

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



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 : - KHAINECHE Ouassima

- BAHAZ Chaimaa

Thème

**Évaluation in vitro du pouvoir
antioxydant d'une plante
médicinale saharienne**

Soutenu publiquement, le 10 / 06 / 2024 , devant le jury composé de :

M. KADRI Mohamed	MCB	Univ. Ghardaia	Président
Mme. BOUTARFAIA Amira	MCB	Univ. Ghardaia	Directeur de mémoire
Mme. KEBILI Zohra	MAA	Univ. Ghardaia	Examineur 1

Année universitaire : 2023 / 2024

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



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 : - KHAINECHE Ouassima

- BAHAZ Chaimaa

Thème

**Évaluation in vitro du pouvoir
antioxydant d'une plante
médicinale saharienne**

Soutenu publiquement, le 10/ 06 / 2024 , devant le jury composé de :

M. KADRI Mohamed	MCB	Univ. Ghardaia	Président
Mme. BOUTARFAIA Amira	MCB	Univ. Ghardaia	Directeur de mémoire
Mme. KEBILI Zohra	MAA	Univ. Ghardaia	Examineur 1

Année universitaire : 2023 / 2024

Remerciement

La fameuse page des remerciements, tant désirée pendant la rédaction, n'est atteinte qu'après un long parcours de travail acharné.

Avant toutes choses ; nous remercions **ALLAH**, le Tout-Puissant, de nous avoir guidé le long de nos années d'études et de nous avoir donné la volonté, la patience et le courage pour achever ce travail et d'atteindre à ce niveau. Nous exprimons notre gratitude envers nos parents qu'ils Étaient une grande incitation pour suivre notre étude avec leurs prières et leurs soutiens.

C'est enfin le moment d'exprimer notre gratitude envers toutes celles et tous ceux qui ont contribué à ce travail.

Nous tenons d'abord à exprimer notre profonde gratitude et notre sincère reconnaissance à **Madame BOUTARFAIA Amira**, notre encadrante de mémoire. Nous la remercions chaleureusement de nous avoir acceptés et pour son aide inestimable, sa patience, ses qualités humaines, ses conseils avisés et ses encouragements constants tout au long de ce travail. Elle a toujours été à l'écoute et très disponible, ce qui a grandement facilité la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements avec plus grande gratitude **Monsieur KADRI Mohamed (MCB)**, Enseignant à l'université de Ghardaïa d'avoir accepté de présider le jury de ce mémoire.

Nos remerciements également **Madame KABILI Zohra (MAA)**, Enseignante à l'université de Ghardaïa, d'avoir accepté de se joindre à ce jury comme examinatrice.

Un grand merci à **M. BELGUIDOUM Mahdi**, pour son suivi, ses conseils éclairés et ses discussions enrichissantes qui nous ont grandement aidés tout au long de nos recherches.

Nos remerciements vont également à toute l'équipe du laboratoire de recherche de la faculté de science de la nature et de la vie, Université de Ghardaïa.

En fin nous adressons nos remerciements à nos amis, et à toutes les personnes que nous n'avons pas pu citer leurs noms ici, et qui ont participé de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Ouassima & Chaima

Dédicaces

الحمد لله على البدء والختام

الحمد لله حبا وشكرا وامتنانا. الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات

من قال انا لها. نالها

وأنا لها وإن أبت رغما عنها أتيت بها

نلتها وعانقت اليوم مجدا عظيما لم يكن الحلم قريبا ولا الطريق سهلا ولكن... وصلت

أهدي ثمرة عملي بكل حب

إلى نفسي الطموحة القوية الصبورة التي تحملت كل العثرات وأكملت رغم الصعوبات إلى كل من سعى
معي لإتمام هذه المسيرة. دمت لي سندا لا عمرا له....

إلى أعظم الأشخاص وأعزهم على قلبي وملاذي بعد الله

إلى قرة عيني إلى من جعل الله الجنة تحت قدميها. إلى من احتضنتني قلبها قبل يديها وسهلت لي الشدائد
بدعائها إلى من في وصفها تخجل وترتجف الكلمات... "أمي العظيمة" يقال إن وراء كل رجل عظيم
امرأة عظيمة وأنا أقول وراء كل فتاة ناجحة أم عظيمة سهرت وتعبت على كل خطواتي ونجاحاتي
وتحملت كل ألم اللحظات التي مررت بها وقوتي عند ضعفي حفظك الله ورعاك

إلى سندي... فخري... إلى من كان لي خير مرشد وحكيم. إلى من دعمني بلا حدود وأعطاني بلا مقابل
«أبي العزيز»

إلى من دامت لي أياديهم وقت ضعفي وبهم عرفت معنى الحياة

إلى أختي "آية" رفيقة دربي.. ضلعي الثابت ... أحب الخلق إلى قلبي

إلى من شد الله بهما عضدي فكانا خير معين لي وداعمي الأول أختي "جلول وعبد النبي"

إلى صديقات العمر لا المواقف صديقاتي "فاطمة وزينب"

إلى أستاذتي أميرتي شكرا لكونك صديقة لنا ممتنة لدعمك وجهدك معنا جزاك الله كل خير ورحم من
رباك

إلى زميلتي في المذكرة "وسيمة" كنتي أختا قبل ان تكوني زميلة ممتنة لكي... أنار الله دربك

إلى من أرادوا بنا الكسر فجعلهم الله جسرا نعبر به للأفضل

....شيماء

Dédicaces

نحن نحقق تقدماً ملحوظاً فقط في الاشياء التي نقوم بها بالحب. لقد احببت دائماً ما أقوم به وربما يكون هذا أحد الأسباب التي تجعلني فخورة جداً بنفسي اليوم

ماكنت لأفعل هذا لولا فضل الله علي، الحمد لله الذي ما نجحنا وما علونا ولا تفوقنا الا برضاه، الحمد لله الذي ما اجتزنا دربا ولا تخطينا جهدا الا بفضل الله واليه ينسب الفضل، الحمد لله حبا وشكرا وامتنانا، الحمد لله على البدء وعلى الختام وبعون الله وفضله أنهيت هذا العمل المتواضع الذي أهديه...

الى جدتي «حليمة» رحمة الله عليها كنت أتمنى حضورك في هذه اللحظة لتشاركني فرحتي، أنت دائماً في ذهني وفي قلبي؛

الى «امي» و «ابي»

على كل التشجيع الذي قدموه لي خلال الأوقات الصعبة. أدرك أنكم ضحيتم بالكثير من أجلي. شكرا لكونكم المثال الأمثل للجهد والتضحية، لا يمكن لأي اهداء أن يكون بليغاً بما يكفي للتعبير عن الحب، التقدير والتفاني والاحترام الذي أكنه لكم دائماً، دعاءكم وبركتكم كانت عوناً كبيراً لي في إكمال دراستي. هذا النجاح هو ثمرة التضحيات التي قدمتموها من أجل تعليمي وتدريبتي. أدام الله عليكم السعادة والصحة وطول العمر.

الى اخي العزيز «صفوان» من تحمل شكواي في ايام الامتحانات من يدعو لي بقلبه الطاهر الحنون، و الى اختي «وداد» التي كل ما احتاجها في سؤال اجدها و التي لا تتردد في نصحي ابدا , أشكركم لكونكم الكتف الذي يمكنني الاعتماد عليه دائماً, دمت لي سند لا عمر له.

إلى صديقتي العزيزات «عائشة» و «أفراح» ، كانت صداقتكما نوري وقوتي طوال هذه الرحلة. شكرا لدعمكم ومحبتكم التي لا تنزعزع. وهذا النجاح لكم أيضاً

دون أن أنسى شريكتي في النجاح «شيماء» على صبرها وتفهمها طوال هذا المشروع.

الى كل عائلتي وأصدقائي ومعلمي وكل من أحب.

اتمنى لزملائي وزميلاتي كل التوفيق في المراحل القادمة من حياتهم لن ننسى ابدا اللحظات التي قضيناها معا وستظل ذكرياتنا في هذه الجامعة خالدة في قلوبنا.

وسيمة.

Résumé

Les plantes médicinales, sources essentielles de métabolites bioactifs, sont utilisées mondialement en médecine traditionnelle et moderne. Récemment, les recherches sur leurs propriétés antioxydantes se sont intensifiées. Les plantes algériennes se sont révélées particulièrement efficaces comme agents antioxydants, offrant ainsi un potentiel prometteur pour des applications médicinales naturelles.

Le présent se porte sur l'évaluation *in vitro* du pouvoir antioxydant de *Fagonia bruguieri* DC, une plante médicinale saharienne récoltée dans la région de Tamanrasset appartenant à la famille des *Zygophyllaceae*, ainsi que sur la quantification de ses molécules bioactives (polyphénols). L'extraction a été réalisée par macération avec des solvants de polarité croissante (l'éther de pétrole et méthanol) de la partie aérienne de l'espèce *Fagonia bruguieri* DC, puis une analyse quantitative de l'extrait hydro-méthanolique a été effectuée pour mesurer la teneur en polyphénols, flavonoïdes et tanins. De plus, leur activité antioxydante a été évaluée à l'aide de quatre méthodes : DPPH, réduction du fer, phosphomolybdate et ABTS et comparé aux antioxydants synthétiques comme le BHA, le BHT, l'acide ascorbique et l' α -tocophérol. Les résultats obtenus indiquent que cette plante contient des quantités élevées de composés phénoliques, de flavonoïdes et tanins. L'évaluation de l'activité antioxydante de leur extrait à travers les quatre tests utilisés, révèle que cette plante possède une activité antioxydante forte par rapport aux antioxydants synthétiques.

Mots clés : Plantes médicinales, *Fagonia bruguieri* DC, activité antioxydante, polyphénols, flavonoïdes.

Abstract

Medicinal plants, essential sources of bioactive metabolites, are used worldwide in traditional and modern medicine. Recently, research about their antioxidant properties has intensified. Algerian plants have been shown to be particularly effective as antioxidant agents, offering promising potential for natural medicinal applications.

This work concerns the evaluation in vitro of the antioxidant power of *Fagonia Bruguieri DC*, a Saharan medicinal plant collected in Tamanrasset region belonging to the *Zygophyllaceae* family, as well as the identification of its bioactive molecules. The extraction of the extract was carried out by maceration with solvents of increasing polarity, and then their antioxidant activity was evaluated using four methods: DPPH, iron reduction, phosphomolybdate and ABTS and compared to synthetic antioxidants, such as BHA, BHT, ascorbic acid and α -tocopherol. Additionally, quantitative analysis of the extract was performed to measure the content of polyphenols, flavonoids and tannins. The obtained results indicate that this plant contains high amounts of phenolic compounds and flavonoids and tannins. The evaluation of the antioxidant activity of her extract through the four tests used reveals that this plant has significant antioxidant activity compared to synthetic antioxidants.

Key words: Medicinal plants, *Fagonia Bruguieri DC*, antioxidant activity, polyphenols, flavonoids.

الملخص

تُستخدم النباتات الطبية، وهي مصادر أساسية للأيضات النشطة بيولوجيًا، في جميع أنحاء العالم في الطب التقليدي والحديث. في الآونة الأخيرة، تكثفت الأبحاث حول خصائصها المضادة للأكسدة. لقد أثبتت النباتات الجزائرية فعاليتها بشكل خاص كعوامل مضادة للأكسدة، مما يوفر إمكانات واعدة للتطبيقات الطبية الطبيعية.

يتعلق العمل الحالي بالتقييم المختبري للقوة المضادة للأكسدة لنبات *Fagonia bruguieri* DC الطبي الصحراوي الذي تم جمعه في منطقة تمنراست المنتمي إلى عائلة *Zygophyllaceae*، بالإضافة إلى التعرف على جزيئاته النشطة بيولوجيًا. تم إجراء الاستخلاص عن طريق النقع بمذيبات ذات قطبية متزايدة، ثم تم تقييم نشاطها المضاد للأكسدة باستخدام أربع طرق: DPPH، اختزال الحديد، فوسفوموليدات، ABTS، مقارنة بمضادات الأكسدة الاصطناعية، مثل BHA و BHT حمض الأسكوربيك و α -توكوفيرول. بالإضافة إلى ذلك، تم إجراء تحليل كمي للمستخلص لقياس محتوى البوليفينول والفلافونويد والعفص. وتشير النتائج المتحصل عليها إلى احتواء هذا النبات على كميات عالية من المركبات الفينولية والفلافونويدات والعفص. ويكشف تقييم النشاط المضاد للأكسدة لمستخلصها، من خلال الاختبارات الأربعة المستخدمة، أن هذا النبات له نشاط مضاد للأكسدة معتبر مقارنة بمضادات الأكسدة الاصطناعية.

الكلمات المفتاحية: النباتات الطبية، *Fagonia bruguieri* DC، نشاط مضاد للأكسدة، البوليفينول، الفلافونويد.

ABRÉVIATIONS UTILISÉES

TCA	L'acide Trichloracétique
Na₂HPO₄	Hydrogénophosphate de sodium
NaH₂PO₄	Dihydrogénophosphate de sodium
DPPH	2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazil
ABTS	2,2- azinobis 3-ethylbenzothiazoline 6- sulphonate
K₂S₂O₈	Persulfate de potassium
AlCl₃	Trichlorure d'aluminium
TAC.	Total Antioxydant Capacity
HCl	Acide chlorhydrique
EAG/g	Equivalent acide gallique par gramme
EAA/g	Equivalent acide ascorbique par gramme
EC/g	Equivalents de catéchine par gramme
EQ/g	Equivalents de quercétine
A	Absorbance
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
Fe⁺³	Ions ferriques.
Fe⁺²	Ions ferreux.
FeCl₃	Iron Trichloride
MoO₄²⁻	Ion de molybdate
MoO²⁺	Molybdène
pH	Potentiel d'hydrogène
BHA	Butylated hydroxyanisole

BHT	Butylated hydroxytoluene
R (%)	Rendement exprimé en %
R²	Coefficient de corrélation
TPC	Total Phenolic Content
TFC	Total Flavonoïdes Content
TTC	Total tannin content
A_{0,5}	Concentration indiquant 0,50 d'absorbance
EAQ	Extrait Brut aqueux

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Voies principales de synthèse des composés secondaires chez les plantes.	6
Figure 2: Structure de base d'un flavonoïde.....	7
Figure 3: Différentes classes de flavonoïdes.....	8
Figure 4: Structure de base des tanins. A : Tanins condensés. B : Tanins hydrolysables.	9
Figure 5: <i>Fagonia bruguieri</i> DC.	11
Figure 6: Répartition de <i>Fagonia bruguieri</i> DC.	13
Figure 7: Situation géographique des collectes, Tamanrasset (Hoggar) - Algérie.....	14
Figure 8: Extraction de la plante par macération.	15
Figure 9: Filtration et concentration de l'extrait.....	16
Figure 10: Étapes de dosage des polyphénols totaux.	18
Figure 11: Étapes de dosage des flavonoïdes totaux.	19
Figure 12: Étapes de dosage des tanins condensés.	20
Figure 13: Equation du radical DPPH transformé en DPPH.	21
Figure 14: Protocole du test DPPH.....	22
Figure 15: Structure chimique du radical ABTS (forme stable).....	25
Figure 16: Formation et piégeage du radical ABTS ⁺ par un donneur antioxydant de H [•]	26
Figure 17: Protocole récapitulatif du test de test du piégeage du cation radical ABTS ⁺⁺	27
Figure 18: Réduction de Fe ⁺³ par un antioxydant dans le test du pouvoir réducteur.....	Erreur !
Signet non défini.	
Figure 19: Protocole du test de réduction du Fer.....	26
Figure 20: Protocole du test de la capacité antioxydante totale (TAC).	27
Figure 21: Courbe d'étalonnage d'acide gallique.....	29
Figure 22: Courbe d'étalonnage de quercétine.....	30
Figure 23: Courbe d'étalonnage de Catéchine	31
Figure 24: Courbe d'inhibition du DPPH par l'extrait brut.....	33
Figure 25: Courbe d'inhibition de l'ABTS par l'extrait brut.	34
Figure 26: Courbe de l'activité réductrice de fer pour l'extrait brut.....	36
Figure 27: Courbe de l'activité antioxydante totale pour l'extrait brut.....	37
Figure 28 : Courbe de l'activité antioxydante totale pour l'acide ascorbique.	37

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Principaux types des acides phénoliques et des coumarines.	10
Tableau 2: Liste des produits chimiques utilisés pendant la manipulation.	15
Tableau 3: Rendement d'extraction de Fagonia bruguieri DC.....	28
Tableau 4: Moyennes de dosage des phénols totaux.	29
Tableau 5: Moyennes de dosage des flavonoïdes	30
Tableau 6: Moyennes de dosage des tannins.....	31
Tableau 7: Pourcentage d'inhibition du DPPH par l'extrait brut.	32
Tableau 8: Pourcentage d'inhibition de l'ABTS par l'extrait brut.....	34
Tableau 9: Résultats de l'activité réductrice du fer des différents extraits.....	35
Tableau 10: Résultats de l'activité réductrice du TAC	38

SOMMAIRE

Remerciement

Résumé

Abréviations utilisées

Liste des Figures

Liste Des Tableaux

Sommaire

Introduction Générale

CHAPITRE 01 : APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE DES PLANTES MÉDICINALES

1.1. Introduction	2
1.2. Plantes médicinales	2
1.2.1. Définition	2
1.2.2. Pouvoir des plantes médicinales	3
1.2.3. Cueillette des plantes médicinales et leur conservation	3
1.2.3.1. Cueillette	3
1.2.3.2. Séchage	3
1.2.3.3. Conservation et stockage	4
1.2.4. La phytothérapie traditionnelle	4
1.2.5. Métabolites secondaires	5
1.2.6. Classification des composés phénolique	6
1.2.6.1. Les flavonoïdes	7
1.2.6.2. Les tanins	8
1.2.6.3. Acides phénoliques	9

CHAPITRE 02 : DESCRIPTION DE LA PLANTE ÉTUDIÉ

2.1. Introduction	11
2.2. <i>Fagonia Bruguieri</i> DC	11
2.3. Classification systématique	12

2.4. Distribution géographique	12
2.5. Propriétés médicinales	13

CHAPITRE 03 : PARTIE EXPÉRIMENTALE

3.1. Introduction	14
3.2. Préparation de l'extrait	15
3.3. Plan d'expérimentation	17
3.4. Méthodes de caractérisation quantitative	18
3.4.1. Dosage des polyphénols	18
3.4.2. Dosage des flavonoïdes totaux	19
3.4.3. Dosage des tanins condensés	19
3.5. Méthodes d'évaluation des activités antioxydantes <i>in vitro</i>	20
3.5.1. Test de piégeage du radical DPPH	20
3.5.2. Évaluation de test du piégeage du cation radical ABTS ^{•+}	22
3.5.3. Test du pouvoir réducteur de fer	24
3.5.4. Évaluation de la capacité antioxydante totale « test de phosphomolybdate »	26

CHAPITRE 04 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Résultats et discussions	28
4.1.1. Le rendement de l'extraction	28
4.1.2. Teneur en composés phénoliques	28
4.1.3. Teneur en flavonoïdes	29
4.1.4. Teneur en tannins	30
4.1.5. Activité antioxydant	32
4.1.5.1. Pouvoir de piégeage du radical DPPH	32
4.1.5.2. Activité scavenger du radical ABTS ^{•+}	33
4.1.5.3. Activité de réduction de fer	35
4.1.5.4. Activité antioxydante totale (TAC)	36
4.2. Discussion	39

Conclusion

40

Références bibliographiques

Annexes

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis les temps préhistoriques, les humains ont utilisé des produits naturels, tels que les plantes, les animaux, les micro-organismes et les organismes marins, dans les médicaments pour soulager et traiter les maladies. Selon les registres fossiles, l'usage humain des plantes comme médicaments peut remonter à au moins 60 000 ans. Les plantes médicinales sont la principale source de métabolites bioactifs naturels et sont utilisées dans le monde entier dans les systèmes traditionnels et modernes de médecine (**Fabricant & Farnsworth, 2001**).

Le stress oxydatif se caractérise par une agression cellulaire principalement provoquée par les radicaux libres (**Sebbar et al., 2023**). Les radicaux libres en général et les ROS en particulier jouent un rôle dans diverses pathologies humaines, allant de l'inflammation au cancer, en passant par les maladies cardiovasculaires, l'arthrite rhumatoïde, le diabète et le processus d'apoptose, en plus de leur action directe en réagissant avec la plupart des macromolécules (glucides, protéines et lipides). Il est possible d'éviter le stress oxydatif en cherchant à apporter davantage de composés antioxydants (**Cheurfa & Allem, 2015**).

En plus des médicaments et des aliments, les antioxydants naturels provenant des plantes médicinales sont actuellement privilégiés dans les produits antioxydants. Ces végétaux ont la capacité de produire de nombreux composés connus sous le nom de métabolites secondaires (composés phénoliques, alcaloïdes et huiles essentielles...) et forment ainsi un immense réservoir de composés d'une grande variété chimique, avec une variété d'activités biologiques (**Encyclopédie des plantes médicinales, 2001**).

Les recherches sur les propriétés antioxydants des plantes médicinales ont considérablement augmenté ces dernières années, en raison de leur potentiel d'être utilisées comme sources d'antioxydants riches et naturels (**Chaouche et al., 2013**), (**Haddouchi et al., 2016**). On a également remarqué que les plantes algériennes sont riches en des agents antioxydants efficaces qui combattent efficacement les radicaux libres, ce qui en fait une source intéressante d'antioxydants naturels à des fins médicinales (**Allane & Benamara, 2010**).

Dans ce contexte, l'objectif principal de ce travail est d'étudier *in vitro* le pouvoir antioxydant des extraits aqueux et méthanoliques des parties aériennes d'une plante médicinale du genre *Fagonia* (espèce : *Fagonia bruguieri DC*) de la région Tamanrasset.

Afin d'accomplir cette étude, nous allons le développer en deux parties principales :

- La première partie est consacrée à l'étude bibliographique, elle comporte sur une recherche sur les plantes médicinales et la phytothérapie, ainsi que les métabolites secondaires et la description de plante étudiée.
- La deuxième partie est expérimentale, divisée en deux chapitres : l'un présente les méthodes et les techniques utilisées pour la réalisation de ce travail (extraction et analyse quantitative et les tests de l'activité antioxydant) et l'autre consacré à la présentation et la discussion des résultats obtenus.

Le travail est ponctualisé avec une conclusion et quelques perspectives

CHAPITRE 01 :

APERÇU

BIBLIOGRAPHIQUE DES PLANTES MÉDICINALES

1.1. Introduction

Les plantes médicinales sont prescrites et largement utilisées depuis des milliers d'années pour traiter divers troubles et affections dans les systèmes de phytothérapie traditionnelle du monde entier (Chaachouay et al., 2022). Plus de 80 % de la population mondiale a du mal à se procurer des médicaments synthétiques et compte sur des médicaments traditionnels, principalement d'origine végétale, pour maintenir ses soins de santé (Vinodhini & V, 2018).

L'Algérie est connue pour sa variété de plantes médicinales et aromatiques, dont la majorité se trouvent spontanées et sont couramment utilisées dans toutes les régions du pays. Il existe encore peu d'explorations au niveau phytochimique et pharmacologique.

Les études sur la flore algérienne présentent un intérêt scientifique essentiel dans le domaine de l'ethnobotanique et de la pharmacopée traditionnelle, ainsi qu'un intérêt scientifique appliqué dans le domaine de la valorisation des substances naturelles en raison de leur richesse et de leur originalité.

1.2. Plantes médicinales

1.2.1. Définition

À travers les âges, les humains ont compté sur la nature pour couvrir tous leurs besoins fondamentaux en matière de production de nourriture, d'abris, de vêtements, de transport, d'engrais, d'arômes, de parfums et de médicaments (Beyene et al., 2022). Selon l'Organisation mondiale de la santé, toute plante contenant une substance pouvant être utilisée à des fins thérapeutiques ou qui est un précurseur d'un nouveau médicament semi-synthétique chimio-pharmaceutique est appelée plante médicinale (Dassou et al., 2014). Leur effet découle de leurs composés (métabolites primaires ou secondaires) ou de la synergie entre les différents composés déjà présents.

Il y a une multitude de plantes médicinales disponibles, chacune possédant ses propres propriétés et effets sur le corps. Sur les 250 000 à 500 000 espèces de plantes existantes sur Terre (Tesseraud et al., 1999), plus de 80 000 espèces auraient au moins une certaine valeur médicinale et environ 5 000 espèces ont une valeur thérapeutique spécifique, ce qui signifie que près de 25 % de toutes les espèces végétales ont une sorte de vertu médicinale utilisée quelque part dans le monde (Sharma et al., 2015).

1.2.2. Pouvoir des plantes médicinales

Les plantes médicinales sont des végétaux qui sont employés dans le but de traiter ou de soulager différents troubles de santé. Depuis le XVIII^e siècle, l'extraction et la séparation des produits chimiques qu'ils renfermaient, les plantes et leurs effets étaient considérés comme leurs composants actifs. Il est crucial de donner une description précise des principaux composés actifs présents dans les plantes médicinales, ainsi que d'expliquer la nature de leurs effets. Il est crucial de trouver des composés actifs provenant de plantes, car cela encourage la création de médicaments indispensables (**Pujol et al., 2008**). Elles sont employées de diverses façons, telles que la décoction, l'infusion et la macération. On peut utiliser une ou plusieurs parties d'entre elles, telles que les racines, les feuilles et les fleurs.

De nos jours, l'industrie pharmaceutique utilise de plus en plus les plantes. Il est difficile d'imaginer le monde sans la quinine (dérivée du genre *Cinchona*), qui est employée contre la malaria, sans la digoxine (du genre *Digitalis*), qui soigne le cœur, ou encore l'éphédrine (du genre *Ephedra*), que l'on retrouve dans de nombreuses prescriptions contre les rhumes. Ces trois plantes, ainsi que de nombreuses autres, sont couramment employées dans la médecine classique (**Pujol et al., 2008**).

1.2.3. Cueillette des plantes médicinales et leur conservation

1.2.3.1. Cueillette

Il est essentiel de collecter les plantes médicinales au moment opportun de l'année afin de garantir la qualité optimale des matières premières et des produits finis. Pour déterminer les caractéristiques des plantes, il est essentiel de prendre en compte la partie, la forme, la couleur, la nature et la saveur utilisée lors de la cueillette (**George et al., 1995**). Il est important de choisir le moment optimal pour récolter (saison de pointe/heure de la journée) en se basant sur la qualité et la quantité des composants biologiquement actifs, plutôt que sur le rendement végétatif total des parties de plantes médicinales ciblées pendant la culture. Il est crucial de s'assurer que les plantes médicinales récoltées ne contiennent aucune substance étrangère, mauvaise herbe ou plante vénéneuse (**Das et al., 2014**).

1.2.3.2. Séchage

Les matières premières médicinales sont conservées de manière simple et économique grâce au séchage, ce qui assure la sécurité de presque toutes les substances biologiquement actives. La méthode de séchage au soleil est la plus facile et économique, principalement employée pour les racines, les tiges, les graines et les fruits. Il est conseillé de sécher les feuilles et les

fleurs à l'ombre, car les feuilles vertes qui sont séchées au soleil deviennent jaunes et les pétales de fleurs perdent leur éclat, ce qui peut compromettre les propriétés médicinales de ces produits. Il est important de ne pas exposer les plantes aromatiques au soleil pendant une durée excessive afin de préserver leur odeur /saveur (**Djeddi et al., 2012**). Pour assurer une bonne dessiccation des plantes aromatiques ou des plantes contenant des huiles essentielles, la température maximale autorisée est de 30 °C ; dans d'autres situations, la température de dessiccation peut fluctuer de 15 à 70 °C (**Delille et al., 2007**).

1.2.3.3. Conservation et stockage

Il est essentiel de bien sécher les plantes afin d'éviter les moisissures et les larves. Il est possible de stocker les éléments de la plante dans des bouteilles en verre, des sacs en papier, en tissu ou en kraft (**Lawin et al., 2016**). Il est indispensable d'utiliser cette méthode pour les plantes qui sont soumises à une transformation chimique en raison de l'exposition à la lumière ultraviolette. Les plantes contenant des substances volatiles et qui s'oxydent rapidement sont conservées dans un environnement fermé (**Djeddi et al., 2012**); (**Delille et al., 2007**).

1.2.4. La phytothérapie traditionnelle

La phytothérapie, également connue sous le nom de médecine par les plantes, englobe tous les traitements thérapeutiques qui utilisent directement des substances végétales (**López-Bueno et al., 2020**). Ce mot vient du grec "phyton" qui signifie "plante" et "therapein" qui signifie "soins" (**Gazengel & Orecchioni, 2013**). La médecine traditionnelle, telle qu'elle est définie par l'Organisation mondiale de la santé, est «la somme totale des connaissances, des compétences et des pratiques qui sont fondées sur les théories, les croyances et les expériences autochtones de différentes cultures, explicables ou non, utilisées dans le maintien d'une santé, ainsi que dans la prévention, le diagnostic, l'amélioration ou le traitement des maladies physiques et mentales» (**Nabere et al., 2019**). En phytothérapie, on consomme les plantes telles quelles (en les infusant) ou après avoir été transformées (extraits, médicaments à base de plantes...) (**Gazengel & Orecchioni, 2013**).

Aujourd'hui, la reconnaissance des multiples effets secondaires et indésirables des médicaments chimiques fait renaître une certaine réticence envers ces produits ((**Moussaoui et al., 2014**). Le fait que les plantes possèdent des propriétés médicinales peut être attribué au fait qu'elles produisent des métabolites secondaires pour leur survie et celle des organismes

qui s'en nourrissent. Les plantes produisent d'autres métabolites secondaires à partir de ces métabolites primaires (Gakuya et al., 2020).

1.2.5. Métabolites secondaires

Selon Albrecht Kossel en 1891, le mot « métabolite secondaire » est employé pour décrire une large gamme de substances chimiques produites par des organismes vivants, comme les plantes, les animaux et les micro-organismes (Maz et al., 2021). Ces derniers, n'est pas directement influencée par les métabolites secondaires, ils jouent un rôle essentiel dans les interactions de la plante avec son milieu. Ainsi, ils la préservent des attaques de champignons, de bactéries, d'insectes et d'animaux. Les molécules actives ont été identifiées dans ce groupe de métabolites (Smallfield et al., 2001).

Outre leurs conséquences sur le fonctionnement des plantes, ces molécules constituent une source essentielle de substances intéressantes pour l'être humain. Leurs applications concernent des domaines aussi variés tels que les principes actifs pharmaceutiques, les produits cosmétiques et les additifs alimentaires.

De nos jours, le nombre de nouvelles molécules identifiées parmi ces composés ne cesse d'augmenter. Selon la voie de biosynthèse on peut les diviser en quatre groupes :

- Les composés phénoliques (comme les acides phénoliques, les flavonoïdes, les quinones).
- Les alcaloïdes.
- Les terpénoïdes et stéroïdes (comme les monoterpènes, les sesquiterpènes, les diterpènes, les saponines, les limonoïdes, les cucurbitacines, les cardénolides, les caroténoïdes, les phytoecdystéroïdes) ;
- Les glucosides (incluant les glucosinolates et les glucosides cyanogéniques) (Figure 01)

Chaque groupe contient une grande variété de composés ayant une très grande variété d'activités en biologie (Calatayud et al., 2013).

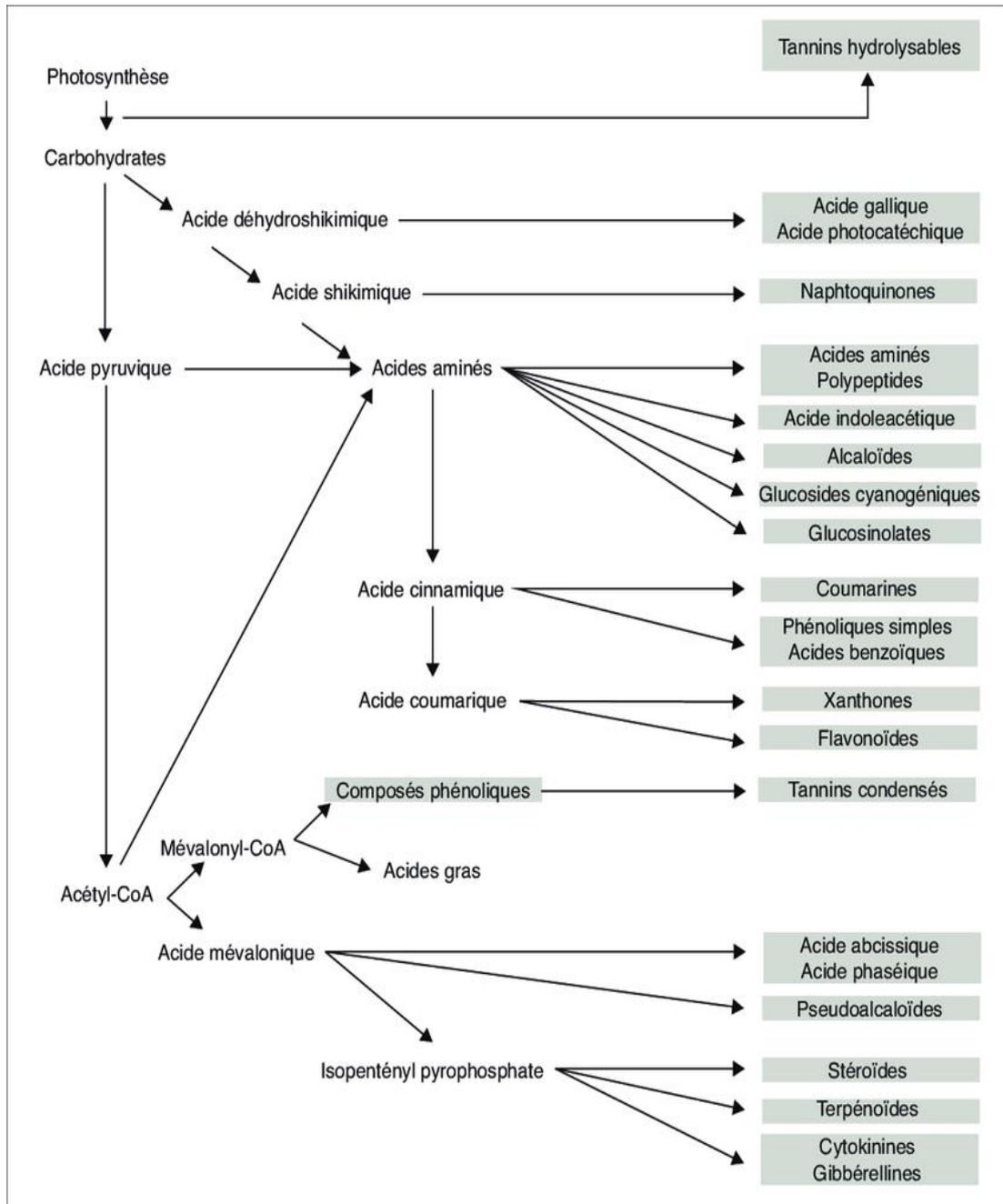


Figure 1: Voies principales de synthèse des composés secondaires chez les plantes (Schoonhoven et al., 2005) .

1.2.6. Classification des composés phénolique

Les composés phénoliques constituent une famille de molécules organiques présentes dans les plantes, allant des racines jusqu'aux fruits, faisant donc une partie intégrante de notre alimentation. En tant que métabolites secondaires, ces composés n'exercent aucune fonction directe au niveau des activités fondamentales de l'organisme végétal.

La caractéristique structurelle commune de toutes ces substances est l'existence d'au moins un noyau benzénique directement lié à au moins un groupe hydroxyle, qu'il soit libre ou remplissant une autre fonction : éther, ester ou hétéroside (Fournet et al., 1993). Les noyaux aromatiques peuvent être synthétisés par deux voies d'élaboration, la voie shikimates ou la voie polyacétates pour des composés possédant déjà un noyau aromatique obtenu par la voie des shikimates. Les structures de base des composés phénoliques permettent de les classer en différentes classes, dont les plus importantes sont les tanins, les flavonoïdes et les acides phénoliques (El Gharras, 2009).

1.2.6.1. Les flavonoïdes

Le terme « flavonoïde » est utilisé pour désigner un groupe largement diversifié de composés naturellement présents, membres de la classe des polyphénols (Kahrarian et al., 2021). Ces substances ont un faible poids moléculaire et ont toutes la même structure fondamentale, qui se compose de 15 atomes de carbone regroupés en trois cycles de $C_6-C_3-C_6$: A, B et C, dont chacun a un ou plusieurs groupes hydroxyle en tant que substituant (Chira et al., 2008);

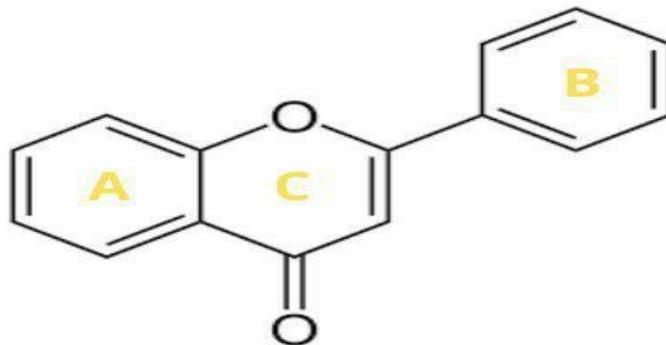


Figure 2: Structure de base d'un flavonoïde (Ghedira, 2005).

La flavone est la source des flavonoïdes (Karaköse et al., 2015). Divers types de flavonoïdes peuvent être distingués en fonction du degré d'oxydation du cycle hétérocyclique central C, du degré d'insaturation et des positions des groupes hydroxyle sur les noyaux A et B. Les groupes les plus largement rapportés et bien caractérisés sont les suivants : flavonoïdes, flavanones, isoflavones, flavonols, flavones anthocyanidines et les chalcones (Chira et al., 2008).

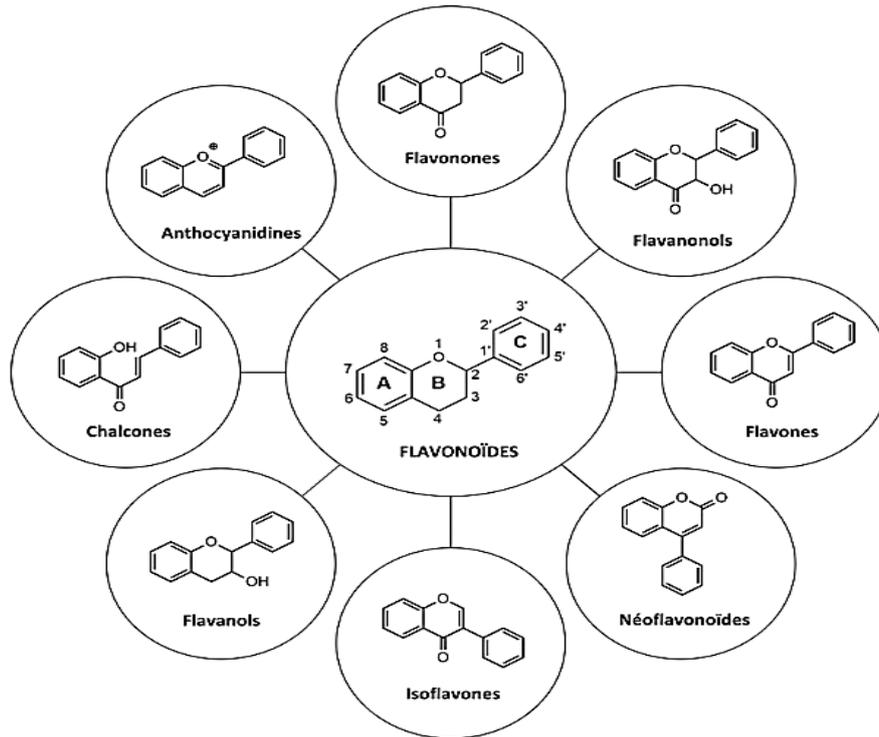


Figure 3: Différentes classes de flavonoïdes.

1.2.6.2. Les tanins

Les tanins sont une classe de polyphénols qui possèdent un poids moléculaire élevé et peuvent être trouvés dans presque toutes les parties d'une plante, y compris l'écorce, le bois, les feuilles et les racines (**Ross & Kasum, 2002**). Ces substances sont des molécules hautement hydroxylées qui, lorsqu'elles sont couplées avec des glucides, des protéines et des enzymes digestives, peuvent former des complexes insolubles qui diminuent la digestibilité (**Ahmed Refat et al., 2008**). Ils sont classés selon leur réactivité chimique et leur composition en deux grands groupes : les tanins hydrolysables et les tanins condensés (**Szczurek et al., 2011**).

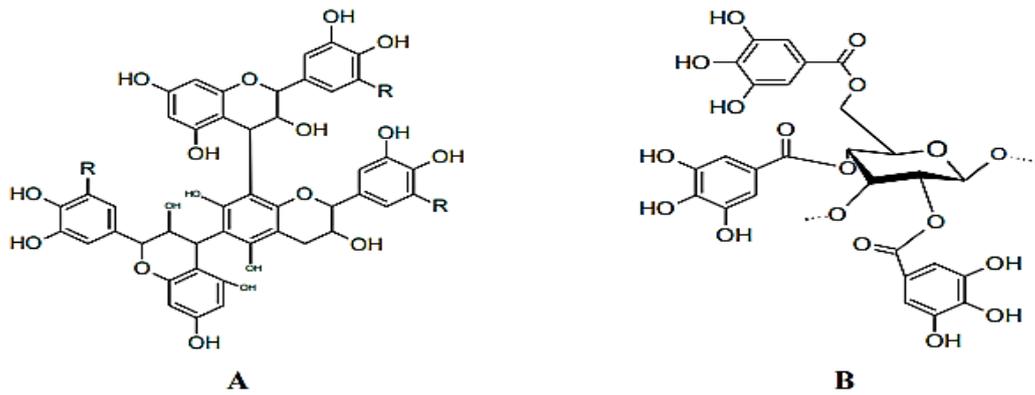


Figure 4: Structure de base des tanins. A : Tanins condensés. B : Tanins hydrolysables.

1.2.6.3. Acides phénoliques

Les acides-phénols sont une classe de composés organiques caractérisés par la présence à la fois d'une fonction carboxylique et d'un groupe hydroxyle phénolique. Ils dérivent de l'acide benzoïque et de l'acide cinnamique (Di Vaira et al., 2004a). On les retrouve dans de nombreuses plantes médicinales et aliments et contribue à leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires.

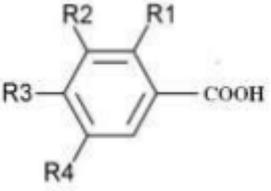
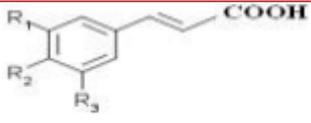
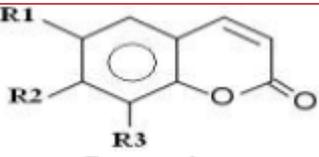
✓ Dérivés de l'acide hydroxybenzoïque (C_6-C_1)

Ces acides peuvent se présenter à l'état libre ou en étant combinés en ester ou en hétérosides ((Di Vaira et al., 2004a). Les épices, les fraises, certains fruits rouges et l'oignon peuvent contenir des quantités de milligrammes supplémentaires par kilogramme de fruits frais (Haoui et al., 2015). L'acide hydroxybenzoïque, l'acide protocatéchique, l'acide vanillique, l'acide gallique et l'acide salicylique sont les acides hydroxybenzoïques les plus courants dans les plantes.

✓ Dérivés de l'acide hydroxycinnamique (C_6-C_3)

Ces composés, qui sont rarement libres, peuvent être estérifiés (Hasadsri et al., 2013), amidifiés ou associés à des sucres (O-acylglucosides) ou des polyols tels que l'acide quinique (Di Vaira et al., 2004). En réalité, l'acide caféique est le représentant principal de cette catégorie.

Tableau 1: Principaux types des acides phénoliques et des coumarines. (Sarmi-Manchado et Cheymer, 2006).

<i>Structure</i>	R_1	R_2	R_3	R_4	Acide phénolique
 <p><i>Ac hydroxy-benzoïque</i></p>	H	H	H	H	Acide benzoïque
	H	OCH ₃	OH	H	Acide vanilique
	H	OH	OH	OH	Acide gallique
	OH	H	H	H	Acide salicylique
 <p><i>Ac hydroxy-cinnamique</i></p>	H	H	H	/	Acide cinnamique
	OH	OH	H	/	Acide caféique
 <p><i>Coumarines</i></p>	H	OH	OH	/	Daphnétole
	OHC ₃	OH	OH	/	Fraxétol

CHAPITRE 02 :
DESCRIPTION DE LA
PLANTE ÉTUDIÉ

2.1. Introduction

Ce passage met en évidence l'intérêt considérable pour des plantes médicinales du genre *Fagonia*, en se concentrant particulièrement sur *Fagonia bruguieri* DC (afessour). Également connue sous le nom de *F. echinella* Boiss. Cette espèce, originaire de la région saharo-arabe, est importante pour le peuple Touareg du Sud de l'Algérie (Farah et al., 2015).

2.2. *Fagonia bruguieri* DC

Fagonia bruguieri DC (afessour) est une plante vivace de petite taille, d'un vert pâle, couchée, pouvant atteindre une hauteur maximale de 20 cm et avec de nombreuses branches (Beier et al., 2004).



Figure 5: *Fagonia bruguieri* DC (Rabei et al., 2021).

Caractéristiques les espèces de *Fagonia*:

- ✚ Généralement minimes ; épineuses sous haie ; sorbets ou herbes, dressées, plus et moins granuleuses, branches malin, terete, strié et glabre.
- ✚ Feuilles inverses, 1-3 foliées; pétioles entièrement longs, de 3 à 30 mm de long, profondément striés, extrêmement mince; stipules 2 séries de chardons minces et

pointus, de temps en temps supérieurs à 60-100 cm et jusqu'à environ 100 cm de large (Khattak, 2012).

2.3. Classification systématique

Règne: Plantae

Sous-Règne: Viridiplantae

Division: Magnoliophyte

Classe: Magnoliopsida

Ordre: Zygophyllales

Famille: *Zygophyllacées*

Sous-famille: *Zygophylloideae*

Tribu: *Zygophyllacées*

Genre: *Fagonia*.

Espèce: *Fagonia bruguieri* DC.

Noms vernaculaires: *F. echinella* Boiss

Nom commun : afessour

2.4. Distribution géographique

Fagonia bruguieri DC (afessour) est une espèce originaire du nord du Sahara qui se rencontre dans tout le désert du Sahara. *F.bruguieri* DC, se trouve en Mauritanie, à l'Ouest et à l'Est de l'Égypte et dans la zone de transition en Afrique (Ozenda, 1983).

Depuis le Sahel jusqu'au Sud. Il est répandu dans l'ensemble de l'Afghanistan et du Pakistan (Beier et al., 2004).

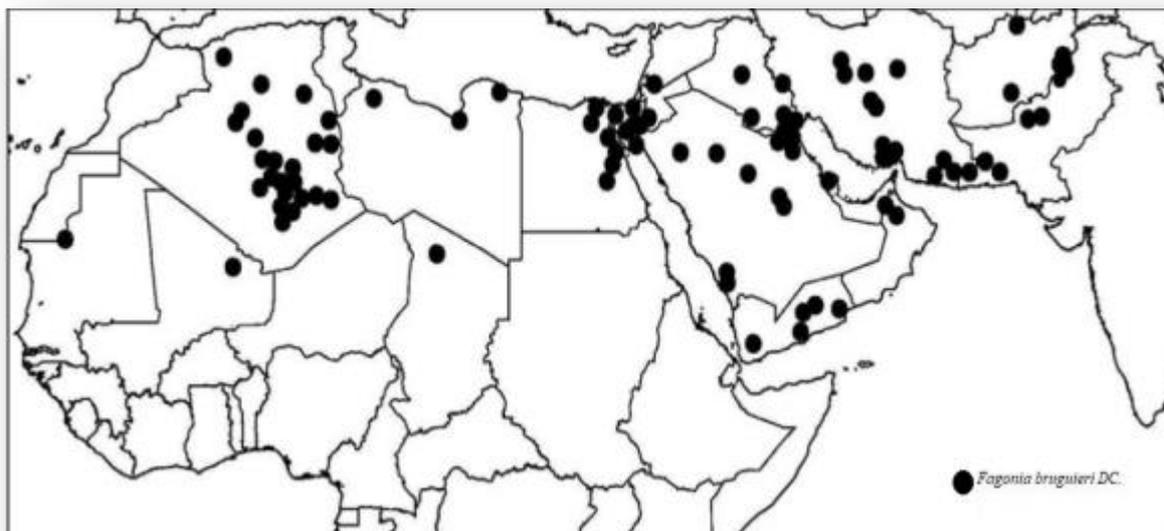


Figure 6: Répartition de *Fagonia bruguieri* DC (Beier et al., 2004).

2.5. Propriétés médicinales

Les variétés de *Fagonia* sont couramment utilisées dans la médecine traditionnelle en tant que remèdes populaires pour diverses affections de la peau. Dans la région du Hoggar en Algérie, les habitants locaux de Tamanrasset se servent d'une décoction de feuilles pour soigner la jaunisse, les troubles digestifs, l'anémie et les maladies rénales (Meynard et al., 2009).

CHAPITRE 03 :
PARTIE
EXPÉRIMENTALE

3.1. Introduction

Notre travail a porté sur l'étude des parties aériennes de l'espèce *Fagonia bruguieri* DC, ainsi que l'évaluation des activités antioxydants. Cette étude a été réalisée au niveau de laboratoire pédagogique de la faculté de science de la nature et de la vie, Université de Ghardaïa.

L'identité et la systématique de la plante ont été confirmées par REJANI Abdelmalek, Professeur à l'université de Tamanrasset. L'extrait étudiée a été préparé à partir de la partie aérienne (feuilles, fleurs) de *Fagonia Bruguieri* DC.

La récolte de la plante a été réalisée pendant la saison de floraison en mars 2018 dans les régions d'Oued Tifouguine, Tamanrasset – Algérie (22°47'13" N, 5°31'38" E), dans le désert du Sahara.

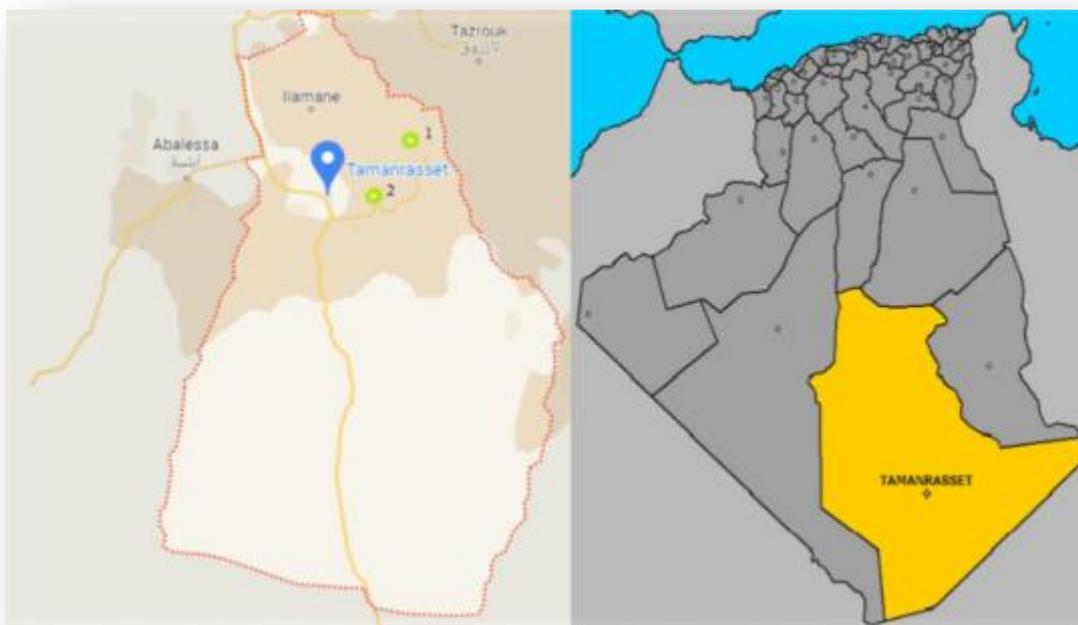


Figure 7: Situation géographique des collectes, Tamanrasset (Hoggar) - Algérie.

L'ensemble du matériel et d'appareillage utilisés au cours de ce travail est résumé dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2: Liste des produits chimiques utilisés pendant la manipulation.

Les solvants	Les réactifs
L'éther de pétrole, Méthanol, L'eau distillée	Folin-Ciocalteu, Carbonate de sodium, Acide gallique, Trichlorure d'aluminium, Quercétine, Vanilline, Acide chlorhydrique, Catéchine, L'acide Trichloracétique (TCA), Ferricyanure de potassium, hydrogénophosphate de sodium (Na_2HPO_4), dihydrogénophosphate de sodium (NaH_2PO_4), Chlorure de fer (III), DPPH, acide sulfurique, molybdate d'ammonium, ABTS, persulfate de potassium ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$).

3.2. Préparation de l'extrait

La matière végétale hachée a été préparée pour être trempée dans deux solvants afin d'extraire les principes actifs. Pour ce faire, en utilisant 50g de notre l'échantillon, ainsi que 240 ml d'éther de pétrole et 160 ml d'un mélange hydro alcoolique (méthanol/eau distillée ; 100/60 ; V/V). Cette extraction solide-liquide a été effectuée par macération à froid ; une fois pendant 24h dans l'éther de pétrole puis deux fois pendant 48h dans un mélange hydro alcoolique (méthanol/eau distillée). Le macérât obtenus a été filtré à l'aide de l'appareil de filtration sous vide puis il a été concentré en utilisant un évaporateur rotatif.

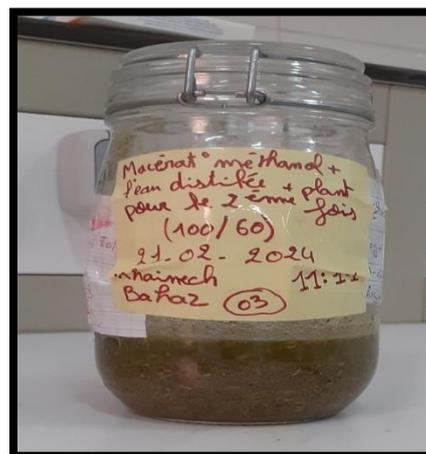
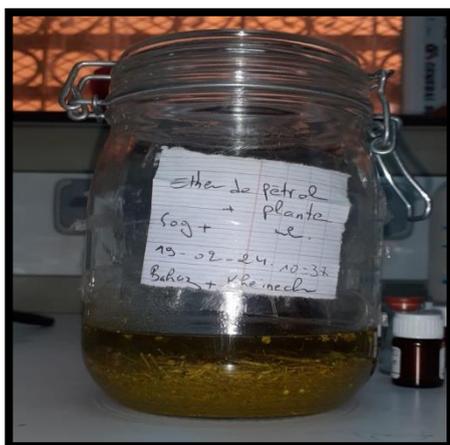
**Figure 8: Extraction de la plante par macération.**



Figure 9: Filtration et concentration de l'extrait.

3.3. Plan d'expérimentation

La figure ci-dessous présente le schéma global utilisé pour mener cette étude :



Schéma général du protocole expérimental.

3.4. Méthodes de caractérisation quantitative

Les métabolites secondaires ont été quantifiés à l'aide de la spectrophotométrie, une méthode qui évalue l'absorbance d'une substance chimique en solution pour évaluer la concentration de l'espèce colorée présente. L'absorbance dans cette méthode est proportionnellement à la concentration de la substance.

3.4.1. Dosage des polyphénols

La méthode Singleton et Rossi a été utilisée pour mesurer le dosage de composés phénoliques (Chang et al., 2001). On a mélangé 0,1 ml d'extrait dilué 20 fois avec 0,5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu dilué 10 fois, puis on a incubé à température ambiante pendant 5 minutes. Une fois que 0,2 ml de solution de carbonate de sodium de 20% ont été ajoutés au mélange, les polyphénols totaux ont été mesurés après une incubation de 30 minutes à température ambiante. On a mesuré l'absorbance de la couleur obtenue à une longueur maximale de 760 nm. La mesure a été réalisée à l'aide de la courbe standard de l'acide gallique. On a utilisé un gramme d'équivalents d'acide gallique (EAG/g d'extrait) comme étalon pour exprimer les résultats. Le blanc est composé de 0,1 ml de H_2O_2 et de 0,5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu dilué à 10 fois.

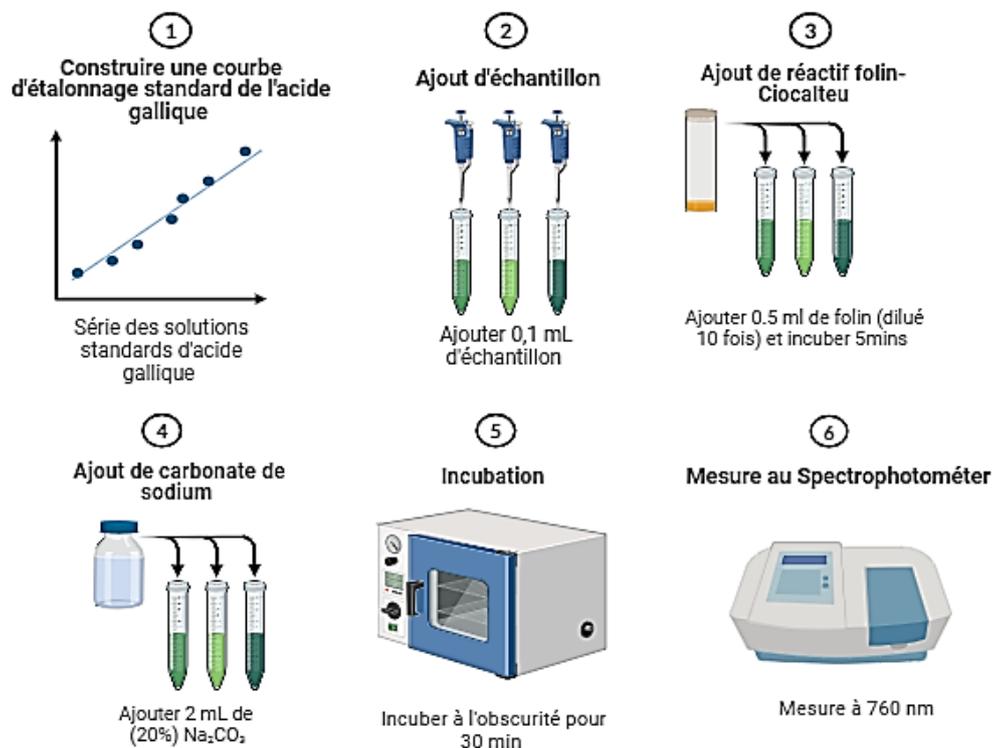


Figure 10: Étapes de dosage des polyphénols totaux.

3.4.2. Dosage des flavonoïdes totaux

Les flavonoïdes ont été quantifiés en utilisant la méthode du trichlorure d'aluminium (AlCl_3) (Wang et al., 2008). On incorpore 0,5 ml de l'extrait dilué 20 fois à 0,5 ml de la solution d' AlCl_3 (2 % dissous dans le méthanol). Après 30 minutes, on a évalué l'absorbance par rapport au blanc, préparé à partir de 0,5 ml de réactif et 0,5 ml d'eau, à une longueur maximale de 415 nm. On a calculé les concentrations des flavonoïdes en utilisant la gamme de la courbe d'étalonnage établie avec la quercétine. On a exprimé les résultats en utilisant un gramme d'équivalents de quercétine (EQ/g d'extrait) comme étalon.

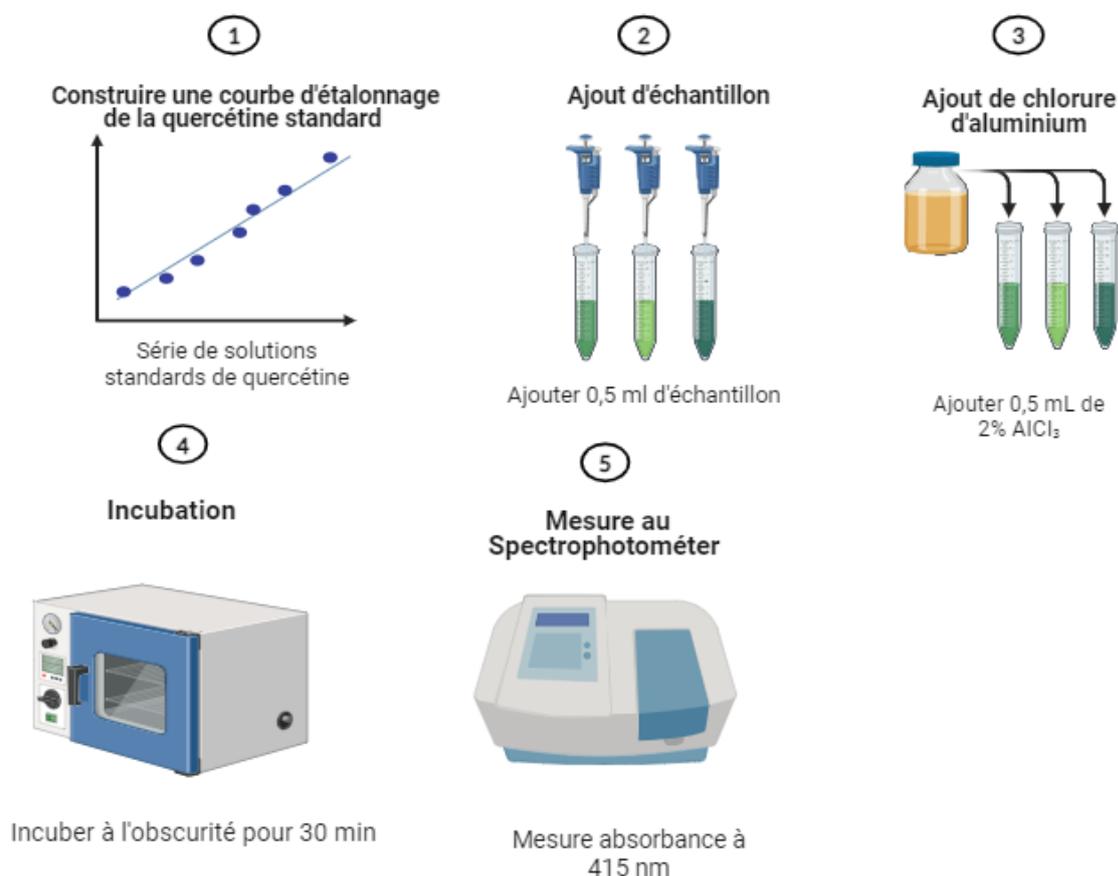


Figure 11: Étapes de dosage des flavonoïdes totaux.

3.4.3. Dosage des tanins condensés

Le dosage des tanins a été réalisé par la méthode de la vanilline en milieu acide (Mariem et al., 2014). On a mélangé l'extrait de 0,2 ml avec 1,5 ml de solution de vanilline (2 % préparée dans l'éthanol) et on a ajouté 0,75 ml de HCl commercial à 0,2 ml de l'extrait. Les tanins ont été quantifiés après une incubation de 15 minutes à température ambiante. On a mesuré

l'absorbance de la couleur obtenue à une longueur maximale de 500 nm. On a effectué la quantification en se basant sur la courbe standard de catéchine. Les résultats sont exprimés à l'aide d'un gramme d'équivalents de catéchine (EC/g d'extrait). Le blanc est composé de 0,2 ml de H₂O₂ et de 1,5 ml de solution de vanilline (2 % préparée dans de l'éthanol).

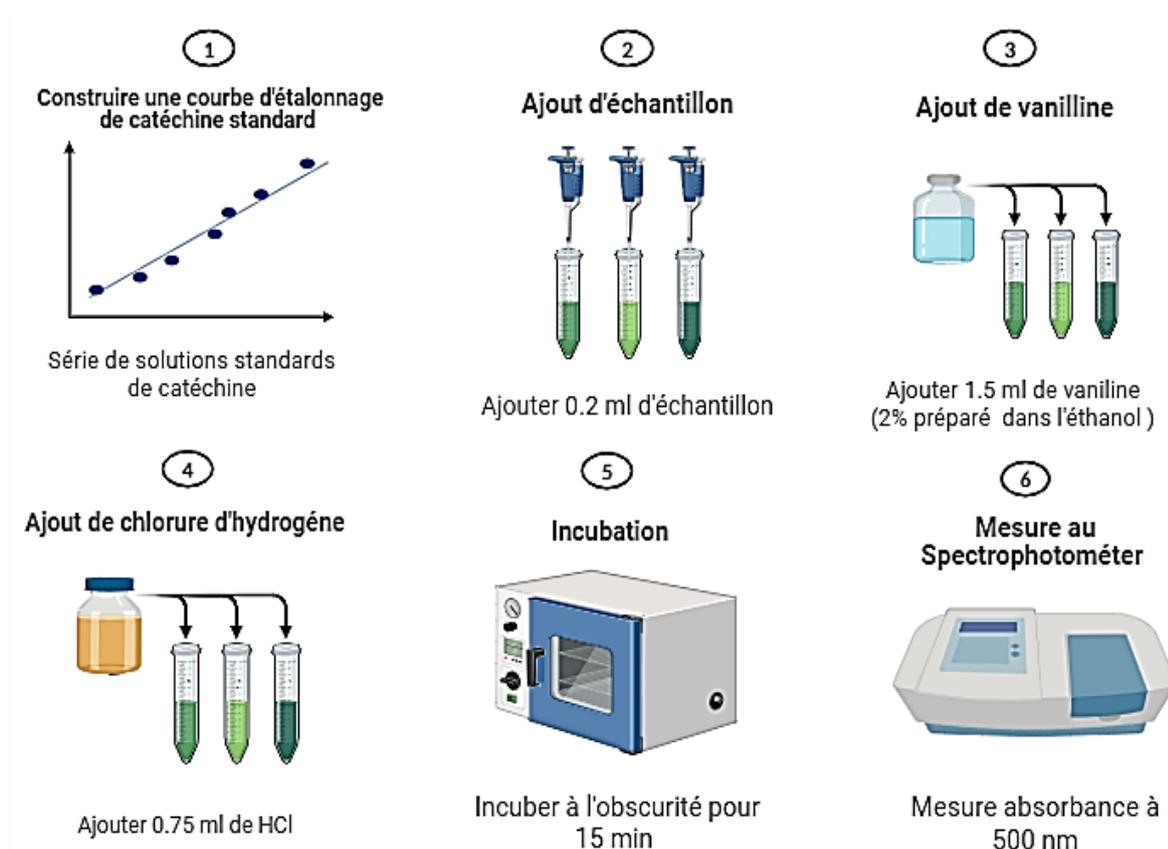


Figure 12: Étapes de dosage des tanins condensés.

3.5. Méthodes d'évaluation des activités antioxydantes *in vitro*

3.5.1. Test de piégeage du radical DPPH

La méthode DPPH (diphénylpicrylhydrazyl) est couramment employée pour évaluer l'activité antioxydante.

Effectivement, le DPPH se distingue par son aptitude à générer des radicaux libres stables. La stabilité est attribuable à la migration des électrons libres à l'intérieur de la molécule. En présence de ces radicaux DPPH[•], la solution se colore d'un violet foncé. Selon, la diminution des radicaux DPPH[•] par un agent antioxydant provoque une décoloration de la solution. La spectrophotométrie à 517 nm permet de surveiller le changement de couleur, ce qui permet de

déterminer le potentiel antioxydant d'une substance ou d'un extrait de plante (**Benmehdi et al., 2017**).

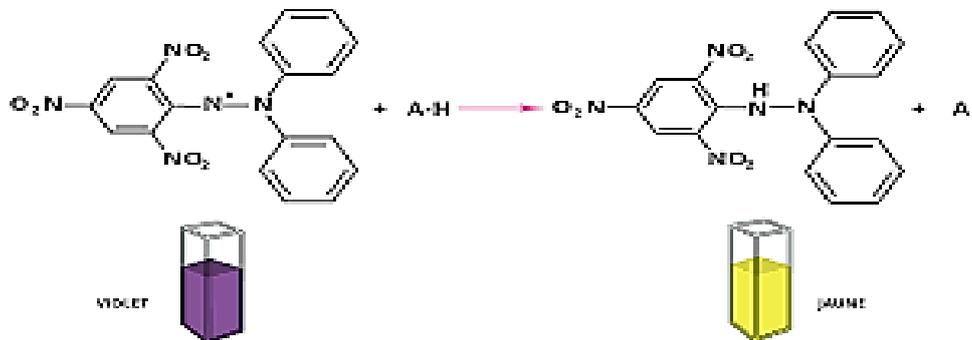


Figure13: Equation du radical DPPH' transformé en DPPH.

La méthode basée sur le DPPH (2,2-diphényl-2-picrylhydrazyl) a été utilisée pour étudier l'activité anti-radicalaire de l'extrait de *F. bruguieri DC*. Brièvement, la solution de DPPH a été préparée par la solubilisation de 2 mg de DPPH dans 50 ml de méthanol (**Sanchez-Moreno, 2002**). Une série de dilution est préparée pour l'extrait méthanolique. On incorpore 0.5 ml de solution de DPPH à 0.5 ml de l'extrait. Le mélange a été protégé à l'ombre et à une température ambiante pendant une durée de 30 minutes. La mesure spectrophotométrie se fait à une longueur d'onde de 517nm. La réaction est contrôlée négativement en utilisant 0.5 ml de méthanol et 0.5 ml de solution de DPPH. Alpha tocophérol est utilisé en tant qu'antioxydant standard (**Hsu et al., 2006**). Le test a été répété trois fois.

Le pouvoir anti radicalaire est définie comme la concentration de l'inhibiteur nécessaire pour diminuer 50% des radicaux libres IC_{50} . La relation d'inhibition a été calculée en pourcentage (I %) de la manière suivante:

$$I \% = [(A_{\text{blanc}} - A_{\text{échantillon}}) / A_{\text{blanc}}] \times 100.$$

A_{blanc}: Absorbance moyenne du radical seul (blanc).

A_{échantillon}: Absorbance du radical libre en présence d'antioxydant après 30 minutes de contact.

I%: pourcentage d'inhibition.

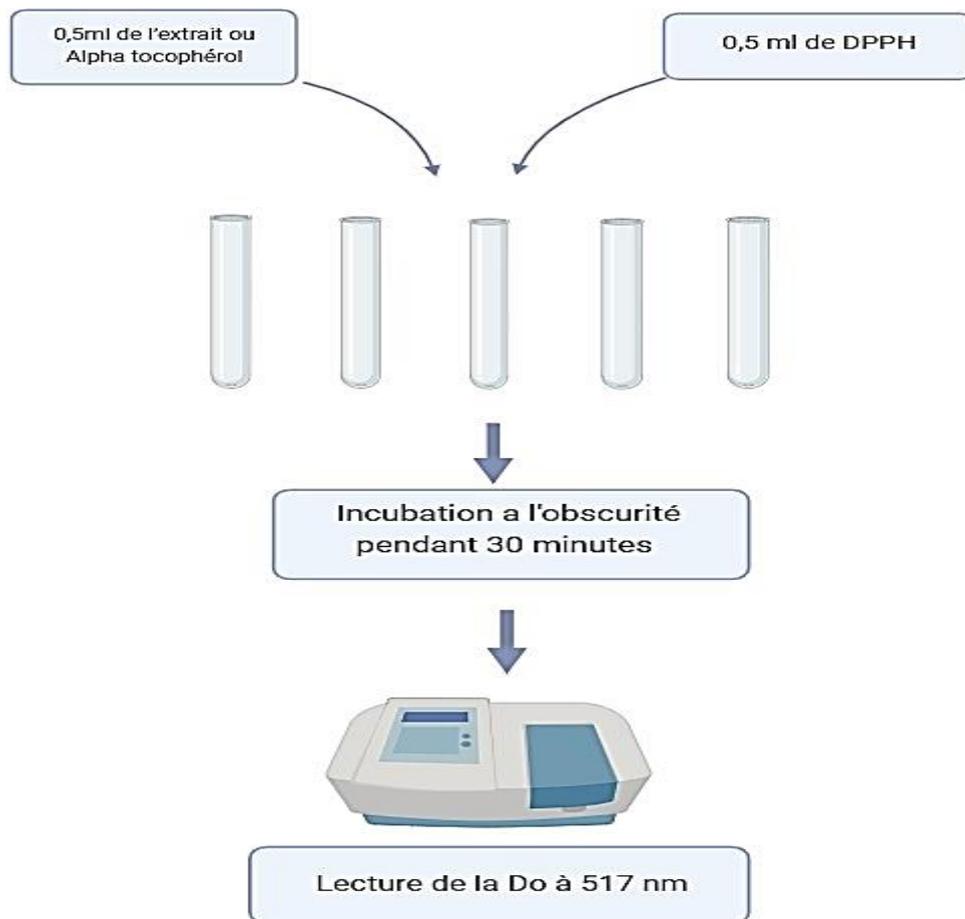


Figure 14: Protocole du test DPPH

3.5.2. Évaluation de test du piégeage du cation radical ABTS⁺

La détection de l'activité antioxydante par piégeage du radical ABTS est l'une des méthodes les plus couramment utilisées. Elle est basée sur la neutralisation d'un radical cationique (Sun et al., 2010).

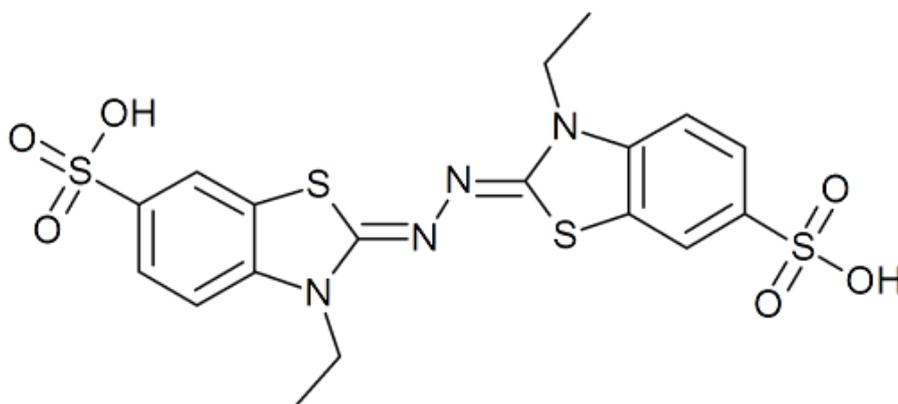


Figure 15: Structure chimique du radical ABTS (forme stable).

Le 2,2'-azino-bis (acide 3-éthyl-benzothiazoline-6-sulfonique) est un cation radical qui se forme facilement par oxydation avec du persulfate de potassium ($K_2S_2O_8$), ce qui donne une solution de couleur bleu-vert. En ajoutant un antioxydant à la solution radicalaire d'ABTS⁺, ce radical est réduit et l'absorbance diminue. Lorsqu'un antioxydant est ajouté à une solution contenant ces cations radicaux, l'absorbance à 734 nm diminue. La réduction est souvent influencée par le temps, la concentration et l'activité antioxydante des échantillons étudiés (Hall & Reet, 2000).

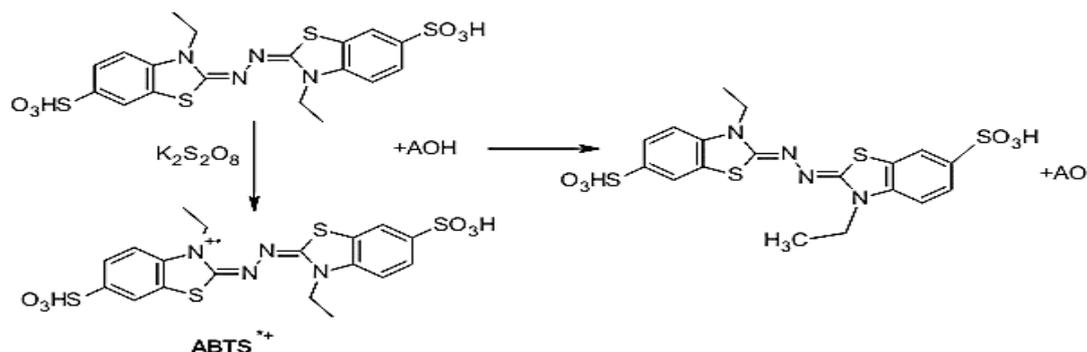


Figure 16: Formation et piégeage du radical ABTS^{•+} par un donneur antioxydant de H[•]

Selon la procédure décrite par (Re et al., 1999), l'étude de l'extrait de *F. Bruguieri DC* a été réalisée afin de tester leur capacité à éliminer les radicaux libres en présence d'ABTS. On prépare une solution aqueuse contenant 19,02 mg d'ABTS et 3,03 mg de persulfate de potassium ($K_2S_2O_8$) dans 10 ml d'eau distillée. Cette solution est incubée à l'obscurité pendant 16 h à température ambiante. Ce laps de temps permet la formation du radical ABTS^{•+}. L'ABTS^{•+} a été diluée avec l'eau distillée jusqu'à l'obtention d'une absorbance de 0,7 à 734 nm, la solution ainsi obtenue est bleu verte. Un volume de 0,5ml de la solution d'ABTS^{•+} est ajouté à l'extrait (à différentes concentrations). Un blanc sans échantillon est préparé dans les mêmes conditions. L'absorbance a été lue à 734 nm en utilisant un spectrophotomètre UV/visible après 10 min d'incubation à l'obscurité. L'hydroxyanisolbutylé (BHA) et le butylhydroxytoluène (BHT) ont utilisés comme un antioxydant standard et le test a été répété trois fois.

L'équation suivante a été utilisée pour calculer le pourcentage d'inhibition d'ABTS^{•+} :

$$\% \text{ Inhibition} = \left[\frac{(\text{Abs}_{\text{témoin}} - \text{Abs}_{\text{échantillon}})}{\text{Abs}_{\text{témoin}}} \right] \times 100$$

Abs_{témoin} : Absorbance du témoin.

Abs échantillon : Absorbance de l'échantillon

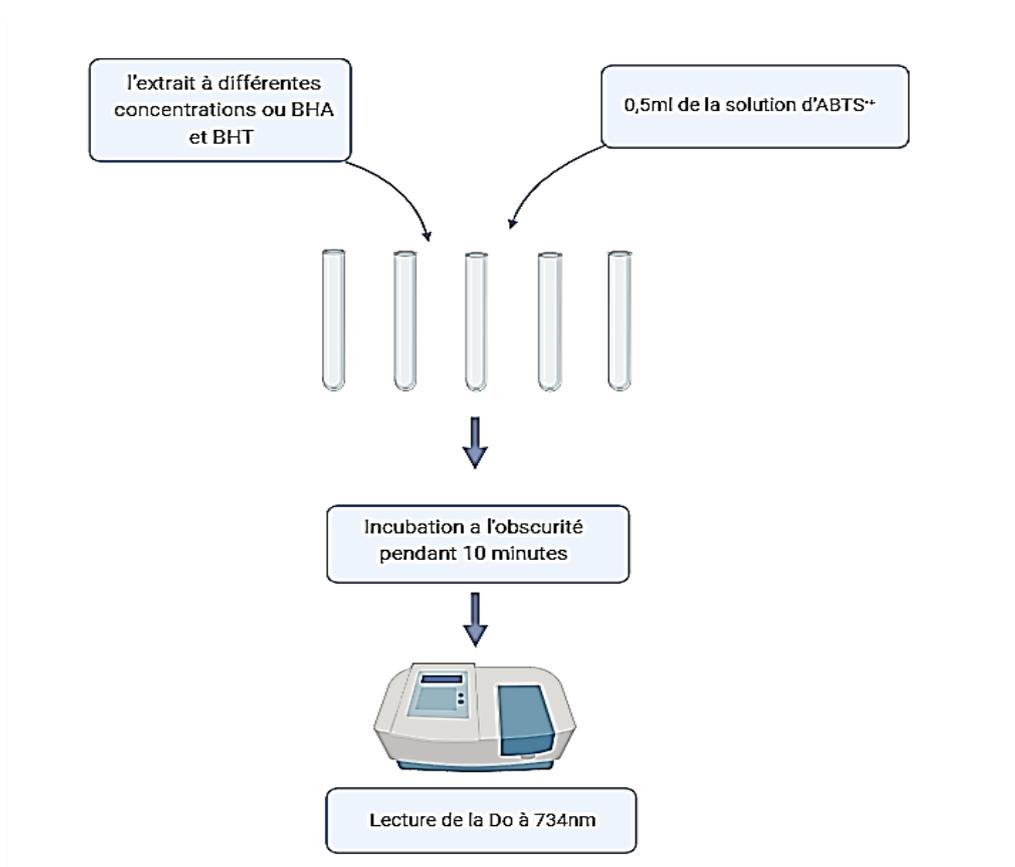


Figure 17: Protocole récapitulatif du test de test du piégeage du cation radical ABTS⁺

3.5.3. Test du pouvoir réducteur de fer

On nomme pouvoir réducteur la capacité d'un antioxydant à transporter un électron ou à libérer un atome d'hydrogène (Turksitha & al, 2018). Le test FRAP (Ferric Reducing Antioxydant Power) permet d'évaluer cette capacité de réduction en utilisant une réaction colorimétrique qui se manifeste par une modification de couleur.

Le principe de cette méthode repose sur la capacité des antioxydants présents dans notre extrait à réagir avec le ferricyanure de potassium Fe^{+3} pour former le ferrucyanure de potassium Fe^{+2} (Khalid et al., 2011); il s'agit de la forme la plus stable du fer (Benmohamed et al., 2023), qui réagit ensuite avec le chlorure ferrique ($FeCl_3$) pour former un complexe ferrique ferreux d'un bleu-vert. L'intensité de cette couleur dépend du pouvoir réducteur de chaque extrait à différentes concentrations. La détection spectrophotométrique permet de le déterminer comme ayant une absorbance à 700 nm. Ainsi, la constitution de ce complexe

mettra en évidence le pouvoir réducteur qui reflète la capacité antioxydant d'un composé (Benmehdi et al., 2017).

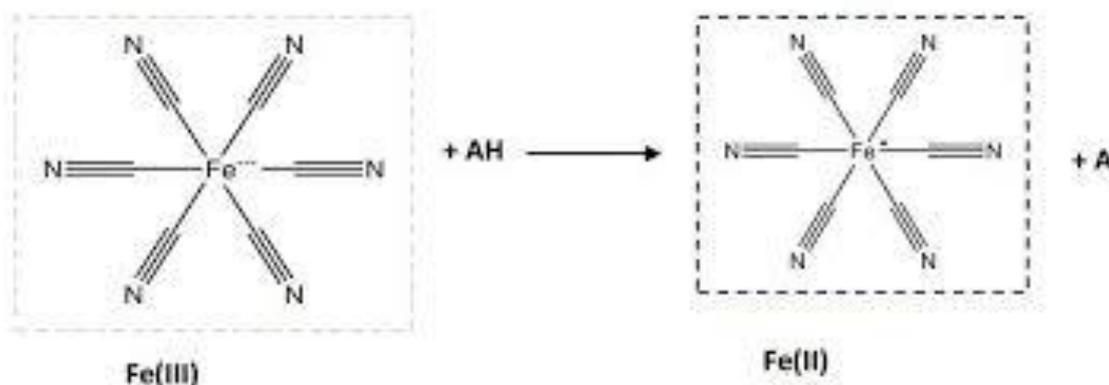


Figure 18: Réduction de Fe^{+3} par un antioxydant dans le test du pouvoir réducteur.

Le pouvoir réducteur de l'extrait de *F. Bruguieri DC* a été déterminé selon la méthode décrite par (Oyaizu et al., 1986). Un volume de 1 ml de l'extrait (diluée 95%) est ajouté à 1,5 ml du tampon phosphate (pH 6,6) et à 1,5 ml de ferricyanure de potassium [$K_3Fe(CN)_6$] (1%). Après agitation, le mélange est incubé dans un bain-marie pendant 30 minutes à 50°C, puis 1,5 ml d'acide trichloracétique TCA (10%) sont additionnés à la solution. Un volume de 1,5 ml du mélange est prélevé et additionné de 1,5 ml d'eau distillée et 0,25 ml du chlorure ferrique $FeCl_3$ (0.1%) (Sagbo et al., 2017). Un blanc sans échantillon est préparé dans les mêmes conditions. L'absorbance est mesurée à 700 nm contre un courbe étalon d'acide ascorbique comme standard et le test a été répété trois fois. La concentration des composés réducteurs (antioxydants) dans l'extrait est exprimée en mmol Equivalent Acide Ascorbique (EAA)/g d'extrait sec selon la formule :

$$C(\%) = \frac{c \times C \times 100}{M \times Ci}$$

C : Concentration en composés réducteurs en mmol EAA/ g d'extrait sec.

c : Concentration de l'échantillon lue.

Ci : Concentration de la solution mère d'extrait.

M : Masse molaire de l'acide ascorbique.

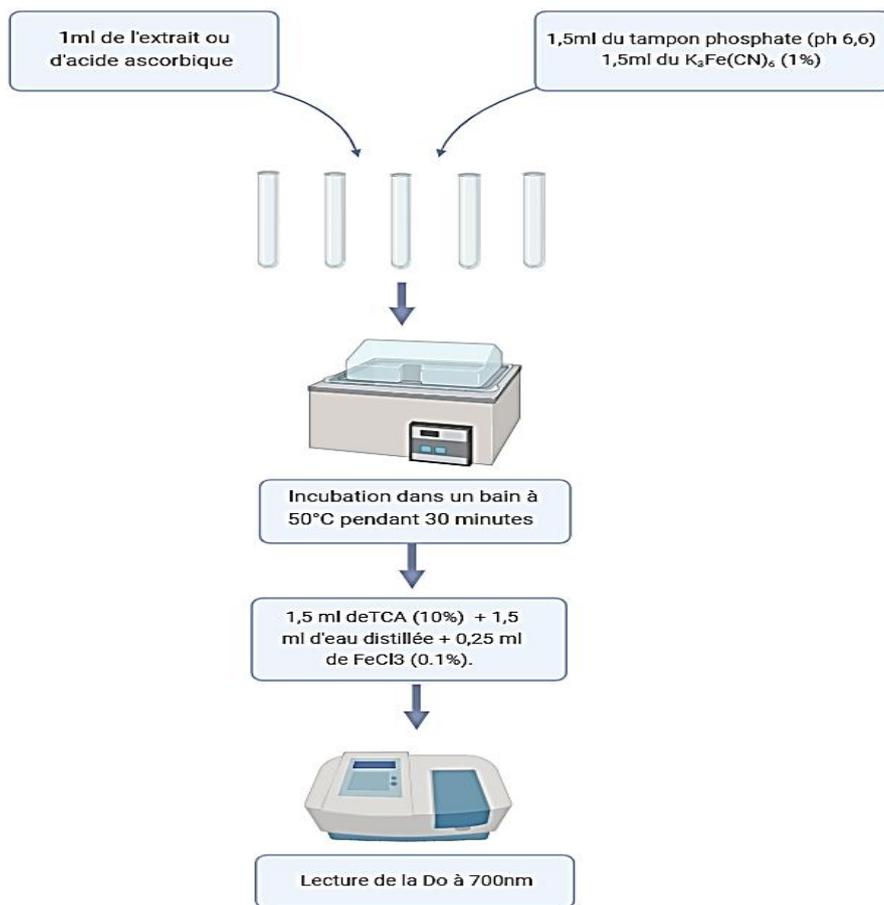


Figure 19: Protocole du test de réduction du Fer.

3.5.4. Evaluation de la capacité antioxydante totale « test de phosphomolybdate »

La méthode de phosphomolybdène est utilisée pour évaluer le pouvoir antioxydant total (TAC). La méthode repose sur la transformation de l'ion de molybdate MoO_4^{2-} en molybdène sous forme de MoO^{2+} en présence de l'extrait, ce qui crée un complexe vert de phosphate/ MoO_4^{2+} à un pH acide.

On prépare une série de dilutions pour chaque extrait. Sur un mélange de 0,1 ml de chaque dilution avec 1 ml d'une préparation réactionnelle composée de 0,492 g de phosphate de sodium et 0,4369 g de molybdate d'ammonium avec 3,35 ml d'acide sulfurique, le tout dans 100 ml d'eau distillée. Incuber les solutions dans un bain-marie à une température de 95 °C pendant une durée de 90 minutes. Après refroidissement l'absorbance est mesurée à 695 nm. Les conditions expérimentales de préparation de la courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique ont été identiques à celles de l'extrait (Falleh et al., 2012) et le test a été répété trois fois.

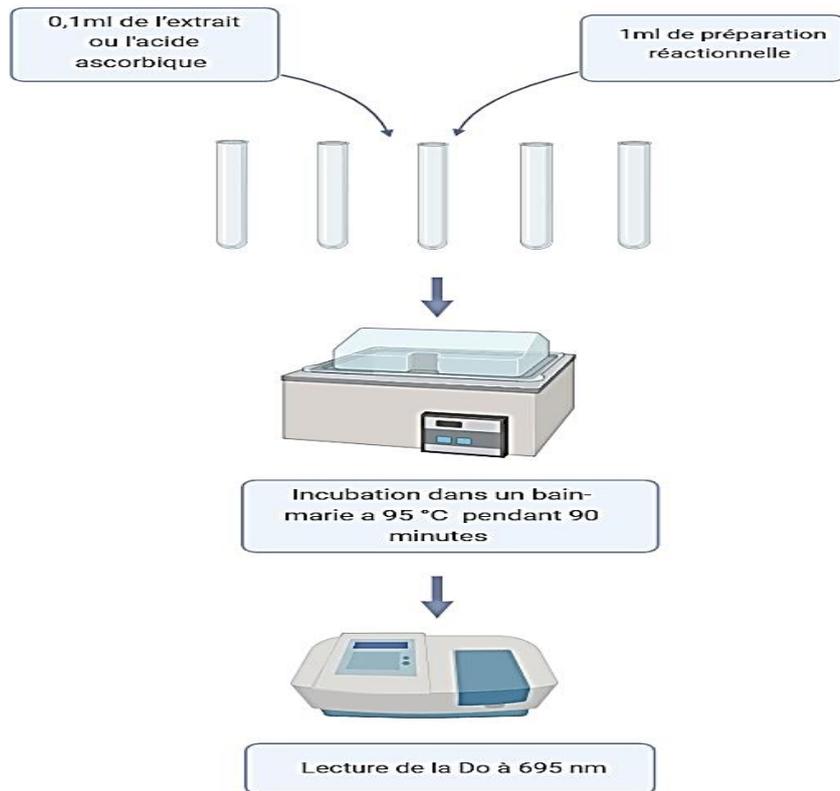


Figure 20: Protocole du test de la capacité antioxydante totale (TAC).

CHAPITRE 04 :

Résultats et Discussion

4.1. Résultats et discussions

4.1.1. Le rendement de l'extraction

Le tableau ci-dessus présente le rendement d'extraction de l'extrait aqueux de *Fagonia bruguieri* DC, calculé en utilisant l'équation mathématique suivante :

$$R (\%) = \left(\frac{M(\text{extrait})}{M(\text{plante})} \right) \times 100$$

R (%) : Le rendement en %.

M (Extrait): La masse d'extrait en gramme.

M (Plante): La masse de la plante de départ en gramme.

Tableau 3: Rendement d'extraction de *Fagonia bruguieri* DC.

	Extrait
Poids de l'extrait (g)	1,1
Rendement (%)	2,2

D'après les résultats du tableau de rendement d'extraction de *Fagonia bruguieri* DC, nous notons que le rendement de l'extrait aqueux est élevé, atteignant 2,2%. Avec un poids significatif de 1,1g.

4.1.2. Teneur en composés phénoliques

La détermination de la teneur en polyphénols totaux de notre échantillon a été effectuée suivant la méthode colorimétrique au réactif de Folin-Ciocalteu (Chang et al., 2001) ou l'acide gallique a été utilisé comme standard, les tests ont été répétés 3 fois. Les résultats ont été exprimés en milligramme, une variété de dilutions de l'acide gallique a été préparée, allant de 0,03 mg/ml à 0,3 mg/ml. On a mesuré l'absorbance de chaque solution à une longueur d'onde de 760 nm pour représenter la courbe ci-dessous :

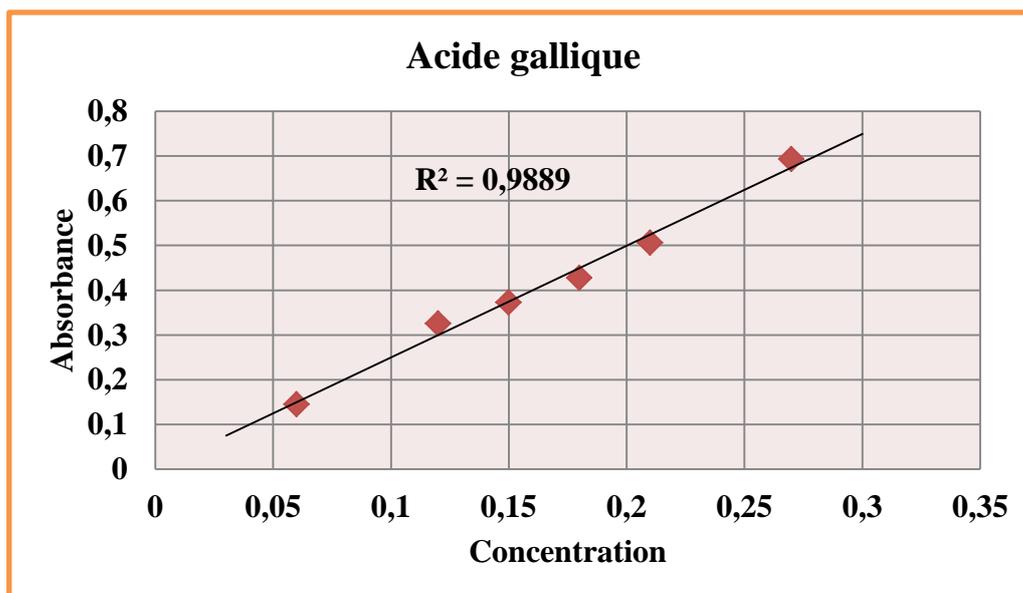


Figure 21: Courbe d'étalonnage d'acide gallique

La courbe de calibration a été utilisée pour évaluer la concentration en polyphénols de l'extrait aqueux de *Fagonia Bruguieri DC*. Cette courbe suit une équation de type ($y = 0,0034x$) avec $R^2 = 0,9972$.

Les résultats des teneurs en polyphénols d'extrait de *Fagonia bruguieri DC* est représenté dans le tableau suivant :

Tableau 4: Moyennes de dosage des phénols totaux (EAQ)

Matière	Moyennes	Erreurs
Extrait brute	803,691	9,010

D'après le tableau 4 les résultats montrent que l'extrait aqueux de *Fagonia bruguieri DC* possède une teneur élevée en polyphénols, atteignant ($803,691 \pm 9,010$ mg EAG/g).

4.1.3. Teneur en flavonoïdes

La détermination du teneur total en flavonoïde de notre échantillon a été déterminée par la méthode au trichlorure d'aluminium ($AlCl_3$) (Wang et al., 2008) ou la quercétine a été utilisé comme standard, les tests ont été répétés 3 fois. Les résultats ont été exprimés en milligramme, une variété de dilutions de quercétine a été préparée, allant de 0,03 mg/ml à 0,3

mg/ml. On a mesuré l'absorbance de chaque solution à une longueur d'onde de 415 nm pour représenter la courbe ci-dessous :

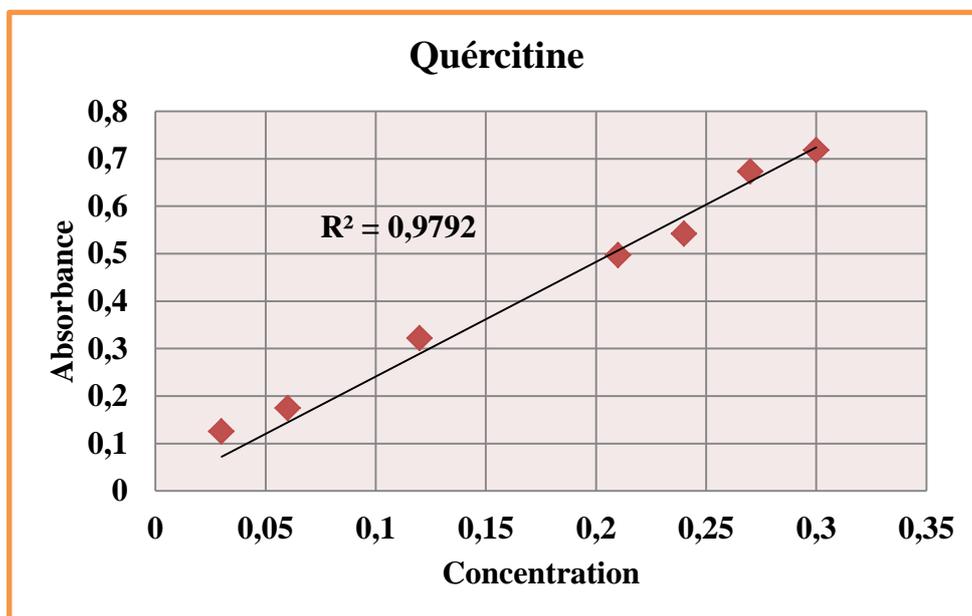


Figure 22: Courbe d'étalonnage de quercétine.

La teneur en flavonoïdes a été calculée à partir de l'équation de régression de la courbe d'étalonnage établie avec la quercétine, laquelle suit l'équation ($y = 0.0048x$) et $R^2 = 0,9792$.

Les résultats des teneurs en flavonoïdes d'extrait de *Fagonia bruguieri* DC est représenté dans le tableau suivant :

Tableau 5: Moyennes de dosage des flavonoïdes (EAQ)

Matière	Moyennes	Erreurs
Extrait brute	884,215	13,165

D'après le tableau 5 les résultats indiquent que l'extrait aqueux de *Fagonia bruguieri* DC présente une teneur élevée en flavonoïdes, atteignant ($884,215 \pm 13,165$ mg EAQ/g).

4.1.4. Teneur en tannins

La détermination du teneur en tanins condensés de notre échantillon a été déterminée par la méthode de la vanilline en milieu acide (Mariem et al., 2014) ou la catéchine a été utilisé comme standard, les tests ont été répétés 3 fois. Les résultats ont été exprimés en

milligramme, Une variété de dilutions de catéchine a été préparée, allant de 0,02 mg/ml à 0,2 mg/ml. On a mesuré l'absorbance de chaque solution à une longueur d'onde de 500 nm pour représenter la courbe ci-dessous :

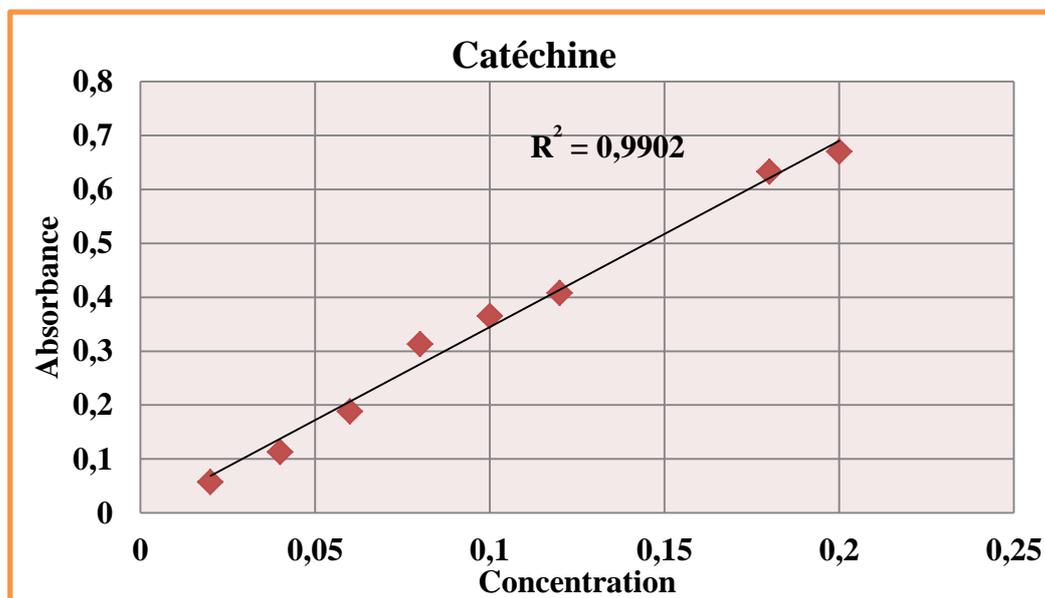


Figure 23: Courbe d'étalonnage de Catéchine

La teneur en tanins de l'extrait de la plante étudiée a été déterminée à partir de la courbe d'étalonnage, qui suit l'équation de type : $y = 4,3235x$ sachant que $R^2 = 0.9902$.

Les résultats de la teneur en tannins d'extrait de *Fagonia bruguieri* DC est représenté dans le tableau suivant :

Tableau 6: Moyennes de dosage des tannins (EAQ)

Matière	Moyennes	Erreurs
Extrait brute	155,458	6,971

D'après le tableau 6 les résultats indiquent que l'extrait aqueux de *Fagonia bruguieri* DC présente une teneur élevée en tannins, atteignant $(155,4585 \pm 6,971 \text{ mg EC/g})$.

4.1.5. Activité antioxydant

Quatre tests *in vitro* ont été effectués pour évaluer l'activité antioxydante de l'extrait de *Fagonia Bruguieri DC*, à savoir : l'activité scavenger du DPPH et de l'ABTS, Le pouvoir réducteur et la capacité antioxydante totale, Ceux-ci sont basés sur une modification de couleur suivie de la lecture de l'absorbance à des longueurs d'onde spécifiques.

4.1.5.1. Le test de piégeage du radical DPPH

La détermination de l'activité antioxydant repose sur la réduction de l'absorbance d'une solution méthanolique de DPPH, qui résulte de sa transformation en une forme non radicalaire DPPH-H par les antioxydants donneurs d'hydrogènes présents dans les échantillons (**Doukani & al., 2014**). Dans cette étude, l'activité antiradicalaire de l'extrait de *Fagonia Bruguieri DC* a été évaluée en déterminant la concentration inhibitrice à 50% (CI50) ; par rapport le standard (α -tocophérol), Les résultats sont présentés au (Annexe N°2).

Tableau 7: Des valeurs d'IC50 du test DPPH par l'extrait brut.

Extraits								
Concentration Extrait brute	0,004211 mg /ml	0,005263 mg /ml	0,006316 mg /ml	0,007368 mg /ml	0,008421 mg /ml	0,009474 mg /ml	0,010526 mg/mL	IC50 (mg /ml)
Extrait brute	13.6299	13.9411	22.1891	24.5234	32.7714	33.7051	44.2874	0,00001
α - Tocopherol*	37,21±1,82	81,53±1,51	89,23±0,12	89,38±0,19	89,45±0,22	89,99±0,23	89,52±0,33	0,01302±5,17

* : [Standards]= [12.5-800 μ g/mL]

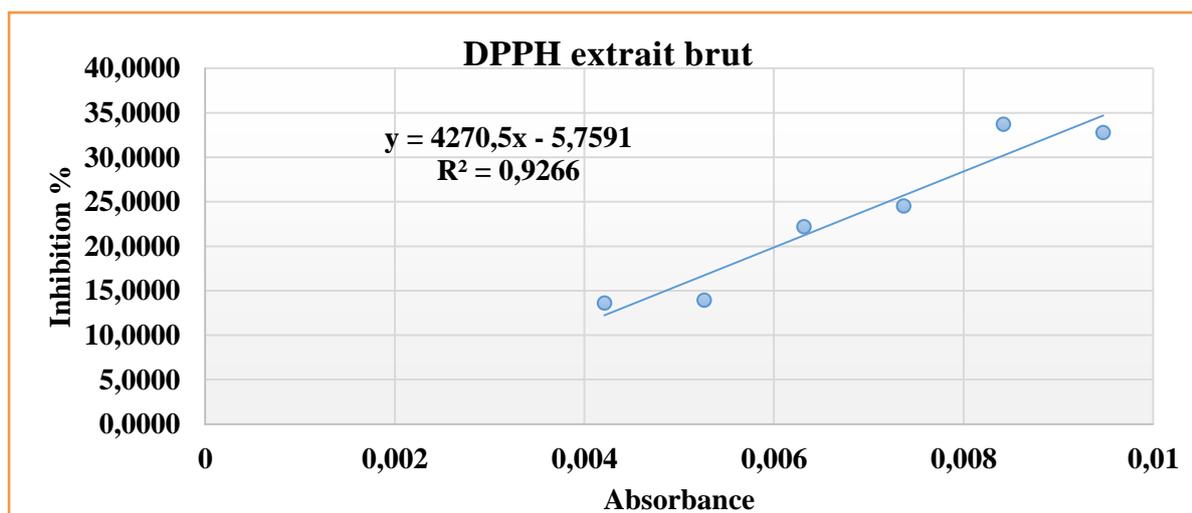


Figure 24: Courbe d'inhibition du DPPH par l'extrait brut

Les valeurs de l' IC_{50} peuvent être utilisées pour évaluer l'activité scavenger du DPPH de l'extrait. Plus la valeur d' IC_{50} est faible, plus l'activité antioxydante d'un composé est élevée.

Selon le résultat de tableau 07, l'extrait de *Fagonia Bruguieri* DC a montré une faible valeur d' IC_{50} de 0,00001 mg/ml, comparé au standard α -Tocophérol, dont l' IC_{50} est de $0,01302 \pm 5,17$ mg/ml. Cela reflète une meilleure activité anti-radicalaire de notre extrait brut à des concentrations très faibles. En effet, notre extrait présente une activité marquant même à de faibles concentrations, ce qui signifie qu'il est extrêmement actif.

4.1.5.2. Activité scavenger du radical $ABTS^{\cdot+}$

Un autre test pour évaluer l'activité antiradicalaire de l'extrait de *Fagonia Bruguieri* DC est celle des radicaux ABTS, qui fonctionnent de manière similaire aux radicaux DPPH en surveillant le transfert d'électrons dans le milieu.

L'activité antioxydant de l'extrait de *Fagonia Bruguieri* DC est déterminée par la décoloration de la solution et s'exprime par le pourcentage de la concentration inhibitrice à 50% (IC_{50}). l'absorbance a été mesuré à 734 nm, en comparaison avec les standards (BHT BHA), Les résultats sont présentés au (Annexe N°3)

Tableau 8: Des valeurs d'IC50 du test ABTS par l'extrait brut.

Extraits							
Concentration Extrait brute	0,021053 mg/ml	0,04211 mg/ml	0,05263 mg/ml	0,06316 mg/ml	0,07368 mg/ml	0,094737 mg/ml	IC50 (mg/ml)
Extrait brute	11,0345	22,7586	25,5172	27,5862	33,7931	35,1724	0,00016
BHT*	58.56±3.22	75.57±8.07	92.29±1.60	93.15±0.19	94.06±0.63	91.31±0.26	0,00155±0.26
BHA*	34.13 ±1.31	40.28±2.88	49,71±0.12	63.72±2.02	78.52±0.80	88.81±0.37	0,00754±0.67

* : [Standards] = [12.5-800 µg/mL].

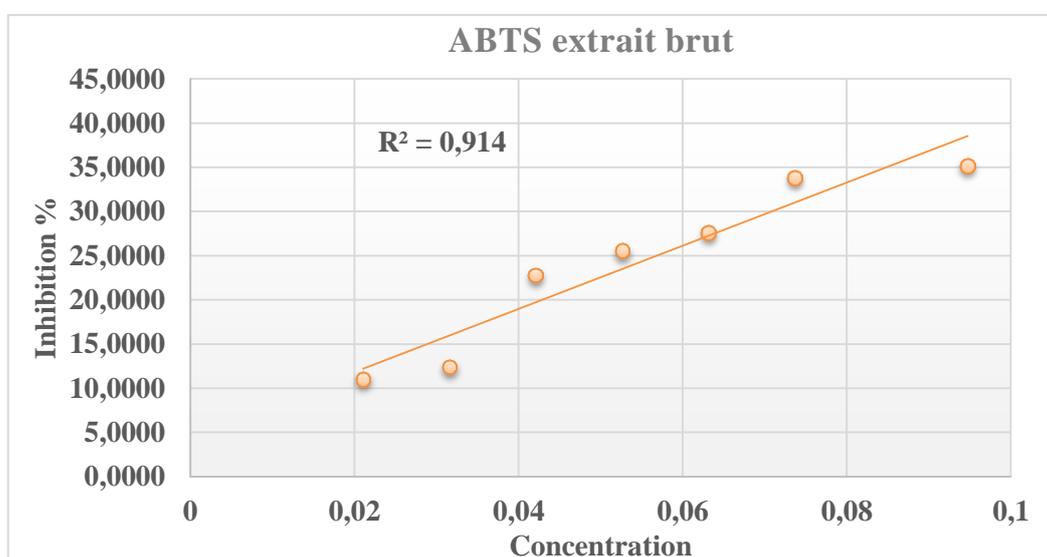


Figure 25: Courbe d'inhibition de l'ABTS par l'extrait brut.

Les valeurs de l'IC₅₀ servent à évaluer l'activité scavenger de l'ABTS de l'extrait. Une valeur d'IC₅₀ plus faible correspond à une activité antioxydante plus élevée. D'après le résultat de tableau 08, l'extrait de *Fagonia bruguieri* DC a présenté une valeur d'IC₅₀ de 0,00016 mg/ml, en comparaison avec les standards BHT (0,00155 ± 0,26 mg/ml) et BHA (0,00754 ± 0,67 mg/ml). Cela révèle une activité anti-radicalaire supérieure de notre extrait brut à de très faibles concentrations. En effet, notre extrait montre une activité marquant même à des faibles concentrations, prouvant ainsi son efficacité.

L'extrait de *Fagonia bruguieri* DC démontre une activité scavenger remarquable contre le radical ABTS, ce qui peut être attribué à sa richesse en composés phénoliques, en particulier les flavonoïdes, qui sont des antioxydants puissants capables d'inhiber ce radical. La relation

marquante entre les dosages DPPH, ABTS et le contenu phénolique total déterminé par la méthode de Folin-Ciocalteu corrobore les résultats des deux tests précédents. Riche en polyphénols, l'extrait de *Fagonia bruguieri* DC a prouvé son activité antiradicalaire exceptionnelle. La présence de composés phénoliques dans cet extrait de plante influe sur son potentiel antioxydant, comme le montrent ces résultats.

4.1.5.3. L'activité de réduction de fer

Le test du pouvoir réducteur de fer révèle la capacité d'une molécule à réduire un oxydant, le fer ferrique Fe^{3+} , en lui cédant un électron pour former le fer ferreux Fe^{2+} . Cette méthode est rapide, simple et reproductible et peut être utilisée pour les plantes, les extraits organiques et aqueux (Majhenič et al., 2007).

Dans notre étude, nous avons testé l'extrait brut de *Fagonia Bruguieri* DC en utilisant la méthode de FRAP, et les résultats obtenus ont permis d'établir des courbes pour cet extrait. Selon ces résultats, il est évident que la réduction du fer est liée à l'augmentation de la concentration de l'échantillon (Müller et al., 2010). Les résultats sont présentés au (Annexe N°4)

Tableau 9: Résultats de l'activité réductrice du fer des différents extraits

Extrait	IC50 mg/ml
Extrait brut	0,00001
Acide Ascorbique *	0,00677
α -Tocopherol*	0.03493

* : [Standard]= [3.125-200 μ g/mL].

Pour comparer nos conclusions, nous avons opté pour le calcul des valeurs IC_{50} en considérant que IC_{50} est la concentration qui entraîne une absorbance égale à $A=0.500$. Le calcul de la valeur d'extrait et de la valeur standard.

D'après les résultats résumés dans le tableau 09, il est constaté que notre extrait présente une activité antioxydante très élevée, supérieure à celle du standard acide ascorbique.

Les résultats obtenus lors de l'extrait brut de *Fagonia Bruguieri* DC nous ont donné l'opportunité de dresser des courbes pour notre extrait.

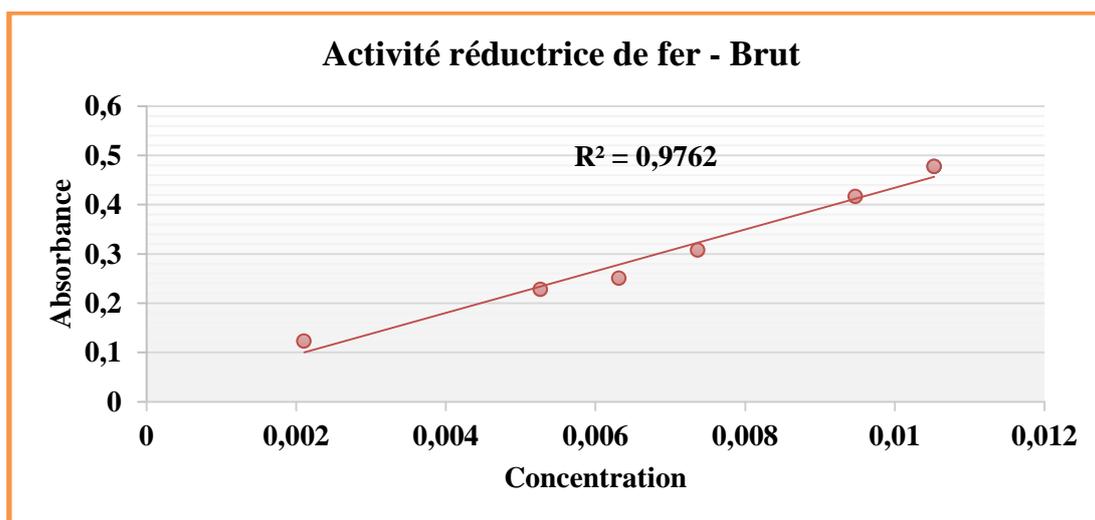


Figure 26: courbe de l'activité réductrice de fer pour l'extrait brut.

L'approche du pouvoir réducteur repose sur la transition de Fe^{3+} à Fe^{2+} (Alam et al., 2013). L'extrait brut s'est révélé le plus efficace pour réduire les ions fer, avec la valeur $A_{0,5}$ la plus faible ($A_{0,5}$: $0,00001 \pm 0,17$ mg/mL) (Tableau 9). Les concentrations efficaces auxquelles l'absorbance atteignait 0,5, par ordre décroissant, étaient les suivantes : Extrait brut (0,00001 mg/mL) > Acide Ascorbique (0,00677 mg/mL) > α -Tocophérol (0,03493 mg/mL).

4.1.5.4. Activité antioxydante totale (TAC)

La méthode de phosphomolybdène est utilisée pour évaluer la capacité antioxydante totale (TAC) des extraits (Prieto et al., 1999). Les résultats sont présentés au (Annexe N°5)

En traçant les courbes d'absorption en fonction de la concentration pour notre extrait, pour évaluer le pouvoir antioxydant total.

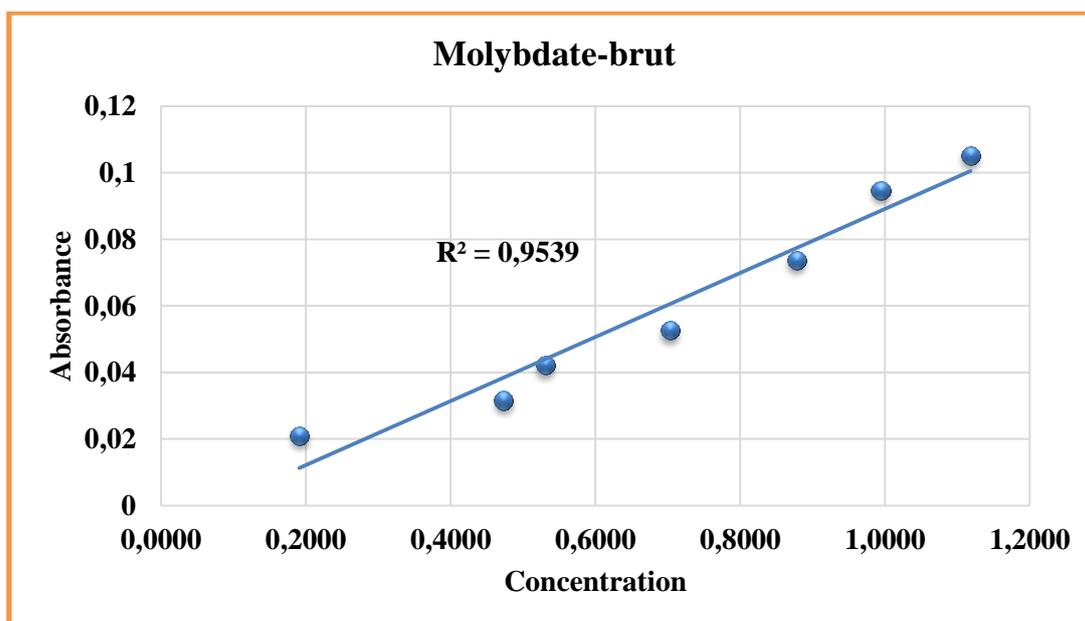


Figure 27: Courbe de l'activité antioxydante totale pour l'extrait brut.

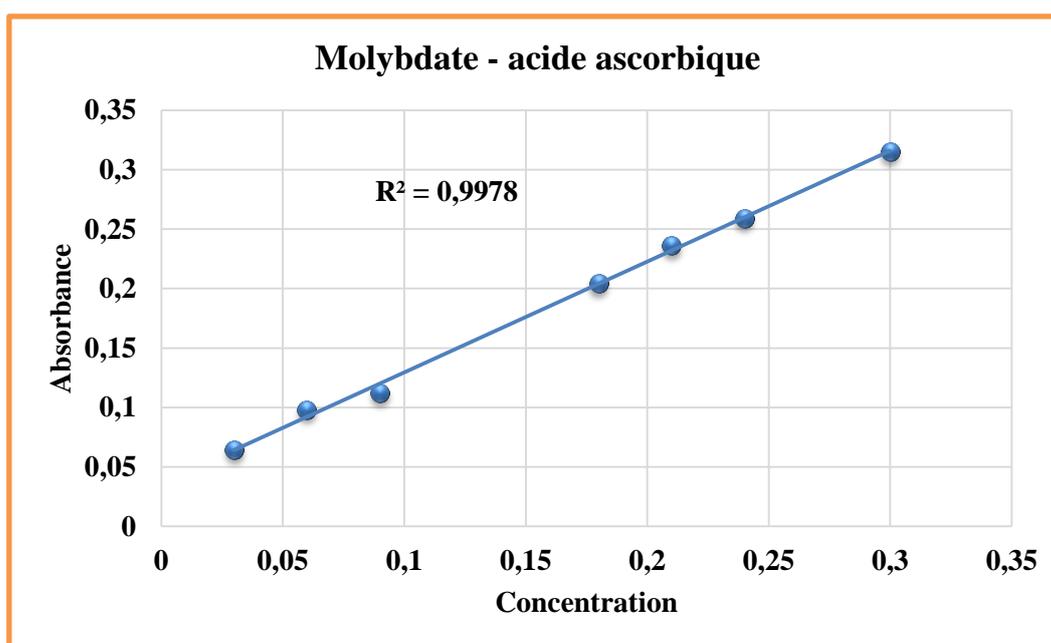


Figure 28 : Courbe de l'activité antioxydante totale pour l'acide ascorbique.

Les valeurs IC_{50} ont été calculées en considérant que IC_{50} est la concentration qui entraîne une absorbance égale à $A=0.500$. Le coefficient IC_{50} pour l'extrait brut et le coefficient standard

Tableau 10: Résultats de l'activité réductrice du TAC

Extrait	IC₅₀ mg/ml
Extrait brut	0,00527
Acide Ascorbique*	0,0005

* : [Standards]= [0,03-0,3 mg/mL]

D'après les résultats du tableau 10, le test TAC a révélé une forte activité dans l'extrait brut, avec la valeur A_{0,5} la plus faible (A_{0,5} : 0,00527 ± 0,17 mg/mL). Les concentrations efficaces auxquelles l'absorbance atteignait 0,5, par ordre décroissant, étaient les suivantes : Acide Ascorbique (0,0005 mg/mL) > Extrait brut (0,00527 mg/mL).

4.2. Discussion

Les composés phénoliques possèdent des propriétés thérapeutiques pour diverses maladies telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires, le diabète, et peuvent même les prévenir grâce à leur propriété antiradicalaire vis-à-vis des ROS (Öztürk et al., 2011). Ils agissent en tant qu'agents scavengers des radicaux peroxy et alkoxy intermédiaires.

Dans notre travail, la quantité totale de flavonoïdes (TFC) et de polyphénols totaux (TPC) s'est avérée très différente. Les quantités les plus élevées étaient présentes dans l'extrait brut de *Fagonia bruguieri* DC (884,215 ± 13,165 mg EAQ/g et 803,691 ± 9,010 mg EAG/g, respectivement), en comparaison avec la quantité contenue dans les tannins (155,4585 ± 6,971 mg EC/g). Nos valeurs étaient nettement plus élevées que celles rapportées pour les espèces *F. bruguieri* and *F. Olivieri* localisées au Baloutchistan-Pakistan ce qui montres des flavonoïdes, phénoliques et tanins totaux respectivement comme ci-suit : **TPC** : 51175±7175 ; 43975±475 **TFC** : 273.08±24.56 ; 336.68±18.73 **TTC** : 35900±450 ; 38325 ±1275 (Ali et al., 2020).

L'extrait brut de *Fagonia bruguieri* DC a montré une activité antioxydante marquant contre les radicaux DPPH et ABTS. La réception des électrons entraîne un changement de couleur du violet (DPPH[•]) au jaune (DPPH-H), révélant des propriétés mesurées à 515 nm. Le chromophore bleu-vert, connu sous le nom d'acide 2,2'-azinobis-3 éthylbenzothiazoline-6-sulfonique (ABTS⁺), est soumis au procédé de décoloration ABTS pour évaluer la modification de sa couleur suite à l'ajout d'un antioxydant.

L'activité antioxydante des extraits bruts de *F. bruguieri* était marquant , avec des résultats ABTS supérieurs à ceux rapportés par Satpute et al, 2012 (101.76 mM) de *Fagonia arabica* cultivée en Inde (Satpute et al, 2012). Récemment, Saleem et al. (2019) ont démontré que la fraction méthanolique de *F. bruguieri* présentait une activité puissante avec une valeur IC₅₀ de 32,733 mM (Saleem et al. 2019).

Pour l'activité de réduction du fer et l'activité antioxydante totale (TAC), la meilleure activité a été observée avec l'extrait brut. Des résultats similaires ont été trouvés pour l'extrait butanolique de *Fagonia*, mais notre espèce étudiée a également montré une activité importante par rapport à celle de l'espèce *Fagonia bruguieri* (IC₅₀= 141 µg AA équivalents/mg d'extrait méthanolique) (Saleem et al. 2019).

CONCLUSION

Actuellement, de nombreuses plantes médicinales présentent des propriétés biologiques significatives et sont utilisées dans la médecine traditionnelle. Dans le cadre de ce travail, nous avons fixé des objectifs spécifiques : extraction, quantification, détermination de la teneur en composés phénoliques et évaluation des activités biologiques des extraits de *Fagonia bruguieri* DC provenant du Sahara algérien.

Les composés phénoliques de la plante ont été extraits par macération dans des solvants de polarité croissante. Notre extrait se démarquait par sa couleur et son efficacité. Une série de tests antioxydants a été réalisée en utilisant les méthodes DPPH, ABTS, FRAP et TAC, ainsi que des dosages de polyphénols, tannins et flavonoïdes.

Les résultats montrent que l'extrait de *Fagonia bruguieri* DC présente une activité antioxydante élevée dans tous les méthodes testés. Cette plante est riche en flavonoïdes et tanins. En outre, elle contient une quantité importante de polyphénols. Ces résultats permettent de conclure la présence de composés aux activités biologiques prometteuses dans *Fagonia bruguieri* DC justifie ses diverses utilisations médicales.

En perspectives, pour approfondir et compléter cette étude, il serait intéressant de :

- ✓ Appliquer d'autres tests biologiques, tels que l'activité antibactérienne, antifongique, anti-inflammatoire et anti-enzymatique, ce qui aiderait à valoriser la plante dans le domaine de la médecine traditionnelle.
- ✓ Réaliser des analyses physico-chimiques, incluant HPLC, GC-, et LC-MS/MS.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ahmed Refat, N. A. G., Ibrahim, Z. S., Moustafa, G. G., Sakamoto, K. Q., Ishizuka, M., & Fujita, S. (2008). The induction of cytochrome P450 1A1 by Sudan Dyes. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 22(2), 77-84. <https://doi.org/10.1002/jbt.20220>
- Alam, Md. N., Bristi, N. J., & Rafiquzzaman, Md. (2013). Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 21(2), 143-152. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2012.05.002>
- Allane, T., & Benamara, S. (2010). Activités antioxydantes de quelques fruits communs et sauvages d'Algérie. *Phytothérapie*, 8(3), 171-175. <https://doi.org/10.1007/s10298-010-0553-x>
- Ahmed, A., Hameed, A., & Saeed, S. (2020). Biochemical profile and bioactive potential of thirteen wild folk medicinal plants from Balochistan, Pakistan. *PloS one*, 15(8), e0231612.
- Beier, B.-A., Nylander, J. A. A., Chase, M. W., & Thulin, M. (2004). Phylogenetic relationships and biogeography of the desert plant genus *Fagonia* (Zygophyllaceae), inferred by parsimony and Bayesian model averaging. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 33(1), 91-108. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2004.05.010>
- Benmehdi, H., Behilil, A., Memmou, F., & Amrouche, A. (2017). Free radical scavenging activity, kinetic behaviour and phytochemical constituents of *Aristolochia clematitis* L. roots. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S1402-S1408. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.04.015>
- Benmohamed, M., Guenane, H., Messaoudi, M., Zahnit, W., Egbuna, C., Sharifi-Rad, M., Chouh, A., Seghir, B. B., Rebiai, A., Boubekeur, S., Azli, T., Harrat, M., Sawicka, B., Atanassova, M., & Yousfi, M. (2023). Mineral Profile, Antioxidant, Anti-

- Inflammatory, Antibacterial, Anti-Urease and Anti- α -Amylase Activities of the Unripe Fruit Extracts of *Pistacia atlantica*. *Molecules*, 28(1), 349. <https://doi.org/10.3390/molecules28010349>
- Beyene, T. K., Jain, M. K., Yadav, B. K., & Agarwal, A. (2022). Multiscale investigation of precipitation extremes over Ethiopia and teleconnections to large-scale climate anomalies. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36(5), 1503-1519. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02120-y>
- Calatayud, M., López-de-Dicastillo, C., López-Carballo, G., Vélez, D., Hernández Muñoz, P., & Gavara, R. (2013). Active films based on cocoa extract with antioxidant, antimicrobial and biological applications. *Food Chemistry*, 139(1-4), 51-58. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.097>
- Chaachouay, N., Douira, A., & Zidane, L. (2022). Herbal Medicine Used in the Treatment of Human Diseases in the Rif, Northern Morocco. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47(1), 131-153. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05501-1>
- Chang, S.-T., Wu, J.-H., Wang, S.-Y., Kang, P.-L., Yang, N.-S., & Shyur, L.-F. (2001). Antioxidant Activity of Extracts from *Acacia confusa* Bark and Heartwood. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(7), 3420-3424. <https://doi.org/10.1021/jf0100907>
- Chaouche, T. M., Haddouchi, F., Ksouri, R., Medini, F., & Atik-Bekara, F. (2013). In vitro evaluation of antioxidant activity of the hydro-methanolic extracts of *Juniperus oxycedrus* subsp. *Oxycedrus*. *Phytothérapie*, 11(4), 244-249. <https://doi.org/10.1007/s10298-013-0779-5>
- Cheurfa, M., & Allem, R. (2015). Study of hypocholesterolemic activity of Algerian *Pistacia lentiscus* leaves extracts in vivo. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 25(2), 142-144. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2015.02.011>

- Chira, K., Suh, J.-H., Saucier, C., & Teissède, P.-L. (2008). Les polyphénols du raisin. *Phytothérapie*, 6(2), 75-82. <https://doi.org/10.1007/s10298-008-0293-3>
- Das, S., Mishra, J., Das, S. K., Pandey, S., Rao, D. S., Chakraborty, A., Sudarshan, M., Das, N., & Thatoi, H. (2014). Investigation on mechanism of Cr(VI) reduction and removal by *Bacillus amyloliquefaciens*, a novel chromate tolerant bacterium isolated from chromite mine soil. *Chemosphere*, 96, 112-121. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.08.080>
- Dassou, H., Ogni, C., Yedomonhan, H., Adomou, A., Tossou, M., Dougnon, J., & Akoegninou, A. (2014). Diversité, usages vétérinaires et vulnérabilité des plantes médicinales au Nord-Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(1), 189. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v8i1.18>
- Delille, B., Jourdain, B., Borges, A. V., Tison, J.-L., & Delille, D. (2007). Biogas (CO₂, O₂, dimethylsulfide) dynamics in spring Antarctic fast ice. *Limnology and Oceanography*, 52(4), 1367-1379. <https://doi.org/10.4319/lo.2007.52.4.1367>
- Di Vaira, M., Bazzicalupi, C., Orioli, P., Messori, L., Bruni, B., & Zatta, P. (2004a). Clioquinol, a Drug for Alzheimer's Disease Specifically Interfering with Brain Metal Metabolism: Structural Characterization of Its Zinc(II) and Copper(II) Complexes. *Inorganic Chemistry*, 43(13), 3795-3797. <https://doi.org/10.1021/ic0494051>
- Di Vaira, M., Bazzicalupi, C., Orioli, P., Messori, L., Bruni, B., & Zatta, P. (2004b). Clioquinol, a Drug for Alzheimer's Disease Specifically Interfering with Brain Metal Metabolism: Structural Characterization of Its Zinc(II) and Copper(II) Complexes. *Inorganic Chemistry*, 43(13), 3795-3797. <https://doi.org/10.1021/ic0494051>
- Djeddi, A., Michelet, X., Culetto, E., Alberti, A., Barois, N., & Legouis, R. (2012). Induction of autophagy in ESCRT mutants is an adaptive response for cell survival in *C. elegans*. *Journal of Cell Science*, 125(3), 685-694. <https://doi.org/10.1242/jcs.091702>

- Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., & Vidal, N. (2006). Antioxidant activity of some algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chemistry*, 97(4), 654-660. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.04.028>
- El Gharras, H. (2009). Polyphenols : Food sources, properties and applications – a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(12), 2512-2518. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02077.x>
- Encyclopédie des plantes médicinales* (Nouv. éd. mise à jour). (2001). Larousse.
- Fabricant, D. S., & Farnsworth, N. R. (2001). The value of plants used in traditional medicine for drug discovery. *Environmental Health Perspectives*, 109(suppl 1), 69-75. <https://doi.org/10.1289/ehp.01109s169>
- Falleh, H., Ksouri, R., Lucchessi, M.-E., Abdelly, C., & Magné, C. (2012). Ultrasound-Assisted Extraction : Effect of Extraction Time and Solvent Power on the Levels of Polyphenols and Antioxidant Activity of *Mesembryanthemum edule* L. Aizoaceae Shoots. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 11(2), 243-249. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v11i2.10>
- Farah, R., Lahoud, N., Salameh, P., & Saleh, N. (2015). Antibiotic dispensation by Lebanese pharmacists : A comparison of higher and lower socio-economic levels. *Journal of Infection and Public Health*, 8(1), 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2014.07.003>
- Fournet, A., Hocquemiller, R., Roblot, F., Cavé, A., Richomme, P., & Bruneton, J. (1993). Les Chimanimines, Nouvelles Quinoléines Substituées en 2, Isolées d'Une Plante Bolivienne Antiparasitaire : *Galipea longiflora*. *Journal of Natural Products*, 56(9), 1547-1552. <https://doi.org/10.1021/np50099a013>
- Gakuya, D. W., Okumu, M. O., Kiama, S. G., Mbaria, J. M., Gathumbi, P. K., Mathiu, P. M., & Nguta, J. M. (2020). Traditional medicine in Kenya : Past and current status,

- challenges, and the way forward. *Scientific African*, 8, e00360.
<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00360>
- Gazengel, J.-M., & Orecchioni, A.-M. (2013). *Le préparateur en pharmacie* (2e éd). Éd. Tec & doc-[Lavoisier].
- George, E., Marschner, H., & Jakobsen, I. (1995). Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Uptake of Phosphorus and Nitrogen From Soil. *Critical Reviews in Biotechnology*, 15(3-4), 257-270. <https://doi.org/10.3109/07388559509147412>
- Ghedira, K. (2005). Les flavonoïdes : Structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytotherapie*, 3(4), 162-169.
<https://doi.org/10.1007/s10298-005-0096-8>
- Haddouchi, F., Chaouche, T. M., & Halla, N. (2016). Screening phytochimique, activités antioxydantes et pouvoir hémolytique de quatre plantes sahariennes d'Algérie. *Phytothérapie*. <https://doi.org/10.1007/s10298-016-1086-8>
- Hall, C., & Reet, M. (2000). Review : Enhancing the state of play in children's nursing. *Journal of Child Health Care*, 4(2), 49-54.
<https://doi.org/10.1177/136749350000400201>
- Haoui, I. E., Derriche, R., Madani, L., & Oukali, Z. (2015). Analysis of the chemical composition of essential oil from Algerian *Inula viscosa* (L.) Aiton. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(4), 587-590. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.05.005>
- Hasadsri, L., Wang, B. H., Lee, J. V., Erdman, J. W., Llano, D. A., Barbey, A. K., Wszalek, T., Sharrock, M. F., & Wang, H. (John). (2013). Omega-3 Fatty Acids as a Putative Treatment for Traumatic Brain Injury. *Journal of Neurotrauma*, 30(11), 897-906.
<https://doi.org/10.1089/neu.2012.2672>

- Hsu, B., Coupar, I. M., & Ng, K. (2006). Antioxidant activity of hot water extract from the fruit of the Doum palm, *Hyphaene thebaica*. *Food Chemistry*, 98(2), 317-328. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.077>
- Kahrarian, Z., Vaziri, S., & Mojarrab, M. (2021). Evaluation of the antimicrobial activity of *Pistacia khinjuk* essential oil in Iran. *Central Asian Journal of Medical and Pharmaceutical Sciences Innovation*, 1(6). <https://doi.org/10.22034/CAJMPSI.2021.06.03>
- Karaköse, H., Müller, A., & Kuhnert, N. (2015). Profiling and Quantification of Phenolics in *Stevia rebaudiana* Leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(41), 9188-9198. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01944>
- Khalid, S., Zohaib Irshad, M., & Mahmood, B. (2011). Job Satisfaction among Academic Staff: A Comparative Analysis between Public and Private Sector Universities of Punjab, Pakistan. *International Journal of Business and Management*, 7(1), p126. <https://doi.org/10.5539/ijbm.v7n1p126>
- Khattak, K. F. (2012). Evaluation of microbial loads, physical characteristics, chemical constituents and biological properties of radiation processed *Fagonia arabica*. *Radiation Physics and Chemistry*, 81(6), 679-685. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.02.012>
- Lawin, I. F., Laleye, O. A. F., & Agbani, O. P. (2016). Vulnérabilité et stratégies endogènes de conservation des plantes utilisées dans le traitement du diabète dans les communes de Glazoué et Savè au Centre-Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(3), 1069. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i3.14>
- Lefkowitz, R. J. (1975). Identification of adenylate cyclase-coupled beta-adrenergic receptors with radiolabeled beta-adrenergic antagonists. *Biochemical Pharmacology*, 24(18), 1651-1658. [https://doi.org/10.1016/0006-2952\(75\)90001-5](https://doi.org/10.1016/0006-2952(75)90001-5)

- López-Bueno, R., López-Sánchez, G. F., Casajús, J. A., Calatayud, J., Gil-Salmerón, A., Grabovac, I., Tully, M. A., & Smith, L. (2020). Health-Related Behaviors Among School-Aged Children and Adolescents During the Spanish Covid-19 Confinement. *Frontiers in Pediatrics*, 8, 573. <https://doi.org/10.3389/fped.2020.00573>
- Majhenič, L., Škerget, M., & Knez, Ž. (2007). Antioxidant and antimicrobial activity of guarana seed extracts. *Food Chemistry*, 104(3), 1258-1268. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.074>
- Mariem, S., Hanen, F., Inès, J., Mejdí, S., & Riadh, K. (2014). Phenolic profile, biological activities and fraction analysis of the medicinal halophyte *Retama raetam*. *South African Journal of Botany*, 94, 114-121. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.06.010>
- Maz, M., Chung, S. A., Abril, A., Langford, C. A., Gorelik, M., Guyatt, G., Archer, A. M., Conn, D. L., Full, K. A., Grayson, P. C., Ibarra, M. F., Imundo, L. F., Kim, S., Merkel, P. A., Rhee, R. L., Seo, P., Stone, J. H., Sule, S., Sundel, R. P., ... Mustafa, R. A. (2021). 2021 American College of Rheumatology/Vasculitis Foundation Guideline for the Management of Giant Cell Arteritis and Takayasu Arteritis. *Arthritis & Rheumatology*, 73(8), 1349-1365. <https://doi.org/10.1002/art.41774>
- Meynard, D., Kautz, L., Darnaud, V., Canonne-Hergaux, F., Coppin, H., & Roth, M.-P. (2009). Lack of the bone morphogenetic protein BMP6 induces massive iron overload. *Nature Genetics*, 41(4), 478-481. <https://doi.org/10.1038/ng.320>
- Moussaoui, N., Braniste, V., Ait-Belgnaoui, A., Gabanou, M., Sekkal, S., Olier, M., Théodorou, V., Martin, P. G. P., & Houdeau, E. (2014). Changes in Intestinal Glucocorticoid Sensitivity in Early Life Shape the Risk of Epithelial Barrier Defect in Maternal-Deprived Rats. *PLoS ONE*, 9(2), e88382. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088382>

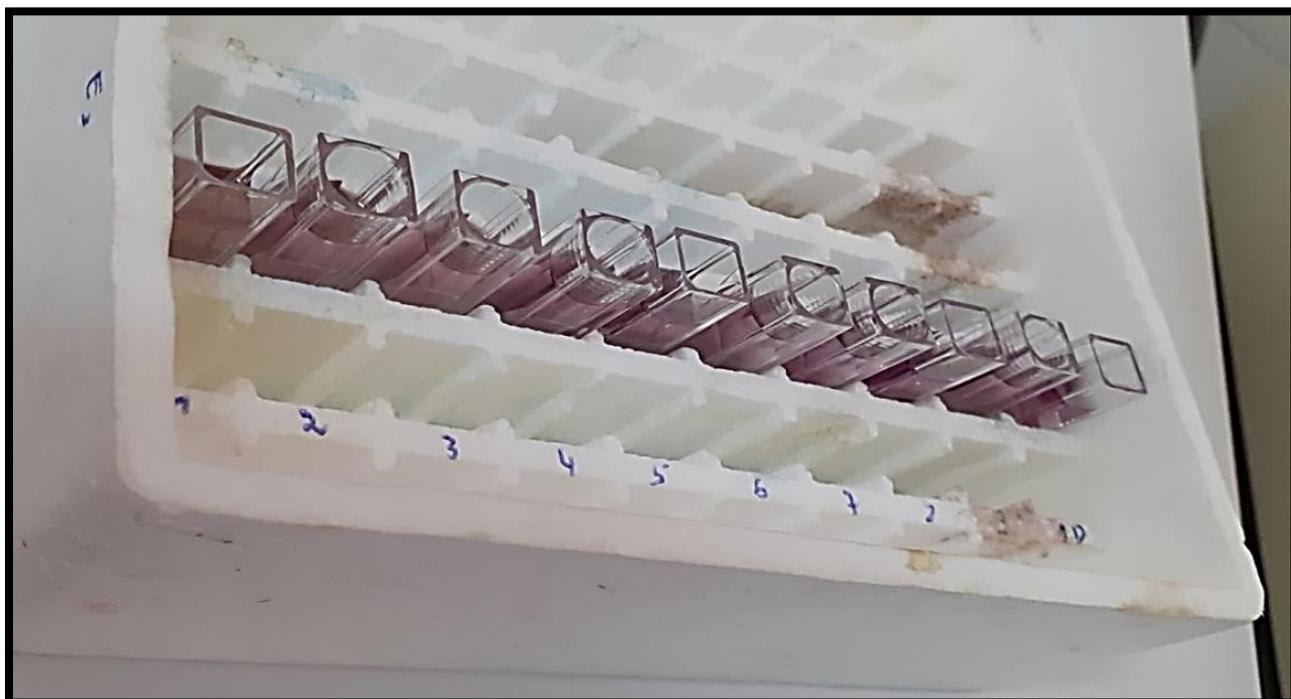
- Müller, L., Gnoyke, S., Popken, A. M., & Böhm, V. (2010). Antioxidant capacity and related parameters of different fruit formulations. *LWT - Food Science and Technology*, 43(6), 992-999. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.02.004>
- Nabere, O., Alphonsine, R.-T., Samson, G., Zaib, S., Nag-Tiero Roland, M., Kiessoun, K., Iqbal, J., Adama, H., & Martin, K. (2019). Cytotoxicity Potential of *Nelsonia canescens* (Lam.) Spreng Extracts against Cervical Cancer Cell Lines. *Saudi Journal of Biomedical Research*, 04(12), 439-443. <https://doi.org/10.36348/sjbr.2019.v04i12.008>
- Ozenda, P. (1983). *Flore du Sahara* (2e éd., rev.complétée). Editions du Centre national de la recherche scientifique.
- Öztürk, M., Tümen, İ., Uğur, A., Aydoğmuş-Öztürk, F., & Topçu, G. (2011). Evaluation of fruit extracts of six Turkish *Juniperus* species for their antioxidant, anticholinesterase and antimicrobial activities: Evaluation of fruit extracts of six Turkish *Juniperus* species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(5), 867-876. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4258>
- Prieto, P., Pineda, M., & Aguilar, M. (1999). Spectrophotometric Quantitation of Antioxidant Capacity through the Formation of a Phosphomolybdenum Complex: Specific Application to the Determination of Vitamin E. *Analytical Biochemistry*, 269(2), 337-341. <https://doi.org/10.1006/abio.1999.4019>
- Pujol, J.-P., Chadjichristos, C., Legendre, F., Baugé, C., Beauchef, G., Andriamanalijaona, R., Galéra, P., & Boumediene, K. (2008). Interleukin-1 and Transforming Growth Factor- β 1 as Crucial Factors in Osteoarthritic Cartilage Metabolism. *Connective Tissue Research*, 49(3-4), 293-297. <https://doi.org/10.1080/03008200802148355>

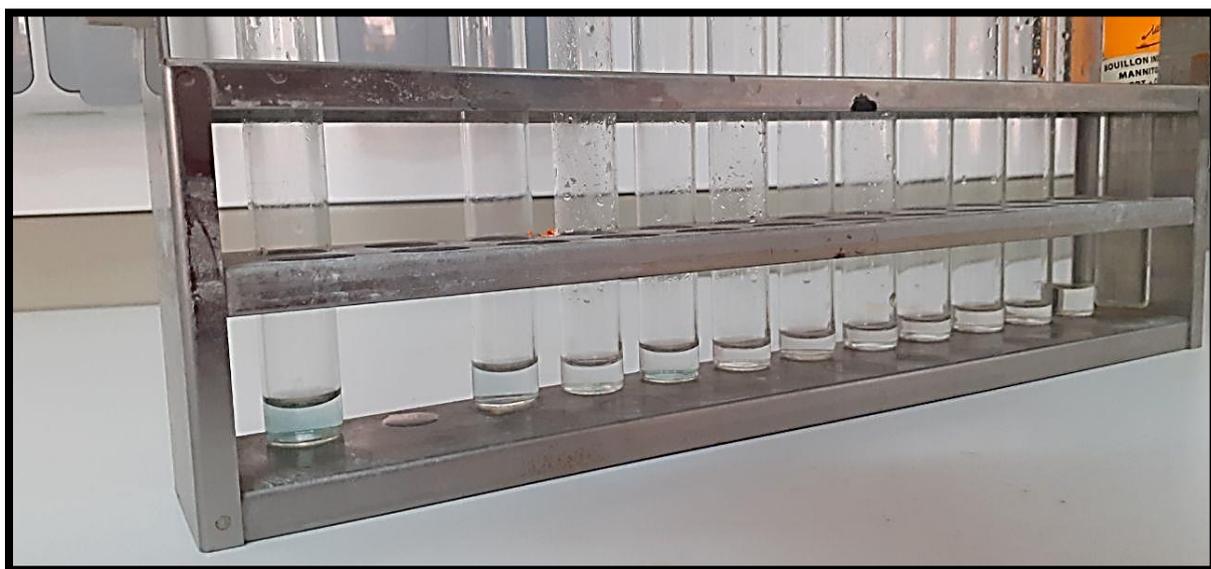
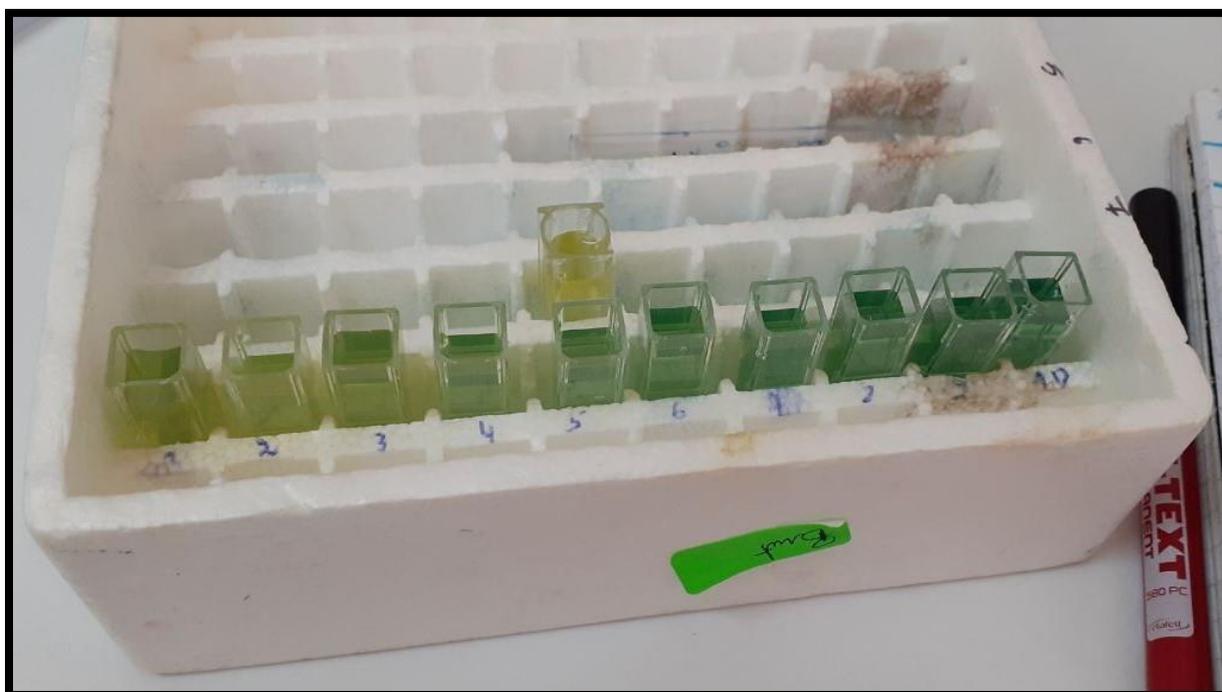
- Rabei, S., Khedr, A., & Elgamal, I. (2021). Floristic study of Saint Katherine protectorate, Sinai: With one new record to flora of Egypt. *Taekholmia*, 41(1), 32-55.
<https://doi.org/10.21608/taec.2021.190777>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
[https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Ross, J. A., & Kasum, C. M. (2002). DIETARY FLAVONOIDS: Bioavailability, Metabolic Effects, and Safety. *Annual Review of Nutrition*, 22(1), 19-34.
<https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.22.111401.144957>
- Sagbo, I. J., Afolayan, A. J., & Bradley, G. (2017). Antioxidant, antibacterial and phytochemical properties of two medicinal plants against the wound infecting bacteria. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 7(9), 817-825.
<https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2017.08.009>
- Sanchez-Moreno, C. (2002). Review: Methods Used to Evaluate the Free Radical Scavenging Activity in Foods and Biological Systems. *Food Science and Technology International*, 8(3), 121-137. <https://doi.org/10.1177/1082013202008003770>
- Sebbar, E.-H., Naji, I., El Mezgueldi, I., & Choukri, M. (2023). Le stress oxydatif, une agression cellulaire. *Actualités Pharmaceutiques*, 62(626), 36-37.
<https://doi.org/10.1016/j.actpha.2023.03.016>
- Sharma, R., Ragavan, K. V., Thakur, M. S., & Raghavarao, K. S. M. S. (2015). Recent advances in nanoparticle based aptasensors for food contaminants. *Biosensors and Bioelectronics*, 74, 612-627. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2015.07.017>
- Smallfield, B. M., Van Klink, J. W., Perry, N. B., & Dodds, K. G. (2001). Coriander Spice Oil: Effects of Fruit Crushing and Distillation Time on Yield and Composition.

- Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(1), 118-123.
<https://doi.org/10.1021/jf001024s>
- Sun H., Wang X., Kito K., & Sato K. (2010). Production of Bio-board and Its Mechanical Properties. *Journal of Environmental Conservation Engineering*, 39(12), 738-744.
<https://doi.org/10.5956/jriet.39.738>
- Szczurek, A., Amaral-Labat, G., Fierro, V., Pizzi, A., Masson, E., & Celzard, A. (2011). The use of tannin to prepare carbon gels. Part I: Carbon aerogels. *Carbon*, 49(8), 2773-2784. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2011.03.007>
- Satpute, R., Bhattacharya, R., Kashyap, R. S., Purohit, H. J., Deopujari, J. Y., Taori, G. M., & Daginawala, H. F. (2012). Antioxidant potential of *Fagonia arabica* against the chemical ischemia-induced in PC12 cells. *Iranian journal of pharmaceutical research: IJPR*, 11(1), 303.
- Saleem, R., Shinwari, Z. K., Ali, A., Malik, A., Shahzad, M. S., Butt, M., ... & Ali, Q. (2019). Comparative in vitro antioxidant and anti-fungal potential profiles from methanol extract of *Fagonia indica*, *Fagonia bruguieri* and *Fagonia paulayana*. *Int. J. Bot. Stud*, 4(5), 69-76.
- Tesseraud, S., Le Bihan-Duval, E., Peresson, R., Michel, J., & Chagneau, A. M. (1999). Response of chick lines selected on carcass quality to dietary lysine supply: Live performance and muscle development. *Poultry Science*, 78(1), 80-84.
<https://doi.org/10.1093/ps/78.1.80>
- Vinodhini, S., & V, D. R. (2018). Review on Ethnomedical Uses, Pharmacological Activity and Phytochemical Constituents of *Samanea Saman*(jacq.) Merr. Rain Tree. *Pharmacognosy Journal*, 10(2), 202-209. <https://doi.org/10.5530/pj.2018.2.35>

Wang, H., Gao, X. D., Zhou, G. C., Cai, L., & Yao, W. B. (2008). In vitro and in vivo antioxidant activity of aqueous extract from *Choerospondias axillaris* fruit. *Food Chemistry*, *106*(3), 888-895. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.068>

ANNEXES

Annexe N°1 : Photo de l'extrait brute de *Fagonia bruguieri* DC**Figure 01:** Photo de l'extrait brute de *Fagonia bruguieri* DC**Annexe N°2** : Résultat de test DPPH de l'extrait de *Fagonia Bruguieri* DC**Figure 02:** Résultat de test DPPH de l'extrait de *Fagonia Bruguieri* DC

Annexe N°3 : Résultat de test ABTS**Figure 03:** Résultat de test ABTS**Annexe N°4 : Résultat de test de réduction de fer****Figure 04:** Résultat de test de réduction de fer

Annexe N°5 : Résultat de test TAC**Figure 05:** Résultat de test TAC

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique

Faculté des sciences de la nature et
de la vie et sciences de la terre

جامعة غرداية

كلية علوم الطبيعة والحياة
وعلوم الأرض

Département de Biologie



قسم البيولوجيا

Université de Ghardaïa

Ghardaïa le : 17/07/2024

Rapport : Correction du mémoire

Enseignant (e) (s) Chargé (e) de la correction :

Nom et prénom l'examineur et Signature	Nom et prénom de l'examineur 2 et Signature	Nom et prénom de président et Signature
KEBILI Zohra 	/	

Thème :

Évaluation in vitro du pouvoir antioxydant d'une plante médicinale saharienne

Après les corrections apportées au mémoire, les étudiantes :

_KHAINECHE Ouassima
_BAHAZ Chaimaa

Sont autorisée à déposer le manuscrit au niveau du département.

Signature