

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Ghardaïa



Faculté des Sciences de la Nature et de Vie et Sciences de la Terre
Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Science biologiques
Spécialité : Biochimie appliquée

Par : ✍ M^{lle} DJEKAOUA Meriem

✍ M^{lle} CHENINI Ahlam

THÈME

***Exploration des potentiels anti-radicaux des extraits de
quelques espèces extrêmophiles au Sahara Algérien***

Soutenu publiquement, le : 16/06/ 2025.

Devant le jury composé de :

M.KHENE M.A.	Maître de Conférences B	Univ. Ghardaia	Président
M. BENKHERARA S.	Maître de Conférences A	Univ. Ghardaia	Encadrant
M.BELHACHEMI M.H.	Maître de Conférences A	Univ. Ghardaia	Examineur

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma gratitude envers ALLAH tout puissant pour m'avoir accordé la force, le courage, la santé, la volonté et surtout la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je tiens à exprimer notre gratitude envers tous les enseignants qui ont participé à notre formation.

*Je souhaite exprimer ma sincère reconnaissance et exprimer ma gratitude envers mon encadrant, **M. BENKHERARA Salah**, Maître de Conférences au département de Biologie, à l'Université de Ghardaïa, pour avoir accepté de superviser ce mémoire. Je lui exprime également ma gratitude pour sa bienveillance, ses précieux conseils et son suivi régulier lors de l'élaboration de ce petit travail.*

*Je tiens à exprimer ma gratitude envers Monsieur **KHENE Mohamed Amine** pour son engagement à présider le jury et Monsieur **BELHACHEMI Mohamed Habib** pour son engagement à examiner mon travail.*

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers tous les ingénieurs, techniciens et administrateurs du département de Biologie de l'Université de Ghardaïa pour leur assistance dans ce travail. Je remercie également tous les membres du laboratoire de biochimie de notre département pour leur assistance dans la réalisation des différents tests et analyses, ainsi que pour leur fournissement du matériel et des ressources nécessaires pour mener à bien notre travail.

Je tiens à remercier chaleureusement tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin dans

l'accomplissement de ce modeste mémoire.

Dédicace

*À celui qui a semé en moi l'amour du savoir, mais qui EST parti avant de voir la
récolte...*

*À l'âme pure de Mon père, que Dieu ait pitié de lui ET l'accueille dans Son vaste
paradis.*

*Tu Vis encore dans Mon cœur, ET ton souvenir m'accompagne à chaque pas.
Je Te dédie Ce travail, fruit d'un chemin que tu as commencé avec moi par ton
amour, ton éducation ET tes prières.*

*À ma chère mère, source d'amour et de tendresse,
Ton soutien inconditionnel, ta patience et ta foi en moi ont été ma lumière dans
l'obscurité.*

Merci pour tout Ce que tu as donné sans jamais compter.

*À mes frères et sœurs (Mohamed, boubaker, omar laid, otmane, soumaia) piliers de
mon existence,*

*Votre amour, votre présence et vos encouragements m'ont porté dans chaque
épreuve.*

Ce succès EST autant le vôtre que le mien.

*À mes Amis (Ahlam, Ikhsalssse, Chaima) compagnons de route fidèles,
Merci pour votre présence, vos mots de réconfort, vos rires partagés ET votre aide
sincère.*

Vous avez été une lumière dans les moments d'ombre.

ET enfin...

*À tous ceux qui ont laissé une trace positive dans ma vie,
Je vous dédie humblement le fruit de cet effort, avec gratitude et affection*

MERJEM

Dédicace

À l'occasion de la fin de ce parcours universitaire, je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance à toutes les personnes qui m'ont soutenue tout au long de cette aventure.

À mon cher père, merci pour ton soutien, ta patience et ta confiance. J'aurais aimé que tu sois présent à ce moment si précieux, mais je sais que tu es actuellement dans le lieu le plus sacré sur Terre, et que tes prières m'accompagnent malgré la distance.

À ma chère mère, lumière de mes jours difficiles, ton amour a toujours été ma force silencieuse.

À mon frère Karim, mon compagnon dans la vie, merci pour ta présence constante à mes côtés.

À mes sœurs Ikram et Oaima, merci pour votre encouragement sincère et votre soutien indéfectible.

À mes amies (Ikhsane, Chaima) merci pour tous les moments joyeux partagés et pour votre belle énergie qui a toujours été source de réconfort et de motivation.

À mon amie précieuse Meriem, complice d'enfance et de parcours, nous avons commencé cette aventure ensemble et nous la terminons main dans la main. Ton amitié a été, et reste, un vrai soutien.

À mon encadrant, Dr. Benkherara Salah, je vous remercie pour votre patience, votre accompagnement bienveillant et vos conseils tout au long de ce travail.

Votre soutien a joué un rôle essentiel dans mon avancement.

Ce diplôme est le fruit d'un effort partagé et restera une belle mémoire de toutes celles et ceux qui ont cru en moi et ont contribué à ce que ce rêve devienne réalité.

AHLAM

Résumé

Ce travail a pour objectif la valorisation de quatre espèces végétales extrêmophiles *Pituranthos chloranthus* (Guezzah), *Cleome amblyocarpa* (Netil), *Cymbopogon schoenanthus* (Lemmad,) et *Marrubium deserti de Noé* (Jâada) qui poussent spontanément dans la région de SEBSEB au Sahara septentrional Algérien et ce, à travers l'évaluation du pouvoir biologique antiradicalaire et antioxydant des extraits bruts et des huiles essentielles de leurs parties aériennes. Ces espèces végétales, qui sont largement utilisées pour ses innombrables vertus thérapeutiques traditionnelles chez la population de la région de Ghardaïa, appartiennent à quatre familles différentes Capparacées, Apiacées, Lamiacées et Poacées et sont tous des espèces xérophytes. Pour ce faire, des tests de screening phytochimique sont effectués pour mettre en évidence la présence ou l'absence des principaux métabolites secondaires de ces plantes. Des extractions par macération aqueuse sont réalisées et des huiles essentielles sont extraites par entraînement à la vapeur d'eau. Les teneurs en polyphénols totaux dans les extraits bruts obtenus sont ensuite déterminées. Le pouvoir antioxydant des extraits obtenus est ensuite évalué par les tests DPPH, ABTS et celui de FRAP. De l'ensemble des résultats obtenus, les tests de criblage phytochimique ont révélé la présence de quelques composés du métabolisme secondaire dans toutes les espèces plus particulièrement les composés phénoliques et l'absence de certains d'autres qui sont également importants. Quant au rendement en extrait brut aqueux, L'espèce *Marrubium deserti* s'est avérée la meilleure avec plus de 50%. Cependant, l'espèce *Cleome amblyocarpa* semble être plus riche en polyphénols totaux avec 600.68 mg EAG/g MVS. Les tests du pouvoir antioxydant ont permis d'évaluer la puissance des extraits isolés dans le piégeage des radicaux libres DPPH, ABTS et la réduction de Fer trivalent en Fer bivalent via le test de FRAP. Les résultats obtenus révèlent que ces extraits sont très actifs et présentent des forts pouvoirs antioxydants avec une priorité pour les extraits des deux espèces végétales *Pituranthos Chloranthus* (P1) et *Cymbopogon Schoenanthus* (P4). En comparaison avec les produits de référence, les extraits des mêmes espèces P1 et P4 ont présenté une activité généralement meilleure par rapport au Trolox, Ces résultats sont très prometteurs et justifient en quelques sortes l'usage massif de ces espèces xérophytes en médecine traditionnelle chez par la population de la région de Sahara Algérien.

Mots clés : Phytochimie, Pouvoir antioxydant, Extrait brut, Huiles essentielles, Espèce xérophyte, Sebseb.

Abstract

This work aims to valorize four plant species: *Pituranthos chloranthus* (Guezzah), *Cleome amblyocarpa* (Netil), *Cymbopogon schoenanthus* (Lemmed), and *Marrubium deserti* de Noé (Jâada), which grow spontaneously in the Ghardaïa region, located in the northern Algerian Sahara. This is achieved through a contribution to their phytochemical study and the evaluation of the antioxidant potential of aqueous crude extracts from their aerial parts. These plant species are widely used by the local population for their numerous traditional therapeutic properties. They belong to five different families: Capparaceae, Apiaceae, Lamiaceae, and Poaceae, and all are xerophytic species to this end, phytochemical screening tests were carried out to identify the presence or absence of key secondary metabolites. Aqueous maceration extractions were performed, and the total polyphenol content of the crude extracts was determined. The antioxidant activity of the extracts was evaluated against free radicals: DPPH, ABTS, and FRAP.

From the overall results obtained, the phytochemical screening tests revealed the presence of certain secondary metabolites in all the studied species, particularly phenolic compounds, as well as the absence of some other important compounds. Regarding the yield of the aqueous crude extract, *Marrubium deserti* showed the highest yield, exceeding 50%. However, *Cleome amblyocarpa* appeared to be richer in total polyphenols, with a content of 600.68 mg GAE/g dry matter. The antioxidant activity assays allowed the evaluation of the capacity of the isolated extracts to scavenge free radicals (DPPH and ABTS) and to reduce ferric ions to ferrous ions through the FRAP test. The results showed that these extracts are highly active and exhibit strong antioxidant power, particularly the extracts of *Pituranthos chloranthus* (P1) and *Cymbopogon schoenanthus* (P4). Compared to standard antioxidants, the extracts of P1 and P4 generally showed superior activity than Trolox. These results are very promising and partly justify the extensive traditional medicinal use of these xerophytic species by the populations of the Algerian Sahara region.

Keywords: Phytochemistry, Antioxidant power, Crude extract, Essential oils, Xerophytic species, Sebseb.

المخلص

يهدف هذا العمل إلى تثمين أربع أنواع نباتية هي (الفراخ) *Pituranthos chloranthus*، *Cleome amblyocarpa*، *Cymbopogon schoenanthus* (اللّمد)، و *Marrubium deserti* de Noé (الجعدة)، وهي نباتات تنمو بشكل طبيعي في منطقة سببسب الواقعة في شمال الصحراء الجزائرية. ويتحقق هذا الهدف من خلال المساهمة في دراستها الكيميائية النباتية وتقييم النشاط المضاد للأكسدة للمستخلصات الخام المائية من أجزائها الهوائية. تُستعمل هذه الأنواع النباتية على نطاق واسع من قبل السكان المحليين نظرًا لخصائصها العلاجية التقليدية المتعددة. وتنتمي إلى خمس عائلات نباتية مختلفة، *Capparacées*, *Apiacées*, *Cleomaceae* و *Lamiaceae* كلها نباتات متكيفة مع الجفاف.

ولهذا الغرض، أُجريت اختبارات التحري الكيميائي النباتي لتحديد وجود أو غياب بعض المركبات الثانوية الرئيسية. كما تم تنفيذ استخلاصات بالتقنيع المائي، وتحديد المحتوى الكلي من البوليفينولات في المستخلصات الخام. وتم تقييم النشاط المضاد للأكسدة للمستخلصات في مواجهة الجذور الحرة DPPH و ABTS و FRAP.

من خلال مجمل النتائج المحصلة، كشفت اختبارات الغرلة الفيتو كيميائية عن وجود بعض المركبات الثانوية في جميع الأنواع النباتية المدروسة، وخاصة المركبات الفينولية، مع غياب بعض المركبات الأخرى المهمة أيضًا. وبخصوص مردودية المستخلص الخام المائي، تبين أن نوع *Marrubium deserti* هو الأفضل، حيث تجاوزت المردودية 50%. غير أن نوع *Cleome amblyocarpa* بدأ الأغنى من حيث المحتوى الإجمالي من البوليفينولات، حيث بلغت قيمته 600.68 ملغ مكافئ حمض الغاليك/غ من المادة الجافة.

وقد مكّنت اختبارات القدرة المضادة للأكسدة من تقييم فعالية المستخلصات المعزولة في اقتناص الجذور الحرة (DPPH و ABTS) وفي اختزال الحديد الثلاثي إلى حديد ثنائي باستخدام اختبار FRAP. أظهرت النتائج أن هذه المستخلصات نشطة جدًا وتتمتع بقدرات قوية كمضادات للأكسدة، لا سيما مستخلصي نوعي *Pituranthos chloranthus* (P1) و *Cymbopogon schoenanthus* (P4).

وبالمقارنة مع المركب المرجعي Trolox، فقد أظهرت مستخلصات النوعين P1 و P4 نشاطًا أقوى بشكل عام. وتُعد هذه النتائج واعدة للغاية، وتُبرر إلى حدّ ما الاستخدام الواسع لهذه الأنواع النباتية الصحراوية في الطب التقليدي من قبل سكان منطقة الصحراء الجزائرية.

الكلمات المفتاحية: الفيتوكيمياء، القدرة المضادة للأكسدة، مستخلص خام، الزيوت الأساسية، نوع نباتي جاف، سببسب.

LISTES DES ABREVIATIONS

- ✚ % I: Pourcentage d’Inhibition.
- ✚ %: pourcentage.
- ✚ AAT: activité antioxydante totale.
- ✚ ABTS: 2, 2'-Azino-Bis-3-Ethylbenzothiazoline-6-Sulfonic Acid.
- ✚ AC : Absorbance de contrôle
- ✚ AE: Absorbance de l’Échantillon
- ✚ DPPH: 2, 2-Diphenyl-1 -picrylhydrazyl.
- ✚ EAG: équivalent acide gallique.
- ✚ EBA: extrait brut aqueux.
- ✚ FeCl₃ : chlorure de fer (III).
- ✚ H₂SO₄: Acide sulfurique.
- ✚ HCl: acide chlorhydrique.
- ✚ HE: huiles essentielles
- ✚ IC₅₀ : Concentration inhibitrice de 50% des radicaux libres.
- ✚ M0 : quantité de la poudre végétale utilisée pour l’extraction exprimée en g.
- ✚ M1 : quantité de l’extrait récupéré exprimée en g.
- ✚ MVS: matière végétale sèche.
- ✚ NH₄OH: Ammoniaque.
- ✚ PA: Partie aérienne
- ✚ PEB : poids de l’extrait brut.
- ✚ Ph: Potentiel hydrogène.
- ✚ PMV : poids de matière végétale.
- ✚ PS: Partie souterraine (racinaire)
- ✚ R: rendement.
- ✚ ERO : Espèces Réactives de l’Oxygène

LISTE DES FIGURES

Figure N°	Titre	Page
Figure 01	Vue générale des espèces végétales étudiées	5
Figure 02	Situation géographique et limites administratives de la région de Sebseb	6
Figure 03	Courbe d'étalonnage de l'acide gallique	18
Figure 04	Courbe d'étalonnage de l'antioxydant de synthèse trolox (pour DPPH)	20
Figure 05	Résultats du pouvoir antioxydant (test de DPPH) des extraits bruts aqueux des quatre espèces végétales étudiées	21
Figure 06	Résultats du pouvoir antioxydant (test de DPPH) des huiles essentielles des deux espèces végétales P1 et P4 étudiées.	21
Figure 07	Courbe d'étalonnage de l'antioxydant de synthèse trolox (pour ABTS)	23
Figure 08	Résultats du pouvoir antioxydant (test de l'ABTS) des extraits bruts aqueux des espèces végétales étudiées	24
Figure 09	Résultats du pouvoir antioxydant (test de l'ABTS) des huiles essentielles des espèces végétales P1 et P4 étudiées.	24
Figure 10	Courbe d'étalonnage de sulfate ferreux heptahydraté (FeSO ₄ .7H ₂ O) pour le test de FRAP.	27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n°	Titre	Page
Tableau.1	Tableau récapitulatif des principales familles de composés du métabolisme secondaire de la partie aérienne des espèces végétales étudiées.	16
Tableau.2	Rendement (%) en extrait brut aqueux (EBA), huiles essentielles (HE) et teneur en polyphénols totaux (PPT) (mg EAG/ g MVS) des espèces étudiées	18
Tableau.3	Résultats globaux des IC50 (µg/ ml) du pouvoir antioxydant (test de DPPH) des extraits bruts aqueux et des huiles essentielles des espèces étudiées	22
Tableau.4	Résultats globaux des IC50 (µg/ml) du pouvoir antioxydant (test de l'ABTS) des extraits bruts et des huiles essentielles des espèces végétales étudiées	25
Tableau.5	Résultats globaux du pouvoir antioxydant réducteur du fer FRAP en (mmol Fe ⁺² / g MVS) des extraits bruts et des huiles essentielles des espèces végétales étudiées.	28

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Abstract

الملخص

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

1. INTRODUCTION	14
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	4
2.1 MATERIEL VEGETAL	4
2.1.1. Site de prélèvement	6
2.1.2. Echantillonnage, séchage et broyage	7
2.2 METHODES D'ANALYSES	9
2.2.1. Scrining phytochimique	9
2.2.1.1 Recherche des Tanins	9
2.2.1.2 Recherche des Flavonoïdes	9
2.2.1.3 Recherche des Saponosides	9
2.2.1.4 Recherche des Anthocyanes	10
2.2.1.5 Recherche des Leuco anthocyanes	10
2.2.1.6 Recherche des Alcaloïdes	10
2.2.1.7 Recherche des Terpènes	10
2.2.1.8 Recherche des Stérols	10
2.2.2. Préparation des extraits bruts aqueux des espèces étudiées	11
2.2.3. Dosage des polyphénols totaux	11
2.2.4. Extraction des huiles essentielles	12
2.2.5. Pouvoir anti-radicaux.....	13
2.2.5.1 Test de DPPH	13
2.2.5.2 Test de l'ABTS	14
2.2.5.3 Test de FRAP	15
3. RESULTATS ET DISCUSSION	16
3.1 TESTS BIOCHIMIQUES PRELIMINAIRES.....	16

3.2. RENDEMENT EN EXTRAITS BRUTS, HUILES ESSENTIELLES ET TENEUR EN POLYPHENOLS TOTAUX.....	17
3.3. POUVOIR ANTIOXYDANT	19
3.3.1. Test de DPPH	20
3.3.2. Test de l'ABTS	23
3.3.3. Test de FRAP	27
4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	31
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	32



Introduction



1. INTRODUCTION

Depuis l'Antiquité, l'homme a eu recours aux plantes pour assurer sa survie et traiter ses maladies. Les ressources végétales présentes dans son environnement ont constitué, depuis toujours, une source précieuse de remèdes naturels, conférant ainsi une importance considérable au règne végétal. Avec le temps, l'homme a su distinguer les plantes bénéfiques de celles potentiellement toxiques, et a transmis ce savoir de génération en génération.

Encore aujourd'hui, les plantes médicinales jouent un rôle fondamental dans de nombreux pays en développement, où elles représentent souvent la seule alternative thérapeutique en l'absence d'un système de santé moderne (El Hafian et al., 2014). L'émergence des sciences modernes telles que la botanique, la phytochimie, la biologie ou encore l'anthropologie, a permis d'approfondir l'étude de ces connaissances traditionnelles et de mieux comprendre les interactions entre l'homme et les plantes (Kemassi et al., 2014).

Les plantes médicinales se définissent comme tout végétal contenant, dans au moins une de ses parties, des substances actives ayant des propriétés thérapeutiques. Selon Dragendorff, toute substance végétale utilisée à des fins médicinales, qu'elle soit employée sous sa forme brute ou après extraction de ses composés actifs, est considérée comme plante médicinale (Belhadj, 2018).

La recherche scientifique s'est considérablement intensifiée dans ce domaine, révélant le potentiel immense des plantes médicinales dans le traitement et la prévention de nombreuses maladies. Ce potentiel repose principalement sur leurs composés phytochimiques tels que les alcaloïdes, les flavonoïdes, les tanins et les composés phénoliques. Parmi ces derniers, les polyphénols se distinguent comme une source majeure d'antioxydants naturels. L'efficacité de leur extraction dépend fortement des paramètres opératoires et notamment de la polarité du solvant, qui influence à la fois la quantité et la qualité des composés antioxydants extraits (Atik et al., 2011).

Les antioxydants naturels suscitent un intérêt scientifique croissant, en raison de leur capacité à neutraliser les **espèces réactives de l'oxygène (ERO)**. Ces molécules sont produites dans l'organisme au cours de réactions métaboliques normales, comme la respiration cellulaire. Toutefois, leur accumulation excessive provoque un **stress oxydatif**, déséquilibre associé à de

nombreuses pathologies chroniques : vieillissement prématuré, maladies cardiovasculaires, inflammations, cancers, etc. Les ERO contribuent également à la dégradation des denrées alimentaires par peroxydation lipidique, affectant leur qualité nutritionnelle, sensorielle et leur durée de conservation.

Face à ces enjeux, l'étude des antioxydants d'origine végétale devient essentielle, non seulement pour restaurer l'équilibre oxydatif dans l'organisme, mais aussi pour préserver la qualité des aliments. Plusieurs études ont mis en évidence les propriétés biologiques remarquables des polyphénols, notamment leurs effets antioxydants, anti-inflammatoires, antiallergiques et anticancéreux. Les plantes utilisées traditionnellement en médecine populaire représentent une source abondante de ces métabolites secondaires, bien que seules quelques molécules soient réellement responsables des effets observés.

Il devient donc impératif d'identifier et de caractériser ces composés bioactifs, afin de mieux comprendre leurs mécanismes d'action, d'évaluer leur efficacité thérapeutique, mais aussi de considérer leurs effets secondaires éventuels sur la santé humaine.

Dans ce contexte, notre travail vise à réaliser une **étude phytochimique** de quelques espèces extrêmophiles appartenant à différentes familles botaniques, suivie de l'**évaluation du potentiel antiradicalaire** de leurs extraits bruts et de leurs huiles essentielles à l'aide des tests DPPH, ABTS et FRAP.

Matériel
Et
Méthodes

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Matériel végétal

Le matériel végétal étudié est présenté par quatre espèces végétales extrêmophiles qui poussent spontanément dans la région de Ghardaia et sont réputées pour leur résistance exceptionnelle aux conditions environnementales extrêmes des zones arides et semi-arides. Les espèces sélectionnées sont : *Pituranthos chloranthus*, *Cleome amblyocarpa*, *Cymbopogon schoenanthus* et *Marrubium deserti* de Noé. Ces espèces appartiennent à quatre familles botaniques différentes et sont toutes des plantes xérophytes adaptées aux conditions arides. Ces espèces offrent un modèle intéressant pour l'étude des adaptations physiologiques et biochimiques des plantes sous stress environnemental.

Pour ce qui est de la description botanique, l'espèce *Pituranthos chloranthus* de la famille des Apiaceae, est connue sous le nom de « Guezah ». C'est une Plante vivace, à tiges vert jaunâtre rappelant des joncs, ramifiées dès la base et atteignant une hauteur de 0,5 à 1 mètre. Les feuilles, de petite taille et réduites à des écailles, sont rapidement caduques. L'inflorescence se présente en ombelles situées à l'extrémité des tiges. Les fleurs, de couleur verte, possèdent des pétales larges ornés de poils le long de leur nervure dorsale. Le fruit est un akène ovoïde, mesurant entre 1 et 2 mm de diamètre, recouvert de poils. (Chehma, 2019)

Quant à l'espèce *Cleome amblyocarpa* Barr. & Murb de la famille des Capparaceae ou, communément appelée « Netil », s'est considérée comme herbacée, vivace et ramifiée, de couleur vert jaunâtre, et mesure entre 10 et 40 cm de hauteur. Elle dégage une odeur fétide et désagréable. Ses tiges sont dressées, portant des feuilles trifoliolées aux folioles lancéolées. Les fleurs, de teinte pourpre, précèdent la formation d'un grand nombre de fruits sous forme de capsules allongées et velues. (Chehma, 2019)

D'autre part, l'espèce *Marrubium deserti* de Noé, appartient à la famille des Lamiaceae et connue localement sous le nom de "Jâada". C'est un petit arbuste vivace mesurant entre 20 et 30 centimètres de hauteur. Il présente de nombreuses tiges dressées, couvertes de poils blancs qui lui donnent un aspect laineux. Les feuilles, opposées et de petite taille, montrent des nervures bien marquées. Les fleurs, de couleur rose et fortement odorantes, sont généralement regroupées en glomérules espacés le long de la tige (Chebrouk, 2009).

La quatrième espèce est celle appelée *Cymbopogon schoenanthus* (L.) Spreng, localement connue sous le nom de « Lemmad », est une plante aromatique vivace appartient à la famille des Poaceae. Elle pousse en touffes denses de 30 à 40 cm de hauteur, avec plusieurs rejets issus d'une base très odorante. Les tiges sont courtes et nombreuses, tandis que les feuilles sont longues, étroites, d'abord souples puis coriaces, s'enroulant sur elles-mêmes. Les hampes florales sont dressées, longues, et portent des épis parfois légèrement teintés de violet. En séchant, surtout dans sa partie inférieure, la plante dégage un parfum puissant et agréable. Cette espèce pousse de façon isolée sur des sols caillouteux, notamment dans les lits d'oueds et les ravins, ce qui témoigne de sa grande adaptation aux milieux arides. (Chehma, 2019)

Les parties aérienne (tiges, feuilles, parfois fleurs et inflorescences florales) sont utilisées pour la réalisation des expérimentations de cette étude qui porte en principe sur l'évaluation *in vitro* des pouvoirs anti radicaux des extraits bruts aqueux et des huiles essentielles.

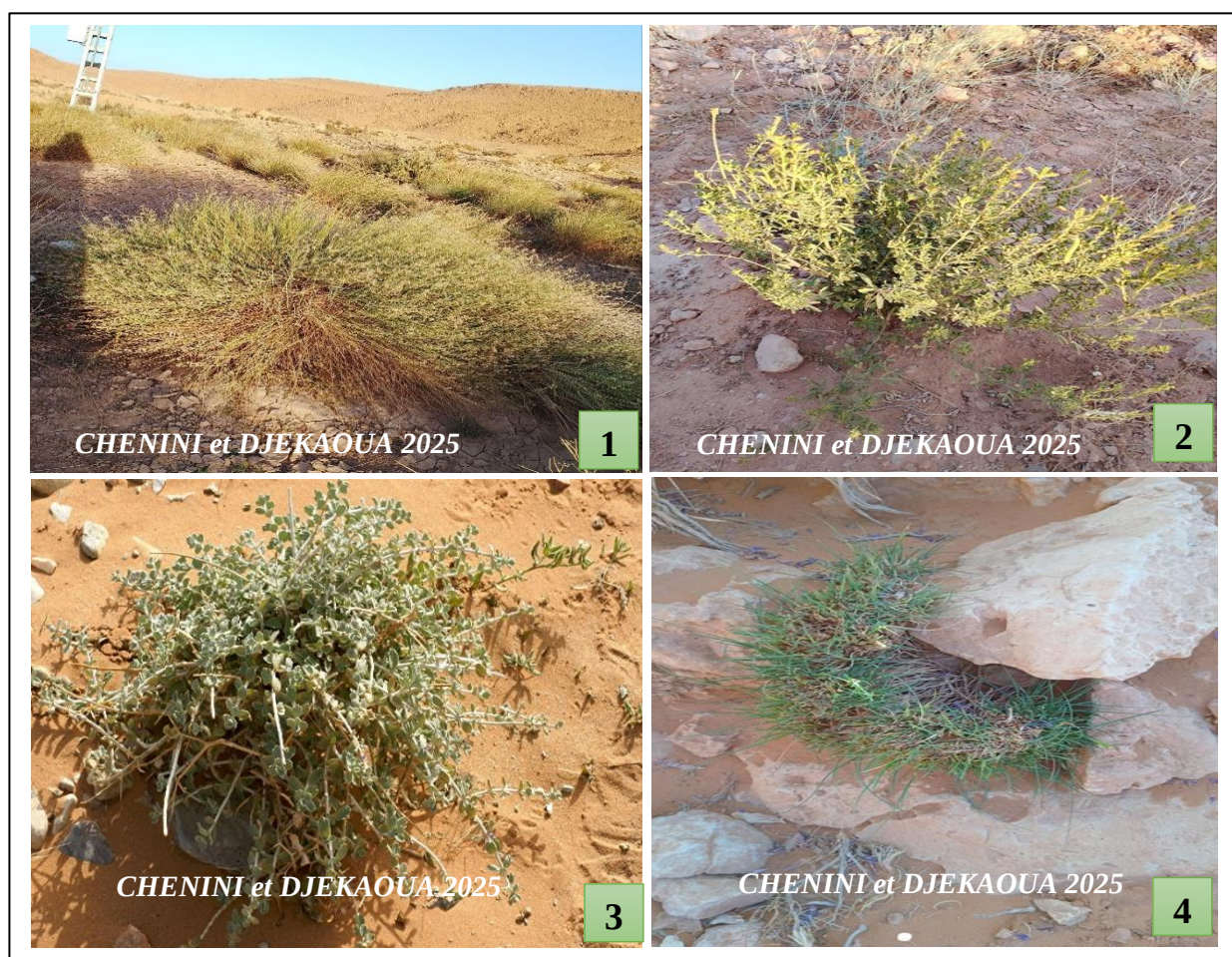


Figure 01: Vue générale des espèces végétales étudiées
Cleome amblyocarpa (1), *Pituranthos chloranthus* (2), *Marrubium deserti de Noé* (3) et *Cymbopogon schoenanthus* (4) de la région de Sebseb.

2.1.1. Site de prélèvement :

Les échantillons des différentes espèces végétales sont prélevés à partir de la région de Sebseb. Cette région appartient à la ville de Ghardaïa et se trouve à 60 km du chef-lieu de la Wilaya et à 663 km au sud d'Alger. Elle a été implantée sur une vallée riche en eaux souterraines peu profondes, il s'agit du lit d'oued qui porte le même nom (Oued Sebseb) (Kemassi *et al.*, 2019)

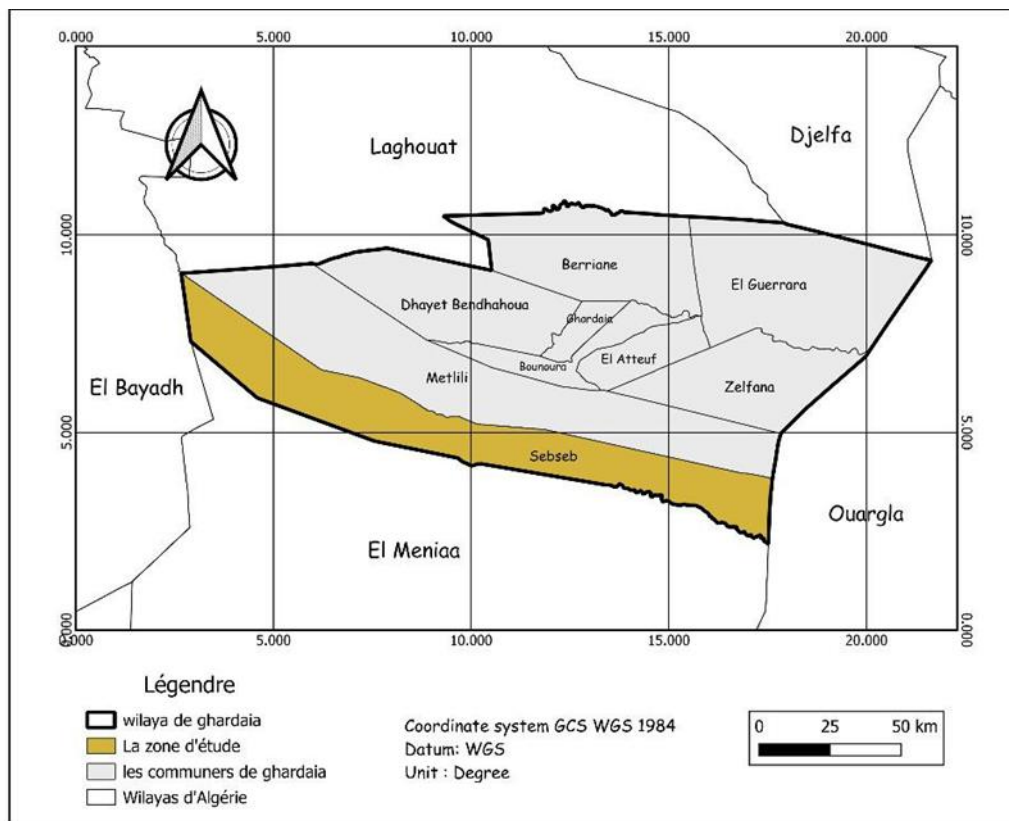


Figure 02 : Situation géographique et limites administratives de la région de Sebseb
(Originale 2025)

Sebseb est l'une des treize oasis qui composent la région du M'Zab. Elle relève administrativement du territoire des Chaâmbas. D'un point de vue géographique, cette oasis se situe sous l'influence d'un climat saharien caractérisé par une forte aridité et des températures élevées. Le déficit hydrique dû à ce climat extrême a fortement influencé le mode de vie dans l'oasis, ainsi que les conditions historiques d'établissement des communautés locales.

Face à cette aridité et en l'absence de cours d'eau permanents, les populations sahariennes anciennes ont orienté leur installation vers des zones leur permettant, avec les moyens disponibles à l'époque, d'accéder à des nappes phréatiques. C'est dans cette logique que l'oasis de Sebseb a été fondée dans le lit d'un oued portant le même nom, riche en eaux souterraines peu profondes (Houichiti, 2009).

Sur le plan climatique, la région présente un climat saharien typique, régi par deux facteurs principaux : la sécheresse et la chaleur. Les données enregistrées entre 2000 et 2007 par la station météorologique de l'Office National de la Météorologie (O.N.M) de Noumérat – située à environ 30 km au nord-est de Sebseb à vol d'oiseau – indiquent la présence de deux saisons dominantes :

La saison froide, qui dure environ trois mois (décembre, janvier, février), avec une température moyenne de 11,91°C. Les températures minimales avoisinent 0°C, et descendent rarement jusqu'à -4°C.

La saison chaude, plus longue, s'étend de mai à septembre. Elle présente une température moyenne de 30,88°C, tandis que les maximales varient selon les années entre 45°C et 47°C.

En plus de ces variations saisonnières, on enregistre une amplitude thermique importante entre le jour et la nuit. Les périodes de transition (mars-avril et octobre-novembre) esquissent un printemps et un automne peu marqués, en raison de la rigueur du climat saharien (Houichiti, 2009).

2.1.2. Echantillonnage, séchage et broyage :

Dans le cadre de ce travail, une méthode d'échantillonnage aléatoire simple basée sur le hasard a été adoptée. Cette méthode consiste à prélever différentes parties (feuilles, tiges, etc...), de divers points du même pied de la plante, de manière non systématique en veillant à ce qu'elles soient saines, exemptes de lésions ou de déformations, similaires en forme mais de tailles variables selon leur stade de développement.

Les prélèvements des parties aériennes sont effectués sur des individus matures, représentant l'état végétatif optimal des plantes. Cette sélection permet de garantir que les échantillons reflètent les caractéristiques biochimiques et physiologiques typiques de chaque espèce, tout en assurant une représentativité adéquate pour les analyses comparatives entre les différentes espèces.

Afin d'éviter toute contamination ou biais dans les résultats, les échantillons ont été collectés à partir de plantes éloignées des zones de perturbation humaine ou de sources potentielles de

pollution. Chaque espèce a été soigneusement sélectionnée en fonction de critères spécifiques, tels que l'état de santé de la plante, son développement général et sa capacité à résister aux conditions de stress. Cette approche garantit la fiabilité des données et la représentativité des échantillons pour les analyses biochimiques futures, en particulier pour l'évaluation du contenu en composés phénoliques.

Dans notre cas et à partir de plusieurs sites situés dans les environs de la région d'échantillonnage, et dans le but de limiter l'impact sur les populations végétales naturelles et préserver nos espèces végétales xérophytes dans leurs habitats d'origine, nous n'avons arraché que quelques petits pieds d'individus plus ou moins jeunes.

Les prélèvements sont effectués le matin durant le mois de janvier, dans des conditions climatiques sèches, afin d'éviter toute altération ou perte des composés volatils ou des métabolites secondaires. Après la récolte, les parties végétales ont été étalées sur du papier blanc, dans un endroit sombre et bien aéré, avec un retournement régulier, pendant une période allant de deux à trois semaines. Le séchage a été suivi jusqu'à ce que les échantillons deviennent cassants et friables, signe d'un taux d'humidité réduit. Il est essentiel d'éviter un dessèchement excessif, qui pourrait entraîner la pulvérisation des parties végétales et la perte des substances actives. Inversement, une humidité résiduelle élevée pourrait favoriser la décomposition ou le développement de moisissures lors du stockage.

Après séchage, les parties récoltées sont ensuite broyées, stockées dans des contenants hermétiques, à l'abri de la lumière et de l'humidité, pour préserver leur intégrité jusqu'à analyse, et puis transportées au Laboratoire de recherche du département de Biologie, faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre de l'Université de Ghardaïa pour toutes analyses et tests biologiques.

2.2 Méthodes d'analyses

2.2.1. Tests biochimiques préliminaires :

Nous avons réalisé un criblage phytochimique dans le but de mettre en évidence la présence ou l'absence des principaux métabolites secondaires des espèces végétales étudiées. Ces tests sont tous réalisés en triplicata sur les parties aériennes.

2.2.1.1 Recherche des Tanins :

Selon (Solfo, 1973) on prend 5 ml de l'infusé auxquels on ajoute 1 ml de la solution de Chlorure ferrique (FeCl_3) à 1% par goutte à goutte. L'apparition d'une coloration verdâtre indique la présence des tanins catéchiques et bleu noirâtre pour les tanins galliques.

2.2.1.2 Recherche des Flavonoïdes :

La mise en évidence de la présence des flavonoïdes est effectuée en suivant la méthode de (Harborne, 1973) par la réaction à la cyanidine avec légères modifications à propos des volumes des solutions de révélation ajoutées. 10 g de drogue pulvérisée sont macérés dans 150 ml d'HCl à 1 % pendant 24 Heures, après filtration de la solution obtenue ; 3mL d'alcool chlorhydrique (éthanol à 95°, eau distillée, acide chlorhydrique concentré (V/V/V)) sont mis dans un tube à essai avec 1mL d'alcool iso amylique et quelques copeaux de magnésium. L'apparition d'une couleur jaune claire dans la partie supérieure du tube indique la présence des flavonoïdes.

2.2.1.3 Recherche des Saponosides :

Leur présence est déterminée quantitativement par le calcul de l'indice de mousse, degré de dilution d'un décocté aqueux donnant une mousse persistante dans des conditions déterminées. Deux grammes de matériel végétal sec et broyé sont utilisés pour préparer une décoction avec 100 ml d'eau. On porte à ébullition pendant 30 min. Après refroidissement et filtration, on réajuste le volume à 100 ml. A partir de cette solution, on prépare dix tubes dans lesquels on met 1, 2, 3, ... 10 ml. Le volume final étant de nouveau réajusté à 10 ml avec de l'eau distillée. Les tubes sont agités fortement en position horizontale pendant 15 secondes. Après un repos de 15 minutes en position verticale, on relève la hauteur de la mousse persistante en cm. Si elle est proche de 1 cm dans le Xe tube, alors l'indice de mousse est calculé selon la formule suivante :

$$I = \frac{\text{Hauteur de mousse (en cm) dans le } X^{\text{e}} \text{ tube} \times 5}{X/100}$$

X : C'est l'ordre de tube qui présente une mousse de l'ordre de 1 cm de hauteur.

La présence des saponosides dans la plante est confirmée avec un indice supérieur à 100 (Dohou *et al.*, 2003).

2.2.1.4 Recherche des Anthocyanes :

D'après (Solfo, 1973) la recherche des anthocyanes repose sur le changement de la couleur de l'infusé à 10 % avec le changement de pH : on ajoute quelques gouttes d'HCl puis quelques gouttes de NH₄OH, le changement de la couleur indique la présence des anthocyanes.

2.2.1.5 Recherche des Leuco anthocyanes :

A 5 ml de l'infusé, sont mélangés 4 ml d'alcool chlorhydrique (éthanol/ HCl pur 3/1 V/V). Après chauffage au bain marie à 50° C pendant quelques minutes, l'apparition d'une couleur rouge cerise indique la présence des leuco anthocyanes (Solfo, 1973).

2.2.1.6 Recherche des Alcaloïdes :

Après une macération de 5 g de la partie aérienne séchées et broyées dans 50 ml d'HCl à 1%, le mélange est filtré puis soumis à l'action du réactif de Mayer ou Dragendorff (quelques gouttes). L'apparition d'un précipité blanc indique la présence des alcaloïdes (Bouquet, 1972).

2.2.1.7 Recherche des Terpènes :

La recherche des terpènes est effectuée par le test Laskowski : A 5 ml d'infusé, 2 ml de chloroforme et 3 ml d'acide sulfurique (H₂SO₄) concentré sont soigneusement ajoutés. L'apparition d'un anneau brun rougeâtre à l'interphase indique la présence des terpènes (Rimjhim *et al.*, 2014).

2.2.1.8 Recherche des Stérols :

Les stérols sont mis en évidence par le test Liebermann-Burchard : un volume de 2 ml de l'infusé est mélangé avec 2 ml de chloroforme et 1 ml d'anhydride acétique. Ensuite, 2 gouttes d'acide sulfurique H₂SO₄ concentré sont ajoutées. L'apparition d'une coloration rouge, qui vire en bleue et qui devient par la suite verte indique la présence des stérols (Rimjhim *et al.*, 2014).

2.2.2. Préparation des extraits bruts aqueux des espèces étudiées

Les extractions brutes aqueuses (EBA) ont été réalisées à partir de la poudre des parties aériennes des plantes étudiées, selon la méthode décrite par Majhenic et al. (2007), avec une légère modification portant sur le volume de solvant utilisé. Ainsi, 5 g de poudre végétale ont été mis en suspension dans 50 ml (au lieu de 75 ml) d'eau distillée, sous agitation magnétique pendant 2 à 3 heures à température ambiante.

Après filtration, deux extractions supplémentaires ont été effectuées sur le même marc, en utilisant à chaque fois le même volume d'eau distillée, afin d'optimiser l'épuisement des composés solubles. Les trois filtrats obtenus ont ensuite été combinés et évaporés à sec sous pression réduite à 65°C à l'aide d'un évaporateur rotatif. Le résidu sec a été récupéré avec une petite quantité d'eau distillée, et la solution d'extrait final a été conservée à 4°C. Le rendement d'extraction a été déterminé pour chaque extrait brut obtenu, et exprimé en pourcentage massique (%), en utilisant la formule suivante :

$$R (\%) = [M_1 / M_0] \times 100$$

où :

R (%) : rendement en extrait brut aqueux (EBA), exprimé en g/100 g de matière sèche,

M₁ : masse de l'extrait sec récupéré (en grammes),

M₀ : masse de la poudre végétale sèche initialement utilisée pour l'extraction (en grammes).

Ce rendement reflète la proportion de composés bioactifs solubilisés dans le solvant aqueux utilisé lors du procédé d'extraction (Abe et al., 2010).

2.2.3. Dosage des polyphénols totaux

Le test de dosage des polyphénols totaux de la partie aérienne et souterraine des espèces végétales étudiées de la région de Ghardaïa au Sahara septentrional Algérien est résumé ci-dessous. Ce test est fait en triplicata. La teneur en polyphénols totaux est déterminée par spectrophotométrie en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce dernier est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique (H₃PW₁₂O₄₀) et d'acide phosphomolybdique (H₃PMO₁₂O₄) qui est réduit, lors de l'oxydation des composés phénoliques en mélange d'oxydes bleu de tungstène (W₈O₂₃) et de molybdène (MO₈O₃).

L'absorption maximale est comprise entre 700 et 760 nm, est proportionnelle à la quantité de polyphénols présente dans les extraits végétaux (Boizot et Charpentier, 2006). Le dosage de ces polyphénols est effectué selon la méthode décrite par (Singleton et Rossi, 1965) avec légère modification concernant les volumes : Un volume de 100 µl de l'extrait végétal est mélangé

avec 400 µl de réactif de Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois dans de l'eau distillée). Après agitation puis incubation de 05 min, 500 µl de solution de carbonate de sodium Na_2CO_3 (7,5 %) est ajouté. Le mélange est laissé au repos à l'obscurité et à température ambiante pendant 90 min avec agitation intermittente. L'absorbance de la solution résultante est mesurée à 760 nm contre un blanc.

La teneur en polyphénols totaux est exprimée en mg équivalent acide gallique par gramme de matière végétale sèche (mg EAG / g MVS).

Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions expérimentales en utilisant l'acide gallique comme étalon ou contrôle positif (Li *et al.*, 2007).

2.2.4. Extraction des huiles essentielles :

L'extraction des huiles essentielles à partir des feuilles séchées des espèces végétales étudiées a été réalisée en triplicata, c'est-à-dire en trois répétitions, en utilisant 50 g de matière végétale sèche pour chacune des extractions. La moyenne des teneurs en huiles obtenues a ensuite été calculée afin de représenter la valeur finale pour chaque espèce.

La méthode employée repose sur l'hydrodistillation simple, qui consiste à immerger directement le matériel végétal à traiter qu'il soit intact ou broyé (turbo-distillation) dans un alambic rempli d'eau. Ce dernier est ensuite porté à ébullition. Les vapeurs formées, constituées d'un mélange d'eau et de composés volatils, sont condensées sur une surface froide. L'huile essentielle est ensuite séparée par différence de densité avec l'eau (Bruneton, 1999).

Selon Vincent (1991), la masse de la prise d'essai pour une telle extraction doit être comprise entre 5 et 50 g, avec une vitesse de distillation de 2 à 4 ml/min, et une durée d'ébullition variant entre 1h30 et 4h, selon la nature, la texture et la teneur en huiles essentielles de la plante utilisée.

Dans notre cas, nous avons utilisé une masse d'essai de 100 g, avec une durée d'ébullition de 3 heures, tout en maintenant une vitesse de distillation constante entre 2 et 4 ml/min.

Le rendement en huile essentielle est défini comme étant le rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue et la masse de matière végétale utilisée. Il est exprimé en pourcentage massique (%) selon la formule suivante :

$$R \% = \text{PHE} / \text{PMV} \times 100$$

où :

R (%) : rendement en huile essentielle,

PHE : poids des huiles essentielles extraites (en grammes),

PMV : poids de la matière végétale sèche utilisée (en grammes).

Une fois le rendement calculé, les huiles essentielles sont immédiatement transférées dans de petits flacons en verre opaque, hermétiquement fermés, et conservées à une température de 4°C afin de préserver leur stabilité et leurs propriétés physico-chimiques

2.2.5. Pouvoir anti-radicaux

La capacité antioxydante des substances ou principes actifs des extraits de plantes peut être évaluée soit *in vivo*, sur des organismes vivants, soit *in vitro* en utilisant des tests qui miment le phénomène physiologique. Pour évaluer l'activité antioxydant des extraits naturels *in vitro*, différentes méthodes ont été développées. Ces méthodes impliquent le mélange d'espèces oxydantes avec un échantillon qui contient des antioxydants capables d'inhiber la génération de radicaux libres. Ces antioxydants peuvent agir selon deux mécanismes majeurs : soit par transfert d'atome d'hydrogène, soit par transfert d'électron (Prior *et al.*, 2005).

Dans notre cas, les tests d'évaluation du pouvoir antioxydant ont porté sur le piégeage du radical libre stable DPPH, l'activité antioxydant totale AAT ou piégeage des radicaux libres ABTS ainsi que l'évaluation du pouvoir réducteur de fer ou test de FRAP.

2.2.5.1 Test de DPPH : Piégeage du radical libre stable DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)

Le DPPH (2,2- diphenyl-1-picrylhydrazyl) est un radical libre stable de couleur violacée qui absorbe à 517 nm. En présence de composés antiradicalaires, le radical DPPH est réduit et change de couleur en virant au jaune. Les absorbances mesurées servent à calculer le pourcentage d'inhibition du radical DPPH, qui est proportionnel au pouvoir antiradicalaire de l'échantillon (Parejo *et al.*, 2003).

De point de vue méthodologique, le test du radical libre DPPH est recommandé pour des composés contenant des groupements SH, NH et OH (Salah *et al.*, 1995). Il s'effectue à température ambiante, ceci permettant d'éliminer tout risque de dégradation thermique des molécules thermolabiles. Le test est largement utilisé au niveau de l'évolution des extraits hydrophiles très riches en composés phénoliques (Yi-Zhong *et al.*, 2006 ; Hatzidimitriou *et al.*, 2007).

Cette méthode est basée sur la mesure de la capacité des antioxydants à piéger le radical libre DPPH. Le pouvoir de piégeage ou d'inhibition des extraits obtenus de nos espèces végétales sur le radical libre DPPH est mesuré selon la méthode de (Sanchez-Moreno *et al.*, 1998 et de Anton *et al.*, 2008) : Un volume de 50 µl de différentes concentrations de la solution de chaque extrait est ajouté à 950 µl de la solution méthanolique du DPPH 60 µM (0,025 g/L) fraîchement préparée. Des solutions d'un antioxydant de référence Trolox sont également préparées dans les mêmes conditions pour servir de témoin positif. Après incubation à l'obscurité et à température ambiante pendant 30 minutes, la lecture des absorbances (DO) est effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 515 nm contre un blanc (50 µl du méthanol avec 950 µl d'une solution méthanolique du DPPH).

Le pourcentage du piégeage du radical est calculé selon l'équation suivante :

$$\% \text{ Inhibition} = [(A1 - A2) / A1] \times 100$$

A1 : Absorbance du contrôle (solution du DPPH sans extrait végétal).

A2 : Absorbance en présence de l'extrait végétal.

2.2.5.2 Test de l'ABTS : Capacité antioxydant en équivalent trolox ou activité antioxydant totale AAT

L'acide 2,2'-azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique) ou ABTS est un composé chimique utilisé notamment en biochimie dans l'étude de la cinétique de certaines enzymes. Ce test est basé sur la capacité d'un antioxydant à stabiliser le radical cationique ABTS^{•+} de coloration bleu verdâtre. Ce radical cationique est formé suite à l'oxydation de l'ABTS initialement incolore avec les différents composés comme le phosphate de potassium (KH₂PO₄). Ainsi, la réaction se déroule en deux étapes :

Au cours de la première étape, le radical ABTS^{•+} est formé par arrachement d'un électron (e-) à un atome d'azote de l'ABTS. La deuxième se déroule en présence d'un antioxydant donneur de H[•], le radical d'azote concerné piège un H[•], conduisant à l'ABTS-H⁺, ce qui entraîne la décoloration de la solution.

L'activité antioxydant totale (AAT) des extraits obtenus est évaluée selon la méthode de (Re *et al.*, 1999) avec de légères modifications à propos des volumes. Cette activité est exprimée par la Capacité Antioxydante en Equivalent Trolox (CAET) qui correspond à la capacité antioxydante d'une solution en unités d'équivalent Trolox. Ainsi, plus la valeur de CAET est grande, plus l'activité antioxydante est forte (Schlesier *et al.*, 2002).

Le cation radical ABTS ($\text{ABTS}^{\bullet+}$) a été produit en réagissant une solution mère d'ABTS (7 mM) avec le persulfate de potassium (2,45 mM). Le mélange est laissé à l'obscurité à une température ambiante pendant 12 à 16 heures avant utilisation. Le radical était stable sous cette forme pendant plus de 2 jours lorsqu'il était protégé de la lumière et stocké à une température ambiante.

Pour l'évaluation de la CAET, la solution stock de l' $\text{ABTS}^{\bullet+}$ a été diluée avec de l'éthanol à une absorbance de 0.70 (± 0.02) à une longueur d'onde de 734 nm et équilibré à 30°C. Ensuite, un volume de 10 μl des différentes concentrations des solutions à tester (extraits de la plante) a été mélangé avec 990 μl de la solution mère de l' $\text{ABTS}^{\bullet+}$ diluée. Le blanc est obtenu en mélangeant 10 μl d'éthanol absolu avec 990 μl de la solution stock de l' $\text{ABTS}^{\bullet+}$. Le pouvoir inhibiteur ou de piégeage du radical $\text{ABTS}^{\bullet+}$ (% Inhibition) est calculé par l'équation suivante :

$$\% \text{ Inhibition} = [(A_{734} \text{ blanc} - A_{734} \text{ extrait}) / A_{734} \text{ blanc}] \times 100$$

Où $A_{734} \text{ blanc}$ et $A_{734} \text{ extrait}$ sont les absorbances de la solution $\text{ABTS}^{\bullet+}$ à 734 nm avant et après addition des échantillons ou extraits de plante. L'étalonnage a été effectué avec des solutions mères de Trolox.

Pour les deux tests du pouvoir antioxydant, les valeurs enregistrées des concentrations inhibitrices (IC_{50}), qui correspondent à la concentration de l'extrait végétal nécessaire pour piéger ou neutraliser 50% des radicaux libres DPPH ou ABTS existants dans le milieu réactionnel, sont exprimées en mg ou en $\mu\text{g/ml}$.

2.2.5.3 Test de FRAP : Pouvoir antioxydant réducteur du fer FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)

Le pouvoir antioxydant réducteur du fer FRAP d'un extrait végétal est associé à son pouvoir antiradicalaire. La technique utilisée est celle de Oyaizu, 1986 qui consiste à mesurer la capacité des extraits végétaux à réduire le fer ferrique (Fe^{+3}) présent dans le complexe $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ en fer ferreux (Fe^{+2}) ou la réduction de Tripyridyltriazine ferrique [Fe (III)-TPTZ] en tripyridyltriazine ferreux [Fe (II)-TPTZ] à faible pH, c'est une technique rapide, facile et reproductible. Le complexe [Fe (II)-TPTZ] a une couleur bleue intensive et peut être surveillée à une longueur d'onde de 593 nm.

Le réactif FRAP a été préparé en mélangeant 10 V de tampon acétate (300 mM, pH 3,6), 1 V de solution de TPTZ (10 mM TPTZ dans 40 mM/ HCl) et 1 V de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (20 mM) avec un rapport de (10V/1V/1V). Le pouvoir antioxydant réducteur de nos extraits a été évalué en

additionnant 900 μl de réactif FRAP, 90 μl d'eau distillée et 30 μl de l'extrait. Après une incubation du mélange à une température de 37°C pendant 30 minutes, l'absorbance a été mesurée à une longueur d'onde de 593 nm, en utilisant la solution de FRAP comme un blanc.

Le potentiel antioxydant des extraits a été déterminé à partir d'une courbe d'étalonnage obtenue en utilisant l'équation de régression linéaire du sulfate ferreux heptahydraté ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

Les résultats ont été exprimés en millimole de Fe^{+2} par gramme de matière végétale sèche (mmole de Fe^{+2} / g MVS).



Résultats

Et

Discussion



3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Tests biochimiques préliminaires

Les résultats des tests biochimiques préliminaires, effectués en vue de la mise en évidence des principaux composés bioactifs présents dans les parties aériennes des espèces xérophytes étudiées, sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 01 : Tableau récapitulatif des principales familles de composés du métabolisme secondaire de la partie aérienne des espèces végétales étudiées.

Plante étudiée Composés bioactifs	P1	P2	P3	P4
Tanins	(+)	(+)	(+)	(+)
Flavonoïdes	(+)	(+)	(+)	(+)
Saponosides	(-)	(+)	(+)	(+)
Anthocyanes	(+)	(+)	(+)	(+)
Leucoanthocyanes	(-)	(-)	(-)	(-)
Alcaloïdes	(-)	(-)	(-)	(-)
Terpènes	(+)	(+)	(+)	(+)
Stérols	(-)	(-)	(-)	(-)

(+) : détecté, (-) : non détecté

(P1 : *Pituranthos chloranthu* ; P2 : *Cleome amblyocarpa* ; P3 : *Marrubium deserti* De Noé ; P4 : *Cymbopogon schoenanthus*)

En général, et à partir des données présentées dans le tableau ci-dessus, les résultats des tests biochimiques préliminaires nous informent de la qualité biochimique supérieure des espèces végétales étudiées. La présence constante des tanins, flavonoïdes, anthocyanes et terpènes a été mise en évidence au niveau de la partie aérienne des quatre espèces xérophytes étudiées. Cependant, une exception est enregistrée pour les saponosides qui semblent être absents uniquement chez l'espèce *Pituranthos chloranthus* (P1), alors qu'ils ont été détectés dans les autres espèces. Par ailleurs, les alcaloïdes et les leuco-anthocyanes sont totalement absents dans l'ensemble des extraits analysés. De même, aucun des échantillons n'a révélé la présence de stérols.

La présence majoritaire des familles de composés du métabolisme secondaire, en particulier les composés polyphénoliques tels que les tanins, flavonoïdes et anthocyanes, pourrait expliquer

l'usage traditionnel intensif de ces plantes par la population locale de la région de Ghardaïa. Ces résultats corroborent parfaitement ceux rapportés par Malti. (2019), Elhouda *et al* 2024 et par Khadri *et al* (2019).

3.2. Rendement en extraits bruts, huiles essentielles et teneur en polyphénols totaux

Afin d'évaluer la richesse des espèces végétales étudiées en métabolites bioactifs, nous avons déterminé le rendement en extraits bruts aqueux, le rendement en huiles essentielles ainsi que la teneur en polyphénols totaux. Ces paramètres permettent de comparer la capacité d'extraction des composés d'intérêt selon la nature de la plante, et constituent une première étape essentielle dans la valorisation de leur potentiel biologique.

Les extractions brutes aqueuses réalisées à partir de la poudre des parties aériennes des plantes étudiées nous ont permis de déterminer le rendement de chaque extrait, exprimé en pourcentage par rapport à la masse initiale de matière végétale sèche.

Quant aux huiles essentielles, leur rendement est défini comme étant le rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue et la masse de matière végétale utilisée, également exprimé en pourcentage.

Par ailleurs, et en se basant sur la courbe d'étalonnage de l'acide gallique, dont le coefficient de détermination (R^2) est de l'ordre de 0,9992 (fig. 03), nous avons pu déterminer les teneurs en polyphénols totaux (PPT).

Cette approche comparative nous permet non seulement de mettre en évidence les différences interspécifiques en termes de concentration en substances actives, mais également de sélectionner les espèces les plus prometteuses pour des applications futures, notamment dans les domaines pharmaceutique, cosmétique ou agroalimentaire.

Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

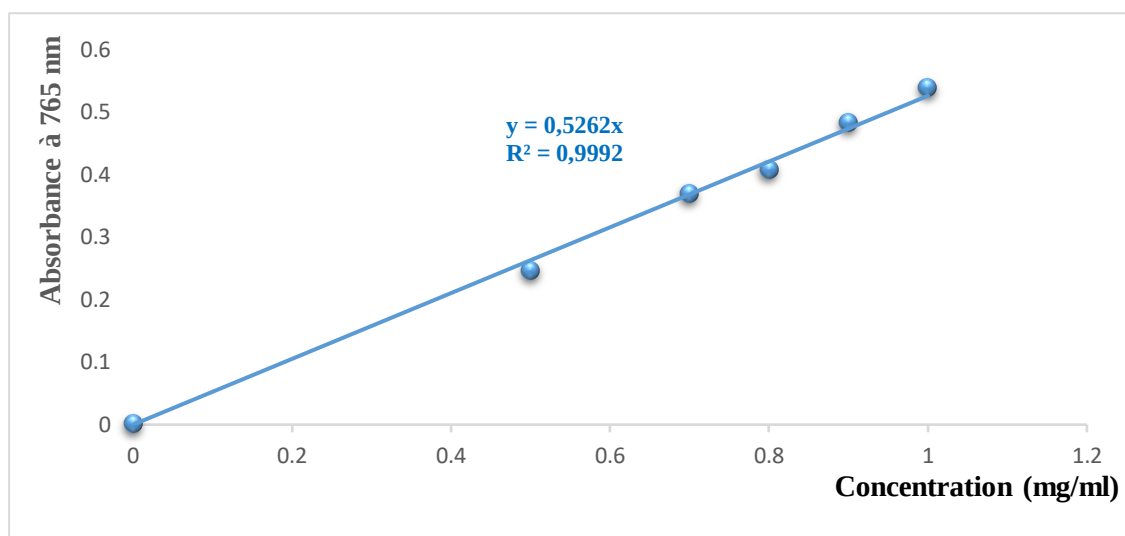


Figure 03 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique

L'ensemble des résultats obtenus est résumé dans le tableau ci-dessous

Tableau 02 : Rendement (%) en extrait brut aqueux (EBA), huiles essentielles (HE) et teneur en polyphénols totaux (PPT) (mg EAG/ g MVS) des espèces étudiées

Plante	P1	P2	P3	P4
Rendement				
EBA %	14.87	25.07	50.08	11.42
HE %	1.25	≈ 0	≈ 0	2.9
PPT (mg EAG/ g MVS)	115.98 ± 0.19	600.68 ± 0.78	558.49 ± 0,55	124.77 ± 0.99

À partir des résultats présentés ci-dessus (tab. 02), il apparaît très clairement que l'espèce *Cleome amblyocarpa* (P2) est la plus prometteuse, affichant une teneur exceptionnellement élevée en polyphénols totaux de l'ordre de 600,68 mg EAG/g MVS, ainsi qu'un rendement intéressant en extrait brut estimé à 25,07 %. Cette richesse en composés phénoliques pourrait suggérer un fort potentiel antioxydant. L'espèce *Marrubium deserti* de Noé (P3) suit de près avec une teneur également importante en polyphénols (558,49 ± 0,55 mg EAG/g MVS) et un rendement en extrait brut encore plus élevé (50,08 %), ce qui témoigne d'une excellente extraction quantitative, bien que sa teneur en huile essentielle soit quasiment nulle (≈ 0 %), ce qui pourrait limiter son application aromatique ou thérapeutique dans certaines formulations. L'espèce *Pituranthos chloranthus* (P1) se classe en troisième position avec une teneur

moyenne en polyphénols ($115,98 \pm 0.19$ mg EAG/g MVS) et un rendement modéré en extrait brut (14,87 %). Elle présente cependant un certain avantage sur le plan aromatique avec un rendement non négligeable en huile essentielle (1,25 %). Enfin, l'espèce *Cymbopogon schoenanthus* (P4) est considérée comme la moins performante parmi les échantillons analysés. Bien qu'elle possède une teneur légèrement plus élevée que P1 en polyphénols ($124,77 \pm 0.99$ mg EAG/g MVS), son rendement en extrait brut reste relativement faible (11,42 %). Toutefois, elle se démarque positivement par un rendement intéressant en huile essentielle (2,9 %), ce qui suggère une potentialité aromatique significative.

La variation significative observée dans les rendements ainsi que dans les teneurs en polyphénols totaux met en évidence l'influence probable de plusieurs facteurs agissant simultanément sur ces paramètres. Par ailleurs, les concentrations élevées en polyphénols totaux dans les parties aériennes analysées pourraient en partie expliquer l'usage fréquent de ces espèces végétales par les populations locales de la région de Ghardaïa, située dans le nord du Sahara algérien.

En comparant les pourcentages obtenus dans cette étude avec ceux rapportés dans des travaux antérieurs, notamment ceux de Malti, (2019) et de Nathalie *et al.* (2006), il apparaît clairement que les rendements en extraits bruts varient non seulement d'une espèce à une autre au sein de la même famille botanique, mais également selon la partie végétale utilisée. Plusieurs facteurs peuvent influencer ces variations, tels que les conditions environnementales de la région de collecte, les méthodes de séchage et de stockage, le lieu de prélèvement, ainsi que le protocole d'extraction adopté, en particulier la nature et la polarité du solvant utilisé (Dih et Belguendouz, 2022). Par ailleurs, des paramètres liés à l'extraction solide-liquide peuvent aussi jouer un rôle déterminant, notamment la taille des particules végétales et le coefficient de diffusion du solvant ou du mélange de solvants dans la matrice végétale (Bouزيد *et al.*, 2016 ; Khadri *et al.*, 2010).

3.3. Pouvoir antioxydant

L'évaluation du pouvoir biologique antiradicalaire et antioxydant des extraits bruts aqueux issus des parties aériennes des espèces végétales étudiées a été réalisée à travers la détermination des valeurs moyennes de la concentration inhibitrice IC_{50} vis-à-vis des radicaux libres DPPH• et ABTS•⁺ et aussi à travers l'évaluation du pouvoir antioxydant réducteur de fer FRAP. Cette évaluation a été également étendue aux huiles essentielles extraites des deux espèces végétales P1 et P4 qui sont avérées riches en composés volatils et ce, dans le but de savoir et comparer leur efficacité biologique par rapport à celle des extraits aqueux.

La valeur de l'IC₅₀ représente la concentration de l'extrait (exprimée en mg ou µg/ ml) capable d'inhiber 50 % des radicaux libres présents dans le milieu réactionnel. Plus, cette valeur est faible, plus l'activité antioxydante de l'extrait est élevée, traduisant ainsi une plus grande efficacité dans le piégeage des radicaux libres.

Parallèlement, le test FRAP a été réalisé afin d'estimer la capacité réductrice des extraits. Ce test repose sur la réduction des ions ferriques Fe⁺³ (fer trivalent) en ions ferreux Fe²⁺ (fer bivalent), et les résultats ont été exprimés en mmol Fe²⁺/ g MVS, en se basant sur une courbe d'étalonnage obtenue avec le FeSO₄7H₂O. Afin d'évaluer la performance relative des extraits naturels testés, le Trolox a été utilisé comme antioxydant de référence dans les tests DPPH• et ABTS•⁺, permettant une comparaison directe de leur activité antioxydante.

3.3.1. Test de DPPH

À partir de l'ensemble des résultats obtenus, et en se basant sur la courbe d'étalonnage du Trolox (fig. 04), ainsi que sur les courbes des extraits aqueux bruts des plantes étudiées (fig. 05 et 06), et à l'aide des équations de régression linéaire, nous avons déterminé les différentes valeurs d'IC₅₀, représentant le pouvoir inhibiteur du radical libre DPPH (tab. 03).

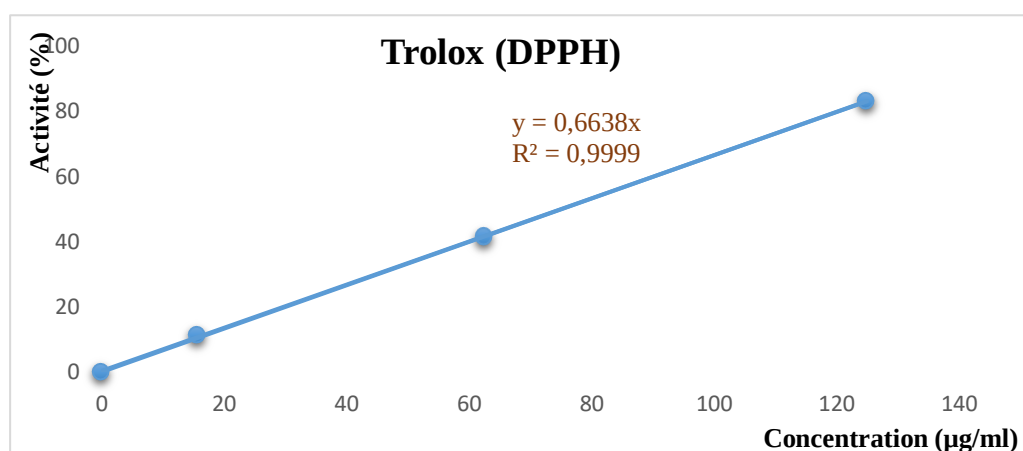


Figure 04 : Courbe d'étalonnage de l'antioxydant de synthèse trolox (pour DPPH)

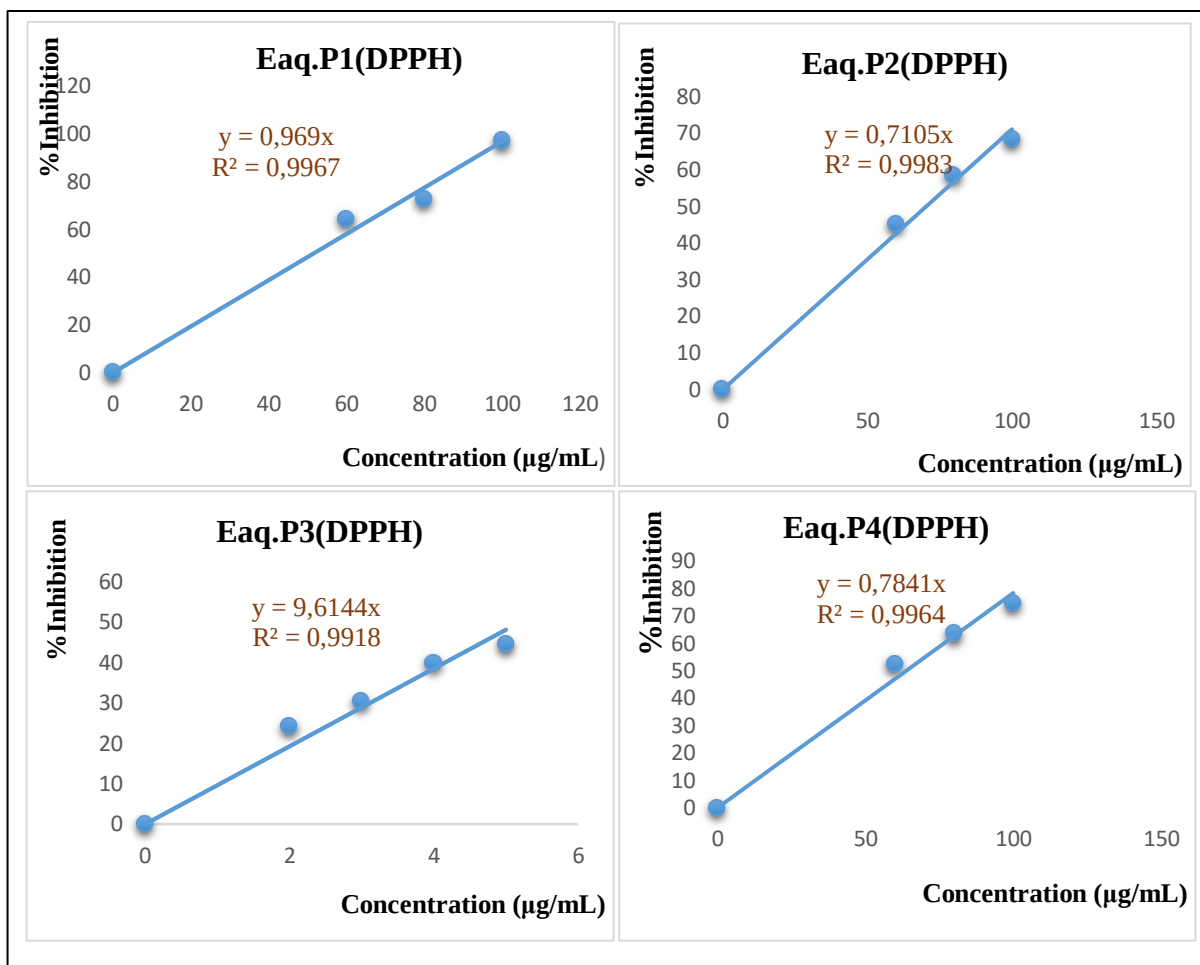


Figure 05 : Résultats du pouvoir antioxydant (test de DPPH) des extraits bruts aqueux des quatre espèces végétales étudiées

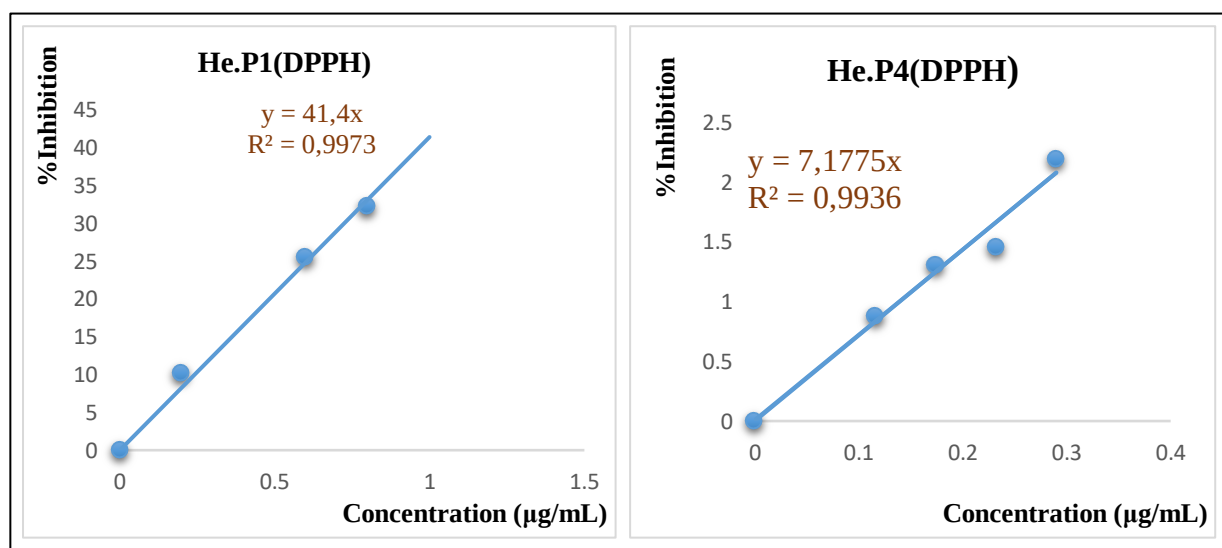


Figure 06 : Résultats du pouvoir antioxydant (test de DPPH) des huiles essentielles des deux espèces végétales P1 et P4 étudiées.

Les résultats présentés dans le tableau 03 montrent que tous les extraits bruts des plantes étudiées possèdent une activité antioxydante variable face au radical DPPH. L'extrait de l'espèce *Pituranthos chloranthu* (P1) se distingue par la meilleure activité avec une valeur très faible d'IC₅₀ de l'ordre de $51,6 \pm 0,023$ µg/ml, suivi par celui de l'espèce *Cymbopogon schoenanthus* (P4) ($63,52 \pm 0,013$ µg/ml), puis *Cleome amblyocarpa* (P2) ($70,37 \pm 0,056$ µg/ml) et enfin *Marrubium deserti* De Noé (P3) ($98,81 \pm 0,087$ µg/ml), qui présente l'activité la moins efficiente.

Tous ces extraits démontrent une efficacité supérieure à celle du standard synthétique Trolox, dont la valeur d'IC₅₀ est de $75,32 \pm 0,064$ µg/ml, indiquant un bon potentiel antioxydant des extraits.

Concernant les huiles essentielles, les résultats mettent en évidence une activité antioxydante notable, bien que variable selon les espèces. L'huile essentielle de P1 a pu enregistrer une valeur IC₅₀ de $1,21 \pm 0,40$ µg/ml, traduisant une forte capacité à piéger les radicaux libres DPPH. En revanche, l'huile essentielle de P4 montre une IC₅₀ de l'ordre de $6,97 \pm 0,28$ µg/ml, indiquant une activité antioxydante plus modérée. Ces valeurs demeurent toutefois nettement inférieures à celle du produit synthétique de référence Trolox ($75,32 \pm 0,97$ µg/ml), ce qui souligne l'efficacité potentielle des huiles essentielles étudiées, en particulier celle de l'espèce P1.

Tableau 03 : Résultats globaux des IC₅₀ (µg/ml) du pouvoir antioxydant (test de DPPH) des extraits bruts aqueux et des huiles essentielles des espèces étudiées

Plantes IC ₅₀ (µg/ml)	P1	P2	P3	P4	Trolox
EBA	$51,6 \pm 0,023$	$70,37 \pm 0,056$	$98,81 \pm 0,087$	$63,52 \pm 0,013$	$75,32 \pm 0,064$
HE	$1,21 \pm 0,40$	/	/	$6,97 \pm 0,28$	

En bref, l'espèce P1 (*P. chloranthus*) est avérée la meilleure face aux radicaux DPPH que ce soit avec son extrait brut ou ses huiles essentielles avec des valeurs faibles d'IC₅₀ qui peuvent refléter une grande capacité dans le piégeage et la neutralisation des radicaux libres.

En comparant ce résultat avec des données antérieures enregistrées par Nasr *et al.* (2020), où une valeur d'IC₅₀ d'environ $44 \pm 0.01 \mu\text{g/ml}$ avait été rapportée pour la même plante, on remarque que les valeurs sont relativement proches et indiquent toutes deux une activité antioxydante modérée à bonne. Cette différence pourrait s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment les paramètres environnementaux liés à la zone de récolte (type de sol, climat, période de cueillette).

3.3.2. Test de l'ABTS

À partir des équations de régression des courbes d'étalonnage de l'antioxydant de référence (Trolox) (fig. 07), ainsi que celles obtenues pour les extraits bruts (fig. 08 et 09), les valeurs d'IC₅₀, représentant la capacité antioxydante des extraits des parties aériennes des espèces xérophytes étudiées vis-à-vis des radicaux ABTS, ont été calculées. Les résultats globaux sont présentés ci-après.

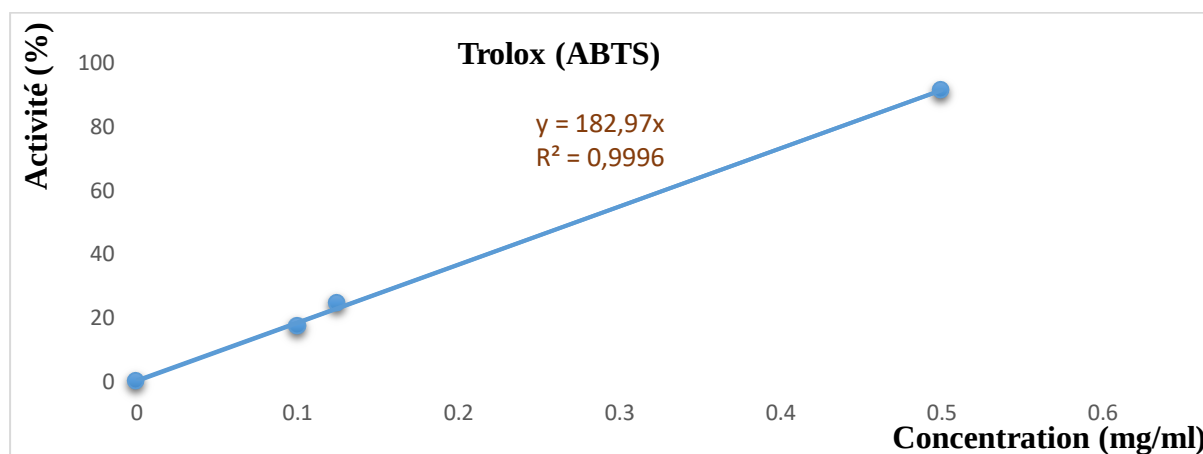


Figure 07 : Courbe d'étalonnage de l'antioxydant de synthèse trolox (pour ABTS)

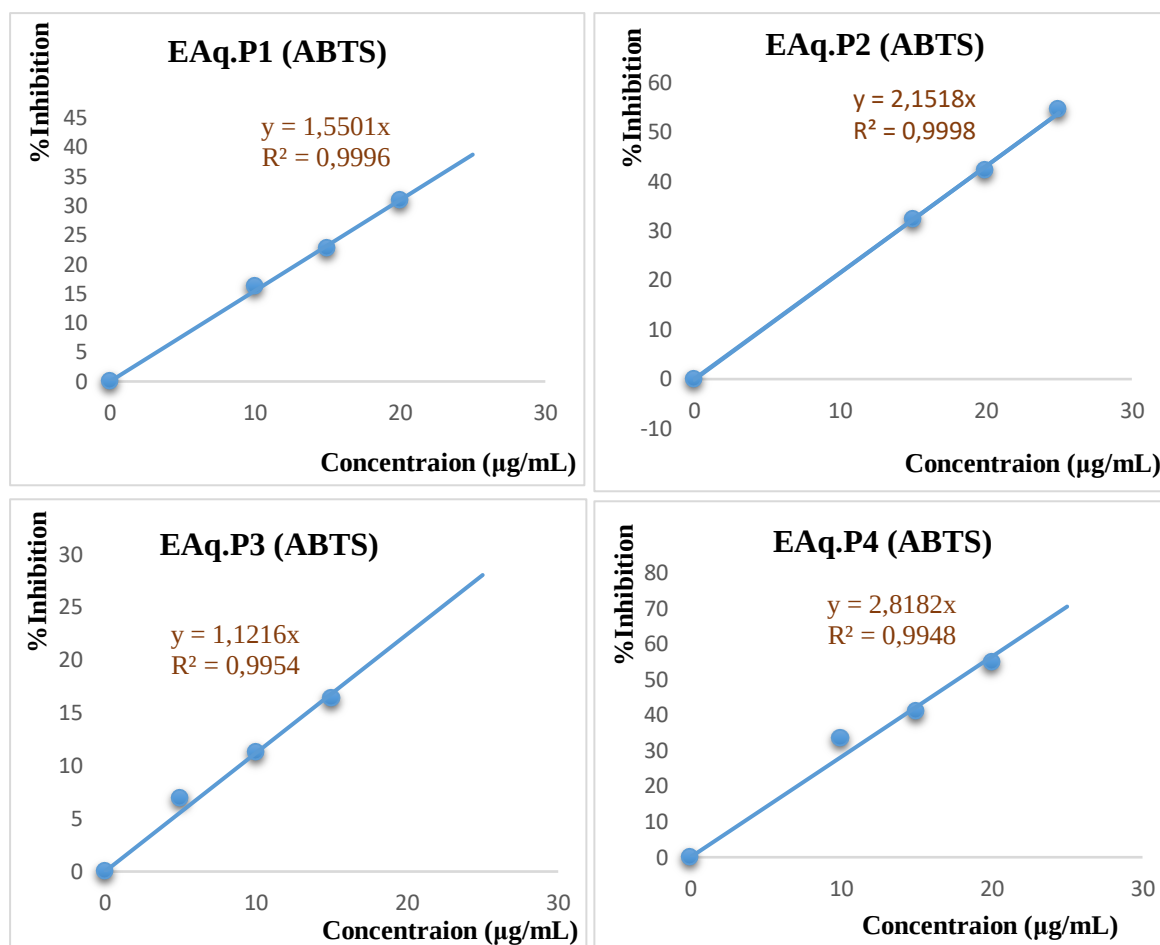


Figure 08 : Résultats du pouvoir antioxydant (test de l'ABTS) des extraits bruts aqueux des espèces végétales étudiées

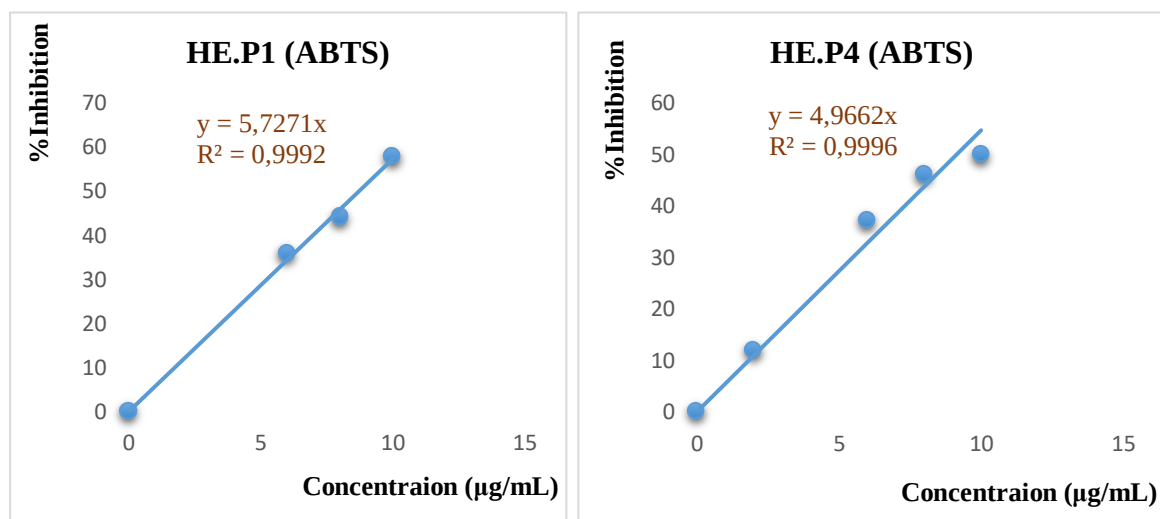


Figure 09 : Résultats du pouvoir antioxydant (test de l'ABTS) des huiles essentielles des espèces végétales P1 et P4 étudiées.

A partir des résultats du tableau 04, on observe des différences nettes dans le pouvoir antioxydant des extraits étudiés à travers le test ABTS^{•+}. L'extrait brut de la plante P4 a montré la meilleure activité avec la valeur d'IC₅₀ la plus faible ($17,74 \pm 0,025 \mu\text{g/ml}$), ce qui reflète une forte capacité à neutraliser les radicaux libres. Il est suivi par l'extrait de P2 ($23,24 \pm 0,091 \mu\text{g/ml}$), puis celui de P1 ($32,26 \pm 0,095 \mu\text{g/ml}$). L'extrait de P3 présente l'activité la plus faible avec une valeur d'IC₅₀ de l'ordre de $44,57 \pm 0,113 \mu\text{g/ml}$.

Par ailleurs, tous les extraits végétaux ont largement surpassé le Trolox, utilisé comme antioxydant de référence, dont l'IC₅₀ est de $273 \pm 0,077 \mu\text{g/ml}$, une valeur bien plus élevée par rapport à celles des extraits naturels testés.

Concernant les huiles essentielles des plantes P1 et P4, elles ont donné une activité antioxydante notable avec le test ABTS^{•+}. Ces extraits montrent une activité antioxydante encore plus marquée par rapport aux extraits bruts. L'huile essentielle de P1 présente une valeur d'IC₅₀ égale à $8,73 \mu\text{g/ml}$, légèrement meilleure que celle de P4 ($10,07 \mu\text{g/ml}$), indiquant une capacité plus élevée à neutraliser les radicaux libres.

En comparaison avec le Trolox, utilisé comme antioxydant de référence et dont l'IC₅₀ est de $273 \mu\text{g/ml}$, les deux extraits d'huiles essentielles montrent une efficacité antioxydante largement supérieure.

Tableau 04 : Résultats globaux des IC₅₀ ($\mu\text{g/ml}$) du pouvoir antioxydant (test de l'ABTS) des extraits bruts et des huiles essentielles des espèces végétales étudiées

Plantes IC ₅₀ ($\mu\text{g/ml}$)	P1	P2	P3	P4	Trolox
EBA	$32,26 \pm 0,095$	$23,24 \pm 0,091$	$44,57 \pm 0,113$	$17,74 \pm 0,025$	$273 \pm 1,07$
HE	$8,73 \pm 0,071$	/	/	$10,07 \pm 0,087$	

Par ailleurs, en ce qui concerne l'activité antioxydante vis-à-vis des radicaux libres ABTS, de nombreuses études ont mis en évidence, de manière expérimentale, la capacité des extraits de plantes à neutraliser ces radicaux. Cette activité est influencée par plusieurs facteurs, notamment la dose, la structure chimique des molécules, la nature des groupements substituants ainsi que le degré de polymérisation. La variation observée dans nos résultats pourrait s'expliquer par les différences de potentiel antioxydant des extraits, qui dépendent non seulement de la concentration en composés polyphénoliques, mais également de leur structure moléculaire. Cela illustre le concept de la « relation structure-activité » ainsi que l'importance de la qualité des polyphénols présents.

Des recherches antérieures menées sur *Pituranthos Chloranthus*, collectée dans différentes régions du nord du Sahara Algérien, ont montré des capacités inhibitrices remarquables vis-à-vis du radical libre DPPH ainsi qu'une activité réductrice significative contre les radicaux ABTS, bien que ces activités varient selon la provenance des échantillons. Ces observations, appuyées par les travaux de Benkhettou et Guezize (2021) et Hameurlaine (2009), confirment que l'activité antioxydante des espèces végétales est fortement influencée par leur origine géographique. Par ailleurs, les extraits aqueux bruts des espèces étudiées, notamment celui de *Pituranthos chloranthus* et de *Cymbopogon schoenanthus*, ont présenté les meilleures activités antioxydantes dans les deux tests DPPH et ABTS. Cette efficacité pourrait s'expliquer par la richesse de ces extraits en composés bioactifs capables de piéger efficacement les radicaux libres, et dont la solubilité et l'extractibilité sont favorisées dans l'eau comparativement à d'autres solvants moins polaires. La solubilité des composés phénoliques dépend étroitement de leur nature chimique intrinsèque, laquelle peut varier de structures simples à des formes hautement polymérisées. Cette diversité structurale engendre une grande variabilité dans leurs propriétés physico-chimiques, ce qui influence directement leur efficacité d'extraction. Par ailleurs, la solubilité de ces composés est fortement influencée par la polarité du solvant utilisé lors du processus d'extraction. Ces capacités antioxydantes pourraient devenir particulièrement intéressantes si les conditions d'extraction, de séparation et de concentration étaient optimisées. En effet, les composés phénoliques, et plus spécifiquement

les flavonoïdes, sont reconnus pour leurs propriétés antioxydantes leur permettant de neutraliser les espèces radicalaires libres ainsi que les formes réactives de l'oxygène.

La variabilité observée dans les résultats obtenus peut probablement être attribuée à l'influence de divers facteurs agissant sur la qualité et la quantité des composés issus du métabolisme secondaire des plantes, ce qui impacte directement leur potentiel antioxydant. Ces facteurs sont principalement d'ordre climatique et environnemental, tels que la sécheresse, la nature du sol, le microclimat, la zone géographique ainsi que l'étage bioclimatique, entre autres (Malti, 2021).

3.3.3. Test de FRAP

A partir de l'équation de régression de la courbe d'étalonnage de la solution standard de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (fig. 10), les valeurs de FRAP, exprimant le pouvoir antioxydant réducteur du fer des extraits des parties aériennes des espèces xérophytes étudiées, ont été calculées.

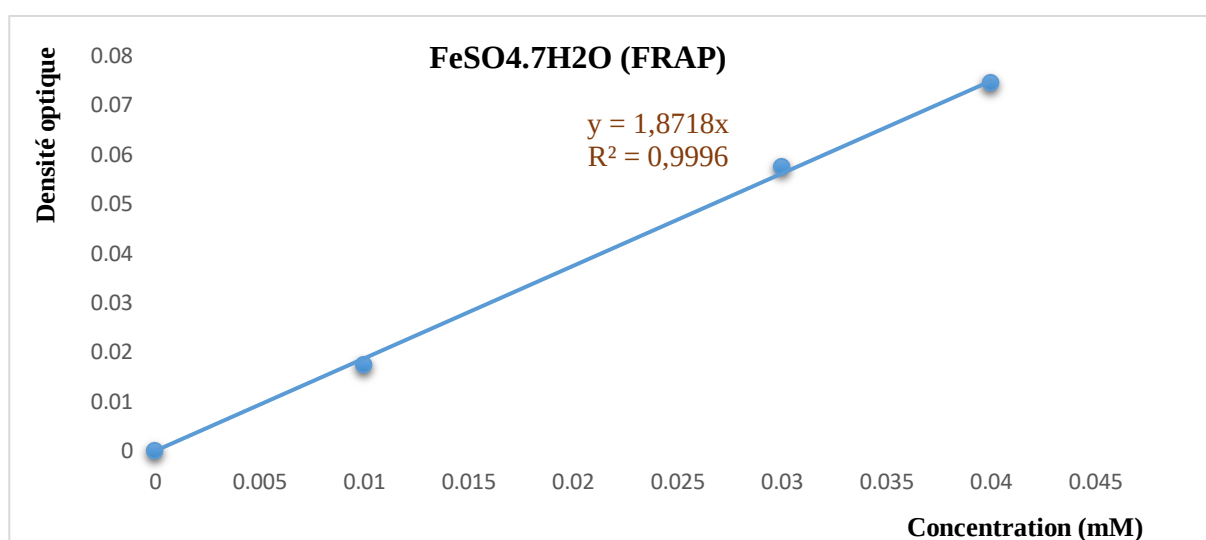


Figure 10 : Courbe d'étalonnage de sulfate ferreux heptahydraté ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) pour le test de FRAP.

Les résultats globaux sont présentés ci-dessous.

Tableau 05 : Résultats globaux du pouvoir antioxydant réducteur du fer FRAP en (mmol Fe^{+2} / g MVS) des extraits bruts et des huiles essentielles des espèces végétales étudiées.

Plantes Fe^{+2} (mmol / g MVS)	P1	P2	P3	P4
EBA	1139.33 $\pm 2,38$	608.80 $\pm 1,51$	341.51 $\pm 1,04$	8089.60 $\pm 3,92$
HE	0,104 $\pm 0,64$	/	/	0,501 $\pm 0,97$

On observe que l'extrait brut de la plante P4 présente la valeur de FRAP la plus élevée (8089,60 mmol Fe^{+2} /g MVS), surpassant largement les autres extraits. Cela traduit une capacité réductrice très importante, indiquant ainsi la plus forte activité antioxydante par rapport aux extraits étudiés.

Il est suivi par l'extrait brut de P1 avec 1139,33 mmol Fe^{+2} /g MVS), puis celui de P2 (608,80 mmol Fe^{+2} /g MVS), tandis que l'extrait de l'espèce P3 (341,51 mmol Fe^{+2} /g MVS) n'a pu enregistrer qu'un faible pouvoir de réduction.

En complément des extraits bruts, les résultats de l'activité antioxydante des huiles essentielles extraites des espèces xérophytes P1 et P4 ont montré que l'extrait volatil de P4 présente une capacité réductrice plus élevée (0,501 mmol Fe^{+2} /g MVS) par rapport à celui de la plante P1 (0,104 mmol Fe^{+2} /g MVS).

En effet, de nombreuses études ont été publiées sur l'effet réducteur des ions ferriques Fe^{+3} en ions ferreux Fe^{+2} par les extraits de diverses plantes. L'étude menée par Jeong *et al.* (2004) a montré que le pouvoir réducteur d'un composé peut servir comme un indicateur significatif de son activité potentielle. Par ailleurs, Yildirim *et al.* (2001) indiquent qu'il y a une corrélation directe entre les activités antioxydantes et la puissance de réduction des composants de quelques plantes.

Cela est probablement lié à la présence, dans l'extrait brut aqueux et en fortes quantités, des composés tanniques (gallotanins, éllagitanins, tanins complexes et tanins condensés), des acides phénols et des diterpènes phénoliques (Prosper-Cabral *et al.*, 2007) ainsi que d'autres

substances bioactives qui sont fortement hydrosolubles, ayant un effet synergique à la fois réducteur et chélateur de fer.

En général, cette différence dans tous les résultats obtenus s'explique probablement par l'influence de plusieurs facteurs sur la qualité et la quantité des composés du métabolisme secondaire de la plante et par conséquent leur potentiel antioxydant. Ces facteurs sont en principe climatiques et environnementaux : la zone géographique, sécheresse, sol, type de microclimat et aussi l'étage bioclimatique, etc. (Atmani *et al.*, 2009); patrimoine génétique, période et moment de la récolte et le stade de développement de la plante (Miliauskas *et al.*, 2004) et même aux conditions opératoires de l'expérimentation (solvant d'extraction polaire ou apolaire, quantité de matière végétale, sèche ou fraîche, température et temps d'extraction, et même aux techniques d'extraction) (Lee *et al.*, 2003).

A delicate illustration of a flowering branch with small, light-colored blossoms and buds, extending from the top-left corner into the page.

Conclusion

et

perspectives

A delicate illustration of a flowering branch with small, light-colored blossoms and buds, extending from the bottom-right corner into the page.

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude a mis en lumière le potentiel remarquable de nos espèces extrêmophiles de la région de Ghardaïa en tant que source naturelle d'antioxydants. Ces espèces, capables de survivre et de s'épanouir dans des conditions climatiques rigoureuses, constituent un réservoir précieux de composés bioactifs d'intérêt pharmaceutique, cosmétique et nutritionnel. Leur aptitude à s'adapter à des environnements extrêmes laisse présager une composition chimique unique, souvent associée à des mécanismes de défense puissants contre le stress oxydatif.

En perspectives, nous pouvons parler comme ce qui suit :

La richesse de la flore saharienne, encore peu explorée sur le plan biochimique, offre ainsi des perspectives innovantes dans le domaine de la recherche scientifique et du développement industriel. L'identification et la valorisation de ces antioxydants naturels pourraient non seulement conduire à la création de produits thérapeutiques plus sûrs et plus efficaces, mais également contribuer à la promotion des ressources locales dans une optique de développement durable et d'économie verte.

Cependant, malgré les résultats prometteurs obtenus, il convient de souligner que ces travaux ne représentent qu'une première étape. Des recherches complémentaires s'imposent afin de mieux caractériser les composés actifs isolés, d'élucider leurs mécanismes d'action au niveau cellulaire et moléculaire, et d'évaluer leur efficacité et leur innocuité à travers des essais cliniques approfondis. De plus, l'étude de la variabilité saisonnière et géographique de ces plantes pourrait permettre d'optimiser leur exploitation.

En somme, l'étude des plantes extrêmophiles de Ghardaïa ouvre la voie à de nouvelles opportunités scientifiques et industrielles. Elle souligne l'importance de préserver cette biodiversité unique tout en encourageant une recherche multidisciplinaire impliquant la botanique, la chimie, la pharmacologie et la biotechnologie pour valoriser pleinement ce patrimoine naturel.

Enfin, nous recommandons d'encercler les points suivants comme de vraies perspectives pour l'avenir :

Poursuivre des études expérimentales approfondies en mettant l'accent sur la séparation, la purification, l'identification et la caractérisation des principes actifs, tant sur le plan qualitatif que quantitatif.

Déterminer avec précision les Chémotypes exacts et complets à l'aide des techniques analytiques avancées telles que la GC/MS, LC/MS et la RMN.

Explorer d'autres activités biologiques de ces extraits, aussi bien in vitro qu'in vivo, en ciblant à la fois les parties aériennes et souterraines des plantes étudiées.

Réaliser des expérimentations in situ en testant l'efficacité de ces extraits sur des modèles pathologiques concrets.



Références Bibliographiques



Références bibliographiques

1. **Araújo, M. E. M. (2010).** Antioxidant, antiacetylcholinesterase and antimicrobial activities of *Cymbopogon schoenanthus* L. Spreng (lemon grass) from Tunisia. *LWT-Food Science and Technology*, 43(2), 331-336.
2. **Atik, F. A. W. Z. I. A., & Mohammedi, Z. O. H. R. A. (2011).** Impact of solvent extraction type on total polyphenols content and biological activity from *Tamarix aphylla* (L.) Karst. *Int J Pharma Bio Sci*, 2(1), 609-15.
3. **Atmani D., Chaher N., Berboucha M., Ayouni K., Lounis H., Boudaoud H., Debbache N. and Atmani D. 2009.** Antioxidant capacity and phenol content of selected Algerian medicinal plants. *Food Chemistry*, 112 (2), pp. 303-309.
4. **Belhadj-tahar, S. (2018).** Caractérisation structurale de quelques métabolites secondaires issus de quelques plantes de la famille 'Amarantaceae' du Sahara septentrional (Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA).
5. **Ben Nasr, S., Aazza, S., Mnif, W., & Miguel, M. (2020).** In-vitro antioxidant and anti-inflammatory activities of *Pituranthos chloranthus* and *Artemisia vulgaris* from Tunisia
6. **Benkhettou, S., & Guezize, H.** Activité biologique des huiles essentielles extraites à partir la plante aromatique *Deverra scoparia* Coss. & Dur. (Apiaceae) de la région du Ghardaia (Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA)
7. **Boizot, N., & Charpentier, J. P. (2006).** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. *Le Cahier des Techniques de l'INRA*, In: Numéro spécial, 79-82.
8. **Bouquet A. 1972.** *Plantes Médicinales du Congo Brazzaville*. Ed., ORSTOM, France, pp. 116-117.
9. **Bouzig, A., Chadli, R., & Bouzig, K. (2017).** Étude ethnobotanique de la plante médicinale *Arbutus unedo* L. dans la région de Sidi Bel Abbés en Algérie occidentale. *Phytothérapie*, 15(6), 373.
10. **Bruneton J. 1999.** *Pharmacognosie : Phytochimie. Plantes Médicinales*. 3 e Ed., TEC & DOC., Paris, pp.239-243.
11. **Chebrouk, F. (2009).** Caractérisations analytiques de quelques composés polyphénoliques et terpéniques issus de la plante *Marrubium deserti* de la région de Ghardaïa (Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah Ouargla)

12. **Chehma, A., Bouzegag, I., & Chehma, Y. (2008).** Productivité de la phytomasse éphémère des parcours camelins du Sahara septentrional algérien. *Fourrages*, 194, 253-256.
13. **Dih, A., & Belguendouz, A. (2022).** Contribution à l'étude phytochimique et évaluation du pouvoir antioxydant des alcaloïdes extraits d'*Osyris alba* L, récoltée au niveau de la région de Beni-Snousse Tlemcen (Doctoral dissertation, Univ Abou Bekr Belkaid Tlemcen).
14. **Dohou N., Yamni K., Tahrouch S., IdrissiHassani L. M., Bodoc A., Gmira N. (2003).** Screening phytochimique d'une endémique Ibero-marocain, *Thymelaealytroïdes*, *Bull. Société de Pharmacie de Bordeaux*. 142: 61-78.
15. **El Hafian, M., Benlandini, N., Elyacoubi, H., Zidane, L., & Rochdi, A. (2014).** Étude floristique et ethnobotanique des plantes médicinales utilisées au niveau de la préfecture d'Agadir-Ida-Outanane (Maroc). *Journal of Applied Biosciences*, 81, 7198-7213.
16. **Elhouda, M. N., et al. (2024).** Physicochemical and biological properties assessment of *Pituranthos chloranthus* from Algerian Sahara. *CyTA-Journal of Food*, 22(1), 2337001.
17. **Ghedadba, N., Hambaba, L., Hachemi, M., & Bensaad, M. S. (2021).** Antioxidant and Anti-inflammatory Activities of Methanolic Extract of *Marrubium deserti* de Noé Leaves. *PSM Biological Research*, 6(3), 56-65.
18. **Hameurlaine, S. (2009).** Mise en évidence des huiles essentielles contenues dans les plantes *Pituranthos scoparius* et *Rhantherium adpressum* de la région de Ghardaïa (Doctoral dissertation, Université de Kasdi Merbah Ouargla).
19. **Harborne J. B. (1973).** *Phytochemical methods a guide to modern techniques of plant analysis*. Chapman and Hall Ltd, London. 278p.
20. **HOUICHITI, R. (2009).** Caractérisation d'un agrosystème saharien dans une perspective de développement durable: Cas de l'Oasis de SEBSEB (Wilaya de GHARDAIA) (Doctoral dissertation).
21. **Jeong S.M., Kim S.Y., Kim D.R., Jo S.C., Nam K.C., Ahn D.U. and Lee S.C. 2004.** Effects of heat treatment on the antioxidant activity of extracts from Citrus peels. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 52, pp. 3389-3393.

22. **Kemassi, A., et al. (2014).** Recherche et identification de quelques plantes médicinales à caractère hypoglycémiant de la pharmacopée traditionnelle des communautés de la vallée du M'Zab (Sahara septentrional Est Algérien)
23. **Kemassi, A., et al. (2019).** Effet insecticide des extraits aqueux d'Euphorbia guyoniana (Euphorbiaceae) récoltée dans Oued Sebseb (Sahara Algerien) sur le Tribolium castaneum. Lebanese science
24. **Khadri, A., Neffati, M., Smiti, S., Falé, P., Lino, A. R. L., Serralheiro, M. L. M., & Kemassi, A., Darem, S., Cherif, R., Boual, Z., Sadine, S. E., Aggoune, M. S., ... & Ould Elhadj, M. D. (2014).** Recherche et identification de quelques plantes médicinales à caractère hypoglycémiant de la pharmacopée traditionnelle des communautés de la vallée du M'Zab (Sahara septentrional Est Algérien)
25. **Lee K.W., Kim Y.J., Lee H.J. and Lee C.Y. 2003.** Cocoa has more phenolic phytochemicals and a higher antioxidant capacity than teas and red wine. J. Agric. Food Chem., 51 (25), pp.7292-7295.
26. **Majhenic L., et al. (2007).** Antioxidant and antimicrobial activity of guarana seed extracts. Food Chemistry, 104, pp. 1258-1268.
27. **Malti, C. E. W. (2019).** Etude des activités biologiques et de la composition chimique des huiles essentielles de trois plantes aromatiques d'Algérie : Pituranthos scoparius (Guezzah), Santolina africana (EL Djouada) et Cymbopogon schoenanthus (El Lemad) » (Doctoral dissertation, UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEM ; Tlemcen)
28. **Miliauskas G., Venskutonis P.R. and Van Beek T.A. 2004.** Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extract. Food Chemistry, 85 (2), pp. 231-237.
29. **Parejo I., et al. (2003).** Investigation of Bolivian plant extracts for their radical scavenging activity and antioxidant activity. Life Sciences, 73 (13), pp. 1667-1681.
30. **Prior R.L., Wu X. and 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), pp. 4290-4302.
31. **Prosper-Cabral N.B., Gabriel A.A., Julius E.O. and Jeanne Y.N. 2007.** Phytochemical studies and antioxidant properties of four medicinal plants used in Cameroon. Afr. J. Tradit. Complement Altern. Med., 4 (4), pp. 495-500.

32. **Re R., et al. (1999).** Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26, pp. 1231-1237.
33. **Rimjhim S., et al. (2014).** Preliminary phytochemical screening of methanolic extract of *Clerodendron infortunatum*. *International organization of scientifique research*, 7, pp. 10-13.
34. **Salah N., et al. (1995).** Polyphenolic flavanols as scavengers of aqueous phase radicals and as chain-breaking antioxidants. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 322 (2), pp. 339-346.
35. **Sanchez-Moreno C., et al. (1998).** A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *Sci Food Agric.*, 76, pp. 270-271.
36. **Schlesier K., et al. (2002).** Assessment of antioxidant activity by using different in Vitro methods. *Free radical research*. 36: 177-187.
37. **Solfo R.R. 1973.** Etude d'une Plante Médicinale Malgache *Buxus madagascariensis* Bail et ses variétés. Ed., ORSTOM, France, pp. 98-99.
38. **Bruneton J. 1999.** Pharmacognosie : Phytochimie. Plantes Médicinales. 3 e Ed., TEC & DOC., Paris, pp.239-243.
39. **Yildirim A., Mavi A. and Kara A.A. 2001.** Determination of antioxidant and antimicrobial activities of *Rumex crispus* L. extracts, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, pp. 4083-4089.
40. **Yi-Zhong C., et al. (2006).** Structure-radical scavenging activity relationships of phenolic compounds from traditional Chinese medicinal plants. *Life Sciences*, 78 (25), pp. 2872-2888.

Résumé

Ce travail a pour objectif la valorisation de quatre espèces végétales extrêmophiles *Pituranthos chloranthus* (Guezzah), *Cleome amblyocarpa* (Netil), *Cymbopogon schoenanthus* (Lemmad,) et *Marrubium deserti de Noé* (Jâada) qui poussent spontanément dans la région de Ghardaïa au Sahara septentrional Algérien et ce, à travers l'évaluation du pouvoir biologique antiradicalaire et antioxydant des extraits bruts et des huiles essentielles de leurs parties aériennes. Ces espèces végétales, qui sont largement utilisées pour ses innombrables vertus thérapeutiques traditionnelles chez la population de la région de Ghardaïa, appartiennent à quatre familles différentes Capparacées, Apiacées, Lamiacées et Poacées et sont tous des espèces xérophytes. Pour ce faire, des tests de screening phytochimique sont effectués pour mettre en évidence la présence ou l'absence des principaux métabolites secondaires de ces plantes. Des extractions par macération aqueuse sont réalisées et des huiles essentielles sont extraites par entraînement à la vapeur d'eau. Les teneurs en polyphénols totaux dans les extraits bruts obtenus sont ensuite déterminées. Le pouvoir antioxydant des extraits obtenus est ensuite évalué par les tests DPPH, ABTS et celui de FRAP. De l'ensemble des résultats obtenus, les tests de criblage phytochimique ont révélé la présence de quelques composés du métabolisme secondaire dans toutes les espèces plus particulièrement les composés phénoliques et l'absence de certains d'autres qui sont également importants. Quant au rendement en extrait brut aqueux, L'espèce *Marrubium deserti* s'est avérée la meilleure avec plus de 50%. Cependant, l'espèce *Cleome amblyocarpa* semble être plus riche en polyphénols totaux avec 600.68 mg EAG/g MVS. Les tests du pouvoir antioxydant ont permis d'évaluer la puissance des extraits isolés dans le piégeage des radicaux libres DPPH, ABTS et la réduction de Fer trivalent en Fer bivalent via le test de FRAP. Les résultats obtenus révèlent que ces extraits sont très actifs et présentent des forts pouvoirs antioxydants avec une priorité pour les extraits des deux espèces végétales *Pituranthos Chloranthus* (P1) et *Cymbopogon Schoenanthus* (P4). En comparaison avec les produits de référence, les extraits des mêmes espèces P1 et P4 ont présenté une activité généralement meilleure par rapport au Trolox, Ces résultats sont très prometteurs et justifient en quelques sortes l'usage massif de ces espèces xérophytes en médecine traditionnelle chez par la population de la région de Sahara Algérien.

Mots clés : Phytochimie, Pouvoir antioxydant, Extrait brut, Huiles essentielles, Espèce xérophyte, Ghardaïa

Abstract

This work aims to valorize four plant species: *Pituranthos chloranthus* (Guezzah), *Cleome amblyocarpa* (Netil), *Cymbopogon schoenanthus* (Lemmed), and *Marrubium deserti de Noé* (Jâada), which grow spontaneously in the Ghardaïa region, located in the northern Algerian Sahara. This is achieved through a contribution to their phytochemical study and the evaluation of the antioxidant potential of aqueous crude extracts from their aerial parts. These plant species are widely used by the local population for their numerous traditional therapeutic properties. They belong to five different families: Capparaceae, Apiaceae, Lamiaceae, and Poaceae, and all are xerophytic species to this end, phytochemical screening tests were carried out to identify the presence or absence of key secondary metabolites. Aqueous maceration extractions were performed, and the total polyphenol content of the crude extracts was determined. The antioxidant activity of the extracts was evaluated against free radicals: DPPH, ABTS, and FRAP. From the overall results obtained, the phytochemical screening tests revealed the presence of certain secondary metabolites in all the studied species, particularly phenolic compounds, as well as the absence of some other important compounds. Regarding the yield of the aqueous crude extract, *Marrubium deserti* showed the highest yield, exceeding 50%. However, *Cleome amblyocarpa* appeared to be richer in total polyphenols, with a content of 600.68 mg GAE/g dry matter. The antioxidant activity assays allowed the evaluation of the capacity of the isolated extracts to scavenge free radicals (DPPH and ABTS) and to reduce ferric ions to ferrous ions through the FRAP test. The results showed that these extracts are highly active and exhibit strong antioxidant power, particularly the extracts of *Pituranthos chloranthus* (P1) and *Cymbopogon schoenanthus* (P4). Compared to standard antioxidants, the extracts of P1 and P4 generally showed superior activity than Trolox. These results are very promising and partly justify the extensive traditional medicinal use of these xerophytic species by the populations of the Algerian Sahara region.

Keywords: Phytochemistry, Antioxidant power, Crude extract, Essential oils, Xerophytic species, Ghardaïa.

المخلص

يهدف هذا العمل إلى تثمين أربع أنواع نباتية هي (الفزاح) *Pituranthos chloranthus*, *Cleome amblyocarpa* (النَّيْل)، *Cymbopogon schoenanthus* (اللمَّاد)، و *Marrubium deserti de Noé* (الجعدة)، وهي نباتات تنمو بشكل طبيعي في منطقة غرداية الواقعة في شمال الصحراء الجزائرية. ويتحقق هذا الهدف من خلال المساهمة في دراستها الكيميائية النباتية وتقييم النشاط المضاد للأكسدة للمستخلصات الخام المائية من أجزائها الهوائية. تُستعمل هذه الأنواع النباتية على نطاق واسع من قبل السكان المحليين نظراً لخصائصها العلاجية التقليدية المتعددة. وتنتمي إلى خمس عائلات نباتية مختلفة: **Capparacées, Apiacées, Cleomaceae, Lamiaceae** وكلها نباتات متكيفة مع الجفاف.

ولهذا الغرض، أجريت اختبارات التحري الكيميائي النباتي لتحديد وجود أو غياب بعض المركبات الثانوية الرئيسية. كما تم تنفيذ استخلاصات بالتقنيع المائي، وتحديد المحتوى الكلي من البوليفينولات في المستخلصات الخام. وتم تقييم النشاط المضاد للأكسدة للمستخلصات في مواجهة الجذور الحرة **DPPH و ABTS و FRAP**.

من خلال مجمل النتائج المحصلة، كشفت اختبارات الغزيلة الفينو كيميائية عن وجود بعض المركبات الثانوية في جميع الأنواع النباتية المدروسة، وخاصة المركبات الفينولية، مع غياب بعض المركبات الأخرى المهمة أيضاً. وبخصوص مردودية المستخلص الخام المائي، تبين أن نوع *Marrubium deserti* هو الأفضل، حيث تجاوزت المردودية 50%. غير أن نوع *Cleome amblyocarpa* بدا الأغنى من حيث المحتوى الإجمالي من البوليفينولات، حيث بلغت قيمته 600.68 ملغ مكافئ حمض الغاليك/غ من المادة الجافة.

وقد مكّنت اختبارات القدرة المضادة للأكسدة من تقييم فعالية المستخلصات المعزولة في اقتناص الجذور الحرة (DPPH و ABTS) وفي اختزال الحديد الثلاثي إلى حديد ثنائي باستخدام اختبار FRAP. أظهرت النتائج أن هذه المستخلصات نشطة جداً وتتمتع بقدرات قوية كمضادات للأكسدة، لا سيما مستخلصي نوعي *Pituranthos chloranthus* (P1) و *Cymbopogon schoenanthus* (P4).

وبالمقارنة مع المركب المرجعي Trolox، فقد أظهرت مستخلصات النوعين P1 و P4 نشاطاً أقوى بشكل عام. وتُعد هذه النتائج واعدة للغاية، وتُبرر إلى حدّ ما الاستخدام الواسع لهذه الأنواع النباتية الصحراوية في الطب التقليدي من قبل سكان منطقة الصحراء الجزائرية.

الكلمات المفتاحية: الفيتوكيمياء، القدرة المضادة للأكسدة، مستخلص خام، الزيوت الأساسية، الأنواع الصحراوية، غرداية.