les plus sincères à Monsieur **Bouali Nouredine** pour son encadrement rigoureux, la qualité de sa supervision, sa disponibilité constante, ainsi que pour ses conseils avisés et la confiance qu'il nous a témoignée tout au long de la réalisation de ce travail.*

Nous exprimons vivement messieurs les membres de jury pour l'honneur qui'ils nous ont fait en acceptant d'examiner ce modeste travail et leur participations à la soutenance.

*Nous exprimons également notre reconnaissance à Monsieur **Bensouissi Chawki** ainsi qu'à l'ensemble de l'équipe du **Laboratoire de Biochimie du CRBT**, pour leur accueil, leur assistance technique et leur soutien précieux durant la phase expérimentale de ce projet.*

Nos remerciements s'adressent aussi à

*Monsieur **Houat Ammar** pour sa contribution,*

ainsi qu'à toutes les personnes ayant, de près ou

de loin, participé à la concrétisation de ce travail.





Dédicaces

*À celle dont l'étreinte fut chaleur et les prières sincères, à ma mère **Khadidja Reguibi**,
source de tendresse et secret de ma force.*

*Et à mon père **Ahmed**, qui m'a appris que la patience est une forme de détermination,
j'offre le fruit de mes efforts et le résultat de plusieurs années de persévérance.*

*À mes piliers dans la vie, mes chers frères : **Noui et Hachemi**, et à la source d'amour et
de soutien, mes chères sœurs : **Rabia, Fatima, Djemila, Aïcha, Massouda, Khira,**
Hadda, je vous adresse toute ma gratitude pour la pureté de vos cœurs.*

*À **Marwa**, épouse de mon frère, symbole de bonté et d'élégance, et aux enfants chéris
qui ont illuminé mon chemin par leurs sourires : **Amel, Selim, Chahrazad, Nassima, Djihan,**
Roukiya, Imam, Ahmed, Firas, votre présence est un espoir renouvelé à chaque étape.*

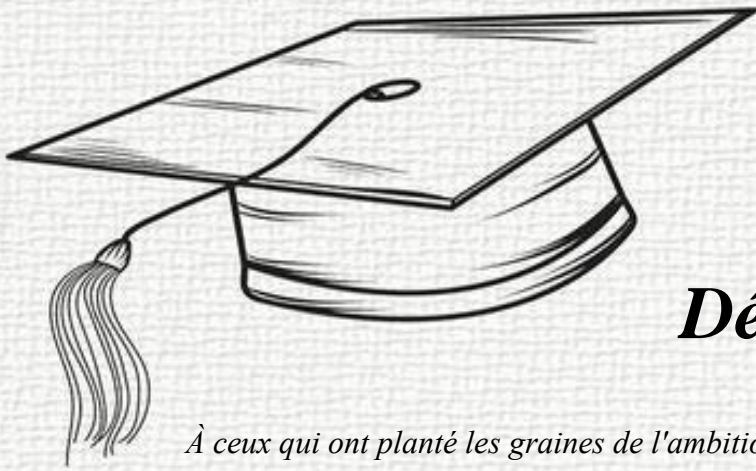
*Aux âmes de mes grands-parents disparus, qui ont laissé dans mon cœur les racines de
l'amour, qu'Allah vous accorde Sa miséricorde et fasse de votre demeure le paradis.*

*À mes amies chères, compagnes de route et partenaires de réussite, vous avez été une
lumière dans l'obscurité de la fatigue, et une main tendre dans les moments de
faiblesse. Merci pour votre fidélité et votre soutien constant.*

*Et à tous ceux qui ont contribué à ce parcours, de près ou de loin,
par une prière, un conseil, un mot d'encouragement ou un silence chargé de sens...
qu'Allah vous récompense pour tout le bien.*

Ce travail est pour vous, avec vous, et grâce à vous que l'accomplissement

Reguibi karima



Dédicaces

À ceux qui ont planté les graines de l'ambition dans mon cœur, l'ont arrosé de leur amour et l'ont nourri de leurs prières...

À ceux dont les prières ont été pour moi une source de subsistance sur mon chemin et une lumière qui a illuminé les sentiers de mes journées...

À ma mère, source de tendresse et voix rassurante lors des nuits fatigantes...

*À mon père **Abdul Aziz**, mon premier soutien et mon maître en patience et en constance...Je vous dédie cette joie de remise de diplôme, car elle vient de vous et à vous.*

Tu étais la lumière qui ne s'éteint jamais, la prière qui n'est jamais rejetée et la main qui efface les difficultés des jours du cœur.

*À mes sœurs (**Ahlam, Abdel Halim, Iman, Khaled**) qui ont partagé mes rires et mes larmes,*

Qui était la petite patrie quand le monde est devenu étroit,

Dont les simples mots m'ont porté de l'abîme de la fatigue au sommet de la force,

Vous avez une grande part dans cette réussite, car vous êtes partenaires dans le voyage et le soutien du cœur.

Cette remise de diplôme n'est pas seulement un certificat, mais une histoire de travail acharné, de patience et de pas constants vers le rêve...

Louange à Dieu en premier et en dernier lieu, pour le nombre de fois où nos cœurs ont battu de joie en ce jour.

Ikram zobeidi



Dédicaces

Je tiens avant tout à rendre gloire à Allah pour sa bonté infinie, pour la santé et la paix accordées.

*Je dédie ce travail à ma grand famille **Hammia** « mes très chers parents et mes chers frères et soeurs » et ma petite famille qui sont le joyau de ma vie.*

Je remercie très beaucoup le dieu à cette grâce qui est ma famille et souhaite de mon dieu de protéger.

Je dédie ce travail en plus .A mes chère amies en promotion « Laid et Hichem » et mes collègues dans ce travail.A toute la promotion de 2éme année Master Toxicologie 2024/2025.

Khaled Hammia



Dédicaces

A mon cher père Amara et ma chère mère Zohra

A ma femme Ahlam

A mon chère ami Abd elhamid degaa

A mes très chers frères Hamza, Abd erhman lzhari

A toute la famille dida

A toutes les mains qui m'ont été tendues. Khaled Karima Ikram

Laid dida

Résumé

Cette étude évalue l'activité antioxydante d'*Haloxylon scoparium* (Ramth), une plante médicinale répandue dans les milieux arides d'Algérie. Des échantillons ont été prélevés dans la zone de pâturages amers et un extrait éthanolique a été préparé à l'aide de la technique de macération. Des analyses chimiques ont montré que la plante est riche en composés phénoliques et en flavonoïdes, connus pour leurs importantes propriétés biologiques.

L'activité biologique de la plante a été étudiée à l'aide de quatre méthodes (DPPH, ABTS, β -carotène, phénolique total et flavonoïde). Les résultats ont démontré la grande efficacité de l'extrait en tant qu'antioxydant. Pour ABTS ($10,39 \pm 0,65$) et DPPH ($24,93 \pm 0,91$)($7,36 \pm 0,78$) β -carotène Flavonoïdes ($87,78 \pm 0,91$)($107,77 \pm 1,07$) Phénolique

Les résultats ont montré que l'extrait a une bonne capacité à inhiber les radicaux libres par rapport aux antioxydants synthétiques tels que le BHT et le BHA. Ces résultats démontrent le potentiel thérapeutique prometteur de cette plante comme source naturelle d'antioxydants et soutiennent son utilisation en médecine traditionnelle. Des études complémentaires sont nécessaires pour identifier les composés actifs et leurs applications potentielles dans les domaines pharmaceutique et nutritionnel.

Mots clés :Haloxylon scoparium , Polyphénol ,Flavonoïde , Activité antioxydants, Zones arides.

Abstract

This study evaluated the antioxidant activity of *Haloxylon scoparium* (Ramth), a medicinal plant widespread in the arid environments of Algeria. Samples were collected from the bitter pasture area, and an ethanolic extract was prepared using a maceration technique. Chemical analyses showed that the plant is rich in phenolic compounds and flavonoids, known for their important biological properties.

The biological activity of the plant was studied using four methods (DPPH, ABTS, β -carotene, total phenolic, and flavonoid). The results demonstrated the extract's high efficacy as an antioxidant. For ABTS (10.39 + 0.65) and DPPH (24.93 + 0.91) (7.36 + 0.78) β -carotene Flavonoids (87.78 + 0.91)(107.77 + 1.07) Phenolic

The results showed that the extract has a good ability to inhibit free radicals compared to synthetic antioxidants such as BHT and BHA. These results demonstrate the promising therapeutic potential of this plant as a natural source of antioxidants and support its use in traditional medicine. Further studies are needed to identify the active compounds and their potential applications in the pharmaceutical and nutritional fields.

Keywords: *Haloxylon scoparium*, Polyphenol, Flavonoid, Antioxidant activity, Arid regions .

الملخص:

تقوم هذه الدراسة بتقييم النشاط المضاد للأكسدة في نبات الهالوكسيلونسكوباريوم (الرامث)، وهو نبات طبي منتشر في البيئات القاحلة في الجزائر. تم جمع العينات من منطقة المراعي المريرة وتم تحضير مستخلص إيثانولي باستخدام تقنية النقع. وأظهرت التحاليل الكيميائية أن النبات غني بالمركبات الفينولية والفلافونويدات المعروفة بخصائصها البيولوجية المهمة.

تمت دراسة النشاط البيولوجي للنبات باستخدام أربع طرق (β -carotene، ABTS، DPPH) الفينول الكلي والفلافونويد). وأظهرت النتائج فعالية عالية للمستخلص كمضاد للأكسدة. بالنسبة لـ ABTS (0.65 + 10.39) و DPPH (0.91 + 24.93) (0.78+7.36) بيتا كاروتين الفلافونويدات (1.07+107.77)(0.91+87.78) الفينولية وأظهرت النتائج أن المستخلص يتمتع بقدرة جيدة على تثبيط الجذور الحرة مقارنة بمضادات الأكسدة الاصطناعية مثل BHT و BHA. وتوضح هذه النتائج الإمكانيات العلاجية الواعدة لهذا النبات كمصدر طبيعي لمضادات الأكسدة وتدعم استخدامه في الطب التقليدي. هناك حاجة إلى مزيد من الدراسات لتحديد المركبات النشطة وتطبيقاتها المحتملة في المجالات الدوائية والتغذية.

الكلمات المفتاحية: هالوكسيلون سكوباريوم، بوليفينول، فلافونويد، نشاط مضاد للأكسدة، مناطق

قاحلة.

Table de matière

| | Page |
|--|-----------|
| Remerciements | - |
| Dédicaces | - |
| Résumé | - |
| Table de matière | - |
| Liste des Figures | - |
| Liste des Tableaux | - |
| Liste des abréviations | - |
| Introduction | 1 |
| Chapitre I : Généralité sur la plante médicinale | |
| 1. Définition des plantes médicinales | 3 |
| 2. Importance des plantes médicinales dans la médecine traditionnelle et moderne | 3 |
| 3. Étude de la plante <i>Haloxylon scoparium</i> | 4 |
| 3.1. Introduction à l'étude | 4 |
| 3.2. Définition botanique de <i>Haloxylon scoparium</i> | 4 |
| 3.3. Classification taxonomique | 5 |
| 3.4 Composition chimique | 6 |
| 3.5. Objectifs de l'étude de l'activité antioxydante de <i>Haloxylon scoparium</i> | 8 |
| Chapitre II: Activité Antioxydants | |
| 1. Définition des antioxydants | 10 |
| 2. Mécanisme d'action des antioxydants | 10 |
| 3. Études antérieures sur <i>Haloxylon scoparium</i> | 11 |
| 4. Tests d'activité antioxydante | 11 |
| 4.1. Test ABTS (2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)) | 11 |
| 4.2. Activité antioxydante selon le test DPPH | 12 |
| 4.3. Activité antioxydante (test au bêta-carotène) | 13 |
| 4.4. Activité des flavonoïdes et phénole | 14 |
| Chapitre III : Matériels et méthodes | |
| 1. Matériel | 16 |
| 1.1. Matériel végétal | 16 |
| 1.2. Matériel de laboratoire | 16 |

| | |
|--|-----------|
| 2. Méthodologie | 18 |
| 2.1. Préparation de l'extrait éthanolique | 18 |
| 2.2. Détermination du rendement en extrait éthanolique | 19 |
| 2.3. Méthodes d'extraction des plantes | 19 |
| 2.4 Évaluation de l'activité antioxydante de Haloxylon scoparium | 19 |
| 2.5 contenu bioactive totale | 23 |
| Chapitre IV : Résultat et discussion | |
| 1. Etude phytochimique | 28 |
| 1.1. Rendement | 28 |
| 2. Étude biologique | 30 |
| 2.1 Activité antioxydante | 30 |
| Conclusion | 36 |
| Référence | 39 |

Liste des Figures

| | age |
|--|------------|
| Figure 01.. la partie aérienne de la plante haloxyon scoparium | 5 |
| Figure 02. Structure de base des polyphénol. | 7 |
| Figure 03. Structure générale ABTS. | 12 |
| Figure 04. structure de DPPH | 13 |
| Figure 05.. Structure de β -Carotene | 14 |
| Figure 06. Structure de Flavonoïde | 15 |
| Figure 07: Structure de phénol | 15 |
| Figure 08. échantillons de la plante d'Haloxylon scoparium | 16 |
| Figure 09: image original d'appareil "spectrophotomètre". | 16 |
| Figure 10: image original d'appareil "rotavapor" | 17 |
| Figure 11: image d'appareil " Etuve " | 17 |
| Figure 12: image original d'appareil de la balance | 17 |
| Figure 13: image de Filtration d'extrait | 18 |

Liste des Tableaux

| | Page |
|---|-------------|
| Tableau 01. Total phenolic compounds and flavonoids contents | 28 |
| Tableau 02. le rendement d'extraction des extraits Heloylon Scoparium | 29 |
| Tableau 03. Inhibition du radical DPPH par les extraits biologiques | 31 |
| Tableau 04. Inhibition du radical ABTS par les extraits biologiques. | 32 |
| Tableau 05. Activité antioxydant par β -carotène | 34 |

Liste des abréviations

| | |
|--------|---|
| AA (%) | Activité antioxydante. |
| ABTS | Sel d'ammonium de l'acide 2,2'-azinobis-(3-éthylbenzothiazoline-6 sulfonique |
| Aco | valeur de l'absorbance de la β -carotène en présence de contrôle négatif mesurée mesur à t=0. |
| ACt | valeur de l'absorbance de la β -carotène en présence de contrôle négatif mesurée à t=120 mn |
| AHO | valeur de l'absorbance de la β -carotène en présence de l'extrait mesurée à t=0 |
| AHt | valeur de l'absorbance de la β -carotène en présence de l'extrait mesurée à t=120. |
| BHA | Butyl Hydroxy Anisole. |
| BHT | Butyl Hydroxy Toluène |
| DPPH | 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle. |
| FCR | Feed Conversion Ratio |
| IC50 | Concentration inhibitrice à 50% |
| M1 | Masse en grammes de l'extrait brut sec. |
| M2 | Masse en grammes du matériel végétal broyé à traiter |
| R | Rendement en extrait brut sec exprimé en % |



Introduction



Introduction :

Depuis l'Antiquité, l'être humain a eu recours aux plantes comme remèdes naturels pour traiter diverses affections, bien qu'il ignorât alors la nature des molécules bioactives qu'elles renfermaient ainsi que leurs mécanismes d'action (Andrew, 2013).

Avec l'évolution des pratiques de la médecine traditionnelle, les préparations à base de plantes ont progressivement suscité un regain d'intérêt, notamment en raison de leurs nombreux avantages par rapport aux traitements pharmaceutiques conventionnels, tels qu'un coût réduit, une meilleure biodisponibilité et une toxicité généralement moindre.

Au cours du XX^e siècle, l'attention des chercheurs, des professionnels de santé et des industries pharmaceutiques s'est de nouveau portée sur les ressources naturelles, en particulier les plantes médicinales. Cette réorientation a conduit à une exploration approfondie de leurs principes actifs, de leurs formes galéniques et de leurs effets pharmacologiques, mettant en évidence leur efficacité et leur profil de sécurité relativement favorable comparé aux composés synthétiques.

En Algérie, la flore médicinale se caractérise par une grande richesse et diversité. De nombreuses espèces végétales y sont utilisées en médecine traditionnelle sous forme d'infusions, de macérations ou de préparations artisanales, souvent sans identification précise des composés bioactifs responsables de leurs effets. Toutefois, plusieurs études ont permis d'associer leurs activités pharmacologiques à la présence de groupes chimiques tels que les alcaloïdes, les terpènes, les stéroïdes et les polyphénols (Adli et Yousfi, 2001).

Aujourd'hui, les plantes médicinales constituent une source prometteuse pour la découverte de nouvelles molécules thérapeutiques actives contre diverses pathologies. Parmi ces plantes figure *Haloxylon scoparium*, une espèce vivace typique des zones steppiques, particulièrement répandue dans l'Atlas saharien occidental algérien. Reconnue pour ses multiples intérêts écologiques, médicaux et socioéconomiques, cette espèce halophyte présente une remarquable tolérance aux stress abiotiques, ce qui pourrait expliquer sa richesse en composés bioactifs.

Ces dernières années, l'intérêt scientifique pour les plantes médicinales s'est accentué, notamment en ce qui concerne leurs propriétés antioxydantes et antimicrobiennes, en raison de leur fort potentiel thérapeutique.

C'est dans cette perspective que nous avons entrepris l'étude de *Haloxylon scoparium* (Pomel), connue localement sous le nom de « Remth », afin de valoriser ses propriétés biologiques et d'évaluer son potentiel d'utilisation à des fins médicinales.



Chapitre I

Généralité sur les plantes médicinales



1. Définition des plantes médicinales

Les plantes médicinales désignent des espèces végétales utilisées, soit à l'état brut, soit après transformation, à des fins de prévention, de traitement ou d'atténuation des symptômes de diverses maladies. Elles renferment des composés bioactifs naturels, qualifiés de phytomédicaments, qui possèdent des propriétés thérapeutiques reconnues.

L'usage des plantes médicinales constitue l'une des plus anciennes pratiques de soins de santé humaines. Leur efficacité a été démontrée dans de nombreuses civilisations, anciennes comme modernes. Selon Farnsworth et al. (1986), environ 35 000 espèces végétales sont utilisées dans le monde à des fins médicinales, faisant de cette ressource l'une des plus riches en biodiversité au service de la santé humaine. Malgré les progrès considérables de la médecine moderne, les plantes médicinales continuent de répondre à une part importante des besoins sanitaires, en particulier dans les zones où l'accès aux médicaments de synthèse demeure limité ou où la médecine traditionnelle occupe une place centrale (Elqaj et al.2007).

2. Importance des plantes médicinales dans la médecine traditionnelle et moderne

Les plantes médicinales jouent un rôle fondamental à la fois dans les systèmes de santé traditionnels et modernes. Historiquement, elles constituent la base des remèdes populaires dans de nombreuses cultures, telles que l'Ayurveda, la médecine traditionnelle chinoise ou encore la médecine arabo-musulmane. Elles sont utilisées pour traiter diverses pathologies, notamment les troubles digestifs, les inflammations, les affections cutanées, et bien d'autres.

En médecine moderne, la recherche pharmaceutique a permis l'isolement et la synthèse de principes actifs issus de plantes médicinales. Parmi les exemples les plus notables figurent l'acide acétylsalicylique dérivé de l'écorce de saule (aspirine) et la morphine extraite du pavot. Ces substances ont conduit au développement de médicaments destinés à traiter des maladies chroniques et aiguës telles que le cancer, le diabète ou encore l'hypertension artérielle.

Par ailleurs, de nombreuses plantes médicinales sont riches en antioxydants, antibiotiques naturels et composés antiviraux, ce qui fait d'elles une source prometteuse pour la découverte de nouveaux agents thérapeutiques. Cette richesse renforce la nécessité de préserver la biodiversité végétale et d'approfondir l'étude des espèces locales.

3. Étude de la plante *Haloxylon scoparium*

3.1. Introduction à l'étude

Dans le cadre de la valorisation des plantes médicinales utilisées en médecine traditionnelle, une étude ethnobotanique et microscopique a été conduite sur *Haloxylon scoparium* (Pomel), connue localement sous le nom de « Remth ». Cette recherche s'est focalisée sur la région de Lamrara, dans la wilaya d'El-M'Ghair, afin de documenter les usages traditionnels de cette espèce par les herboristes et la population locale.

3.2. Définition botanique de *Haloxylon scoparium*

Haloxylon scoparium est une plante vivace typique des steppes arides de l'Atlas saharien, notamment dans l'Ouest algérien. Elle appartient au groupe des plantes halophytes, capables de croître dans des environnements caractérisés par des stress abiotiques, ce qui explique sa richesse en composés bioactifs.

Cette espèce suscite un intérêt croissant en raison de ses propriétés antioxydantes et antimicrobiennes. Elle est particulièrement bien adaptée aux zones arides et sablonneuses, croissant sur des sols variés — dunes, plateaux sableux, rives de vallées — et tolérant des conditions climatiques extrêmes. On la retrouve notamment dans les régions désertiques du nord du Sahara, y compris dans la wilaya de Ouargla.

3.3. Distribution géographique et description morphologique

La famille des Chenopodiaceae, à laquelle appartient *Haloxylon*, regroupe environ 120 genres et plus de 1300 espèces. Ces plantes sont largement réparties dans le monde, en particulier dans les zones désertiques et semi-désertiques riches en sels minéraux (Gong et al., 2015).

Le genre *Haloxylon* comprend environ 25 espèces réparties depuis la région méditerranéenne occidentale jusqu'au Moyen-Orient, à l'Arabie, à l'Iran, à la Mongolie, à la Birmanie et au sud-ouest de la Chine (El-Shazly et Wink, 2003).

Haloxylon scoparium (Pomel) est un arbuste nain, très ramifié, glabre, de couleur gris-brun, qui noircit généralement au séchage (Lamchouri et al., 2012). Ses feuilles sont très petites, opposées et triangulaires. Les tiges sont composées de rameaux dressés, grêles, charnus et articulés (**Figure 1-A**). Les fleurs, généralement solitaires, apparaissent à l'aisselle des feuilles (**Figure 1-B**). La fructification a lieu en début d'hiver ; les fruits contiennent des

graines lenticulaires d'environ 1,5 mm de diamètre. Leur système racinaire est mixte, avec une extension horizontale et verticale pouvant atteindre de 40 cm à 1,2 m (Boucherit et al., 2018).

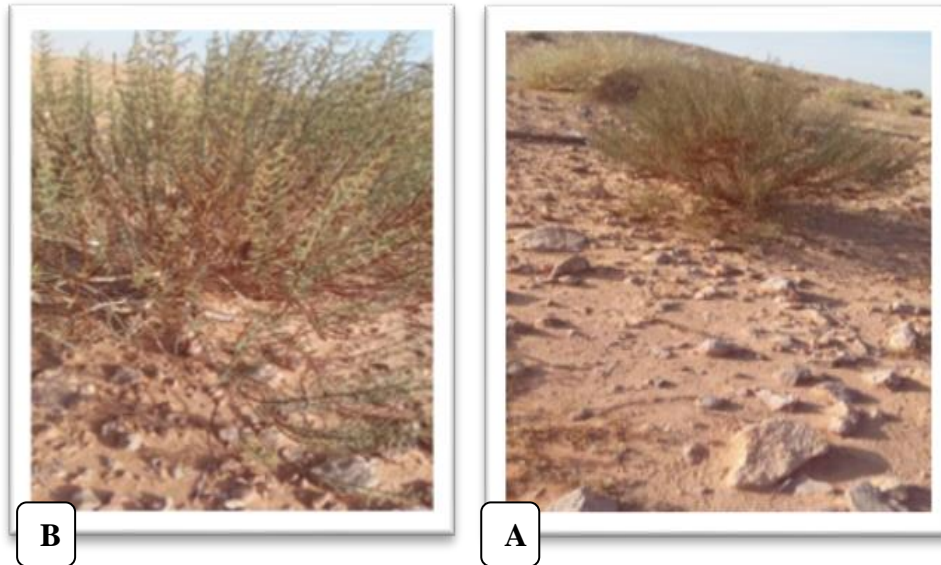


Figure 01 : la partie aérienne de la plante *haloxylon scoparium*

3.3. Classification taxonomique :

- Règne: Plantae.
- Sous-règne: Tracheobionta,
- Embranchement: Spermatophytes.
- Sous Embranchement: Angiospermes.
- Division: Magnoliophyta.
- Classe: Magnoliopsida.
- Sous-classe: Caryophyllidae.
- Ordre: Caryophyllales.
- Famille: Amaranthaceae.
- Genre: Haloxylon.
- Espèce: Haloxylon scoparium Pomel.

- Autres nomenclatures: *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin, *Arthrophytum scoparium* (Pomel)
- Iljin., *Salsola articulata* (Cav), *Haloxylon articulatum*
- Nom en arabe : Remth (الرمث) Boulos, 1999 ; Boucherit et al., 2018

3.4 Composition chimique:

Les espèces du genre *Haloxylon* renferment divers composés bioactifs, notamment des stérols, des glycosides flavonoïques, des pyranones ainsi que des huiles essentielles (Li *et al.*, 2010). En particulier, *Haloxylon scoparium* contient des polyphénols, des saponosides, et se distingue par la présence notable d'alcaloïdes (Mohammedi, 2013).

Une étude approfondie de cette espèce a permis l'isolement de huit alcaloïdes mineurs ainsi que d'un flavonoïde. Parmi les alcaloïdes identifiés figurent quatre isoquinoléines — isosalsoline, salsolidine, déhydrosalsolidine et isosalsolidine —, une isoquinolone (N-méthylcorydaldine), la tryptamine, la N- ω -méthyltryptamine et une bêtacarboline (tétrahydroharman). Par ailleurs, un flavonoïde, l'isorhamnétine-3-O- β -D-robinobioside, a également été caractérisé (Kharchofa *et al.*, 2020).

D'autres analyses phytochimiques de l'extrait enrichi en flavonoïdes de *Haloxylon scoparium* ont révélé la présence de composés tels que l'isorhamnétine-xylose-galactose, la quercétine-xylose-rhamnose-galactose, ainsi que la rutine (quercétine-glucose-rhamnose) (Bourogaa *et al.*, 2011).

Des études pharmacologiques ont également mis en évidence diverses propriétés biologiques associées aux extraits de cette plante. L'extrait aqueux de *Hammada scoparia* a montré des activités anticancéreuses, antiplasmodiales (Sathiyamoorthy *et al.*, 1999) et larvicides (Sathiyamoorthy *et al.*, 1997). Par ailleurs, une activité anticoagulante a été observée chez les animaux de laboratoire (Awaad *et al.*, 2001 ; Lamchouri *et al.*, 2012).

En outre, l'huile essentielle extraite de *Haloxylon schmittianum* a démontré une activité antimicrobienne notable, notamment contre *Bacillus subtilis* et *Staphylococcus aureus*.

1-4-3- polyphénol :

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires largement présents dans le règne végétal, où leur concentration et leur répartition varient selon les espèces et les organes de la plante. On les retrouve également dans une grande diversité d'aliments, notamment les fruits, les légumes, les céréales, le thé, les huiles essentielles ainsi que dans diverses boissons dérivées (Dimitrios & Vasiliki, 2019). Ces composés se distinguent par la présence d'un ou plusieurs cycles aromatiques, généralement substitués par des groupes hydroxyles, ce qui leur confère une variété de propriétés biochimiques et fonctionnelles.

Harborne a proposé une classification largement adoptée des composés phénoliques fondée sur la structure de leur squelette carboné. Ce système regroupe les composés en plus d'une dizaine de classes distinctes (Kroupim et al., 2019). Cette classification a été simplifiée en trois grandes catégories, chacune subdivisée en plusieurs sous-groupes. Parmi celles-ci, on trouve la classe des composés de type C6-Cn-C6, elle-même divisée en quatre sous-groupes : C6-C1-C6, C6-C2-C6, C6-C3-C6 et C6-C7-C6. La première classe inclut notamment les bisphénols [(C6-C1)₂, (C6-C3)₂, (C6-C2-C6)₂, (C6-C3-C6)₂], ainsi que les produits oligomériques issus de réactions de condensation. Les phénols polymériques comprennent des structures répétitives de type [(C6)_n, (C6-C3)_n, (C6-C3-C6)_n], qui sont généralement classées à part. (Figure 02).

Enfin, une autre catégorie regroupe les composés phénoliques hybrides, qui résultent de la conjugaison de structures phénoliques avec d'autres classes de composés naturels, tels que les terpènes ou les lipides (Chang & Cao, 2016 ; Dimitrios & Vasiliki, 2019).

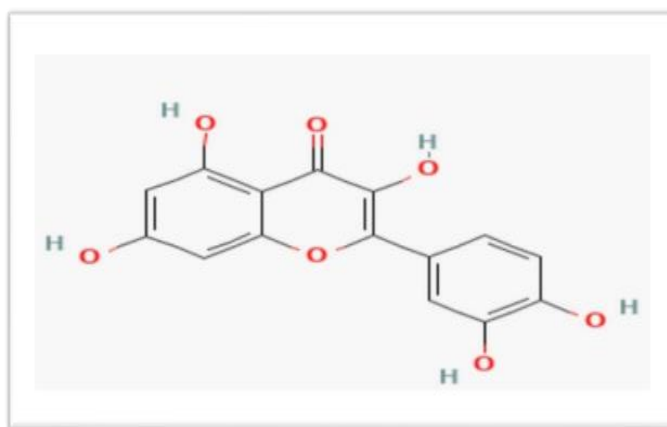


Figure 02 : structure de polyphénols

3-4-2. Acides phénoliques

Les acides phénoliques sont des composés organiques caractérisés par la présence d'un groupe hydroxyle (-OH) lié à un noyau benzénique, associé à un groupe carboxyle (-COOH). Sur la base de leur structure carbonée, ces composés se divisent principalement en deux classes :

- **Les acides benzoïques (C6-C1)**, dont la chaîne latérale est composée d'un seul atome de carbone,
- **Les acides cinnamiques (C6-C3)**, qui possèdent une chaîne latérale à trois atomes de carbone.

Ces composés sont largement distribués dans le règne végétal et jouent un rôle important dans les mécanismes de défense des plantes.

2.1.4.3 Flavonoïdes

La plante *Haloxylon spp.* (tamaris) est riche en flavonoïdes, une catégorie majeure de composés polyphénoliques qui se concentrent principalement dans les parties aériennes de la plante. Ces substances participent activement à la défense contre divers stress abiotiques, notamment la sécheresse et la salinité, grâce à leurs propriétés antioxydantes, antimicrobiennes et photoprotectrices.

Sur le plan ethnopharmacologique, les extraits de flavonoïdes de tamaris suscitent un intérêt croissant en raison de leurs effets potentiels dans la modulation de l'inflammation, la réduction du stress oxydatif et la régulation de biomarqueurs physiopathologiques tels que la glycémie et la pression artérielle.

3.5. Objectifs de l'étude de l'activité antioxydante de l'*Haloxylon scoparium*

Objectifs principaux

- **Évaluation de l'activité antioxydante** : Mesurer la capacité des extraits de *H. scoparium* à neutraliser les radicaux libres à l'aide de tests standards (DPPH, ABTS) et à quantifier les teneurs en flavonoïdes et composés phénoliques.

- **Identification des composés bioactifs** : Isoler et caractériser les molécules responsables de l'activité antioxydante, notamment les acides phénoliques et les flavonoïdes.
- **Corrélation composition/activité** : Étudier la relation entre la concentration des métabolites secondaires et l'intensité de l'effet antioxydant observé.
- **Justification de l'usage traditionnel** : Apporter une base scientifique aux applications médicinales populaires de *H. scoparium*, notamment dans le traitement des troubles inflammatoires et métaboliques.
- **Exploration d'applications industrielles** : Évaluer le potentiel de valorisation des extraits dans les domaines pharmaceutique, cosmétique et agroalimentaire.

Motivations du choix de *Haloxylon scoparium*

- **Usage ethnomédical étendu** : Employé couramment en médecine traditionnelle pour le traitement de diverses affections.
- **Disponibilité locale** : Espèce largement répandue en Algérie et en Afrique du Nord, facilitant l'accès au matériel végétal.
- **Lacunes dans la littérature scientifique** : Peu d'études ont exploré en profondeur ses propriétés chimiques et biologiques.
- **Potentiel antioxydant élevé** : Membre d'une famille végétale reconnue pour sa richesse en composés bioactifs.
- **Importance écologique et économique** : Plante xérophile, adaptée aux zones arides, offrant des perspectives en matière de développement durable et de lutte contre la désertification.



Chapitre II

Les Activités Antioxydants



1. Définition des antioxydants

Les antioxydants sont des molécules capables de retarder, d'inhiber ou de prévenir la formation d'espèces oxydantes réactives, souvent responsables de dommages cellulaires. Ces substances agissent en neutralisant les oxydants toxiques ou en interrompant leur cycle de propagation, contribuant ainsi à protéger les structures biologiques contre le stress oxydatif (Tang et Halliwell, 2010).

Certains antioxydants appartiennent à la famille des composés phénoliques, caractérisés par une structure de type diphenylpropane (15 atomes de carbone), composée de deux noyaux aromatiques reliés par un hétérocycle oxygéné (Da Costa, 2003).

2. Mécanisme d'action des antioxydants

L'exposition des cellules, des tissus et de la matrice extracellulaire aux espèces réactives de l'oxygène (ROS) entraîne des réactions en chaîne délétères. En réponse, l'organisme met en œuvre divers mécanismes de défense endogènes visant à neutraliser ces radicaux libres, selon leur nature et leur mode d'action (Chodakowska et *al.*, 2018).

Les antioxydants, intégrés au réseau de défense antioxydant des organismes vivants, exercent plusieurs fonctions essentielles :

- **Prévention** de la formation des radicaux libres,
- **Neutralisation** des radicaux existants par interaction directe,
- **Réparation** des dommages oxydatifs,
- **Régulation** des voies de signalisation cellulaire liées au stress oxydatif.

Selon leur rôle biologique, les antioxydants peuvent être classés en quatre grandes catégories (Ighodaro & Akinloye, 2018) :

- **Antioxydants de première ligne** : inhibent la genèse des radicaux libres.
- **Antioxydants de deuxième ligne** : piègent et neutralisent les radicaux libres.
- **Antioxydants de troisième ligne** : réparent les biomolécules oxydées.
- **Antioxydants de quatrième ligne** : modulent les réponses génétiques et enzymatiques face au stress oxydatif.

3. Études antérieures sur *Haloxylon scoparium*

Haloxylon scoparium Pomel, plante endémique des zones arides, est couramment utilisée en médecine traditionnelle pour traiter divers troubles : affections oculaires, gastro-intestinales, piqûres de scorpions, diabète, et plus récemment pour ses propriétés anticancéreuses, antiparasitaires et antilarvaires (Ziani, 2017 ; Geurrah et al., 2015 ; Salah et al., 2002 ; Rached, 2009).

Elle est également employée contre les piqûres de moustiques et de serpents, ainsi que pour les douleurs d'estomac (Kershoufa et al., 2020). Ses usages traditionnels incluent le traitement du rhume, de la fièvre, des douleurs articulaires, des brûlures, des rhumatismes et de certaines tumeurs animales. Par ailleurs, elle constitue une source importante de combustible dans les régions désertiques.

Des études expérimentales ont montré que les décoctions de cette plante, notamment en association avec des espèces comme le tamaris, peuvent réduire la glycémie chez les animaux, justifiant ainsi son utilisation populaire dans le traitement du diabète.

4. Tests d'activité antioxydante

4.1. Test ABTS (2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique))

Le test ABTS est une méthode validée permettant d'évaluer la capacité antioxydante des extraits biologiques, notamment ceux issus des plantes ou des aliments. Il repose sur la réduction du cation radicalaire $ABTS^{+\bullet}$ (**Figure 03**), par des composés antioxydants, induisant une décoloration mesurable par spectrophotométrie à 734 nm.

Ce test permet l'évaluation de la capacité antioxydante dans des milieux à la fois hydrophiles et lipophiles, ce qui le rend particulièrement adapté à une large gamme d'échantillons. Le Trolox, un analogue hydrosoluble de la vitamine E, est utilisé comme standard de référence, et les résultats sont généralement exprimés en équivalents Trolox (TEAC) (Re et al., 1999).

Objectifs du test ABTS :

- Quantifier la capacité antioxydante totale.
- Comparer l'activité antioxydante entre différentes sources biologiques.

- Évaluer l'efficacité relative de divers antioxydants.

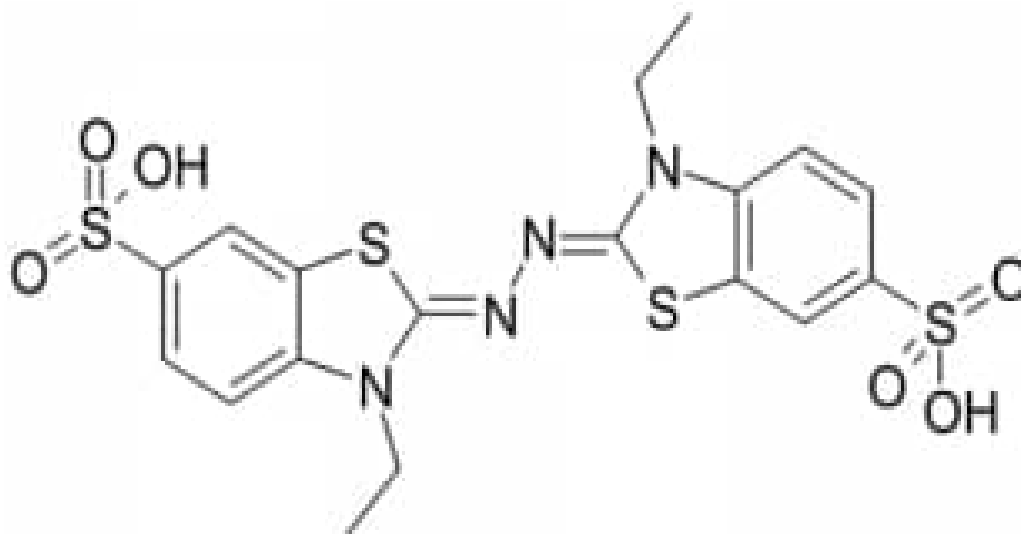


Figure 03: Structure de ABTS

4.2. Activité antioxydante selon le test DPPH

Le test au radical DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) est une méthode chimique couramment utilisée pour évaluer le pouvoir antioxydant des extraits végétaux et des composés bioactifs. Ce test repose sur la capacité des antioxydants à transférer un électron ou un atome d'hydrogène au radical libre stable DPPH•(Figure 04), reconnu par sa coloration violette intense. L'interaction entre les antioxydants et le radical DPPH• entraîne une décoloration progressive de la solution, dont l'intensité décroît proportionnellement à l'activité antioxydante. Cette diminution d'absorbance est mesurée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 517 nm (PubMed Central et al., 2022).

Objectifs du test DPPH :

- Déterminer la capacité antioxydante totale des échantillons analysés.
- Évaluer l'activité antioxydante d'extraits végétaux ou de composés isolés.
- Comparer l'efficacité antioxydante relative entre différents extraits ou substances pures.

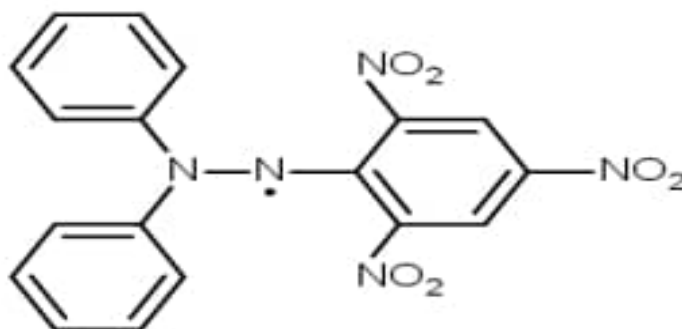


Figure 04 :Structure de DPHH

4.3. Activité antioxydante (test au bêta-carotène)

Le test au bêta-carotène est une méthode analytique utilisée pour évaluer la teneur en bêta-carotène, un pigment naturel appartenant à la famille des caroténoïdes, présent dans les extraits végétaux. Ce composé est reconnu pour ses propriétés antioxydantes ainsi que pour son rôle en tant que précurseur de la vitamine A. (Figure 05).

Objectifs :

1. Quantifier le bêta-carotène présent dans les extraits de plantes.
2. Évaluer la valeur nutritionnelle des extraits en relation avec leur teneur en bêta-carotène.
3. Comparer la concentration en bêta-carotène entre différentes espèces végétales ou entre diverses parties d'une même plante.
4. Analyser la capacité antioxydante des extraits végétaux dans des systèmes biologiques, en relation avec leur teneur en bêta-carotène.

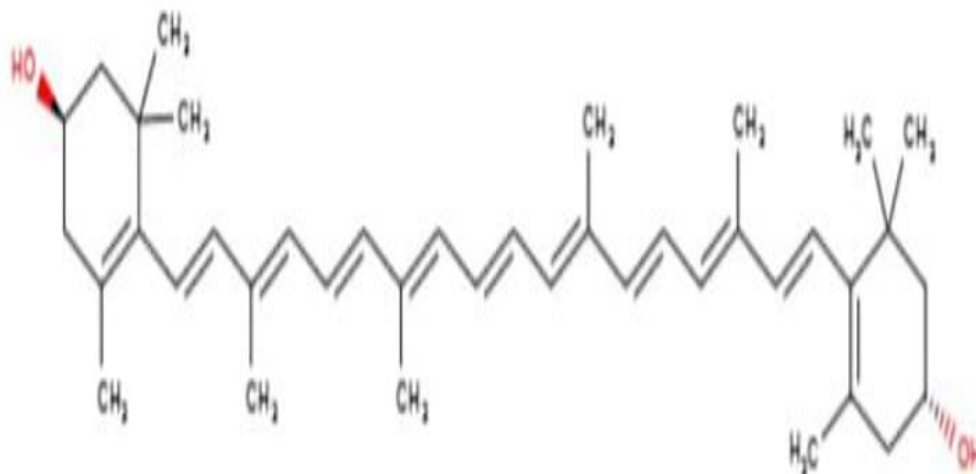


Figure 05 : Structure de β -Carotene

4.4. Activité des flavonoïdes et phénole :

Les phénols et les flavonoïdes : importance et méthodes de dosage

Les composés phénoliques, en particulier les flavonoïdes, sont des métabolites secondaires largement présents dans les plantes. Ces molécules jouent un rôle essentiel dans la défense des végétaux contre les stress environnementaux, et présentent de nombreux effets bénéfiques pour la santé humaine, notamment des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et anticancéreuses.

Les flavonoïdes constituent une sous-classe importante des composés phénoliques. Ils sont caractérisés par une structure de type C₆-C₃-C₆, et se retrouvent en abondance dans divers aliments tels que les fruits, les légumes, le thé et le vin. (Figures 06 - 07).

Pour évaluer la teneur totale en flavonoïdes dans les extraits de plantes ou les produits alimentaires, une méthode couramment utilisée est le test au chlorure d'aluminium (AlCl₃). Ce test repose sur la formation d'un complexe entre les flavonoïdes et les ions Al³⁺, permettant une quantification spectrophotométrique fiable.

Objectif :

Les dosages de la teneur en composés phénoliques totaux (CPT) et en flavonoïdes totaux (FT) sont essentiels pour estimer le potentiel antioxydant des extraits végétaux. Cette évaluation contribue à mieux comprendre leur rôle dans la prévention des maladies chroniques, notamment les cancers et les affections cardiovasculaires.

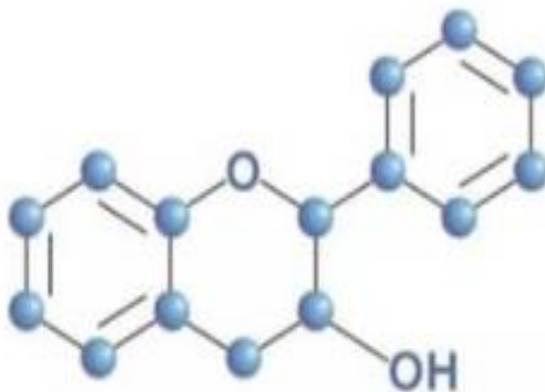


Figure 06 :Structure de flavonoïdes

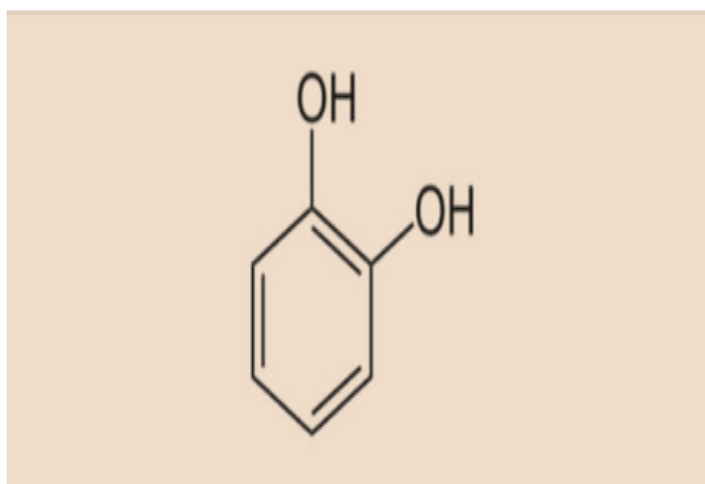


Figure 07 :Structure de phénole



Chapitre III

Matériels et méthodes



1. Matériel :

1.1. Matériel végétal :

La plante étudiée, *Haloxylon scoparium*, a été collectée le 5 décembre 2024 dans la région de Mourouj El-Merrara, située dans la wilaya d'El M'Ghair, caractérisée par un climat aride. Les échantillons ont été rigoureusement identifiés puis conservés en vue d'analyses ultérieures.

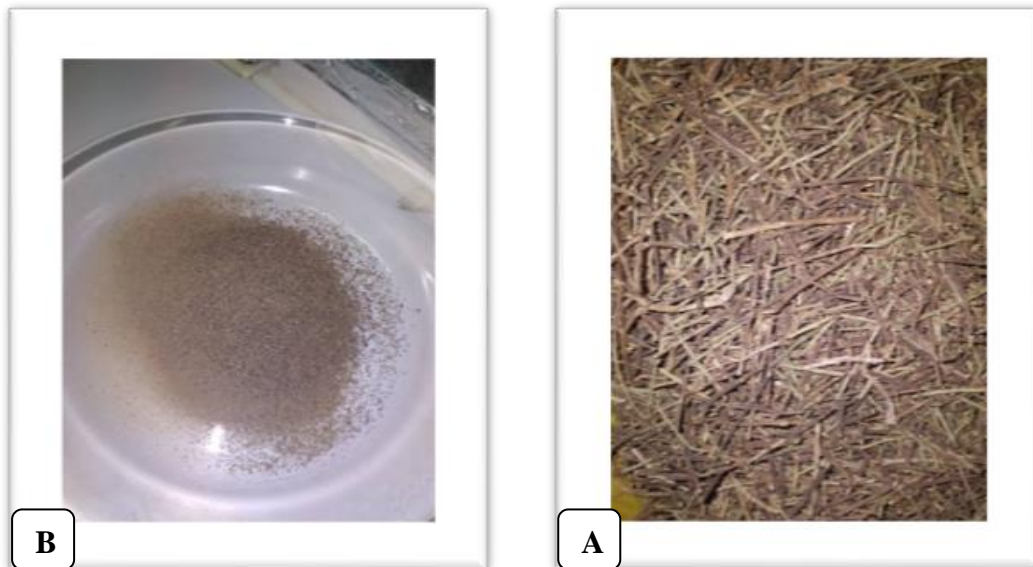


Figure 08: échantillons de la plante d'Haloxylon scoparium

1.2. Matériel de laboratoire :

L'équipement de laboratoire est l'ensemble des outils et appareils utilisés dans les laboratoires pour mener des expériences et des analyses scientifiques. (Figure 09–10–11– 12).



Figure 09: image originale d'appareil "spectrophotomètre".



Figure 10: image original d'appareil "rotavapor"



Figure 11: image d'appareil "Etuve "

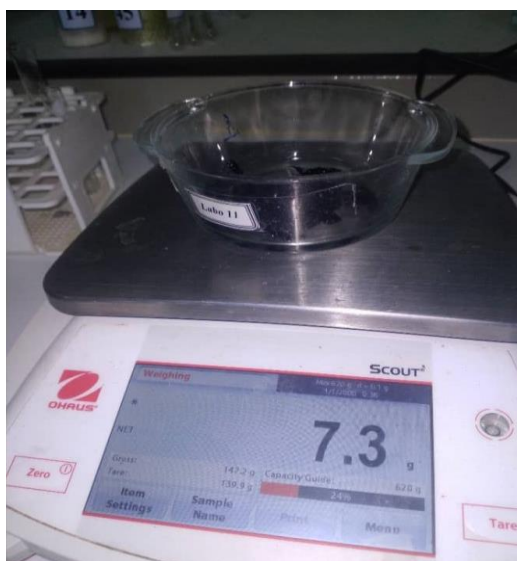


Figure12: image original d'appareil de la balance

2. Méthodologie

2.1. Préparation de l'extrait éthanolique

La plante *Haloxylon scoparium* a été collectée le 5 décembre 2024 dans des prairies salines. L'identification botanique de l'échantillon a été réalisée par un spécialiste, sur la base de critères morphologiques distinctifs.

Séchage des échantillons

Après la collecte, les échantillons ont été soigneusement nettoyés à l'eau distillée pour éliminer les impuretés et la poussière. Ils ont ensuite été séchés à l'ombre, dans un espace bien ventilé à température ambiante, pendant une période de 10 à 15 jours. Un brassage régulier a été effectué afin de prévenir le développement de moisissures et d'assurer un séchage homogène. (**Figure 08-A**).



Figure 13: image de Filtration d'extrait

Broyage

Une fois complètement secs, les échantillons ont été réduits en poudre fine à l'aide d'un broyeur électrique. La poudre obtenue a été conservée dans des récipients hermétiques, à l'abri de la lumière et de l'humidité, jusqu'à son utilisation pour les analyses expérimentales. (**Figure 08-B**).

2.2. Détermination du rendement en extrait éthanolique

Le rendement en extrait brut a été défini comme le rapport entre la masse sèche de l'extrait obtenu et la masse de matière végétale initialement utilisée. Il a été calculé selon la formule suivante :

$$R (\%) = (M1 / M2) \times 100$$

- **R**: Rendement en extrait brut sec exprimé en %
- **M1**: Masse en grammes de l'extrait brut sec.
- **M2**: Masse en grammes du matériel végétal broyé à traiter

2.3. Méthodes d'extraction des plantes

Solvant utilisé :

Un mélange hydroalcoolique d'éthanol à 80 % a été employé comme solvant d'extraction. Ce solvant est couramment utilisé pour l'extraction des composés phénoliques et flavonoïdiques en raison de sa polarité intermédiaire et de son efficacité à solubiliser une large gamme de composés bioactifs.

Protocole :

Une masse de 100 g de matière végétale sèche a été mise en contact avec 400 mL d'éthanol à 80 %

L'extraction a été réalisée par macération à température ambiante, sous agitation continue, pendant 24 à 48 heures.

La solution obtenue a été filtrée à l'aide de papier filtre de manière classique. Le filtrat a ensuite été concentré à l'aide d'un évaporateur rotatif (Rotavap) sous pression réduite, à une température contrôlée de 40 à 50 °C, afin de préserver les composés thermosensibles et bioactifs de l'extrait.

2.4 Évaluation de l'activité antioxydante de *Haloxylon scoparium*

L'activité antioxydante des extraits de *Haloxylon scoparium* a été évaluée à l'aide de plusieurs méthodes biochimiques standardisées, visant à mesurer leur capacité à piéger les radicaux libres et à inhiber l'oxydation.

Parmi les méthodes employées, les tests ABTS et DPPH sont couramment utilisés pour quantifier la capacité antiradicalaire des extraits. La teneur totale en flavonoïdes a également été déterminée comme paramètre indirect de l'activité antioxydante, en raison de leur fort pouvoir réducteur.

En complément, le test β -carotène/acide linoléique a permis d'évaluer la capacité des extraits à prévenir la peroxydation lipidique, simulant les conditions d'oxydation dans les systèmes biologiques.

Les résultats ont montré une variation de l'efficacité selon le test utilisé, soulignant les mécanismes d'action multiples des composés antioxydants présents dans l'espèce étudiée.

2.4.1 Test ABTS

Principe :

L'activité antioxydante basée sur le test ABTS repose sur la méthode décrite par Re et al. (1999), qui mesure la capacité des antioxydants à neutraliser le radical cation $ABTS^{+\bullet}$.

Instruments :

- Lecteur de microplaques (96 puits) ou spectrophotomètre à cuvette de 3 mL.

Réactifs :

- ABTS (7 mM),
- Persulfate de potassium ($K_2S_2O_8$, 2.45 mM),
- Eau distillée,
- Éthanol,
- Acide sulfurique (optionnel, pour ajustement pH),
- Antioxydants standards : α -tocophérol, BHA.

Préparation du radical $ABTS^{+\bullet}$:

19.2 mg d'ABTS sont dissous dans 5 mL d'eau distillée.

3.3 mg de $K_2S_2O_8$ y sont ajoutés.

La solution est incubée à l'obscurité pendant 12 à 16 heures pour générer le radical ABTS.

Avant utilisation, l'absorbance de la solution est ajustée à 0.700 ± 0.020 à 734 nm à l'aide d'éthanol.

Protocole :

160 μ L de solution ABTS sont mélangés à 40 μ L d'extrait. Après 10 minutes d'incubation à température ambiante, l'absorbance est mesurée à 734 nm.

Calcul de l'activité antioxydante :

ABTS scavenging effect (%) = $(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}} / A_{\text{control}}) * 100$

Test DPPH**Principe :**

Le test DPPH (BLOIS, 1958) évalue la capacité de l'échantillon à réduire le radical libre DPPH (violet) en une forme non radicalaire (jaune), mesurée à 517 nm.

Réactifs :

- DPPH (6 mg/100 mL de méthanol),
- Méthanol,
- Antioxydants de référence : α -tocophérol, BHA, BHT, quercétine ou catéchine,
- Extraits à tester.

Protocole :

160 μ L de solution de DPPH sont mélangés à 40 μ L d'extrait. Après incubation à l'obscurité pendant 30 minutes, l'absorbance est mesurée à 517 nm.

2.2.2 Test β -Carotène/Acide linoléique**Principe :**

Ce test évalue la capacité antioxydante des extraits à inhiber l'oxydation de l'acide linoléique, en suivant la décoloration du β -carotène par spectrophotométrie à 470 nm.

Réactifs :

- β -Carotène,
- Tween 40,
- Acide linoléique,
- Chloroforme,
- Antioxydants standards : α -tocophérol, BHA, BHT.

Méthode A – Lecture sur microplaque :

On fait diluer 0.5 mg de β -carotène dans 1 mL de chloroforme avec 25 μ L d'acide linoléique et 200 μ L de Tween 40. Après évaporation du solvant, l'émulsion est complétée avec 50 mL d'eau oxygénée, puis aérée à 100 mL/min pendant 30 min. 160 μ L de cette solution sont mélangés à 40 μ L d'extrait. Les mesures sont effectuées à 470 nm toutes les 30 minutes pendant 2 heures à 45 °C.

Méthode B – Lecture en cuvette :

Une solution de β -carotène est préparée en dissolvant 10 mg de β -carotène dans 100 mL de chloroforme. Un volume de 1 mL de cette solution est ensuite incorporé à un mélange composé de 20 mg d'acide linoléique et de 100 mg de Tween 40. Après évaporation complète du solvant, 50 mL d'eau oxygénée sont ajoutés sous agitation afin de former une émulsion. L'évolution de l'absorbance de cette émulsion est mesurée toutes les 20 minutes pendant une durée totale de 120 minutes, à une température constante de 50 °C.

Calcul de l'activité antioxydante (selon Amin et al., 2002) :

$$AA (\%) = [1 - (A_{HO} - A_{Hi}) / (A_{Co} - A_{Ct})] \times 100$$

AA (%) : Activité antioxydante.

A_{HO} : valeur de l'absorbance de la β -carotène en présence de l'extrait mesurée à $t=0$.

A_{Co} : valeur de l'absorbance de la β -carotène en présence de contrôle négatif mesurée mesur à $t=0$.

A_{Hi} : valeur de l'absorbance de la β -carotène en présence de l'extrait mesurée à $t=120$.

A_{Ct} : valeur de l'absorbance de la β -carotène en présence de contrôle négatif mesurée à $t=120$ mn.

2.5 contenu bioactive totale :

Dosage de Flavonoïde, TFC (Total Flavonoïde Content) :

Principe de la réaction :

La teneur en flavonoïdes des extraits a été déterminée sur la base de leur complexation avec l'aluminium trivalent (Al^{3+}), et les résultats sont exprimés en équivalents de quercétine, conformément à la méthode décrite par Türkoğlu et al. (2007).

Instruments utilisés :

Un spectrophotomètre équipé d'une cuve de 3 mL, ou un spectrophotomètre DR2800 (HACH LANGE) utilisant une cuve tubulaire de 5 mL.

Réactifs utilisés :

- 1- Méthanol
- 2- Eau distillé
- 3- 10% Aluminum nitrate ($Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$)
- 4- 1 M Potassium acétate (CH_3COOK)
- 5- Quercetin (Flavonoïde)
- 6- Extrait de plante

Préparation de 1 M Potassium acétate (CH_3COOK):

Préparation de la solution S1 :

Pour préparer une solution de 1 M de l'acétate de potassium (CH_3COOK), dissoudre 9,80 grammes de CH_3COOK dans 100 mL d'eau distillée.

Préparation de l'extrait végétal (solution S2) :

Dissoudre 1 milligramme d'extrait de plante dans 1 mL de méthanol afin d'obtenir la solution S2.

Procédure :**A- Pour l'extrait :**

250 µl (S2) (extrait de plante) + 2550 µl (MeOH) + 100 µl (S1) (CH₃COOK) + 100 µl

(Al(NO₃)₂, 9H₂O) + attendre 40 mn + lecture à 415 nm

B- Pour l'étalon :

Préparation de la gamme d'étalon de la Quercetin :

On prend 12.6 mg de la Quercetin et on le dissout dans 25 ml de méthanol pour obtenir la solution S3.

Pour la gamme d'étalon :

Quercetin (0) → 4800 µl (MeOH) + 100 µl (S1) + 100 µl (Al(NO₃)₂, 9H₂O)

Quercetin (25) → 4775 µl (MeOH) + 25 µl (S3) + 100 µl (S1) + 100 µl (Al(NO₃)₂, 9H₂O)

Quercetin (50) → 4750 µl (MeOH) + 50 µl (S3) + 100 µl (S1) + 100 µl (Al(NO₃)₂, 9H₂O)

Quercetin (75) → 4725 µl (MeOH) + 75 µl (S3) + 100 µl (S1) + 100 µl (Al(NO₃)₂, 9H₂O)

Quercetin (100) → 4700 µl (MeOH) + 100 µl (S3) + 100 µl (S1) + 100 µl (Al(NO₃)₂, 9H₂O)

Quercetin (125) → 4675 µl (MeOH) + 125 µl (S3) + 100 µl (S1) + 100 µl (Al(NO₃)₂, 9H₂O)

Quercetin (150) → 4650 µl (MeOH) + 150 µl (S3) + 100 µl (S1) + 100 µl (Al(NO₃)₂, 9H₂O)

Quercetin (175) → 4625 µl (MeOH) + 175 µl (S3) + 100 µl (S1) + 100 µl (Al(NO₃)₂, 9H₂O)

Quercetin (200) → 4600 µl (MeOH) + 200 µl (S3) + 100 µl (S1) + 100 µl (Al(NO₃)₂, 9H₂O)

Pour toutes les concentrations de la Quercetin, la lecture se fera à la longueur d'onde 415

2.5.2 Dosage de Total Phénolique, TPC (Total Phenolic Content) :**Principe de réaction :**

Le dosage des polyphénols est réalisé à l'aide du réactif de Folin-Ciocalteu (méthode de Singleton et Rossi). En milieu alcalin, ce réactif est réduit en oxydes de tungstène et de

molybdène, ce qui entraîne l'apparition d'une coloration bleue en présence de composés phénoliques.

Le réactif de Folin-Ciocalteu est un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$). Lors de l'oxydation des phénols, ce mélange est réduit en oxydes de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}).

L'intensité de la coloration bleue obtenue est proportionnelle à la concentration totale en composés phénoliques et présente un maximum d'absorption autour de 750 à 765 nm.

Instruments utilisés :

- Un spectrophotomètre équipé d'une cuve de 3 mL.
- Un spectrophotomètre de marque DR2800 HACH LANGE, avec une cuve tubulaire de 5 mL.

Réactifs utilisés :

1-Eau distillée

2- FCR (Folin-Ciocalteu réactif)

1- Na_2CO_2 de 2 a 7% (Carbonate de sodium)

2- Acid Gallique ou pyrocatechol

3- Extrait de plante

Mode opératoire :

Préparation de la gamme d'étalon de l'acide gallique :

On prend 2 mg de l'acide gallique et on le dissolvé dans 2 ml d'eau distillé pour obtenir la solution S_1 (2mg/2ml ou 2000 ug/2ml).

Pour la gamme d'étalon :

500 ug/ml \longrightarrow 0.50 ml de S_1 + 0.50 ml d'eau distillé \longrightarrow A_1

400 ug/ml \longrightarrow 0.40 ml de S_1 + 0.60 ml d'eau distillé \longrightarrow A_2

300 ug/ml \longrightarrow 0.30 ml de S_1 + 0.70 ml d'eau distillé \longrightarrow A_3

200 ug/ml \longrightarrow 0.20 ml de S₁ + 0.80 ml d'eau distillé \longrightarrow A₄

100 ug/ml \longrightarrow 0.10 ml de S₁ + 0.90 ml d'eau distillé \longrightarrow A₅

50 ug/ml \longrightarrow 0.05 ml de S₁ + 0.95 ml d'eau distillé \longrightarrow A₆

Préparation de Na₂CO₃ de 2 à 7% (Carbonate de sodium) :

Pour 2% on dissolvé 2 gramme de Na₂CO₃ (Carbonate de sodium) dans 100 ml d'eau distillé pour obtenir la solution S₂

Préparation de l'extrait de plante :

Une masse de 1 milligramme d'extrait est dissoute dans un volume de 1 ml d'eau distillé pour obtenir la solution S₃.

Procédure :

A- Pour l'extrait :

125 ul (S₃ solution d'extrait de plante) + 500 ul d'eau distillé + 125 ul de FCR + attendre 3 mn + 1250 ul (S₂ de carbonate de sodium Na₂CO₃) + 1 ml d'eau distillé + mettre le mélange à l'obscurité et attendre 90 mn + lecture à 760 nm

B- Pour l'étalon de l'acide gallique :

- 125 ul (A₁ de 500 ug/ml acid gallique) + 500 ul d'eau distillé + 125 ul de FCR + attendre 3 mn + 1250 ul (S₂ de carbonate de sodium Na₂CO₃) + 1 ml d'eau distillé + mettre le mélange à l'obscurité et attendre 90 mn + lecture à 760 nm

- 125 ul (A₂ de 400 ug/ml acid gallique) + 500 ul d'eau distillé + 125 ul de FCR + attendre 3 mn + 1250 ul (S₂ de carbonate de sodium Na₂CO₃) + 1 ml d'eau distillé + mettre le mélange à l'obscurité et attendre 90 mn + lecture à 760 nm

- 125 ul (A₃ de 300 ug/ml acid gallique) + 500 ul d'eau distillé + 125 ul de FCR + attendre 3 mn + 1250 ul (S₂ de carbonate de sodium Na₂CO₃) + 1 ml d'eau distillé + mettre le mélange à l'obscurité et attendre 90 mn + lecture à 760 nm

- 125 ul (A₄ de 200 ug/ml acid gallique) + 500 ul d'eau distillé + 125 ul de FCR + attendre 3 mn + 1250 ul (S₂ de carbonate de sodium Na₂CO₃) + 1 ml d'eau distillé + mettre le mélange à l'obscurité et attendre 90 mn + lecture à 760 nm

- 125 ul (A₅ de 100 ug/ml acid gallique) + 500 ul d'eau distillé + 125 ul de FCR + attendre 3 mn + 1250 ul (S2 de carbonte de sodium Na₂CO₃) + 1 ml d'eau distillé + mettre le mélange à l'obscurité et attendre 90 mn + lecture à 760 nm

- 125 ul (A₆ de 50 ug/ml acid gallique) + 500 ul d'eau distillé + 125 ul de FCR + attendre 3 mn + 1250 ul (S2 de carbonte de sodium Na₂CO₃) + 1 ml d'eau distillé + mettre le mélange à l'obscurité et attendre 90 mn + lecture à 760 nm



Chapitre IV

Résultat et discussion



1. Etude phytochimique :

1.1. Rendement :

Tableau.1 le rendement d'extraction des extraits *Haloxylon Scoparium*.

| Poids d'extrait | Poids de poudre | Rendement |
|-----------------|-----------------|-----------|
| 7,3g | 165,11g | 4,42% |

Selon le **tableau.1**, le rendement d'extraction d'*Haloxylon scoparium* a été estimé à 4,42 % à partir de 7,3 g de poudre de plante sèche, ce qui est considéré comme un bon résultat comparé aux études antérieures sur cette espèce végétale du désert.

Ce pourcentage élevé indique la capacité de la plante à produire une quantité importante de composés actifs extractibles, tels que les composés phénoliques, les flavonoïdes et les terpénoïdes. Ces substances sont essentielles car elles sont responsables de l'activité biologique de la plante.

Des études comme celles de Boubekri et al. (2016) et Benmebarek et al. (2020) ont montré que les rendements d'extraction du tamaris variaient entre 3,5 % et 6 %, en fonction du type de solvant et de la méthode d'extraction (trempage, ébullition ou Soxhlet). Le rendement obtenu dans cette étude s'inscrit donc dans ces fourchettes reconnues scientifiquement.

Mécanismes d'adaptation et facteurs influençant le rendement

Ce résultat conforte l'idée que l'*Haloxylon scoparium*, grâce à son adaptation aux conditions extrêmes du désert, a développé des mécanismes efficaces pour produire des composés défensifs. Ceci se manifeste par sa composition chimique riche et son bon rendement d'extraction.

Plusieurs facteurs peuvent influencer le rendement final de l'extraction, notamment :

- * La nature de la partie de la plante utilisée (feuilles, tiges, etc.).
- * La température d'extraction.
- * La durée d'extraction.

Il est donc crucial de maîtriser ces paramètres pour améliorer la qualité des extraits végétaux.

Tableau 02. Teneur totale en composés phénoliques et en flavonoïdes

| Extract | Total phenolic content ($\mu\text{g GAE/ mg extract}$) | Flavonoïds content ($\mu\text{g QE/ mg extract}$) |
|-------------|--|---|
| Extrait bio | 107,77 \pm 1,07 | 87,78 \pm 0,91 |

Le **tableau 02** met en évidence que l'extrait biologique d' *Haloxylon scoparium* contient des concentrations significatives de composés phénoliques et de flavonoïdes, avec une teneur totale en composés phénoliques supérieure à celle des flavonoïdes. Plus précisément, la teneur totale en composés phénoliques de l'extrait organique était de 107,77 \pm 1,07 μg Éq. acide gallique (GAE)/mg d'extrait, témoignant d'une concentration élevée en molécules phénoliques. Cette richesse confère à l'extrait un potentiel antioxydant important, lié à la capacité de ces composés à neutraliser efficacement les radicaux libres via des mécanismes fondés sur le don d'électrons ou d'atomes d'hydrogène.

La teneur en flavonoïdes a été mesurée à 87,78 \pm 0,91 μg Éq. quercétine (QE)/mg d'extrait, ce qui confirme la présence abondante de ces molécules, reconnues parmi les antioxydants naturels les plus puissants en raison de leur structure chimique favorisant la stabilisation des radicaux libres.

En comparaison, les valeurs publiées par Choukh et al. (2020) indiquent une teneur phénolique de 17,65 \pm 0,36 mg GAE/g et une teneur en flavonoïdes de 13,05 \pm 0,78 mg QE/g, tandis qu'Aroua Ikram et al. (2023) rapportent une teneur phénolique de 71,69 \pm 1,09 mg GAE/g. En prenant en compte la conversion des unités (1 mg/g équivaut à 1 $\mu\text{g}/\text{mg}$), nos résultats démontrent clairement que l'extrait étudié présente une concentration en composés phénoliques et flavonoïdes nettement plus élevée, ce qui souligne l'efficacité supérieure du protocole d'extraction employé.

Ces écarts peuvent être expliqués par plusieurs facteurs déterminants, notamment :

- **Le choix du solvant d'extraction** : L'utilisation d'un solvant organique favorise l'extraction des composés phénoliques en raison de leur polarité spécifique, comme démontré par Do et al. (2014).
- **La méthode d'extraction** : Les techniques telles que le trempage, l'extraction par ultrasons ou l'extraction assistée par micro-ondes influencent significativement la quantité et la qualité des composés extraits (Chemat et al., 2012).

- **Les conditions de séchage des plantes :** La température et le mode de séchage impactent la stabilité et la préservation des composés bioactifs, comme souligné par Ratti (2001).
- **La période de récolte :** La saisonnalité modifie la composition phytochimique des plantes, affectant la concentration des métabolites secondaires (Ghasemzadeh et al., 2023).

Ces observations confirment que le protocole d'extraction utilisé dans cette étude est optimal pour maximiser le rendement en composés antioxydants, mettant en lumière le fort potentiel de l'extrait de tamaris comme source naturelle d'antioxydants puissants.

2. Étude biologique

2.1 Activité antioxydante

Les extraits végétaux sont reconnus pour leur richesse en antioxydants, et de nombreuses études exploitent diverses méthodes analytiques pour évaluer leur efficacité. Dans le cadre de cette étude, l'activité antioxydante de l'extrait d'*Haloxylon scoparium* a été évaluée à l'aide de quatre méthodes complémentaires, en prenant le BHT (butylhydroxytoluène) et le BHA (butylhydroxyanisole) comme témoins positifs de référence.

a. Activité anti-radicalaire mesurée par le test DPPH

L'évaluation de l'activité anti-radicalaire via le test DPPH a permis de déterminer les pourcentages d'inhibition pour différentes concentrations, ainsi que la concentration inhibitrice 50% (IC50), présentés dans le tableau 2.

L'extrait biologique a démontré une forte capacité à neutraliser les radicaux libres, avec une IC50 de $24,93 \pm 0,91$ µg/ml, indiquant une activité antioxydante notable. Bien que cette activité soit inférieure à celle du standard BHA (IC50 = $5,73 \pm 0,41$ µg/ml), elle est comparable, voire légèrement supérieure à celle du BHT (IC50 = $22,32 \pm 1,19$ µg/ml), un antioxydant synthétique couramment utilisé. Cette activité antiradicalaire élevée est attribuable à la richesse de l'extrait en molécules polaires telles que les flavonoïdes (notamment le cycloarténol, le phytol, le pinitol, l'acide cinnamique et la vitamine A), connus pour leurs propriétés de piégeage des radicaux libres via des mécanismes de transfert d'électrons et d'atomes d'hydrogène.

Ainsi, l'extrait d' *Haloxylon scoparium* apparaît comme une source prometteuse d'antioxydants naturels, dont l'efficacité pourrait être exploitée dans des applications pharmaceutiques ou alimentaires visant à prévenir le stress oxydatif.

Tableau 03. Inhibition du radical DPPH par les extraits biologiques

| Extracts | % Inhibition in DPPH assay | | | | | | | |
|--------------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------------|
| | 3,125 µg | 6,25 µg | 12,5 µg | 25 µg | 50 µg | 100 µg | 200 µg | IC ₅₀ µg/mL |
| Extrait bio | 10,87±0,87 | 17,56±1,61 | 23,09±1,09 | 28,79±0,69 | 35,99±0,91 | 47,91±0,87 | 60,07±0,78 | 24,93±0,91 |
| BHT | 11,69±1,88 | 22,21±1,30 | 37,12±1,80 | 52,63±2,70 | 56,02±0,53 | 83,60±0,23 | 87,28±0,26 | 22,32±1,19 |
| BHA | 28,95±1,16 | 54,33±1,59 | 76,76±1,65 | 84,09±0,35 | 87,53±0,82 | 87,73±0,15 | 88,43±0,23 | 5,73±0,41 |

Les résultats du dosage par la méthode DPPH ont révélé que la CI₅₀ (concentration inhibitrice à 50 %) de l'extrait étudié était de 24,93 µg/mL. Cette valeur est légèrement supérieure à celle du BHT (butylhydroxytoluène), qui s'élève à 22,32 µg/mL, soit un facteur de 1,12. Cette proximité suggère que l'extrait présente une activité antioxydante comparable à celle du BHT, un antioxydant synthétique de référence, ce qui constitue un indicateur favorable quant à son potentiel.

En comparaison avec le BHA (butylhydroxyanisole), dont la CI₅₀ est environ quatre fois plus faible, on observe une activité antioxydante supérieure de ce dernier, ce qui s'explique par son efficacité accrue à piéger les radicaux libres. Néanmoins, l'extrait conserve une activité significative, ce qui confirme sa capacité à neutraliser les radicaux libres efficacement, les valeurs mentionnées sont répertoriées dans le tableau ci-dessus (**tableau 03**).

En se référant à la littérature, Khelef et al. (2019) ont rapporté que l'extrait méthanolique de *C. comosum* affichait une CI₅₀ d'environ 14,34 µg/mL, valeur inférieure à celle obtenue dans notre étude, indiquant une activité antioxydante plus élevée pour cet extrait spécifique. À l'inverse, une étude plus récente d'Aroua Ikram et al. (2023) a montré une activité antioxydante moindre, avec une CI₅₀ de 48,62 µg/mL, soit presque le double de notre valeur, ce qui souligne une meilleure efficacité de notre extrait.

Ces différences peuvent s'expliquer par plusieurs paramètres influençant la qualité et la quantité des composés bioactifs extraits :

- **Type de solvant utilisé** : Les solvants organiques, en particulier le méthanol ou l'éthanol, sont connus pour extraire plus efficacement les composés phénoliques, responsables de l'activité antioxydante (Do et al., 2014).
- **Méthode d'extraction** : La technique employée (trempage, extraction assistée par ultrasons, micro-ondes, etc.) impacte directement la quantité et la diversité des métabolites extraits (Chemat et al., 2012).
- **Conditions de séchage** : Les paramètres tels que la température et le mode de séchage peuvent dégrader ou préserver les composés sensibles, influençant ainsi l'activité finale (Ratti, 2001).
- **Période de récolte** : La composition chimique des plantes varie selon la saison et la maturité, affectant les concentrations en antioxydants (Ghasemzadeh et al., 2023).

Ces éléments confirment que la méthodologie appliquée dans notre étude, incluant le choix du solvant et la procédure d'extraction, a permis d'obtenir un extrait de tamaris (ou autre plante concernée) doté d'un fort potentiel antioxydant. Ces résultats soulignent l'intérêt de cet extrait comme source naturelle prometteuse d'antioxydants, avec des applications potentielles en pharmacologie, cosmétique ou industrie alimentaire.

a. Activité antioxydant par le teste de piégeage ABTS :

- b.** La concentration de l'échantillon capable d'inhiber 50% de la réaction (CI50) a été déterminer (Tableau 03).

Tableau 04. Inhibition du radical ABTS par les extraits biologiques

| Extracts | % Inhibition in ABTS assay | | | | | | | |
|--------------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------------------|
| | 3,125 µg | 6,25 µg | 12,5 µg | 25 µg | 50 µg | 100 µg | 200 µg | IC ₅₀ µg/mL |
| Extrait bio | 10,89±0,07 | 18,98±0,90 | 25,89±0,74 | 45,90±0,98 | 50,05±0,92 | 51,21±0,90 | 65,78±0,96 | 10,39±0,65 |
| BHT | 59,22±0,59 | 78,55±3,43 | 90,36±0,00 | 92,18±1,27 | 93,37±0,86 | 94,87±0,87 | 96,68±0,39 | 1,29±0,30 |
| BHA | 83,42±4,09 | 93,52±0,09 | 93,58±0,09 | 93,63±0,16 | 93,63±0,95 | 94,20±0,90 | 95,39±2,62 | 1,81±0,10 |

L'extrait végétal étudié a démontré une activité antiradicalaire significative, avec une valeur d'IC₅₀ de **10,39 ± 0,65 µg/mL**, soit environ **huit fois** plus puissante que celle du standard synthétique **BHT** (butylhydroxytoluène), dont l'IC₅₀ a été mesurée à **1.29 ± 0.30µg/mL**, et environ **cinq fois** plus efficace qu'un autre extrait de référence rapporté dans la littérature (IC₅₀ = **1.81± 0,10 µg/mL**), les valeurs sont décrites dans le **tableau 04** .

Cette forte activité antioxydante peut être attribuée à la richesse de l'extrait en composés phénoliques polaires, notamment les flavonoïdes, ainsi que d'autres métabolites bioactifs tels que le phytol, qui est connu pour ses propriétés antioxydantes.

Selon Aroua Ikram *et al.* (2023), l'extrait éthanolique de *Haloxylon scoparium* présente une activité antioxydante mesurée par DPPH avec un IC₅₀ de 14,97 µg/mL, ce qui reste plus élevé (donc moins actif) que celui observé dans notre étude. Cette différence peut être expliquée par plusieurs facteurs, notamment la nature du solvant utilisé, les conditions d'extraction (temps, température, polarité) ou encore l'origine géographique et saisonnière des échantillons végétaux.

Ces résultats suggèrent que l'extrait analysé dans notre étude possède une activité antioxydante élevée, positionnant *Haloxylon scoparium* comme une source prometteuse de composés antioxydants naturels. Toutefois, cette activité semble dépendante de la méthode d'extraction, comme cela est souvent observé dans les études phytochimiques. En ce sens, la variabilité de l'activité antioxydante rapportée dans la littérature peut être interprétée comme le reflet des différences méthodologiques et environnementales influençant la composition chimique des extraits.

En conclusion, *Haloxylon scoparium* présente un potentiel antioxydant intéressant, pouvant être classé entre modéré et fort, et qui mérite d'être exploré plus en profondeur, notamment dans une perspective d'applications pharmaceutiques ou nutraceutiques.

c. Activité antioxydant par β -carotène :Tableau 05. Activité antioxydant par β -carotène

| Extracts | % Inhibition in β -carotene assay | | | | | | | |
|--------------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------------------|
| | 3,125 μ g | 6,25 μ g | 12,5 μ g | 25 μ g | 50 μ g | 100 μ g | 200 μ g | IC ₅₀ μ g/mL |
| Extrait bio | 07,07 \pm 0,88 | 15,46 \pm 0,93 | 23,69 \pm 0,94 | 34,06 \pm 1,06 | 42,99 \pm 0,92 | 50,89 \pm 1,01 | 60,96 \pm 0,90 | 7,36 \pm 0,78 |
| BHT | 81,14 \pm 0,84 | 86,09 \pm 1,04 | 87,52 \pm 4,24 | 91,67 \pm 0,52 | 94,11 \pm 0,42 | 94,41 \pm 0,32 | 95,28 \pm 3,25 | 1,05 \pm 0,01 |
| BHA | 84,23 \pm 1,14 | 90,11 \pm 0,68 | 94,59 \pm 0,77 | 96,09 \pm 0,02 | 97,35 \pm 1,08 | 99,59 \pm 0,14 | 99,76 \pm | 0,90 \pm 0,02 |

Évaluation de l'activité antioxydante du β -carotène par le test β -carotène/acide linoléique :

Pour évaluer l'activité antioxydante de divers composés, nous avons eu recours au test basé sur l'oxydation du β -carotène couplé à l'acide linoléique. Dans ce cadre, la concentration inhibitrice médiane (IC₅₀) a été déterminée pour l'extrait éthanolique étudié, avec une valeur de **7,36 \pm 0,78 μ g/mL**. À titre de comparaison, les antioxydants de référence synthétiques, à savoir le **BHT (butylhydroxytoluène)** et le **BHA (butylhydroxyanisole)**, ont présenté des IC₅₀ respectivement de **1,05 μ g/mL** et **0,90 μ g/mL**, les valeurs sont représentées dans le **tableau 05**.

Bien que le β -carotène pur ne soit pas le composé testé ici, les résultats obtenus suggèrent que l'extrait éthanolique, riche en β -carotène, manifeste une activité antioxydante notable. En termes d'efficacité, cet extrait est environ **7 fois** moins actif que le **BHT** et **8 fois** moins actif que le **BHA**, ce qui souligne tout de même une capacité antioxydante significative, d'autant plus qu'il s'agit d'un produit naturel non synthétique.

L'IC₅₀, qui représente la concentration nécessaire pour inhiber 50 % de l'activité oxydative, constitue un indicateur clé dans l'évaluation de l'efficacité antioxydante : plus cette valeur est faible, plus le pouvoir antioxydant est élevé. Dans notre étude, l'extrait éthanolique a révélé une IC₅₀ de **7,36 \pm 0,78 μ g/mL**, ce qui est nettement inférieur aux valeurs rapportées dans des études antérieures. À titre d'exemple, Aroua Ikram et al. (2023) ont rapporté une IC₅₀ de **18,33 \pm 1,23 μ g/mL**, tandis que Sabrina Manel Kaddour et al. (2018) ont obtenu une

IC₅₀ encore plus élevée, de **83,29 ± 1,23 µg/mL**. Ces écarts mettent en évidence la meilleure efficacité antioxydante de notre extrait, suggérant à la fois une formulation optimisée et une meilleure préservation des composés bioactifs.

Cette performance peut être attribuée à plusieurs facteurs :

- **La méthode d'extraction** : l'utilisation de l'éthanol comme solvant est reconnue pour sa capacité à extraire efficacement les composés lipophiles comme le β-carotène tout en préservant leur stabilité (Rodriguez-Amaya, 2010). Elle est moins agressive que d'autres solvants polaires, ce qui peut limiter la dégradation du pigment.
- **Les conditions expérimentales** : les variations de température, de temps de réaction, de concentration de l'échantillon ou du type de solvant peuvent fortement influencer les résultats du test d'activité antioxydante (Koleva et al., 2002).
- **La pureté et la structure chimique du β-carotène** : ce composé est un caroténoïde possédant une longue chaîne conjuguée de doubles liaisons, ce qui lui confère une excellente capacité à donner des électrons et à piéger les radicaux libres. Il interrompt les réactions en chaîne de peroxydation lipidique en absorbant l'énergie excédentaire et en prévenant la formation de radicaux libres (Stahl & Sies, 2003).

En conclusion, ces résultats soulignent le potentiel du β-carotène, dans sa forme extraite naturellement, comme antioxydant efficace, capable de rivaliser, bien que dans une moindre mesure, avec des antioxydants synthétiques puissants. Cette efficacité confirme son intérêt pharmacologique et nutraceutique, notamment dans la prévention des maladies liées au stress oxydatif.



Conclusion



Conclusion

L'évaluation du potentiel thérapeutique de l'extrait de *Haloxylon scoparium*, une espèce végétale emblématique des zones arides de la flore algérienne, a mis en évidence des propriétés antioxydantes remarquables. Les essais *in vitro* réalisés, notamment les tests ABTS, DPPH et le test de blanchiment du β -carotène (β -Carotene Bleaching Assay), ont clairement démontré la capacité de cet extrait à neutraliser les radicaux libres et à inhiber les processus oxydatifs. Ces résultats soulignent l'efficacité de *H. scoparium* en tant qu'antioxydant naturel, et confirment son intérêt en phytothérapie préventive ou adjuvante.

Par ailleurs, l'analyse biochimique a révélé une teneur significative en flavonoïdes et autres composés phénoliques, substances bien connues pour leurs effets antioxydants, anti-inflammatoires et protecteurs vis-à-vis des dommages cellulaires induits par le stress oxydatif. La synergie observée entre la richesse en métabolites secondaires bioactifs et l'activité antioxydante mesurée renforce l'hypothèse selon laquelle *H. scoparium* pourrait jouer un rôle clé dans la prévention de pathologies chroniques associées au stress oxydatif, telles que les maladies cardiovasculaires, neurodégénératives ou certains types de cancer.

Au-delà de son activité antioxydante, cette plante mérite également d'être explorée pour d'autres propriétés pharmacologiques potentielles, notamment ses effets anti-inflammatoires, antimicrobiens, voire cytotoxiques sélectifs contre certaines lignées tumorales. En effet, plusieurs études sur des plantes des milieux arides ont montré que ces dernières développent des mécanismes de défense biochimiques sophistiqués leur conférant une richesse particulière en composés bioactifs.

Ainsi, *H. scoparium* se positionne comme une source végétale prometteuse pour le développement de formulations à visée thérapeutique ou nutraceutique. L'exploitation durable de cette ressource pourrait contribuer à la valorisation des plantes sahariennes et à l'innovation dans le domaine des soins de santé naturels.

Cependant, afin de valider son potentiel thérapeutique, des études complémentaires s'imposent. Il serait essentiel de procéder à l'isolement, la purification et l'identification structurale des composés actifs responsables des effets observés. De plus, des essais biologiques approfondis, notamment des études *in vivo*, des analyses de toxicité, de biodisponibilité, ainsi que des évaluations des mécanismes d'action moléculaires, sont nécessaires pour confirmer l'innocuité et l'efficacité de l'extrait dans un contexte pharmacologique.

En résumé, les résultats obtenus confirment que *H. scoparium* constitue une ressource phytothérapeutique d'intérêt majeur. Cette plante endémique pourrait contribuer à la mise au point de nouveaux agents antioxydants d'origine naturelle, répondant à la demande croissante de produits de santé plus sûrs, durables et respectueux de l'environnement. Ce travail ouvre la voie à des perspectives de recherche multidisciplinaires, alliant ethnobotanique, chimie des substances naturelles, pharmacologie et biotechnologie végétale.

Perspectives :

Perspectives de recherche et d'application

1. Isolement et caractérisation des principes actifs

- Poursuivre l'exploration phytochimique de *H. scoparium* en isolant et identifiant les molécules responsables de l'activité antioxydante, notamment les flavonoïdes, acides phénoliques et autres métabolites secondaires.
- Utiliser des techniques avancées telles que la chromatographie préparative, la spectrométrie de masse (LC-MS/MS) et la RMN pour l'élucidation structurale.

2. Études pharmacologiques approfondies

- Évaluer l'effet in vivo de l'extrait ou de ses composés purifiés dans des modèles animaux de stress oxydatif, d'inflammation ou de maladies chroniques (ex. : Alzheimer, diabète, athérosclérose).
- Explorer les activités anti-inflammatoires, antimicrobiennes et anticancéreuses potentielles, en ciblant des lignées cellulaires spécifiques ou des modèles animaux adaptés.

3. Évaluation toxicologique et sécurité d'usage

- Mener des essais toxicologiques (aiguë, subchronique) pour estimer l'innocuité de l'extrait à différentes doses.
- Étudier la biodisponibilité et le métabolisme des composés actifs afin d'anticiper leur comportement dans l'organisme humain.

4. Développement de formulations nutraceutiques ou cosmétiques

- Élaborer des formes galéniques (gélules, crèmes, extraits secs standardisés) intégrant *H. scoparium* à des fins antioxydantes ou dermatologiques.
- Collaborer avec l'industrie pharmaceutique ou cosmétique pour évaluer la stabilité, l'efficacité et l'acceptabilité de ces produits.

5. Intégration dans la médecine traditionnelle et la pharmacopée

- Documenter et valoriser les usages traditionnels de *H. scoparium* auprès des communautés locales, dans une approche ethnobotanique participative.
- Proposer l'inclusion de cette plante dans des pharmacopées régionales ou nationales si les résultats scientifiques s'avèrent concluants.

6. Valorisation durable et conservation

- Étudier les conditions écologiques optimales de culture de *H. scoparium*, en vue d'une exploitation durable sans menacer les populations naturelles.
- Envisager la mise en place de programmes de culture in vitro ou d'agriculture en zones arides pour préserver la biodiversité locale.

7. Recherche multidisciplinaire et innovation biotechnologique

- Mobiliser des approches intégrées combinant ethnobotanique, biotechnologie végétale, chimie analytique, pharmacologie expérimentale et intelligence artificielle pour modéliser les effets et optimiser l'usage thérapeutique.
- Explorer l'induction de la biosynthèse des composés bioactifs via des méthodes de culture cellulaire ou de stress contrôlé in vitro.



Référence



Référence :

1. Adli, A., & Yousfi, M. (2001). Étude des substances naturelles dans les plantes médicinales d'Algérie. *Revue des Sciences*, 15(2), 75-84.
2. Amari Leila, et al (2019), dans un mémoire intitulé "Contribution à l'étude de l'activité biologique de *Haloxylon scoparium* Pomel (Remth)" cette plante a démontré un potentiel intéressant en matière d'activité biologique.
3. Amoura A. et Baz, S. 2014. Identification des souches fongiques productrices des protéases, isolées à partir de source chaude. Mémoire de master. Université de Mantouri, Constantine
4. Andrew C. 2013, plantes médicinales. Ed Gründ
5. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay.
6. Apak R, Guclu K, Ozyurek M, Karademir SE. Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC Method. *J Agric Food Chem*.
7. *Arabian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*
8. Awaad, A. S., Sokkar, N. M., Soliman, G. M. *Bulletin of the Faculty of Pharmacy (Cairo University)* 39 (2001).
9. Bello A. A., Brahim Said L., Raisa- Mangas M., et Yalapsy- Rubio D. 2015.
10. Ben Salah H., Jarraya R., Martin M.T., Veitch N.C., Grayer R., Simmonds M.S.J., et Damak M. 2002 Flavonol Triglycosides from the Leaves of *Hammada scoparia* (Pomel)
11. Benaradj A. 2017. Caractérisation floristique de la steppe a *Hammada scoparia* dans l'atlas Saharien oranais (Naama-Algérie). *Revue Agrobiologia*. 7(2), 483-490.
12. Benaradj A. 2017. Étude phyto-écologique des groupements à *Pistacia atlantica* Desf.
13. Benhouhou, S., & KaziTani, N. (2010). Étude floristique et écologique des plantes steppiques : cas de l'*Haloxylon scoparium*. *Bulletin de l'Institut Saharien*, 19, 45-52
14. Benkrief R., Brum-B M., Tillequin F., et Koch M. 1989. Alcaloïdes et flavonoïdes des parties aériennes de *Hammada articulata* ssp. *scoparia*. *Journal d'Annales Pharmaceutiques française*. 48(4): 219-24.
15. Benmebarek, H., Djeridane, A., Yousfi, M. (2020). Phytochemical Screening and Antioxidant Activity of *Haloxylon scoparium*. *Journal of Medicinal Plants Research*, 14(6), 308–316.

16. Boubekri, A., Benslama, A., & Kara, K. (2016). Étude de l'activité antioxydante et antimicrobienne de *Haloxylon scoparium*. *Phytothérapie*, 14(2), 91–98.
17. Boucherit H., Benabdeli K., et Benaradj A. 2017. Caractérisation floristique de la steppe a
18. Boucherit H., Benabdeli KH., Abdelkrim Benaradj A., Mostafia Boughalem M.2018.
19. Boucherit H., Benaradj A., Boughalem M., et Benabdeli K. 2018. Ethnobotanical study of *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin in the region of Naâma (South- Western Algeria).
20. Boukef, K. (1986). Les plantes dans la médecine traditionnelle tunisienne: valeur et perspectives. Agence de Coopération Culturelle et Technique.
21. -Boulos, L., 1999. Flora of Egypt Vol. I. Al Hadara Publishing, Cairo, Egypt, p. 12
22. Bourogaa E., Bertrand J., Despeaux M. 2011. *Hammada scoparia* flavonoids and rutin kill adherent and chemoresistant leukemic cells . *Leukemia Research*
23. Bouzid, S. (2005). Plantes médicinales d'Algérie. Office des publications universitaires, Alger.
24. Cartier, F., & Roux, D. (2007). Les substances naturelles d'origine végétale : Chimie, propriétés biologiques et toxicologie. Lavoisier.
25. da Costa, M. C. R., Silva, C. A. da, Pinheiro, J. W., Fonseca, N. A. N., & Pacheco, G. D. (2003). Grão de girassol na alimentação de suínos. Documentos - Embrapa Soja.
26. dans le sud Oranais Sud- Ouest algérien. Thèse de doctorat. Université d'Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algéria.
27. Djermane, D. (2014). Les métabolites secondaires des plantes : rôles et applications. Mémoire de Master, Université d'Alger.
28. Ekor, M. (2014). The growing use of herbalmedicines: issues relating to adverse reactions and challenges in monitoring safety. *Frontiers in Pharmacology*, 4, 177.
29. Ellman GL, Courtney KD, Andres V, Featherston RM. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem Pharmacol*.
30. El-Shazly, A., Wink, M., 2003. Tetrahydroisoquinoline and b-Carboline Alkaloids from *Haloxylon articulatum* (Cav.) Bunge (Chenopodiaceae). *Z. Fur Naturforschung*
31. Etude phytochimique (GC/MS) et biologique d'un extrait d'une plante médicinale de la flore algérienne (Sahara)(GUETTIANI Safa Elyakine, 06 Juin 2023
32. Évaluation du potentiel thérapeutique d'un extrait de plante médicinale de flore algérienne (*Haloxylon scoparium*)

33. Extract from *Haloxylon scoparium* Pomel (*Hammada scoparia* (Pomel)) by Oral Administration in Rodents . Hindawi BioMed Research International
34. Farnsworth, N.R., Akerele, O., Bingel, A.S., Soejarto, D.D., & Guo, Z. (1986). Medicinal plants in therapy. Bulletin of the World Health Organization,
35. Feng, S., Luo, Z., Zhang, Y., & Zhong, Z. (2014). Solvent effects on extractable compounds from desert plants. *Industrial Crops and Products*, 56, 65–70.
36. Free Radical Bio. Med..
37. Gerard D.et Francois C.2009.Petite Larousse des plantes médicinales. ED., Paris.
38. Gong C., Wang J., Hu C., Wang J., Ning P., Bai J.2015. Interactive response of photosynthetic characteristics in 2 *Haloxylon ammodendron* and *Hedysarum scoparium* exposed to 3 soil water and air vapor pressure deficits .J. Environ.
39. *Hammada scoparia* dans l'atlas Saharien oranais (Naama-Algérie). *Revue Agrobiologia*.
40. Heinrich, M., Scotti, F., Booker, A., & Bremner, P. (2018). Medicinal plants and natural products in the prevention and treatment of cancer. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2018.
41. Herbal Medicine. CRC Press.
42. Iljin. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 50(9): 1268-1270.
43. Iserín, P. (2001). *Les Plantes Médicinales: Guide Pratique d'Herboristerie*. Éditions Solar.
44. K. Slinkard and V.L. Singleton (1977). Total phenol analys: automation and comparision with manual methods. *Am. J. Enol. Viticult.* 28. 49-55.
45. Kharchoufa L., Bouhrim M., Bencheikh N., El Assri S., Amirou A., Yamani A., Choukri M., Mekhfi H., Elachouri M. 2020. Acute and Subacute Toxicity Studies of the Aqueous
46. Khelef Yahia., Chouikh Atef., Rebiai Abdelkrim., Neffar Souad.
47. Kurt, E. (1998). *Herbal Medicine: The Natural Way to Better Health*.
48. Lamchouri F., Benali T., Bennani B., Toufik H., Ibn Majdoub Hassania L., Bouachrine M., Lyoussi B. 2012 .Preliminary phytochemical and antimicrobial investigations of extracts of *Haloxylon scoparium* . *J. Mater. Environ. Sci.* 3 (4) :754-759.
49. Li, I. P., Zaugg J., Steffen Hering S., Hamburger M. 2010. HPLC-Based Activity Profiling for GABAA Receptor Modulators: A New Dihydroisocoumarin from *Haloxylon scoparium* Yanfang, *J. Nat. Prod.*

50. Li, I. P., Zaugg J., Steffen Hering S., Hamburger M. 2010. HPLC-Based Activity.
51. Lincoln, D. E., & Eduardo, A. (2010). *SecondaryMetabolites and Plant Defense*. Springer.
52. Marco, G.J., 1968 A rapid method for evaluation of antioxidants. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 45, 594-598.
53. Miller, A. (2013, February 6). This Is the Worst Advertising Campaign Ever. *VICE*.
54. Mohammedi Z. 2013 .Etude Phytochimique et Activités Biologiques de quelques Plantes médicinales de la Région Nord et Sud Ouest de l'Algérie.Thèse de doctocat des état, université Abou bekr belkaid , Algeria ,
55. Murray, R. K. (2008). *Harper's Illustrated Biochemistry*. 27th Edition, McGraw-Hill.
56. Ozenda, P. (1991). *La végétation de la Méditerranée: Écologie, phytosociologie et biogéographie*. CNRS Éditions
57. Phytochemical screening of three species of Western Sahara. *Journal de Revista Cubana de Plantas Medicinales*. 19(2):149-155
58. Phytoécologie de Hammada scoparia dans la région de Naâma (Algérie occidentale) .*Bot. complut.* 42: 93-99).
59. Quezel P., Santa S.; *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Tome II, Ed. CNRS, Paris
60. Raches, D., Potter, B., Kang, G., Hankins, J., & Takemoto, C. (2009). Prediction of Functional Academic Outcomes by Fine Motor Skills in Children with Sickle Cell Disease. *American Journal of Occupational Therapy*, 63(5).
61. Rates, S. M. K. (2001). Plants as source of drugs. *Toxicon*, 39(5), 603–613.
62. Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2014). *Biologie végétale*. 8e édition, De Boeck Supérieur.
63. Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
64. Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C., 1999.
65. Salah, A. A., Alpaydin, E., & Akarun, L. (2002). Modeling, recognizing, and predicting complex human motion. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*.
66. Salah, A. A., Alpaydin, E., & Akarun, L. (2002). Modeling, recognizing, and predicting complex human motion. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*,.

67. -Sathiyamoorthy, P., Lugasi-Evgi, H., Schlesinger, P., Kedar, I., Gopas, J., Pollack, Y. 1999. *Pharmaceutical Biology* .
68. Sathiyamoorthy, P., Lugasi-Evgi, H., Van Damme, P., Abu-Rabia, A., Gopas, J., Pollack, Y. 1997. *International Journal of Pharmacognosy* .35 : 265.
69. Singleton, V.L., Orthofer and R.M. Lamuela-Raventos: Analysis of Total Phenols and other Oxidation Substrates and Antioxidants by Folin-Ciocalteu Reagent. *Met. Enzym.* 1999, 299, 152-178
70. Tang, G. (2010). Bioconversion of dietary provitamin A carotenoids to vitamin A in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 91(5), 1468S-1473S.
71. Timentit Rachid Islam (2022), dans un mémoire soutenu à l'Université de Saida devant un jury présidé par le Pr Sitayeb Tayab, la plante *Haloxylon scoparium* a fait l'objet d'une étude approfondie en raison de ses propriétés médicinales.
72. World Health Organization (WHO). (2013). *WHO traditional medicine strategy: 2014–2023*
73. Yezza, A., & Bouchama, I. (2014). Les composés phénoliques dans les végétaux : classification et rôles. *Revue des Sciences Biologiques*, Université de Béjaïa.
74. Zerriouh M. 2015. Contribution à l'étude phytochimique et activité antidiabétique de *Hammada scoparia* (pomel), <<Remth>>. These de doctorat. Université d'Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie
75. Ziani, A. (2019). Resenha de Baehr, J. (Ed.). *Intellectual Virtues and Education: Essays in Applied Virtue Epistemology*. New York: Routledge, 2017. 272p. *Analytica. Revista de Filosofia*