

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 la Vie et Sciences de la Terre

Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

En : Sciences biologiques

Spécialité : Biochimie appliquée

Par : -M^{lle}. BENABDALLAH Samia
-M^{lle}. KERROUCHI Souhila

Thème

**Contribution à l'étude phytochimique et évaluation de l'activité antioxydante
de l'espèce *Hammada scoparia* des régions Ghardaia et Laghouat**

Soutenu publiquement, le : 23 / 06 /2019, devant le jury composé de :

M. BENBEKHTI Z.	Maître Assistant A	Univ. Ghardaia	Président
M. BENKHERARA S.	Maître Assistant A	Univ. Ghardaia	Encadreur
M. BELHACHEMI M. H.	Maître Assistant A	Univ. Ghardaia	Examineur

Année universitaire : 2018 / 2019

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Allah le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Un grand merci du fond du cœur à nos parents pour leur soutien moral et financier et leurs encouragements tous au long de la période de nos études et formations.

Nous remercions très sincèrement Monsieur BENBEKHETI Zineddine, Maître assistant à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre, Université de Ghardaia. Vous nous faites un grand honneur en acceptant de présider notre jury de soutenance.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Monsieur BENKHERARA Salah, Maître assistant à la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre, Université de Ghardaia, pour avoir accepté de nous encadrer et de diriger ce travail avec une grande rigueur scientifique, pour ses conseils précieux, ses encouragements, sa disponibilité et sa patience illimitée. Qu'il trouve ici l'expression de nos reconnaissances et de nos respects.

Nous remercions également Monsieur BELHACHEMI Mohamed Habib, Maître assistant à la même Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre de l'Université de Ghardaia pour avoir accepté de faire partie du jury de soutenance et d'avoir accepté d'être un examinateur de notre travail du mémoire.

Nous tenons également à exprimer nos sincères gratitude à l'ensemble du personnel du laboratoire de biochimie appliquée au département de Biologie pour leur disponibilité et les nombreux services qu'ils nous ont rendus durant la période de la réalisation de nos expérimentations.

Nous n'oublions pas de remercier vivement Monsieur ABOUSSEDDIK Hammou pour ses conseils et son aide précieuse au cours des moments de la réalisation de ce travail, Monsieur GAGI Younes et Monsieur BENABDALLAH Salah pour avoir mis à notre disposition le matériel végétal nécessaire à notre expérimentation.

Nous remercions tous les enseignants et responsables de l'Université de Ghardaia et tous ceux qui ont participé de près et de loin à notre formation pédagogique et scientifique.

DEDICACES

Je dédie ce modeste mémoire

A la mémoire de mon père qui nous a quitté à jamais et qui n'a pas pu partager avec moi ce moment de joie et de bonheur, qu'Allah le tout puissant l'accueille dans son vaste paradis.

A ma mère la source de la tendresse et la plus chère au monde qui m'a éclairée mon chemin et qui a toujours m'encouragé et soutenue toute au long de mes études. Qu'ALLAH la protège.

A mes très chers frères, Omar, Salah, Brahim, Slimane, Kacem et Basaid.

A mes adorables sœurs, Mamma, Baya et surtout Yamina pour leur soutien, aide et leur encouragement.

Que ce travail soit, pour eux, un témoignage de ma profonde affection et mon profond respect.

A tous mes nièces et mes neveux.

A toute les membres de ma grande famille.

A mon amie Souhila et toute sa famille.

A mes meilleurs amies Nanna, Nadia, Zahra, Soumia, Lalla, Nadia et Mounira.

A toute mes amies de la cité universitaire de Ghardaia.

A tous ceux et celles qui me connaissent.

Samia

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents qui, sans eux, je n'aurais jamais pu arriver là où je suis aujourd'hui. Merci pour leur soutien continu, les sacrifices consentis tout au long de mes études.

A mes chers grands parents qui m'ont éclairé mon chemin de tous les instants et m'ont encouragée pour que je puisse réussir dans mes études.

A mes sœurs et mes frères, pour eux, en témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices.

A tous les membres de ma grande famille.

A mon Amie Samia et toute sa famille.

A toutes mes amies, merci pour leur soutien moral, les échanges de connaissances et les moments inoubliables passés ensemble.

A tous mes proches qui m'ont toujours encouragé durant mes études et m'ont aidée dans la réalisation de ce travail.

Je vous dis Merci.

Souhila

Table des matières

RÉSUMÉ.....	I
Liste des tableaux.....	II
Liste des figures	III
Liste des abréviations.....	IV
INTRODUCTION	1
1. GÉNÉRALITÉS	4
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES	8
2.1. Matériel végétal	8
2.1.1. Site de prélèvement	8
2.1.1.1. Facteurs climatiques et hydro-géographie du site	9
2.1.1.2. Cortège floristique	10
2.1.2. Echantillonnage.....	10
2.1.3. Séchage	11
2.2. Méthodes d'analyses	12
2.2.1. Tests biochimiques préliminaires.....	12
2.2.1.1. Teneur en eau	12
2.2.1.2. Recherche des Tanins	12
2.2.1.3. Recherche des Flavonoïdes	12
2.2.1.4. Recherche des Saponosides	12
2.2.1.5. Recherche des Anthocyanes	13
2.2.1.6. Recherche des Leuco anthocyanes	13
2.2.1.7. Recherche des Alcaloïdes	13
2.2.1.8. Recherche des Terpènes	13
2.2.1.9. Recherche des Stérols	13
2.2.2. Préparation des extraits bruts de l'espèce <i>Hammada scoparia</i>	13
2.2.2.1. Extrait brut méthanolique	13
2.2.2.2. Extrait brut aqueux	14
2.2.2.3. Extrait hydrométhanolique	14
2.2.3. Dosage	14
2.2.3.1. Dosage des polyphénols totaux	14
2.2.3.2. Dosage des flavonoïdes totaux	15
2.2.3.3. Dosage des tanins totaux	15
2.2.4. Pouvoir antioxydant.....	15
2.2.4.1. Test de DPPH : Piégeage du radical libre stable DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl).....	15
2.2.4.2. Test de l'ABTS : Capacité antioxydante en équivalent trolox ou activité antioxydante totale AAT	16

3. RESULTATS ET DISCUSSION	19
3.1. Tests biochimiques préliminaires.....	19
3.2. Rendements en extraits bruts de l'espèce <i>Hammada scoparia</i>	22
3.3. Teneur en composés phénoliques	24
3.3.1. Teneur en polyphénols totaux	24
3.3.2. Teneur en flavonoïdes totaux.....	26
3.3.3. Teneur en Tanins totaux	28
3.4. Pouvoir antioxydant	31
3.4.1. Test de DPPH : Effet inhibiteur du radical libre stable DPPH (2,2-diphényle-1-picrylhydrazyle)	31
3.4.2. Test de l'ABTS	34
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	40
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	42

RÉSUMÉ

Cette étude visait donc à vérifier le potentiel antioxydant de certains extraits bruts d'une espèce végétale à usage thérapeutique dans les régions Ghardaia et Laghouat. Pour ce faire, des extraits bruts aqueux, méthanolique et hydrométhanolique sont préparés. Des tests de criblage phytochimique qualitatif et autres quantitatifs d'évaluation des teneurs en composés polyphénoliques majeurs sont effectués et leur activité antioxydante face aux radicaux libres est ensuite déterminée.

Les résultats obtenus ont démontré que les feuilles de notre plante présentent des rendements assez élevés de l'ordre de 86% et 54% en extraits bruts dans les régions Laghouat et Ghardaia respectivement. De même, l'espèce de la région de Laghouat s'est montrée la plus riche en composés polyphénoliques dans ses extraits bruts.

Les tests de l'activité antioxydante ont permis d'évaluer la puissance des extraits bruts dans la réduction ou piégeage des radicaux libres. L'extrait hydrométhanolique des feuilles de l'espèce de la région de Ghardaia s'est avéré le plus fort antioxydant naturel face au radical libre DPPH avec 264.12 ± 4.134 mg E trolox/g MVS. D'autre part, l'extrait brut aqueux des feuilles de l'espèce de Laghouat a présenté le plus fort pouvoir réducteur des radicaux libres ABTS avec 344.319 ± 0.954 mg E trolox/g MVS.

En bref, les extraits bruts aqueux, méthanolique et hydrométhanolique de la partie aérienne de l'espèce *Hammada scoparia* semblent être riches en composés du métabolisme secondaire et possèdent un pouvoir anti-radicalaire en général très puissant.

Mots clés : *Hammada scoparia*, Ghardaia, Laghouat, Phytochimie, Extrait brut, Potentiel antioxydant.

Liste des tableaux

Table n°	Titre	Page
Tableau 01	Teneur en eau de la partie aérienne fraîche de l'espèce végétale <i>Hammada scoparia</i> .	19
Tableau 02	Tableau récapitulatif des différents constituants chimiques de la partie aérienne de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> des régions Ghardaia et Laghouat.	20
Tableau 03	Rendements (%) en extraits bruts de la partie aérienne de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> .	22
Tableau 04	Résultats globaux (mg ET/ g MVS) du pouvoir antioxydant (test de DPPH) des extraits de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> (Pomel) Iljin.	32
Tableau 05	Résultats globaux (mg ET/ g MVS) du pouvoir antioxydant (test de l'ABTS) des extraits de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> (Pomel) Iljin.	34

Liste des figures

Figure n°	Titre	Page
Figure 01	Limites administratives des régions Ghardaia (A) et Laghouat (B).	09
Figure 02	Vue générale de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> (Pomel) Iljin des régions Ghardaia(A) et Laghouat (B).	11
Figure 03	Vue générale des principaux organes de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> (Pomel) Iljin.	11
Figure 04	Taux d'humidité de la partie aérienne fraîche de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> .	19
Figure 05	Exemples de résultats des réactions de mise en évidence de quelques composants du métabolisme secondaire de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> .	21
Figure 06	Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.	24
Figure 07	Teneurs en polyphénols totaux des extraits de la partie aérienne de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> de la région de Ghardaia.	25
Figure 08	Teneurs en polyphénols totaux des extraits de la partie aérienne de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> de la région de Laghouat.	25
Figure 09	Courbe d'étalonnage de la rutine.	26
Figure 10	Teneurs en flavonoïdes totaux des extraits de la partie aérienne de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> de la région de Ghardaia.	27
Figure 11	Teneurs en flavonoïdes totaux des extraits de la partie aérienne de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> de la région de Laghouat.	27
Figure 12	Courbe d'étalonnage de la catéchine.	28
Figure 13	Teneurs en tanins totaux des extraits de la partie aérienne de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> de la région de Ghardaia.	29
Figure 14	Teneurs en tanins totaux des extraits de la partie aérienne de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> de la région de Laghouat.	29
Figure 15	Courbe d'étalonnage de l'antioxydant de synthèse Trolox (pour DPPH).	32
Figure 16	Figures représentatives des résultats de l'activité antioxydante (test de DPPH) des extraits de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> (Pomel) Iljin.	33
Figure 17	Courbe d'étalonnage de l'antioxydant de synthèse Trolox (pour ABTS).	34
Figure 18	Figures représentatives des résultats de l'activité antioxydante (test de l'ABTS) des extraits de l'espèce <i>Hammada scoparia</i> (Pomel) Iljin.	35

Liste des abréviations

OMS	Organisation Mondiale de la Santé.
FeCl ₃	Chlorure Ferrique.
HCl	Acide Chlorhydrique.
H ₂ SO ₄	Acide Sulfurique.
EBM	Extrait Brut Méthanol.
EBA	Extrait Brut Aqueux.
EHM	Extrait brut Hydrométhanolique.
H ₃ PW ₁₂ O ₄₀	Acide Phosphotungstique.
H ₃ PMO ₁₂ O ₄	Acide Phosphomolybdique.
W ₈ O ₂₃	Bleu de tungstène.
MO ₈ O ₃	Molybdène.
Na ₂ CO ₃	Carbonate de Sodium.
AlCl ₃	Chlorure d'aluminium.
DPPH	2,2- diphenyl-1-picrylhydrazyl.
ABTS	Acide 2,2'-azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique).
AAT	Activité Antioxydante Totale.
CAET	Capacité Antioxydante en Equivalent Trolox.
SH	Groupement Sulfhydryle.
OH	Groupement hydroxyle.
NH	Groupement Amine.

INTRODUCTION

Au travers des âges, l'homme a pu compter sur la nature pour subvenir à ses besoins de base : Nourriture, abris, vêtements et également pour ses besoins médicaux. L'utilisation thérapeutique des extraordinaires vertus des plantes pour le traitement de toutes les maladies de l'homme est très ancienne et évolue avec l'histoire de l'humanité (Aslam et Ahmad, 2016).

D'après l'organisation mondiale de la santé OMS, plus de 80% des populations ont recours à des plantes médicinales pour se soigner, par manque d'accès aux médicaments prescrits par la médecine moderne mais aussi parce que ces plantes ont souvent une réelle efficacité. Aujourd'hui, le savoir des tradipraticiens est de moins en moins transmis et tend à disparaître. C'est pour cela que l'ethnobotanique et l'ethnopharmacologie s'emploient à recenser, partout dans le monde, des plantes réputées actives et dont il appartient à la recherche moderne de préciser les propriétés et d'en valider les usages. La recherche de nouvelles molécules doit être entreprise au sein de la biodiversité végétale en se servant de données ethnopharmacologiques. Bien qu'une grande partie du 20^{ème} siècle ait été consacrée à la mise au point de molécules de synthèse, la recherche de nouveaux agents pharmacologiques actifs via le screening de sources naturelles a résulté dans la découverte d'un grand nombre de médicaments utiles qui commencent à jouer un rôle majeur dans le traitement de nombreuses maladies humaines (Farnsworth et al ., 1986).

La phytothérapie, est un terme grec signifie « soigner par des plantes ». C'est une pratique millénaire basée sur un savoir empirique des plantes ou parties de plantes (Adenot, 2012 ; IESV, 2016). Ces dernières contiennent de nombreux principes actifs qui sont largement utilisés dans le domaine pharmaceutique pour la fabrication de certains médicaments à base de plantes dotés d'innombrables propriétés pharmacologiques antibactériennes, antivirales, antidiabétiques, anti-inflammatoires, antioxydantes, antitumorales et même anticancéreuses, etc... .

L'Algérie est un pays connu par sa richesse floristique notamment en plantes médicinales. La connaissance fondée de leurs diverses utilisations et les principes actifs qu'elles renferment, leurs propriétés, leurs modes d'action et la mise en évidence de leurs effets positifs ou négatifs ; tant sur l'animal que sur les tissus ou les organes isolés, n'a véritablement trouvé sa dimension que très récemment (Blama Merzaia et Mamine, 2013). Parmi ces principes actifs, on trouve par exemple les alcaloïdes, les huiles essentielles et les polyphénols qui sont des substances naturelles élaborées dans le végétal. Ces dernières forment le groupe le plus important des substances actives des plantes médicinales.

Dans ce contexte-là, nous nous sommes intéressés à une espèce végétale très répandue dans les régions arides et semi arides du territoire algérien et très utilisée pour ses innombrables vertus thérapeutiques. Il s'agit de *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin , Saligne à balai.

Notre objectif était de vérifier la spécificité de cette espèce végétale du point de vue biochimique et biologique notamment l'activité antioxydante des extraits bruts des principaux organes de sa partie aérienne.

L'utilisation massive de cette espèce par les populations est-elle justifiée ?

Est-elle riche en substances naturelles phytothérapeutiques ?

Pourrait-elle être un antioxydant naturel efficace vis-à-vis des maladies dues à certains radicaux libres et que la médecine moderne malgré son large panel de produits chimiques synthétiques (antioxydants) ne peut pas guérir ?

C'est ce que nous efforcerons de démontrer à travers cette étude dans le cadre de ce mémoire.

Notre travail est subdivisé en deux parties essentielles :

Dans une première partie, nous essayerons de dresser un aperçu bibliographique ou généralités sur les plantes médicinales, sur l'espèce végétale concernée ainsi que sur ses majeurs principes actifs majeurs synthétisés voire même leurs potentialités, leurs propriétés et leurs pouvoirs face aux préjudices et dégâts dues aux radicaux libres.

La seconde partie consistera en une étude expérimentale portant sur les principaux organes de la partie aérienne de l'espèce en question. Cette étude est initiée par un criblage phytochimique pour mettre en évidence les principales substances actives de la partie aérienne de cette espèce. Nous procéderons ensuite aux dosages des principaux métabolites secondaires. Des extractions brutes aqueuse, alcoolique et hydroalcoolique seront effectuées par la suite. Puis après, nous essayerons d'évaluer le pouvoir antioxydant de ces principaux extraits bruts et nous terminerons enfin par la discussion, la conclusion et les perspectives.

GÉNÉRALITÉS

Les plantes médicinales sont toutes les plantes qui contiennent une ou des substances pouvant être utilisées à des fins thérapeutiques ou qui sont des précurseurs dans la synthèse de drogues utiles, autrement dit, les drogues ou notamment les drogues végétales sont des matières premières naturelles servant à la fabrication des médicaments (Sofowora, 2010 ; Mohammedi, 2013). Selon European Medicines Agency (EMA) : The Committee on Herbal Medicinal Products (HMPC)) définit les drogues végétales comme suit : ce sont des plantes ou parties de plantes, algues ou champignons, lichens non transformés, soit en entiers, fragmentés ou coupés qui sont destinés aux usages thérapeutiques. Ils sont généralement utilisés soit sous forme séchés, soit à l'état frais (Sahoo et *al.*, 2010). Ces plantes sont à la fois spontanées ou cultivées. Celles qui sont spontanées sont pour la plupart difficiles ou impossibles à cultiver, elles représentent 60 à 70 % des drogues du marché Européen. Quant à leur valeur médicinale, ces plantes se sont avérées plus ou moins différentes selon leurs origines et les conditions de croissance (Bekhechi, 2002). Les plantes cultivées quant à eux présentent de nombreux avantages car elles assurent une matière première en quantités suffisantes pour répondre à nos besoins (Chabrier, 2010).

L'exploration des ressources naturelles végétales est encore capitale à l'heure actuelle. Elle est réalisée par une étude chimiotaxonomique qui consiste à rechercher des catégories de molécules dans les plantes en fonction de leur appartenance botanique ou par une étude ethnopharmacologique où on doit recueillir des renseignements sur l'utilisation des plantes auprès des populations près de la nature. Ces ressources sont encore explorées par une étude pharmacologique caractérisée par l'observation du comportement des plantes qui font des associations ou interactions dans leur environnement naturel (Adossides, 2003).

Afin que ces études soient appliquées aux domaines des plantes médicinales, des étapes préliminaires paraissent importantes (récolte, séchage) pour avoir une drogue végétale. De ce fait, pour une bonne pratique de récolte, les plantes doivent être récoltées pendant la saison ou la période appropriée pour assurer une meilleure teneur en constituants biologiquement actifs (OMS, 2003). Pour un meilleur séchage et afin de diminuer le plus possible la quantité d'eau, ces plantes sont étalées en fines couches sur une toile dans une pièce aérée, pas humide et à l'abri de la lumière, il faut remuer de temps à autre pour laisser passer l'air. Afin d'accélérer ce processus, les tiges, racines et les fruits peuvent d'abord être découpés en morceaux avant d'être placés en couches sur la toile de séchage. La durée du séchage dépend de la partie végétale à sécher. Une fois séchée la plante, la drogue végétale obtenue est par la suite conservée (Metuedjo, 2003 ; Trotognon et Felloni, 2009).

Par ailleurs, toutes ces plantes produisent des métabolites secondaires pour se protéger contre les agents pathogènes. Ces métabolites sont essentiels pour guérir beaucoup de maladies d'origine microbienne, virales ou parasitaires, etc... (Rates, 2001 ; Shakya, 2016). Ce sont en général des composés polyphénoliques tels que les phénols simples, acides phénols, flavonoïdes et les tanins (William et Hopkins, 2003 ; Pengelly, 2004). Ces métabolites sont également présentés par des alcaloïdes (Macheix et *al.*, 2005), saponosides, stérols et composés terpéniques (Moghimpour et Handali, 2015 ; Rimjhim, 2014 ; Calancea, 2008).

Les plantes médicinales sont connues dans le monde entier par leurs diverses vertus thérapeutiques curatives ou préventives. A propos de leurs activités antioxydantes, ces plantes médicinales sont utilisées pour leurs efficacités contre certaines pathologies et maladies plus moins graves qui sont en effet dues aux surproductions des radicaux libres. D'ailleurs, une production excessive en radicaux libres provoque un déséquilibre ou ce qu'on appelle un état de stress oxydatif où la cellule devient complètement incapable de contrôler la présence des radicaux libres toxiques qui peuvent se réagir plus ou moins rapidement en lésant les acides nucléiques, les lipides et les protéines (Zaporozhets et *al.*, 2004 ; Pisoschi et Negulescu, 2011).

De ce fait, l'organisme va devoir se protéger de ces excès par différents systèmes antioxydants en réduisant ou en éliminant ces radicaux libres. Un antioxydant est une substance qui inhibe ou retarde significativement l'oxydation d'un substrat (Berger, 2006 ; Alain et *al.*, 2011).

En vue d'évaluer les activités antioxydantes de ces plantes médicinales, de nombreuses et différentes méthodes sont annoncées telles que la méthode de DPPH (diphényl-picrylhydrazyle) et celle de l'inhibition des radicaux libres ABTS• (acide 2,2'-azinobis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonique) (Lee et Yoon 2008 ; Sochor et *al.*, 2010 ; Omar Sarr et *al.*, 2015). D'autres tests sont ainsi utilisés tels que l'ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) et celui de FRAP (Ferric ion Reducing Antioxidant Power) (Huang et *al.*, 2005 ; Popovici et *al.*, 2009).

L'espèce *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin ou Saligne à balai, qui a fait l'objet de notre étude, est une espèce à usage médicinal traditionnel qui appartient à la famille des Chénopodiacées. C'est une famille d'espèces halophytes hyperaccumulatrices très importante qui mérite une attention toute particulière. Ces espèces halophiles sont très répandues surtout dans les régions arides et semi-arides (Rosas, 1989 ; Jarraya et Damak, 2001). Les Chénopodiacées sont des herbes annuelles ou vivaces, comprenant 100 genres et environ 1400 espèces (Mulas et Mulas, 2004 ; Singh et *al.*, 2015) largement caractérisées par leur adaptation à des conditions extrêmes du sol, et à leur résistance au sécheresse. Elles sont répandues dans les habitats salins tempérés et subtropicaux et les membres de la famille constituent souvent des éléments dominants de la flore dans les marais salants, les déserts et les semi-déserts.

Hammada scoparia (*Haloxylon scoparium*) (Pomel) Iljin est une plante spontanée. Elle fait partie d'un groupe de plantes appelés les halophytes. Son habitat est localisé dans le sud-est de l'Espagne, en Afrique du Nord et dans certaines parties de l'Iran, Turquie, d'Irak et de Syrie et en particulier en Algérie où elle se trouve dans le Sahara septentrional jusqu'à Tademaït (Ozenda, 1977 ; El-Shazly et Wink, 2003 ; El-Mokasabi, 2017 ; Boucherit et *al.*, 2018).

Cette espèce porte le nom vernaculaire Remth en arabe et le nom Saligne à balai en français. Elle s'appelle aussi : *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin = *Haloxylon scoparium* (Pomel) Bge = *Arthrophytum scoparium* (Pomel) (Quezel et Santa, 1962 ; Le Houerou, 1995 ; Boulos,

1999). Selon Le Houerou ,1995 et Boulos ,1999 la position systématique de l'espèce est la suivante : elle appartient au règne végétal, embranchement des Spermatophytes, sous embranchement des Angiospermes, classe des Magnoliopsida et l'ordre des Caryophyllales.

Du point de vue botanique, l'espèce Saligne à balai se caractérise par des feuilles opposées, très petites en triangle et soudées par paire l'une à l'autre, des tiges à rameaux grêles et charnus, articulés, dressés et très nombreux. Les fleurs sont généralement solitaires à l'aisselle des feuilles constituée de 5 sépales, 5 ailes, 5 étamines, et 2 carpelles ; les épis floraux sont courts et groupés au sommet des rameaux. La floraison aura lieu entre le mois de septembre et octobre, et peut aller jusqu'au mois de décembre à janvier. Les fruits et les graines poussent au début de l'hiver, quand l'humidité est suffisante. Le système racinaire est bien développé présentant un système mixte à extension horizontale et verticale et joue un rôle essentiel dans la protection du sol en atténuant l'intensité de l'érosion grâce à sa partie souterraine (Boucherit et *al.*, 2018).

La composition chimique de l'espèce *Hammada scoparia*, est bien étudiée (Saidi et *al.* , 2015). Elle contient principalement des alcaloïdes (Mezghani-Jarraya et *al.*, 2009 ; Lamchouri et *al.*, 2012). Des composés phénoliques tels que les tanins, acides phénols, flavonoïdes et les anthocyanes sont également mentionnés en plus des saponines et des terpènes (Chao et *al.*, 2013 ; Benkherara et Bordjiba, 2018). Ces composés biochimiques lui ont donné une importance médicinale contre plusieurs troubles tels l'indigestion, les piqûres de scorpion, dermatoses, la dorsalgie et quelques désordres oculaires. Aussi et dans ce même contexte, cette espèce est utile pour traiter quelques affections cancéreuses, des hépatites, des inflammations et même l'obésité (Ould El Hadj, 2003 ; Chehma et Djebar, 2008 ; Chao et *al.*, 2013 ; Zerriouh, 2015).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est une espèce végétale spontanée *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin ou Saligne à balai. Cette espèce appartenant à la famille des Chénopodiaceae (fig.02), sa taxonomie, sa phytochimie et toutes les données qui la concernent sont signalées précédemment en se référant à des travaux auparavant réalisés. Les organes tiges, feuilles et fleurs de la partie aérienne sont utilisés pour la réalisation de ce travail qui porte sur l'extraction des extraits bruts méthanolique, aqueux et hydrométhanolique ainsi que l'évaluation *in vitro* de leur pouvoir thérapeutique antioxydant.

2.1.1. Site de prélèvement

Les échantillons de notre espèce végétale sont prélevés à partir de deux sites différents des régions Ghardaia et Laghouat au Sahara septentrional algérien. Ces échantillons sont déposés, séchés et broyés au sein du Laboratoire de recherche du département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre de l'Université de Ghardaia.

La région de Ghardaia au sens large (Wilaya) est située au centre de la région nord du Sahara algérien et au sud de la ville d'Alger, à une distance d'environ 620 km. Elle occupe une superficie de 84.660 km² et compte environ 363598 habitants en 2008.

Géographiquement, ce site est donc limité ; au Nord par la wilaya de Laghouat, au Sud par la wilaya de Tamanrasset, à l'Est par la wilaya d'Ouargla et à l'Ouest par la wilaya d'El Bayadh (ANDI, 2013a ; ANIRF, 2011a).

Ses coordonnées sont : 32 ° 26 ' de latitude Nord et 3 ° 46' de longitude Est (Adouane et *al.*, 2014).

La ville de Laghouat est située également au centre du pays à 400 km. Elle s'étend sur une superficie de 25 000 km² et compte environ 520 188 habitants en 2010. C'est une région pastorale qui possède un important gisement de gaz naturel à HASSI R'MEL.

Géographiquement, elle est limitée au Nord par la wilaya de Tiaret, au Sud par Ghardaia, à l'Est par la ville de Djelfa et à l'Ouest par la wilaya d'El Bayadh (ANDI, 2013b ; ANIRF, 2011b).

Ses coordonnées sont : 33° 25' et 34° de latitude Nord et 2° 5' et 3° de longitude Est (Ouzid et *al.*, 2018).

Les limites administratives de nos sites de prélèvement sont présentées dans la figure 01.

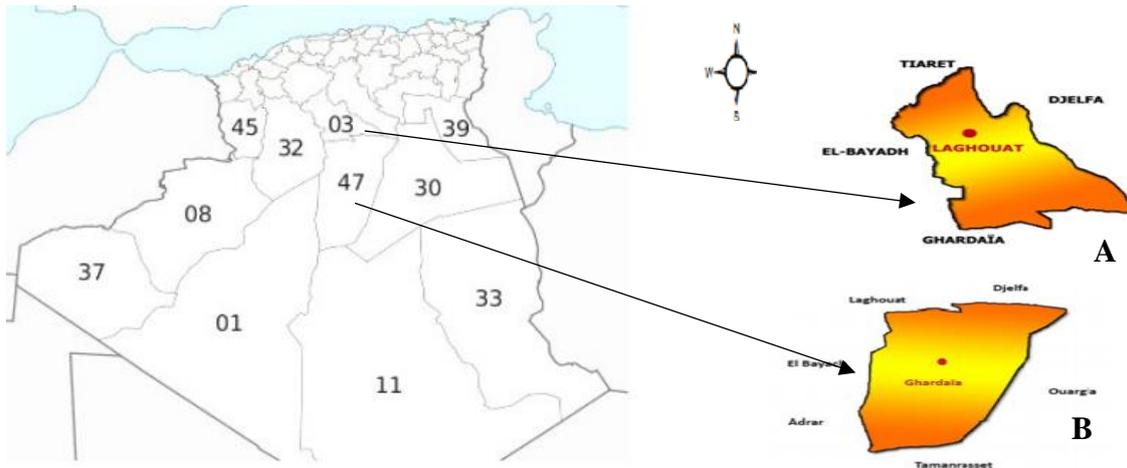


Figure 01 : Limites administratives des régions Ghardaia (A) et Laghouat (B) (Tahraoui, 2011).

2.1.1.1. Facteurs climatiques et hydro-géographie du site :

Le climat de la région de Ghardaia est typiquement Saharien, se caractérise par deux saisons : une saison chaude et sèche (du mois d'avril au mois de septembre) et une autre saison tempérée (du mois d'octobre au mois de mars) avec une grande différence entre les températures estivales et hivernales. Nous enregistrons une moyenne annuelle de 25°C avec une moyenne de précipitations de 60 mm/an (Chenini et Chabou, 2012).

Le relief de la wilaya est un sous ensemble de composants géographiques dont les principaux sont les suivants :

- Le grand Erg oriental : véritable mer de sable où les dunes pouvant atteindre une hauteur de 200 m ;
- La hamada : qui est un plateau caillouteux ;
- Les vallées : sont représentées par la vallée du M'ZAB.

La wilaya a une série de couches aquifères exploitée par pompage à des profondeurs importantes, dépassant parfois les 120 m selon la région (Chenini et Chabou, 2012 ; ANDI, 2013a).

Pour ce qui est de la région de Laghouat, le climat est de type continental au Nord-ouest avec une pluviométrie variant de 300 à 400 mm des chutes de neige et des gelées blanches. Dans la région des Hauts Plateaux, le climat est de type Saharien et aride, la pluviométrie varie entre 150 mm au Centre et 50 mm au Sud. La région se caractérise dans l'hiver par des gelées blanches et dans l'été par une forte chaleur accompagnée de vents de sable (ANDI, 2013b). Elle se distingue par deux zones différentes :

- La zone de l'Atlas Saharien caractérisée par des altitudes allant de 1000 à 1700 m. Cette zone au Nord-Ouest de la Wilaya (régions d'Aflou et Brida). Elle est constituée de vieux massifs forestiers, ainsi que des pacages.
- La zone des Hauts Plateaux et de Plateaux Sahariens caractérisée par des altitudes allant de 700 à 1000m. Cette zone est constituée de vastes étendues steppiques dont une grande partie est dégradée sous l'effet des sécheresses prolongées.

Des ressources hydriques conséquentes souterraines et superficielles qui sont représentés dans les oueds en particulier Oued M'zi qui constitue un des plus importants cours d'eau du Sahara septentrional (ANDI, 2013b ; Aissaoui, 2016).

2.1.1.2. Cortège floristique :

La flore saharienne apparait comme très pauvre si l'on compare le petit nombre des espèces qui habitent ce désert à l'énormité de la surface qu'il couvre, et la wilaya de Ghardaia fait partie du Sahara septentrional mais elle n'est pas dépourvue de végétation car elle se caractérise par la présence des oasis sur ses principaux oueds, y compris la vallée du M'Zab, qui comprend en elle-même un groupe de cinq oasis. Bien que la culture du palmier dattier soit dominante, l'agriculture à Ghardaia est relativement diversifiée. Il y a la culture des légumes, arbres fruitiers, céréales (orge et blé dur), en plus de la culture de l'arachide. Ce site contient également des plantes spontanées à caractère médicinal appartenant à diverses familles telles que les Lamiaceae, Asteraceae, Fabaceae, Chenopodiaceae, etc... (Ozenda, 1977 ; Kemassi et *al.*, 2014 ; Bensaha et Arbouch, 2016).

D'autre part, le couvert végétal de la région de Laghouat est caractérisé par une diversité de type de végétation telle que les cultures à savoir : culture céréalière (orge, blé dur, blé tendre, avoine), culture fourragère (luzerne), culture maraichère (pomme de terre, tomate, oignon) et arboriculture. Elle se caractérise aussi par sa richesse floristique qui varie en fonction de la nature du substrat lithologique, par la superficie qu'elle couvre, par la nature du sol des parcours et surtout par les précipitations dans les lieux. La composition floristique de la région de Laghouat est distribuée entre 21 familles et 66 espèces. Sur les 21 familles recensées 09 ne sont représentées que par une seule espèce qui sont : Les Liliaceae, Ranunculaceae, Resedaceae, Rhamnaceae, Boraginaceae, Malvaceae, Crassulaceae, Iridaceae et Geraniaceae ; et les autres familles telles que : Les Plantaginaceae, Chénopodiacées, Scrophulariaceae, Zygophyllaceae, Caryophyllaceae, Dipsacaceae, Lamiaceae, Brassicaceae, et Cistaceae sont représentées par deux ou trois espèces. Par contre : Les Asteraceae, les Poaceae, les Fabaceae sont les 03 familles qui dominent en nombres d'espèces (Salemkeur, 2013 ; Mallem et *al.*, 2017).

2.1.2. Echantillonnage

La méthode d'échantillonnage que nous avons adopté pour la réalisation de ce travail c'était celle basée sur le *hasard* qui consiste à prélever d'une manière aléatoire et simple de divers points du même pied de la plante considérée des feuilles et fleurs saines ou même des tiges ne présentant aucune lésion de même forme et de tailles différentes en fonction bien sûr de leurs âges, autrement dit ; nous avons réalisé une cueillette des feuilles et fleurs jeunes et adultes sur plusieurs pieds avec des fragments de tige de *Hammada scoparia* afin d'éviter les risques de disparition de l'espèce végétale.

Une vue générale de nos échantillons des deux régions sont présentées dans la figure 02.



Figure 02 : Vue générale de l'espèce *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin des régions Ghardaia (A) et Laghouat (B) (Originale, 2019).

Les prélèvements sont réalisés tôt le matin et au moment de la Floraison de la plante à la fin du mois de décembre et par temps sec pour éviter toutes altérations des huiles ou tout autre produit du métabolisme secondaire. Le matériel végétal est placé dans des étuis en papier stérile puis transporté immédiatement au laboratoire en vue de l'analyse. Les parties prélevées sont mises à sécher pour servir aux analyses biochimiques et l'extraction des principes actifs (préparation des extraits bruts).

2.1.3. Séchage

Sécher une plante n'est en fait rien d'autre que lui retirer progressivement son humidité. Il sera souvent nécessaire, avant de procéder à ce séchage, de passer les parties récoltées rapidement sous un filet d'eau, pour éliminer la poussière, les impuretés, les particules de terre, etc. Les parties feuilles, fleurs et tiges récoltées sont étendues en couches minces, à bonne aération, en courant d'air, sur une toile blanche pendant trois semaines et en les retournant de temps à autre. Le séchage doit se prolonger jusqu'à l'obtention d'une consistance tout à fait friable, facile à briser lorsqu'on les courbe. Une dessiccation excessive fait cependant tomber les plantes ou les organes en poussière et entraîne la perte de leurs matières actives. Dans le cas contraire, si l'humidité résiduelle reste élevée, on court toujours le risque de les voir pourrir ou moisir lors de la conservation.



Figure 03: Vue générale des principaux organes broyer de l'espèce *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin (Originale, 2019).
A : Fleurs, B : Feuilles, C : Tiges.

2.2. Méthodes d'analyses

2.2.1. Tests biochimiques préliminaires

Nous avons entrepris un screening phytochimique afin de connaître les principaux constituants de notre espèce végétale *Hammada scoparia*. Ces tests sont réalisés sur toute la partie aérienne.

2.2.1.1. Teneur en eau :

La teneur en eau est calculée par la méthode gravimétrique qui consiste à introduire dans un cristalliseur préalablement séché à l'étuve puis refroidi dans un dessiccateur taré 2 g environ de matière fraîche. Celle-ci est ensuite placée dans une étuve à une température entre 100 et 105°C pendant au moins deux heures. L'opération est faite plusieurs fois jusqu'à l'obtention d'une masse constante. La teneur est alors calculée pour 100 g de drogue végétale.

2.2.1.2. Recherche des Tanins :

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

2.2.1.3. Recherche des Flavonoïdes :

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

2.2.1.4. Recherche des Saponosides :

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

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

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

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

2.2.1.5. Recherche des Anthocyanes :

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

2.2.1.6. Recherche des Leuco anthocyanes :

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

2.2.1.7. Recherche des Alcaloïdes :

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

2.2.1.8. Recherche des Terpènes :

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

2.2.1.9. Recherche des Stérols :

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

2.2.2. Préparation des extraits bruts de l'espèce *Hammada scoparia*

2.2.2.1. Extrait brut méthanolique :

L'extrait brut méthanolique EBM des différents organes Tiges, Feuilles et Fleurs est préparé selon la méthode de Fallah et *al.*, 2008 : une prise d'essai de 2.5 g de drogue végétale est mise à macérer dans 25 mL de méthanol absolu sous agitation magnétique pendant 2 à 3 heures à une température ambiante. Après filtration, le marc obtenu a subi quatre autres extractions successives avec le même volume du solvant utilisé. Les filtrats récupérés sont évaporés à sec sous pression réduite à 50°C à l'aide d'un évaporateur rotatif. Le résidu obtenu est récupéré avec très peu de méthanol. La solution de l'extrait est ensuite stockée à 4°C pour un usage ultérieur.

2.2.2.2. Extrait brut aqueux :

L'extrait brut aqueux EBA est préparé selon la méthode de Majhenic et *al.*, 2007 avec légères modifications concernant le volume du solvant utilisé. 05 g de poudre végétale sont dissous dans 50 mL au lieu de 75 mL d'eau distillée, sous agitation magnétique pendant 2 à 3 heures à une température ambiante. Après filtration et pour un meilleur épuisement de la plante, quatre autres extractions sont faites avec le même marc en utilisant le même volume d'eau distillée. Les filtrats ainsi obtenus sont évaporés à sec sous pression réduite à 65°C à l'aide d'un évaporateur rotatif. Le résidu obtenu est récupéré avec du méthanol et la solution de l'extrait est ensuite conservée à 4°C.

2.2.2.3. Extrait hydrométhanolique :

L'extrait hydrométhanolique EHM est préparé selon la méthode de Motamed et Naghibi, 2010 avec légère modification à propos des volumes des solvants utilisés. Une prise d'essai de l'ordre de 05 g de drogue végétale est mise à macérer dans un volume de 50 mL d'un mélange hydrométhanolique à raison de 1V/1V sous agitation magnétique pendant 2 à 3 heures à une température ambiante. Cinq extractions hydrométhanoliques sont faites successivement avec le même marc de la même prise d'essai. Les filtrats recueillis sont évaporés à sec sous pression réduite à 55°C à l'aide d'un évaporateur rotatif. Le résidu obtenu est récupéré avec du méthanol et la solution de l'extrait est ensuite conservée à 4°C.

2.2.3. Dosage

Les tests de dosage des principaux composés du métabolisme secondaire des différents organes de la partie aérienne de l'espèce végétale *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin des régions Ghardaia et Laghouat du Sahara septentrional algérien sont résumés ci-dessous. Ces tests sont réalisés en triplicata.

2.2.3.1. Dosage des polyphénols totaux :

La teneur en polyphénols totaux est déterminée par spectrophotométrie en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce dernier est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMO_{12}O_4$) qui est réduit, lors de l'oxydation des composés phénoliques en mélange d'oxydes bleu de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (MO_8O_3).

L'absorption maximale est comprise entre 700 et 760 nm, est proportionnelle à la quantité de polyphénols présente dans les extraits végétaux (Boizot et Charpentier, 2006). Le dosage de ces polyphénols est effectué selon la méthode décrite par Singleton et Rossi, 1965 avec légère modification concernant les volumes : Un volume de 100 μ l de l'extrait végétal est mélangé avec 400 μ l de réactif de Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois dans de l'eau distillée). Après agitation puis incubation de 05 min, 500 μ l de solution de carbonate de sodium Na_2CO_3 (7,5 %) est ajouté. Le mélange est laissé au repos à l'obscurité et à température ambiante pendant 90 min avec agitation intermittente. L'absorbance de la solution résultante est mesurée à 765 nm contre un blanc.

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

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

2.2.3.2. Dosage des flavonoïdes totaux :

La teneur en flavonoïdes totaux est déterminée par la méthode colorimétrique au chlorure d'aluminium de Djeridane et *al.*, 2006. Brièvement, 500 µl d'extrait est mélangé avec 500 µl de solution méthanolique AlCl₃ à 2% (dilué dans le méthanol absolu). Après incubation à température ambiante pendant 15 minutes, l'absorbance est mesurée à 430 nm. Les teneurs en flavonoïdes sont calculées à partir d'une courbe d'étalonnage de la rutine et sont exprimées en milligrammes équivalent rutine par gramme de matière végétale sèche (mg ER / g MVS).

2.2.3.3. Dosage des tanins totaux :

La teneur en tanins est déterminée par la méthode de Broadhurst et Jones, 1978 en utilisant la catéchine comme composé de référence ou étalon. Un volume de 200 µl d'extrait de plante est ajouté à 600 µl d'une solution de vanilline (4% préparé dans le méthanol) et 300 µl d'acide chlorhydrique concentré (HCl 9M). Après 15 min d'incubation, l'absorbance est lue à 500 nm. La teneur totale en tanins est exprimée en milligrammes équivalent catéchine par gramme de matière végétale sèche (mg EC/ g MVS).

2.2.4. Pouvoir antioxydant

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

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

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

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

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

Cette méthode est basée sur la mesure de la capacité des antioxydants à piéger le radical libre DPPH.

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

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

$$\% \text{ Inhibition} = [(A_1 - A_2) / A_1] \times 100$$

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

A₂ : Absorbance en présence de l'extrait végétal.

Les valeurs enregistrées sont exprimées en milligramme équivalent Trolox par gramme de matière végétale sèche (mg E Trolox/ g MVS).

2.2.4.2. Test de l'ABTS : Capacité antioxydante en équivalent trolox ou activité antioxydante totale AAT

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

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

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

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

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

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

où $A_{734} \text{ blanc}$ et $A_{734} \text{ extrait}$ sont les absorbances de la solution ABTS^{•+} à 734 nm avant et après addition des échantillons ou extraits de plante. L'étalonnage a été effectué avec des solutions stocks de Trolox. Les valeurs enregistrées sont exprimés en mg équivalent Trolox par g de matière végétale sèche (mg E trolox/ g MVS).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Tests biochimiques préliminaires

3.1.1. Teneur en eau

Les valeurs enregistrées de la teneur en eau sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 01: Teneur en eau de la partie aérienne fraîche de l'espèce végétale *Hammada scoparia*.

	Ghardaia	Laghouat
Teneur en eau (en g) dans 100g de partie aérienne fraîche	48 g	60 g
Pourcentage de la quantité d'eau dans 100g de partie aérienne fraîche	48 %	60 %

La quantité d'eau calculée à partir de la partie aérienne fraîche de notre espèce végétale halophyte *Hammada scoparia* dans les deux régions Ghardaia et Laghouat nous montre qu'elle est riche en eau avec 48 g et 60 g pour 100 g de partie aérienne fraîche qui correspondent à un pourcentage d'humidité égal à 48 % et 60 % pour les deux régions respectivement (fig. 04).

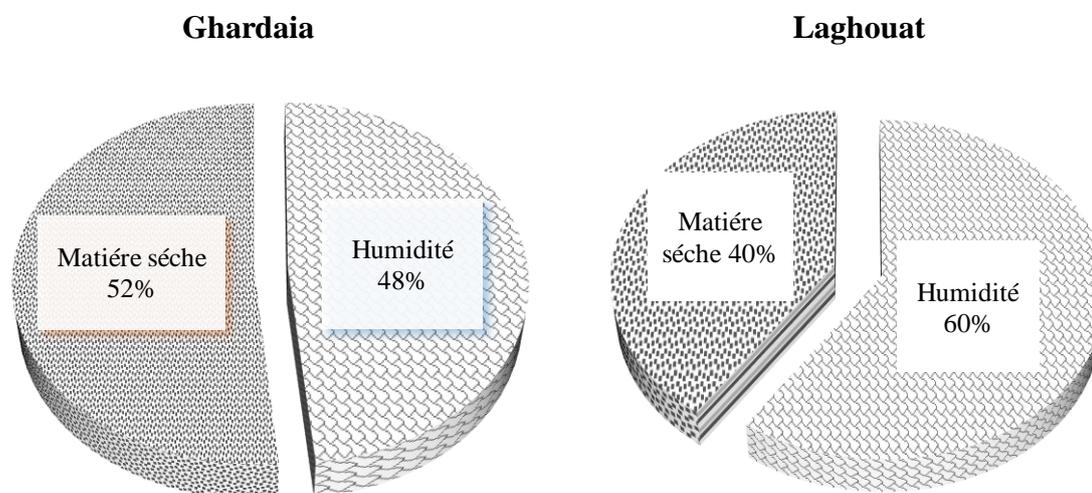


Figure 04 : Taux d'humidité de la partie aérienne fraîche de l'espèce *Hammada scoparia*.

Les résultats des autres tests biochimiques préliminaires réalisés sur la partie aérienne séchée de l'espèce végétale *Hammada scoparia* sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau 02 : Tableau récapitulatif des différents constituants chimiques de la partie aérienne de l'espèce *Hammada scoparia* des régions Ghardaia et Laghouat.

Constituant chimique \ Région	Ghardaia	Laghouat
Tanins galliques	(+)	(+)
Flavonoïdes	(+)	(+)
Saponosides	(+)	(+)
Anthocyanes	(+)	(+)
Leuco anthocyanes	(-)	(-)
Alcaloïdes	(+)	(+)
Terpènes	(+)	(+)
stéroïls	(-)	(-)

(+) détecté, (-) non détecté.

Les tests biochimiques préliminaires des différents composés de la partie aérienne de cette espèce végétale nous ont permis d'apprécier la qualité biochimique de notre espèce. Autrement dit, ces tests ont mis en évidence la présence de six composés du métabolisme secondaire (tanins galliques, flavonoïdes, saponosides, anthocyanes, alcaloïdes et terpènes) et l'absence de deux autres composés aussi importants : stéroïls et leuco anthocyanes.

Les composés du métabolisme secondaire sont mis en évidence par des réactifs spécifiques dans la figure 05.



Flavonoïdes G



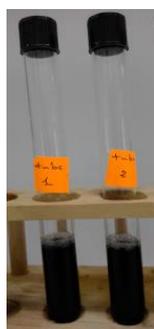
Flavonoïdes L



Alcaloïdes G



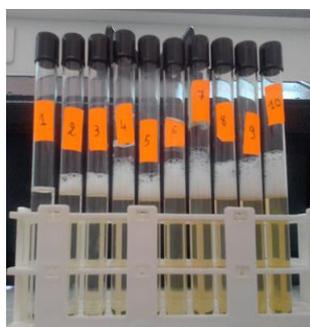
Alcaloïdes L



Tanins galliques G



Tanins galliques L



Saponosides G



Saponosides L

Figure 05: Exemples de résultats de réactions de mise en évidence de quelques composants du métabolisme secondaire de l'espèce *Hammada scoparia*.

G : Ghardaia, L : Laghouat.

Cette richesse en alcaloïdes et en composés polyphénoliques en particulier nous montre la qualité biochimique supérieure de l'espèce végétale en question et par conséquent nous justifie l'usage traditionnel massif de la plante par la population des régions Ghardaia et Laghouat. Nos résultats sont plus ou moins comparables avec ceux obtenus dans les travaux de (Alghazeer et *al.*, 2012a ; Ashraf et *al.*, 2013).

3.2. Rendements en extraits bruts de l'espèce *Hammada scoparia*

Les extractions brutes méthanolique, aqueux et hydrométhanolique de la partie aérienne de l'espèce *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin nous ont permis de calculer le rendement de chaque extrait. Le rendement, qui a été déterminé en mg/g de matière végétale sèche, est exprimé en pourcentage selon la formule suivante : $R (\%) = (PEB / PMV) \times 100$ où :

R (%) : rendement en %.

PEB : poids de l'extrait brut.

PMV : poids de matière végétale.

Les valeurs obtenues sont indiquées dans le tableau suivant (tab. 03) :

Tableau 03 : Rendements (%) en extraits bruts de la partie aérienne de l'espèce *Hammada scoparia*.

Extrait brut	Région	Ghardaia			Laghouat		
		Tiges	Feuilles	Fleurs	Tiges	Feuilles	Fleurs
Méthanolique (EBM)		33.2	31.6	13.4	21.3	86.0	18.0
Aqueux (EBA)		21.8	34.6	28.8	33.0	42.0	26.6
Hydrométhanolique (EHM)		20.8	54.0	41.6	8.0	27.0	41.4

De la plupart des résultats obtenus, il semble évident que les feuilles de l'espèce *Hammada scoparia* présentent la partie la plus riche en extraits bruts méthanolique, aqueux et hydrométhanolique pour les deux régions choisies dans notre expérimentation.

A partir du tableau ci-dessus, un rendement assez élevé de l'ordre de 86 % en extrait brut méthanolique des feuilles de l'espèce *Hammada scoparia* de la région de Laghouat, est enregistré. Cependant, Les feuilles de la même espèce végétale de la région de Ghardaia n'ont présenté qu'un rendement moyen égal à 31.6 % en EBM. Des rendements en extrait brut aqueux plus ou moins similaires sont enregistrés avec un maximum d'environ 42 % des feuilles de notre espèce végétale de la région de Laghouat et 34.6 % pour la région de Ghardaia.

Pour ce qui est de l'extrait brut hydrométhanolique des différents organes de la même espèce des deux régions Ghardaia et Laghouat, une hétérogénéité dans les résultats obtenus est enregistrée à l'exception des fleurs qui ont présenté des rendements plus ou moins similaires ne dépassant pas les 42 % et meilleurs que ceux des extraits bruts méthanolique et aqueux. Un rendement supérieur à 50 % est obtenu avec la poudre des feuilles de notre espèce de la région de Ghardaia. Les tiges de l'espèce *Hammada scoparia* qui pousse dans la région de

Laghouat ont présenté la teneur la plus faible avec même pas 10 % en extrait brut hydrométhanolique. Cette différence dans les teneurs en extraits bruts est due probablement à la distribution inégale des métabolites secondaires entre les différentes parties de la plante étudiée (Benhammou et *al.*, 2009).

Nos résultats des teneurs en extraits bruts de l'espèce de la région de Laghouat sont complètement différents par rapport à ceux obtenus par Belhadj Tahar et *al.*, 2015 avec l'extrait butanolique des feuilles de l'espèce *Hammada scoparia* de Laghouat où un rendement assez faible de l'ordre de 6.2% est enregistré. De même, nos résultats sont meilleurs que ceux obtenus par Bourogaa et *al.*, 2012 sur la même espèce végétale *Hammada scoparia* de la région de sud-tunisien où une teneur égale à 15.07 % en extrait brut méthanolique est obtenue.

D'autre part et pour ce qui est de la région de Ghardaia, les résultats de la présente étude sont plus ou moins en concordance avec ceux obtenus dans les travaux de Mohammedi, 2013 réalisés sur la même espèce végétale de la région de Ghardaia avec une teneur en EBM de 17.29 % de matière végétale sèche. Cependant, et par comparaison avec les résultats de Zerriouh, 2015 sur l'espèce *Hammada scoparia* de Ain Sefra (Naâma), un rendement en EHM (20.4%) inférieur que celui enregistré avec notre plante.

D'une manière générale, la variabilité des résultats peuvent être liée aux solvants d'extraction, aux conditions environnementaux de la région, et même la partie de plante utilisée qui peut influencer le rendement.

D'autre part et en se référant aux travaux de Ghedadba et *al.*, 2014 les teneurs en extraits bruts varient non seulement d'une plante à une autre de la même famille mais également en fonction des paramètres de l'extraction solide-liquide des polyphénols, la taille des particules et le coefficient de diffusion de solvant ou mélange de solvants d'extraction. En effet, le méthanol et le mélange hydrométhanolique sont considérés comme des meilleurs solvants d'extraction des composés chimiques naturels (Bekro et *al.*, 2007 ; Mohammedi et Atik, 2011).

En plus de ces aspects quantitatifs, quelle que soit la méthode d'extraction appliquée, elle doit tenir compte de la qualité d'extrait, autrement dit de la bioactivité de ces principes actifs. Dans la présente étude, la méthode de macération sous agitation permet d'accélérer le processus d'extraction et de minimiser le temps de contact du solvant avec l'extrait tout en préservant la bioactivité de ses constituants. De même, le déroulement de cette extraction à température ambiante ainsi que l'épuisement du solvant à pression réduite permet d'obtenir le maximum des composés et de prévenir leur dénaturation ou modification probable dues aux températures élevées utilisées dans d'autres méthodes d'extraction.

3.3. Teneur en composés phénoliques

3.3.1. Teneur en polyphénols totaux

Les résultats de la teneur en polyphénols totaux sont exprimés en milligramme équivalent acide gallique par gramme de matière végétale sèche (mg EAG/ g MVS). La courbe d'étalonnage est établie avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0.9988$ (fig. 06).

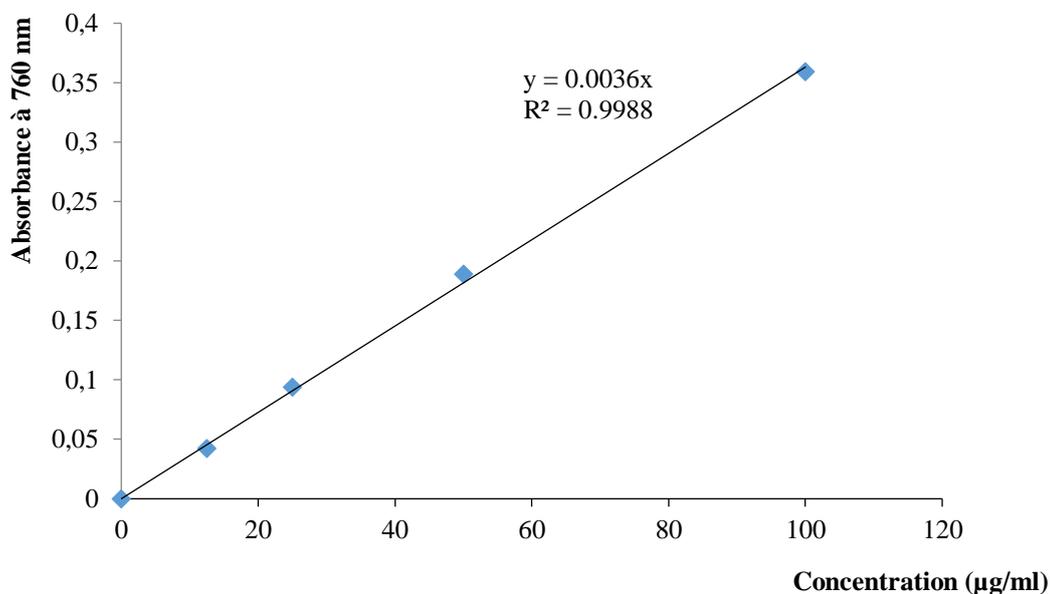


Figure 06 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

De la figure ci-dessus de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique et à partir de l'équation de régression linéaire, nous avons pu calculer la teneur en polyphénols totaux dans les différents extraits de notre plante *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin des régions Ghardaia et Laghouat au Sahara algérien. Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures 07 et 08.

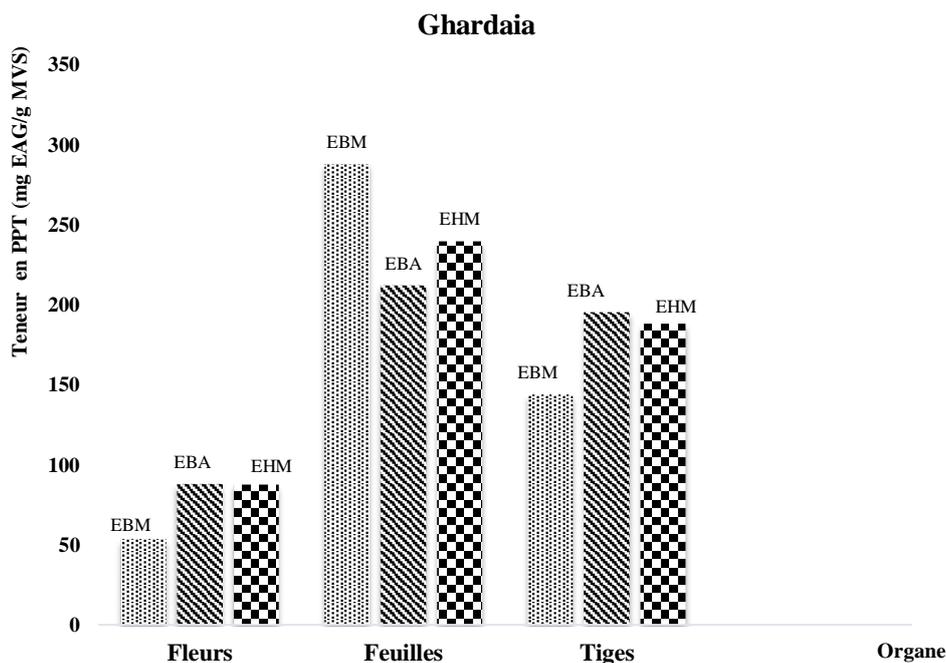


Figure 07 : Teneurs en polyphénols totaux des extraits de la partie aérienne de l'espèce *Hammada scoparia* de la région de Ghardaia.

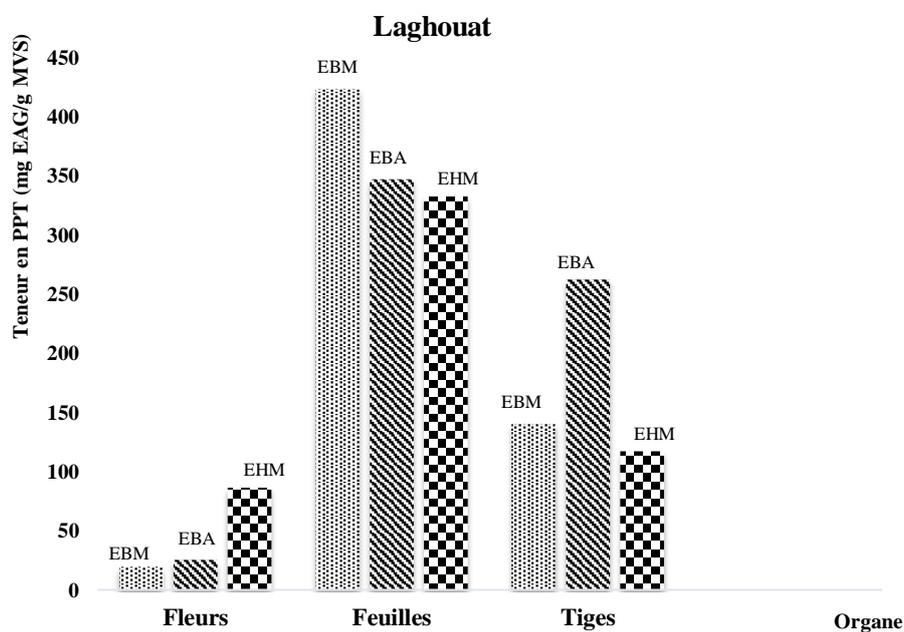


Figure 08 : Teneurs en polyphénols totaux des extraits de la partie aérienne de l'espèce *Hammada scoparia* de la région de Laghouat.

A partir des résultats obtenus, les différents organes de la partie aérienne de l'espèce *Hammada scoparia* de la région de Laghouat s'avèrent les plus riches en composés polyphénoliques dans la plupart des extraits bruts utilisés.

D'une manière générale, les feuilles semblent être les plus riches en polyphénols totaux notamment dans l'extrait brut méthanolique EBM et ce dans les deux régions Ghardaia et Laghouat avec $287.911 \pm 6,904$ et $423.032 \pm 10,471$ mg EAG/g MVS respectivement. L'extrait brut aqueux EBA de l'espèce végétale de la région de Laghouat vient en deuxième position avec une teneur de l'ordre de $346.733 \pm 11,867$ mg EAG/g MVS. De même, l'extrait brut hydrométhanolique EHM de la région de Laghouat a présenté une richesse en polyphénols totaux avec une moyenne de l'ordre de $332.5 \pm 4,449$ mg EAG/g MVS contre uniquement $239.7 \pm 14,279$ mg EAG/g MVS pour la région de Ghardaia.

Pour ce qui est des tiges, l'extrait brut aqueux EBA est avéré aussi riche en polyphénols totaux avec un maximum de $262.014 \pm 20,630$ mg EAG/g MVS pour la région de Laghouat. Les fleurs semblent être les moins riches dont la teneur maximale est enregistrée avec l'extrait brut aqueux EBA de la région de Ghardaia ($87.84 \pm 0,613$ mg EAG/g MVS).

3.3.2. Teneur en flavonoïdes totaux

Les valeurs de la teneur en flavonoïdes totaux des différents extraits de notre plante sont exprimés en milligramme équivalent rutine par gramme de matière végétale sèche (mg ER/g MVS). La courbe d'étalonnage est faite avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0.9992$ (fig. 09).

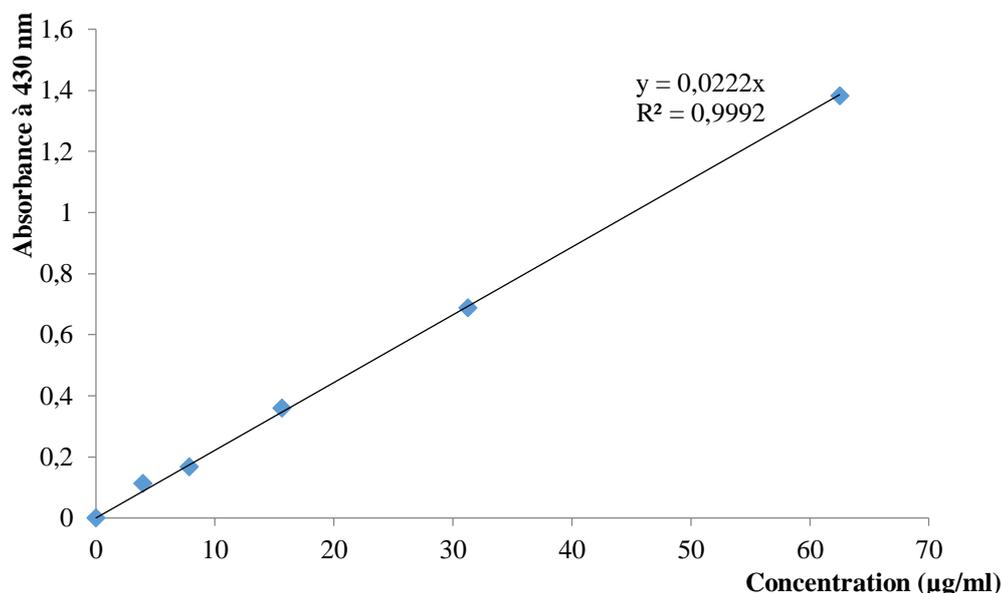


Figure 09 : Courbe d'étalonnage de la rutine.

De la figure 09 de la courbe d'étalonnage de la rutine et à partir de l'équation de régression linéaire, les teneurs en flavonoïdes totaux des différents extraits de notre plante des régions Ghardaia et Laghouat au Sahara septentrional algérien sont évaluées. Les résultats obtenus sont dans les figures suivantes (fig. 10 et 11).

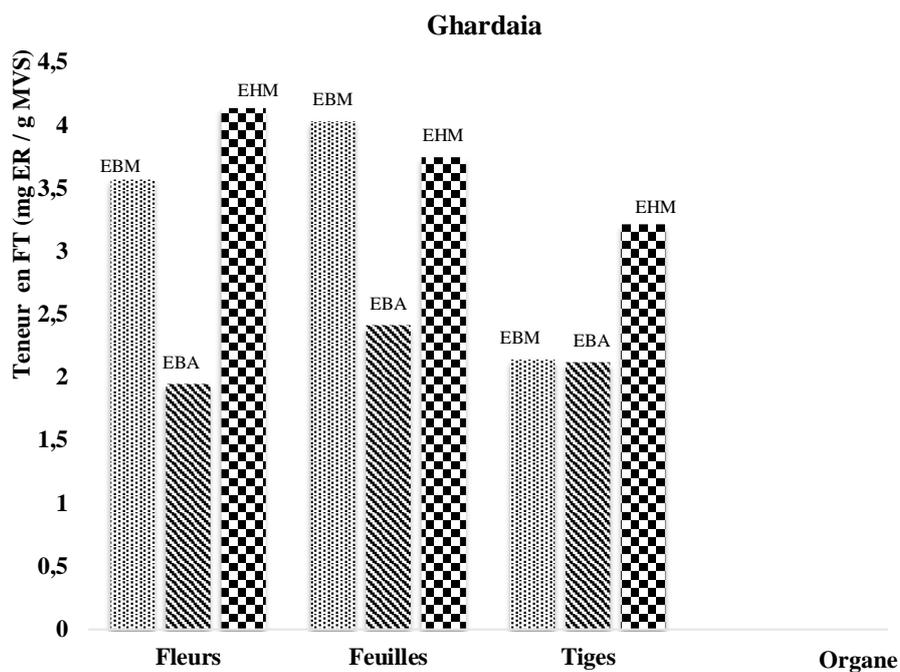


Figure 10 : Teneurs en flavonoïdes totaux des extraits de la partie aérienne de l'espèce *Hammada scoparia* de la région de Ghardaia.

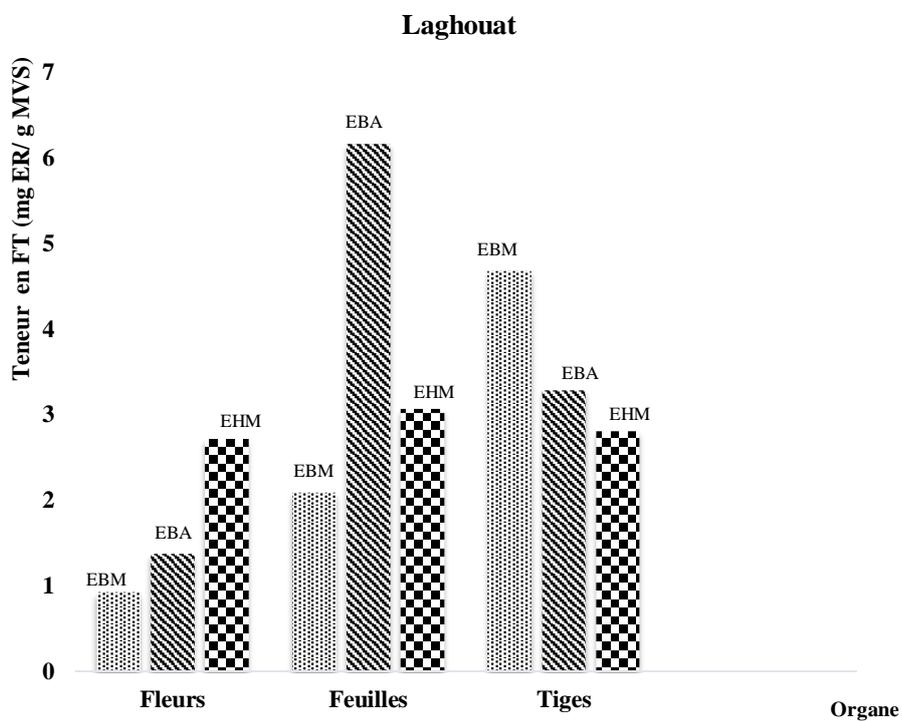


Figure 11 : Teneurs en flavonoïdes totaux des extraits de la partie aérienne de l'espèce *Hammada scoparia* de la région de Laghouat.

D'après les figures 10 et 11 des teneurs en flavonoïdes totaux des extraits de la partie aérienne de l'espèce *Hammada scoparia*, les feuilles et les fleurs de la région de Ghardaia sont avérées les plus riches en composés flavonoïdiques totaux avec des teneurs allant de $3.57 \pm 3,020$ à 4.138 ± 0.156 mg ER/ g MVS dans les extraits bruts méthanolique et hydrométhanolique. Une exception est enregistrée pour ce qui est de l'extrait brut aqueux EBA des feuilles de l'espèce de la région de Laghouat où une teneur très élevée de l'ordre de 6.168 ± 1.311 mg ER/g MVS est enregistrée.

Quant aux extraits bruts des tiges, des résultats meilleurs sont obtenus avec l'espèce *Hammada scoparia* de la région de Laghouat. L'extrait brut méthanolique EBM a présenté une forte teneur en composés flavonoïdiques totaux, meilleure que celle obtenue avec les tiges de la même espèce de la région de Ghardaia, avec une moyenne de l'ordre de 4.678 ± 2.543 mg ER /g MVS. Cependant, une teneur moyennement élevée égale à $3.214 \pm \pm 1.627$ mg ER /g MVS en flavonoïdes totaux est obtenue dans l'extrait brut hydrométhanolique de l'espèce de la région de Ghardaia supérieure à celle du même extrait brut de la région de Laghouat (2.804 ± 0.074 mg ER /g MVS).

En général et pour tous les organes de la partie aérienne de notre plante, les extraits bruts méthanolique et hydrométhanolique ont présenté la plus grande richesse en composés flavonoïdiques totaux.

3.3.3. Teneur en Tanins totaux

Les teneurs en tanins totaux des extraits bruts EBM, EBA et EHM de la partie aérienne de notre espèce végétale halophyte *Hammada scoparia* des deux régions de sud algérien Ghardaia et Laghouat sont déterminées en utilisant l'équation de régression linéaire d'une courbe d'étalonnage tracée dans les mêmes conditions de l'expérimentation avec différentes concentrations de la catéchine sachant que le coefficient de corrélation $R^2 = 0.9979$ est enregistré (fig. 12). Les valeurs sont exprimés en milligramme équivalent catéchine par gramme de matière végétale sèche (mg EC/ g MVS). Les résultats enregistrés sont indiqués dans les figures 13 et 14.

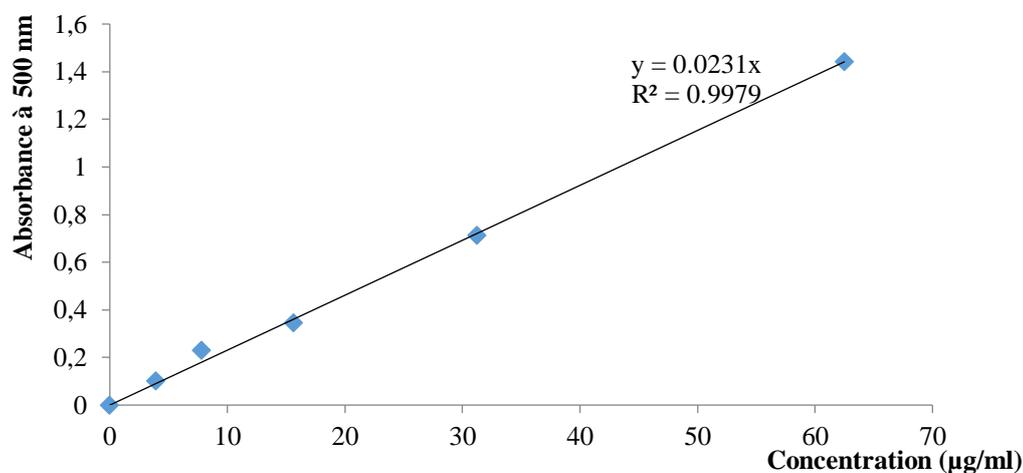


Figure 12 : Courbe d'étalonnage de la catéchine.

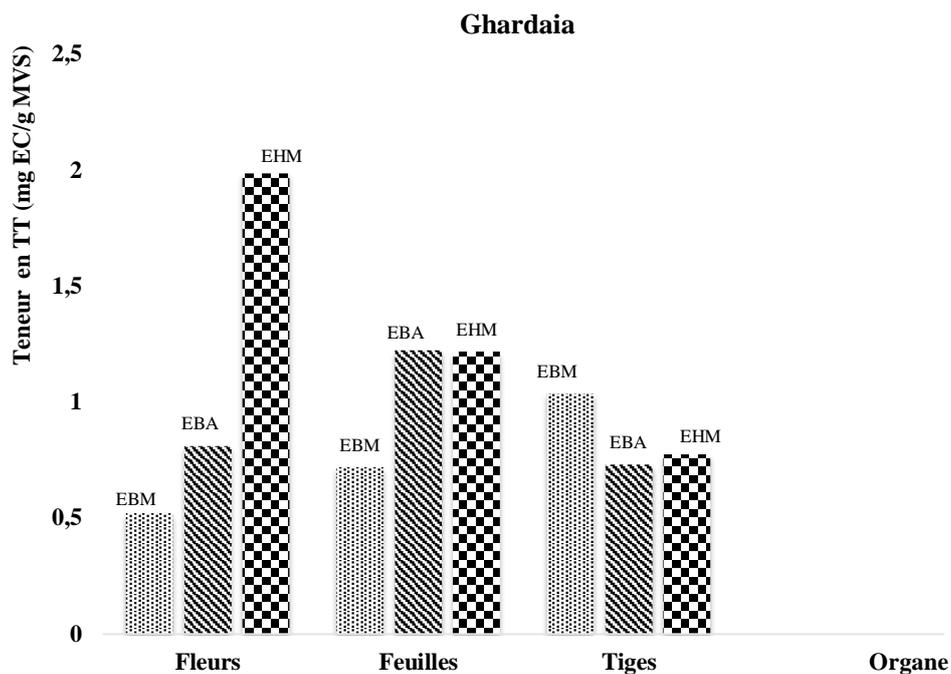


Figure 13 : Teneurs en tanins totaux des extraits de la partie aérienne de l'espèce *Hammada scoparia* de la région de Ghardaia.

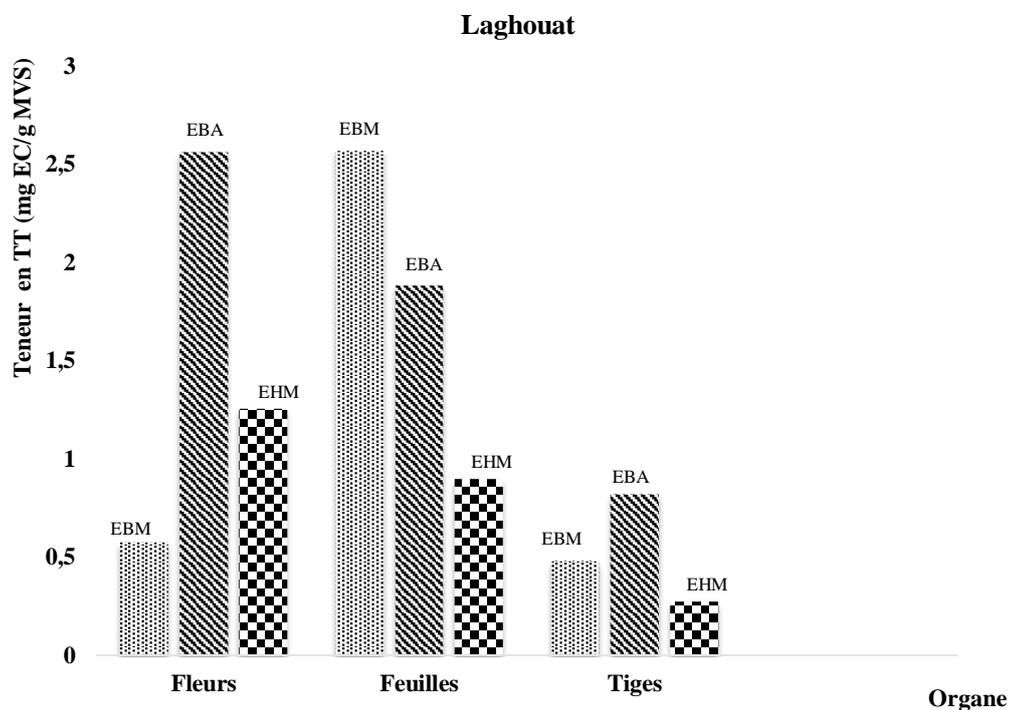


Figure 14 : Teneurs en tanins totaux des extraits de la partie aérienne de l'espèce *Hammada scoparia* de la région de Laghouat.

Les figures ci-dessus des teneurs en tanins totaux nous ont confirmé qu'il y a une hétérogénéité dans les résultats obtenus. Les fleurs de notre espèce végétale de la région de Ghardaia semblent être très riches en composés tanniques du métabolisme secondaire avec une moyenne de 1.986 ± 0.011 mg EC/g MVS, par rapport aux extraits bruts des autres parties de l'espèce de la même région. Avec une valeur supérieure de plus de 2.5 mg EC/ g MVS, une similitude est enregistrée en ce qui concerne les teneurs en tanins totaux des extraits bruts de la région de Laghouat EBA et EBM des fleurs et feuilles respectivement.

Pour ce qui est des tiges, des teneurs faibles en tanins totaux variant entre 0.272 ± 0.005 et 1.037 ± 0.005 mg EC/ G MVS sont évaluées dans les extraits bruts caulinaires de l'espèce *Hammada scoparia* des deux régions concernées.

En bref, l'espèce *Hammada scoparia* de la région de Laghouat est meilleure que celle de Ghardaia du point de vue richesse biochimique en composés tanniques et plus particulièrement dans ses fleurs et feuilles.

En se référant à des travaux récemment publiés sur les teneurs en composés du métabolisme secondaire dans les extraits de plantes, nos résultats des teneurs en polyphénols totaux sont plus ou moins comparables avec ceux obtenus par Alghazeer et *al.*, 2012a où la teneur en polyphénols totaux dans les feuilles de l'espèce *Hammada scoparia* de la région Libyenne est d'environ 119.76 ± 15.76 mg EAG/g MVS dans le même extrait. Toutefois, une différence est enregistrée par comparaison avec les résultats de Bouaziz et *al.*, 2016 où la teneur en polyphénols totaux dans l'EBM des feuilles de l'espèce *Hammada scoparia* de la région de Sfax en Tunisie est d'environ 59.75 ± 1.80 mg EAG/g MVS.

Concernant les teneurs en polyphénols totaux dans les extraits bruts des tiges de l'espèce végétale étudiée des régions Laghouat et Ghardaïa. Nos résultats sont en parfaite concordance avec ceux de Rached et *al.*, 2010 où une teneur égale à 163.16 mg EAG / g MVS est enregistré dans l'EBA. De même, une similitude est obtenue avec les résultats de Louerrad et *al.*, 2016 sur l'extrait brut aqueux des tiges de la même espèce de la région de Béchar avec une teneur de 161.49 mg EAG / g MVS.

Quant aux fleurs, des résultats meilleurs que ceux obtenus dans notre étude, sont publiés par Belhadj Tahar et *al.*, 2015 dont la teneur en polyphénols totaux dans les extraits butanoliques est de 62.590 ± 2.051 mg EAG /g MVS. De ce fait, une teneur élevée en polyphénols est liée à la grande solubilité des composés phénoliques dans les solvants polaires (Ghedadba et *al.*, 2014).

En ce qui concerne les flavonoïdes totaux et par comparaison avec des travaux antérieurs réalisés par Bakchiche et Gherib, 2014 sur la même espèce végétale de la région de Laghouat, une similarité est enregistrée avec un taux de l'ordre de 2.72 ± 0.54 mg EQ/ g MVS dans l'extrait brut hydro-éthanolique. Cependant, une divergence est constatée par rapport à nos résultats qui sont avérés meilleurs que ceux de Belhadj Tahar et *al.*, 2015 avec l'extrait d'acétate d'éthyle où un taux très faible en flavonoïdes totaux égal à 0.531 ± 0.003 mg EQ/g MVS est obtenu. Par ailleurs, les teneurs en flavonoïdes totaux dans nos extraits

bruts de l'espèce de la région de Ghardaia semblent être très faibles par rapport à ceux d'Allaoui et *al.*, 2016 avec l'extrait brut hydro-éthanolique de la même région de Ghardaia où ils ont trouvé une teneur égale à 82.835 mg EQ/ g MVS. De même, Mohammedi, 2013 ont publié des résultats des teneurs en flavonoïdes totaux (12.329 ± 0.006 mg ER/ g MVS), meilleurs que celles obtenues dans l'EBM de notre espèce de la région de Ghardaia.

A propos des tanins et en terme de comparaison, nos résultats sont en parfaite concordance avec ceux de Belhadj Tahar et *al.*, 2015 qui à travers ses études, ont présenté des teneurs moyennes en tanins totaux de l'ordre de $2.862 \pm 0,012$ et 1.641 ± 0.017 mg EC/g MVS dans les extraits bruts butanolique et d'acétate d'éthyle de l'espèce *Hammada scoparia* de la région de Laghouat. De même, nos résultats, de l'espèce de la région de Ghardaia, sont plus ou moins comparables avec ceux obtenus dans les travaux de Benkherara et Bordjiba, 2018 sur la même espèce végétale de la région de Biskra où une teneur en tanins totaux égale à 2.576 ± 0.112 mg EC/g MVS dans l'EBA et une autre de 0.958 ± 0.052 mg EC/ g MVS dans l'EBM est annoncée.

En général, cette différence dans les résultats obtenus peut être liée d'une part, aux diverses conditions expérimentales (polarité des solvants d'extraction, quantité de matière végétale, techniques d'extraction) (Green, 2004 ; Benkherara et Bordjiba, 2018) et d'autre part aux variations environnementales édaphoclimatiques (Belyagoubi-Benhammou, 2014).

3.4. Pouvoir antioxydant

3.4.1. Test de DPPH : Effet inhibiteur du radical libre stable DPPH (2,2-diphényle-1-picrylhydrazyle)

Les valeurs du pouvoir inhibiteur du radical libre stable DPPH par les extraits bruts EBM, EBA et EHM de notre espèce végétale *Hammada scoparia* des régions Ghardaia et Laghouat du Sahara septentrional Algérien sont déterminées en utilisant l'équation de régression linéaire d'une courbe d'étalonnage (fig. 15) tracée dans les mêmes condition de l'expérimentation avec un antioxydant de synthèse Trolox à différentes concentrations d'où un coefficient de corrélation R^2 de l'ordre de 0.9998 est obtenu.

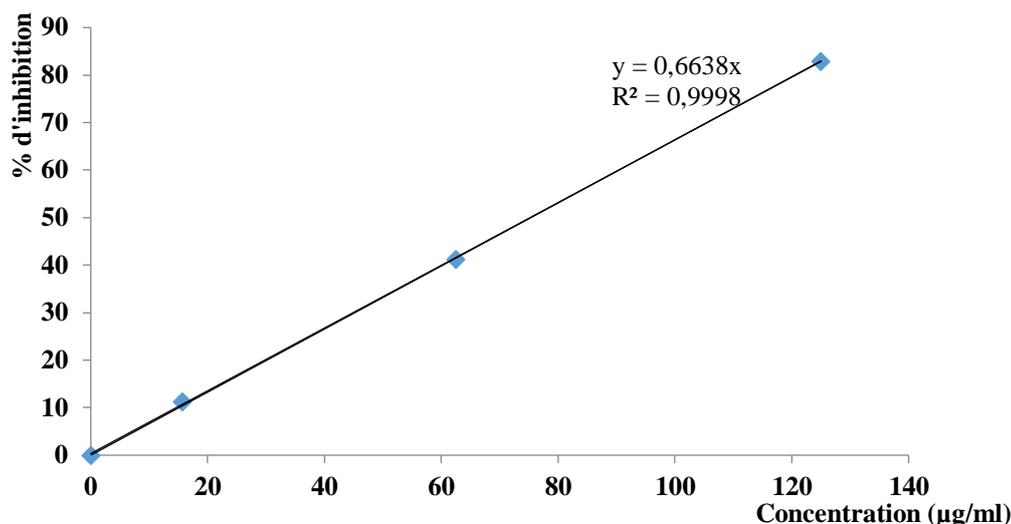


Figure 15: Courbe d'étalonnage de l'antioxydant de synthèse Trolox (pour DPPH).

Les résultats obtenus (tab. 04) sont exprimés en milligramme équivalent Trolox par gramme de matière végétale sèche (mg ET/ g MVS)

Tableau 4 : Résultats globaux (mg ET/ g MVS) du pouvoir antioxydant (test de DPPH) des extraits de l'espèce *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin.

Région	Organe	Extrait brut		
		Méthanolique (EBM)	Aqueux (EBA)	Hydrométhanolique (EHM)
Ghardaia	Tiges	45.014±0.001	66.996±0.012	67.89±0.022
	Feuilles	94.26±0.016	152.20±0.008	264.12±0.006
	Fleurs	30.506± 0.01	41.65±0.025	83.561±0.001
Laghouat	Tiges	97.547±0.023	70.594±0.003	53.028±0.023
	Feuilles	42.754±0.007	101.235±0.006	55.318±0.041
	Fleurs	65.08±0.016	123.422±0.004	174.631±0.026

D'une manière générale, les extraits bruts des feuilles de l'espèce végétale étudiée de la région de Ghardaia présentent les plus forts pouvoirs inhibiteurs du radical libre DPPH avec des moyennes allant de 94.26 ± 0.016 à 264.12 ± 0.006 mg ET/ g MVS. A partir des figures ci-dessous (fig. 16), l'espèce de la région de Laghouat s'est avérée très forte dans la réduction du radical DPPH par les extraits bruts de ses sommités fleuries et ses tiges où un fort pouvoir inhibiteur de l'ordre de 174.631 ± 0.026 mg ET/ g MVS est enregistré avec l'extrait brut hydrométhanolique EHM suivi de celui de l'extrait brut aqueux EBA (123.422 ± 0.004 mg ET/ g MVS). De même, un pouvoir inhibiteur de 97.547 ± 0.023 mg ET/ g MVS est enregistré avec l'extrait brut méthanolique des tiges de la même espèce de la région de Laghouat.

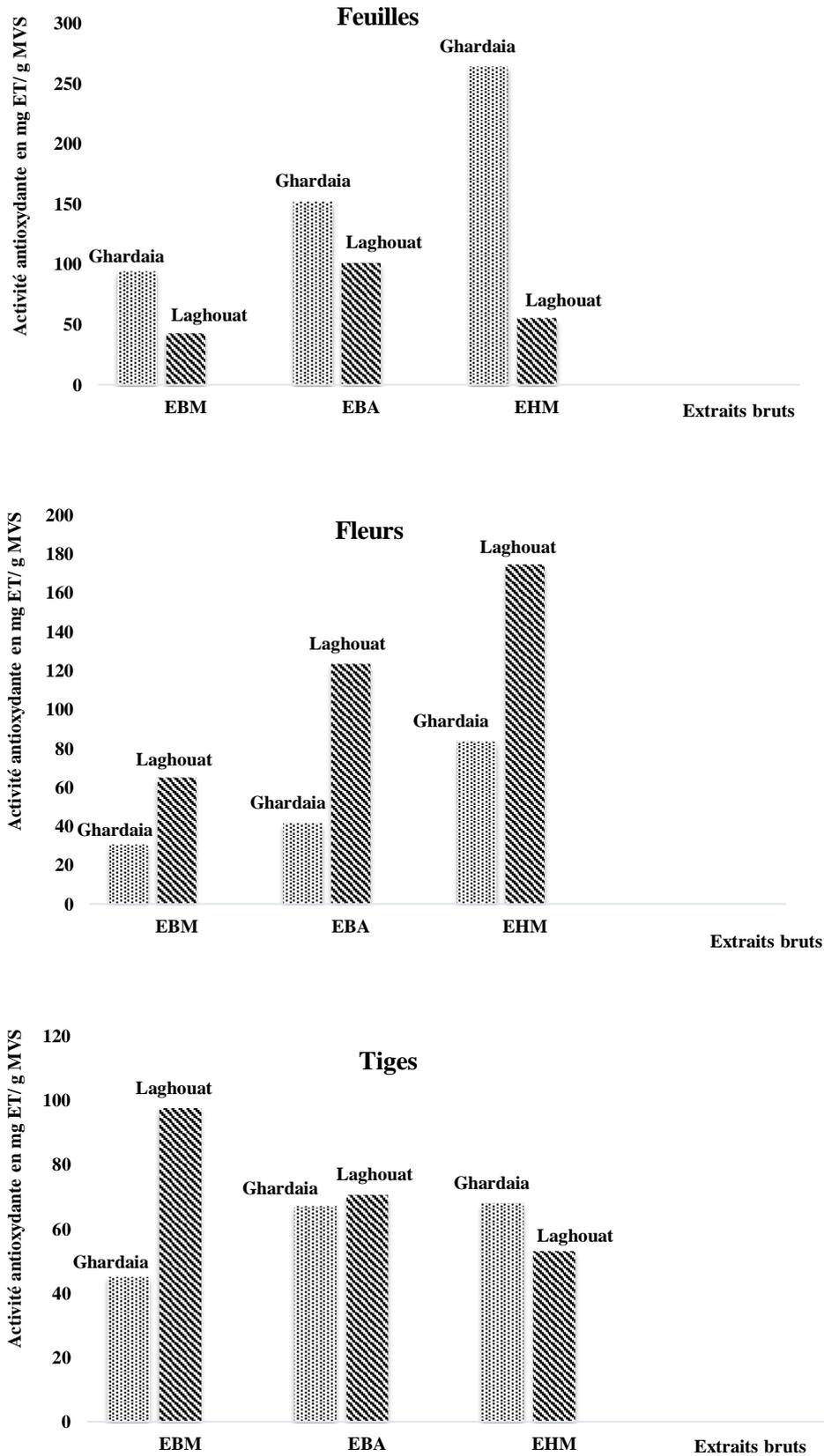


Figure 16: Figures représentatives des résultats de l'activité antioxydante (test de DPPH) des extraits de l'espèce *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin.

3.4.2. Test de l'ABTS

Les valeurs de la capacité antioxydante en équivalent Trolox ou activité antioxydante totale AAT des extraits bruts de notre plante des régions Ghardaia et Laghouat au centre de la région Sahara septentrional algérien, sont évaluées à l'aide d'une courbe d'étalonnage (fig. 17) faite dans les mêmes conditions expérimentales avec le même antioxydant Trolox à différentes concentrations.

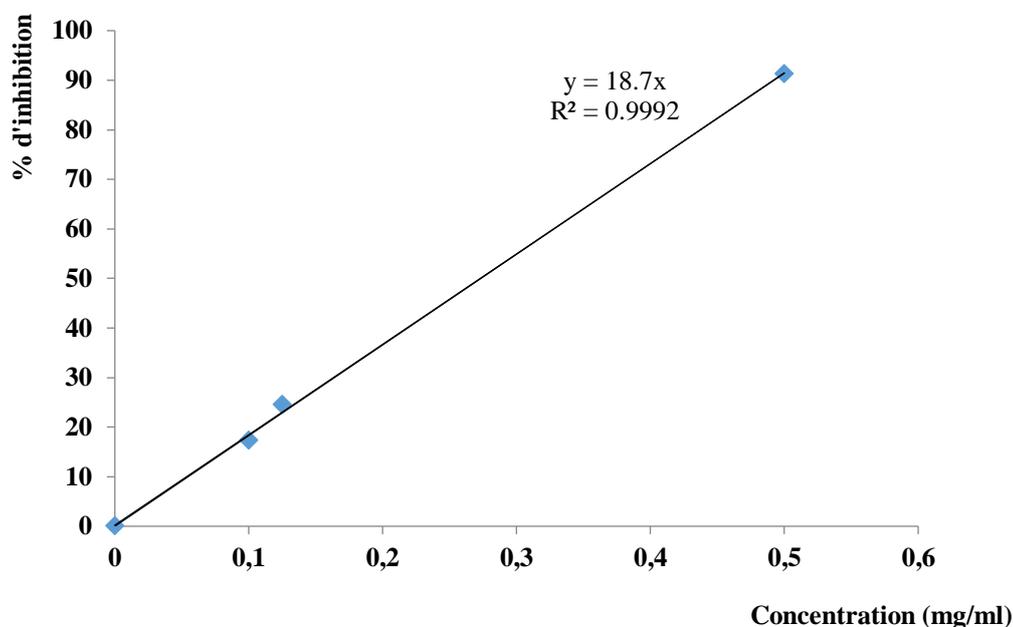


Figure 17: Courbe d'étalonnage de l'antioxydant de synthèse Trolox (pour ABTS).

Les résultats sont présentés en milligramme équivalent Trolox par gramme de matière végétale sèche (mg ET/ g MVS) et sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau 05 : Résultats globaux (mg ET/ g MVS) du pouvoir antioxydant (test de l'ABTS) des extraits de l'espèce *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin.

		Extrait brut		
Région	Organe	Méthanolique (EBM)	Aqueux (EBA)	Hydrométhanolique (EHM)
Ghardaia	Tiges	68.951±1.037	100.082±0.474	163.699±0.376
	Feuilles	238.334±0.004	128.589±0.644	191.835±0.342
	Fleurs	41.745±0.204	96.016±0.063	140.963±0.016
Laghouat	Tiges	250.40±0.256	147.74±0.421	184.15±0.902
	Feuilles	258.512±0.520	344.319±0.954	197.737±1.167
	Fleurs	59.026±0.148	94.496±0.058	135.76±2.930

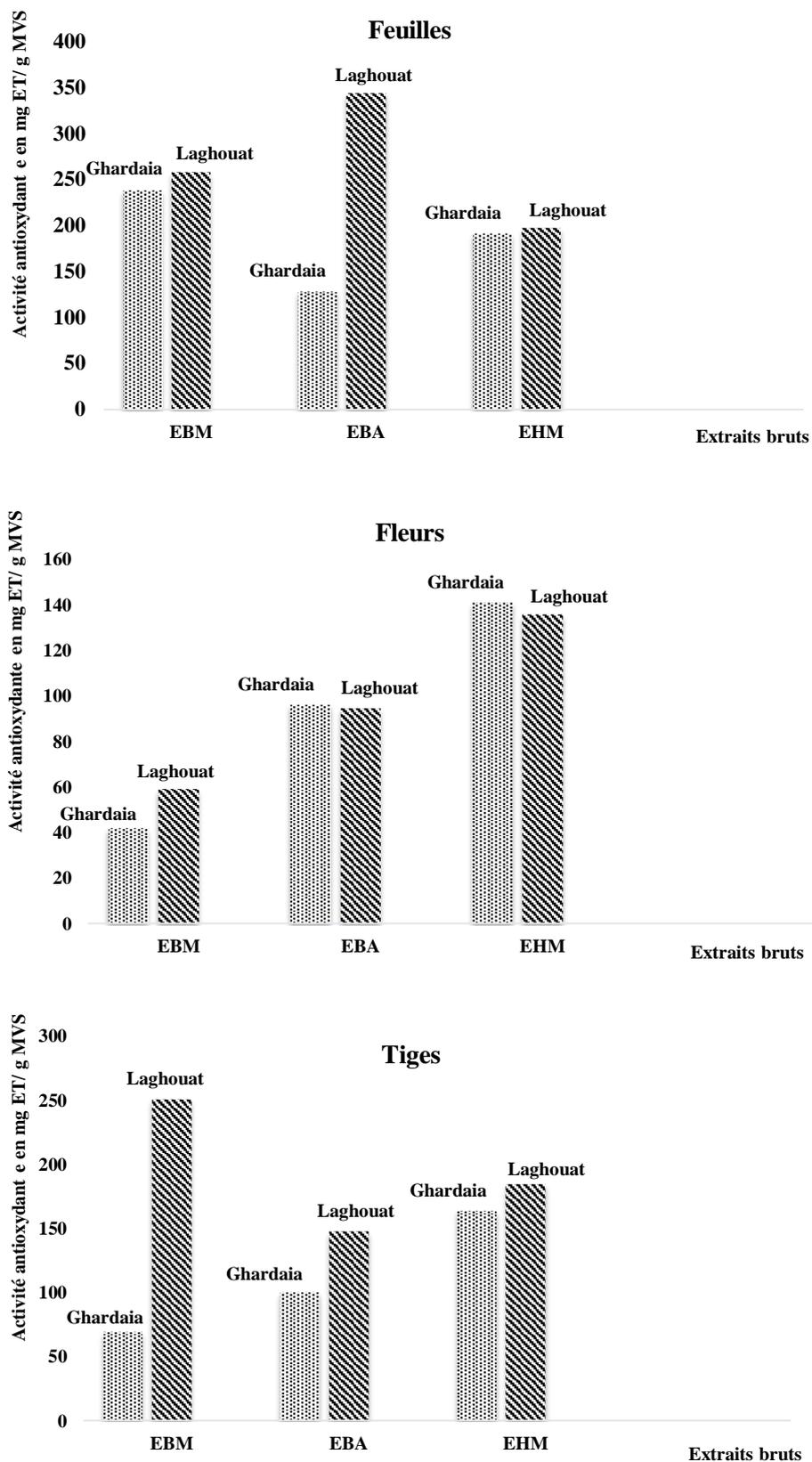


Figure 18 : Figures représentatives des résultats de l'activité antioxydante (test de l'ABTS) des extraits de l'espèce *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin.

De la plupart des résultats obtenus et contrairement aux résultats du pouvoir antioxydant inhibiteur du radical libre stable DPPH, les extraits bruts des feuilles de notre espèce végétale de la région de Laghouat présentent la plus forte activité inhibitrice des radicaux libres ABTS et par conséquent la plus grande capacité antioxydante en équivalent Trolox avec une moyenne de l'ordre de 344.319 ± 0.954 mg ET/g MVS en présence de l'extrait brut aqueux EBA. De même, l'extrait brut méthanolique EBM des tiges de la même espèce de la région de Laghouat a présenté le plus fort pouvoir antioxydant vis-à-vis des radicaux libres ABTS. Cependant, l'espèce de la région de Ghardaia semble être un peu plus efficace que celle de Laghouat dans la réduction des radicaux libres ABTS par les extraits bruts de ses fleurs où un maximum est enregistré en présence de l'extrait brut hydrométhanolique EHM (140.963 ± 0.016 mg ET/ g MVS).

De la plupart des résultats obtenus, les extraits bruts méthanolique et hydrométhanolique de l'espèce *Hammada scoparia* ont présenté le meilleur pouvoir antioxydant vis-à-vis du radical libre DPPH et dans la réduction des radicaux libres ABTS.

A propos du pouvoir inhibiteur du radical libre DPPH, les résultats obtenus révèlent que les extraits bruts méthanolique, aqueux et hydrométhanolique sont très actifs et présentent en général des activités antioxydantes supérieures allant de 30 à 264 milligramme équivalent trolox par gramme de matière végétale sèche. Cela est probablement lié à la complexité de ses extraits bruts en substances polyphénoliques y compris les tanins, flavonoïdes et les anthocyanes et la synergie entre eux pour une meilleure activité antioxydante (Vermerris et Nocholson, 2006).

Par comparaison avec des résultats de nombreuses études qui ont évalué le potentiel antioxydant des extraits de l'espèce *Hammada scoparia* qui a fait l'objet de notre étude, nos résultats sont en parfaite concordance avec ceux obtenus par Bouaziz et al., 2016 avec l'extrait méthanolique de la partie aérienne de l'espèce *Hammada scoparia* de la région de Sfax en Tunisie avec un pouvoir inhibiteur plus ou moins similaire. Par ailleurs, et dans ce même contexte Bourogaa et al., 2012 ont montré une forte activité de piégeage du radical libre stable DPPH, comme celle retrouvée avec nos extraits bruts, en présence de l'extrait méthanolique de la même espèce *Hammada scoparia* de la Tunisie. D'autre part, ce puissant pouvoir de piégeage du radical libre stable DPPH par les extraits polyphénoliques, en particulier l'extrait hydrométhanolique est également signalé dans les travaux d'Alghazeer et al., 2012b sur la même espèce végétale de différentes régions de la Lybie.

Quant à la capacité antioxydante en équivalent trolox CAET (test de l'ABTS), diverses études ont déterminé expérimentalement les capacités des extraits naturels à piéger les radicaux libres. Cette activité dépend d'un certain nombre de paramètres : la dose, la structure, les substituants et le degré de polymérisation de la molécule.

L'extrait brut aqueux des feuilles de notre plante de la région de Laghouat a présenté le plus grand pouvoir antioxydant face aux radicaux libres (344.319 ± 0.954 mg ET/ g MVS). Cela s'explique probablement par la richesse de l'extrait brut aqueux en composés, ayant une forte activité d'élimination des radicaux libres, qui sont plus solubles et plus extractibles

avec de l'eau que dans du méthanol qui est normalement moins polaire. Un potentiel antiradicalaire plus ou moins similaire est enregistré également avec les extraits bruts méthanolique et hydrométhanolique des feuilles de l'espèce des régions Laghouat et Ghardaia.

La solubilité des composés phénoliques dépend de leur nature chimique dans la plante, qui varie de composés simples à fortement polymérisés. Cette diversité structurale est responsable de la grande variabilité des propriétés physicochimiques influençant l'extraction des polyphénols (Koffi et *al.*, 2010 ; Mahmoudi et *al.*, 2013). Entre outre, la solubilité des composés phénoliques est affectée par la polarité du solvant utilisé. Par conséquent, il est très difficile de développer un procédé d'extraction approprié à l'extraction de tous les composés phénoliques de la plante (Garcia-Salas et *al.*, 2010 ; Jokic et *al.*, 2010).

Les solvants apolaires ou faiblement polaire sont par contre recommandés pour récupérer sélectivement les acides tanniques de haut poids moléculaire (Tian et *al.*, 2009). Les arômes dérivés des acides hydroxycinnamiques sont quant à eux habituellement extraits par des solvants apolaires tels que le chloroforme et la diéthyléther (Collin et Crouzet, 2011).

Cet effet antiradicalaire pourrait devenir potentiellement intéressant après optimisation des conditions d'extraction, séparation et d'augmentation de la concentration. En effet, les composés phénoliques et plus particulièrement les flavonoïdes sont reconnus comme des substances potentiellement antioxydantes ayant la capacité de piéger les espèces radicalaires et les formes réactives de l'oxygène (Javanovic et *al.*, 1994). L'effet scavenger des flavonoïdes est attribué à leur faible potentiel redox qui les rend thermodynamiquement capable de réduire les radicaux libres par un transfert d'atome d'hydrogène à partir des groupements hydroxyle (Siddhuraju et Becker, 2007). En outre, dans le but d'identifier les sites potentiels au sein des flavonoïdes qui sont responsables sur l'effet antiradicalaire vis-à-vis du radical DPPH, plusieurs travaux ont étudié la cinétique et le mécanisme réactionnel des flavonoïdes avec ce radical stable. De plus, Amic et *al.*, 2003 ont mis en évidence la relation structure fonction de 29 flavonoïdes (flavones, flavonols et flavanones) et leurs capacités de piéger le radical DPPH et par conséquent, la variabilité structurale de ces mêmes flavonoïdes affecte de façon non négligeable cette activité.

La configuration et le nombre total de groupements hydroxyle ont une influence sur le mécanisme de l'activité antioxydante (Heim et *al.*, 2002) et à titre indicatif, les composés les plus actifs sont ceux qui combinent les trois critères suivants :

Une structure ortho-dihydroxy (groupement catéchol) dans le cycle B qui confère la stabilité au radical flavonoxy et participe à la délocalisation des électrons.

Une double liaison C2-C3 en conjugaison avec la fonction 4-oxo dans le cycle C fournissant une délocalisation des électrons à partir du cycle B.

La présence des groupements hydroxyle en position C3 et C5 fournissant une liaison hydrogène au groupe oxo (Croft, 2006).

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

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En guise de conclusion, il semble important d'évoquer les principaux résultats auxquels nous sommes parvenus.

Tous d'abord, les tests biochimiques préliminaires ont mis en évidence la présence de six composés du métabolisme secondaire (flavonoïdes, tanins galliques, anthocyanes, saponosides, alcaloïdes et terpènes) et l'absence des stérols et des leucoanthocyanes.

L'extraction à froid par macération aqueuse, méthanolique et hydrométhanolique des composés phénoliques des tiges, feuilles et fleurs de l'espèce végétale *Hammada scoparia* (Pomel) Iljin des deux régions Ghardaïa et Laghouat nous a permis d'obtenir dix-huit extraits bruts : extrait brut aqueux (EBA), méthanolique (EBM) et hydrométhanolique (EHM) où un rendement très élevé de l'ordre de 86 % en extrait brut méthanolique EBM est obtenu à partir des feuilles de notre espèce végétale de la région de Laghouat, suivi d'un rendement moyen d'environ 54 % en extrait brut hydrométhanolique EHM à partir des feuilles de la même espèce végétale de la région de Ghardaïa.

Les tests de dosage des composés polyphénoliques des extraits bruts isolés nous ont montré que l'espèce végétale de la région de Laghouat se caractérise par une forte teneur en polyphénols totaux, flavonoïdes totaux et tanins totaux que celle de la région de Ghardaïa.

De l'activité antioxydante évaluée par les tests *in vitro*, il ressort que l'extrait hydrométhanolique des feuilles de notre plante de la région de Ghardaïa possède le plus fort pouvoir de piégeage du radical libre DPPH. Cependant, l'espèce de la région de Laghouat a présenté la plus grande capacité antioxydante dans la réduction des radicaux libres ABTS avec l'extrait brut aqueux de ses feuilles.

Ces résultats ont indiqué que les extraits bruts de l'espèce *Hammada scoparia* sont très prometteurs quant à leur pouvoir antioxydant. Des applications *in situ* dans le traitement des maladies dues à certains radicaux libres peuvent être envisagées.

Nos perspectives pour l'avenir se résument en ce qui suit :

Approfondir les études concernant la séparation, purification, identification et la caractérisation de ces principes actifs du point de vue qualitatif et quantitatif.

Déterminer les Chémotypes exacts et complets par HPLC/ MS et RMN.

Evaluer *in vitro* d'autres activités biologiques de sa partie aérienne et même la partie souterraine telles que l'activité antimicrobienne, anti-inflammatoire, antidiabétique...etc.

Envisager des expériences *in situ* en testant ces principes actifs sur des cas pathologiques.

Il serait également intéressant d'extraire les autres principes actifs de la plante et de tester leur pouvoir antioxydant.

**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

Adenot I. Le pharmacien et les plantes. Les cahiers de l'Ordre national des pharmaciens, Paris. 2012 ; 32p.

Adossides A. la filière Plantes aromatique et médicinales. Projet assistance au recensement agricole, Liban. 2003 ; 42 p.

Adouane M., Haddadi M., Benamrane N., Touafek K, Khelifa A., Tabet I. Evaluation de l'influence de l'inclinaison des modules photovoltaïques sur la production d'énergie d'un système hybride. Revue des Energies Renouvelables SIENR Ghardaia. 2014 ; 14 : 87-92.

Aissaoui A. Hydrologie et hydrogéologie du bassin versant de l'oued m'zi (Laghouat, Algérie). Mémoire de magister. Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, Oran. 2016 ; 56 p.

Alain B., Banga B., Guessan N., Adou F., N'guessan J. D., Djaman A. J. Activités antioxydantes de dix plantes médicinales de la pharmacopée ivoirienne. Sciences and Nature. 2011; 8: 1-11.

Alghazeer R., Al- Najjar A., El-Saltania H., Ergeaer N. The Lipolytic Effect of the extracts of *Hammada scoparia* And Green Tea (*Camellia Sinensis*) on the lipid profiles of white new zealand rabbits. Journal of phototherapy and pharmacology. 2012a; 2: 01-13.

Alghazeer R., El-Saltani H., Saleh N., Al-Najjar A. and Hebail F. Antioxidant and antimicrobial properties of five medicinal Libyan plant extracts. Natural Science. 2012b; 4: 324-335.

Allaoui M., Cheriti A., Chebouat E., Dadamoussa B., Gherraf N. comparative study of the antioxidant activity and phenols and flavonoids contents of the ethyl acetate extracts from two Saharan chenopodacea: *haloxylon scoparium* and *traganum nudatum*. Algerian journal of arid environment. 2016; 6: 71-79.

Amic D., Davidovic-Amic D., Beslo D., Trinajstic N. Structure-radical scavenging activity relationships of flavonoids. *Croatica Chemica Acta*. 2003; 76: 55-61.

ANDI, 2013a. Agence Nationale de Développement de l'investissement. Wilaya de Ghardaia.

ANDI, 2013b. Agence Nationale de Développement de l'investissement. Wilaya de Laghouat.

ANIRF, 2011a. Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière. Rubrique Monographie Wilaya (Wilaya Ghardaia).

ANIRF, 2011b. Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière. Rubrique Monographie Wilaya (Wilaya Laghouat).

- Anton A. A., Ross K. A., Lukow O. M., Fulcher R. G., Arntfield S. D. Influence of added bean flour (*Phaseolus vulgaris L.*) on some physical and nutritional properties of wheat flour tortillas. *Food Chemistry*. 2008; 109: 33-41.
- Ashraf M. A., Mahmood K., Wajid A., Qureshi A. K., Gharibreza M. Chemical constituents of *Haloxylon salicornicum* plant from Cholistan Desert, Bahawalpur, Pakistan. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 2013 ; 11: 1176-1182.
- Aslam M. S., Ahmad M. S. Worldwide importance of medicinal plants: current and historical perspectives. *Recent Advances in Biology and Medicine*. 2016 ; 2: 88-93.
- Atmani D., Chaher N., Berboucha M., Ayouni K., Lounis H., Boudaoud H., Debbache N., Atmani D. Antioxidant capacity and phenol content of selected Algerian medicinal plants. *Food Chemistry*. 2009; 112:303-309.
- Bakchiche B. et Gherib A. Activités antioxydantes des polyphénols extraits de plantes médicinales de la pharmacopée traditionnelle d'Algérie. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 2014 ; 9: 167-172.
- Bekhechi C. Analyse de l'huile essentielle d'*Ammoides verticillata* (Nunkha) de la région de Tlemcen et étude de son pouvoir antimicrobien. Thèse de Magister. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen. 2002 ; 11p.
- Bekro Y. A., Mamyrbekova J. A., Boua B., Fezan H., Ehouan E. Etude ethnobotanique et screening phytochimique de *caesalpinia benthamiana* (Baill.) Herend. Et Zarucchi (*Caesalpinaceae*). *Sciences and nature*. 2007; 4: 217- 225.
- Belhadj Tahar S., Hadj-Mahammed M., Yousfi M. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 2015; 11: 258-264.
- Belyagoubi-Benhammou N., Belyagoubi L., Bekkara F. A. Phenolic contents and antioxidant activities in vitro of some selected Algerian plants. *Journal of medicinal plant research*. 2014, 8, 1198-1207.
- Benhammou N., Bekkara F. A., Panovska T. K. Antioxidant activity of methanolic extracts and some bioactive compounds of *Atriplex halimus*. *Comptes Rendus Chimie*. 2009; 12: 1259-1266.
- Benkherara S. et Bordjiba O. Phytochemical study and *in vitro* antioxidant activities of *Hammada scoparia* extracts from southeastern Algeria. *Asian journal of pharmaceutical and clinical research*. 2018 ; 11:187-192.
- Bensaha H. et Arbouch R. Impact de la dynamique de l'agriculture et ses conséquences sur la durabilité de l'écosystème saharien : cas de la vallée de M'zab (Sahara septentrional). *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*. 2016 ; 4 : 31-36.

- Berger M. M. Manipulations nutritionnelles du stress oxydant : état des connaissances
Nutritional manipulation of oxidative stress : review of the évidence. *Nutrition clinique and métabolisme*. 2006 ; 20 : 48-53.
- Blama Merzaia A. et Mamine F. Etude ethnobotanique des plantes médicinales et aromatiques dans le sud Algérien : le toutat et le Tidikelt. *Symposium international des plantes aromatiques et médicinales : SIPAM, Marrakech, Maroc*. 2013 ; 19p.
- Boizot N. et Charpentier J. P. Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques. *Cahier des Techniques de l'INRA*. Institut national de la recherche agronomique Science et Impact, Paris. 2006; 80p.
- Bouaziz A., Mhalla D., Zouari I., Jlaïel L., Tounsi S., Jarraya R., Trigui M. Antibacterial and antioxidant activities of *Hammada scoparia* extracts and its major purified alkaloids. *South African journal of botany*. 2016 ; 105: 89-96.
- Boucherit H., Benabdeli K., Benaradj A., Boughalem M. Phytoécologie de *Hammada scoparia* dans la région de Naâma (Algérie occidentale). *Botanica Complutensis*. 2018 ; 42 : 93-99.
- Boulos I. La flore de l'Egypte .Al Hadara publishing. 1999 ; 4: 4-123.
- Bouquet A. Plantes médicinales du Congo-Brazzaville. Edition de l'office de la recherche scientifique et technique d'outre-mer, paris. 1972; 110 p.
- Bourogaa E., Nciri R., Mezghani-Jarraya R., Racaud-Sultan C., Damak M., El Feki A. Antioxidant activity and hepatoprotective potential of *Hammada scoparia* against ethanol-induced liver injury in rats. *Journal of Physiology and Biochemistry*. 2012; 69: 37-227.
- Broadhurst R. B. et Jones W. T. Analysis of Condensed Tannins Using Acidified Vanillin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.1978; 29: 788-794.
- Calancea M. Approche Générale et Efficace des Terpénoïdes Possédant le Squelette Bicyclodécane : Synthèse de Sesquiterpènes (Aromadendranes, Guaianes et Tri-nor-guaianes) et Approche des Diterpènes. Thèse de Doctorat. Université Joseph Fourier Grenoble 1. France. 2008 ; 15p.
- Chabrier J. Y. Plantes médicinales et formes d'utilisation en phytothérapie. Thèse de Doctorat. Université Henri Poincaré-Nancy1, France. 2010; 42p.
- Chao H. C., Najjaa H., Villareal M.O., Ksouri R., Han J., Neffati M. Isoda H. *Arthrophytum scoparium* inhibits melanogenesis through the down-regulation of tyrosinase and melanogenic gene expressions in b16 melanoma cells. *Experimental dermatology*. 2013 ; 22 : 131-136.

- Chehema A. et Djebbar M. A. Les espèces médicinales spontanées du Sahara septentrional Algérien : distribution spatio-temporelle et étude ethnobotanique. *Revue synthèse*. 2008 ; 14 : 36-45.
- Chenini N. et Chabou S. Evaluation du potentiel géothermique dans la région de Ghardaia. *Revue des Energies Renouvelables SIENR*. 2012 ; 12 : 307-312.
- Collin S. et Crouzet J. Polyphénols et procédés : transformation des polyphénols au travers des procédés appliqués à l'agro-alimentaire. *TEC & DOC.*, Lavoisier, Paris. 2011; 339p.
- Croft K. D. The chemistry and biological effects of flavonoids and phenolic acids. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2006.; 854: 435-442.
- Djeridane A., Yousfi M., Nadjemi B., Boutassouna D., Stocker P., Vidal N. Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chemistry*. 2006; 97: 654-60.
- Dohou N., Yamni K., Tahrouch S., Idrissi Hassani L. M., Bodoc A., Gmira N. Screening phytochimique d'une endémique Ibero-marocain, *Thymelaea lytroides*, *Bull. Société de Pharmacie de Bordeaux*. 2003 ; 142: 61- 78.
- El-Mokasabi F. M. Studies on the flora of Libya. Continuous recherche online library, Libya. 2017; 8p.
- El-Shazly A. et Wink M. Tetrahydroisoquinoline and β -Carboline Alkaloids from *Haloxylon articulatum* (Cav.) Bunge (Chenopodiaceae). *Verlag der Zeitschrift für Naturforschung*. 2003; 58: 477-480.
- Falleh H. A., Ksouri R., Chaieb K., Karray-Bouraoui N., Trabelsi N., Boulaaba N., Chedly A. Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs and their biological activities *Pharmacology, toxicology*. 2008 ; 331: 372–379.
- Farnsworth N. R., Akerele O., Bingel A. S., Soejarto D. D., Guo Z. Place des plantes médicinales dans la thérapeutique. *Bulletin de l'organisation mondiale de la santé*. 1986 ; 64: 159-175.
- Ghedadba N., Hambaba L., Aberkane M. C., Oueld-Mokhtar S. M., Fercha N., Bousselsela H. Évaluation de l'activité hémostatique in vitro de l'extrait aqueux des feuilles de *Marrubium vulgare* L. *Algerian Journal of Natural Products*. 2014; 2: 64-74.
- Garcia-Salas P., Morales-Soto A., Segura-Carretero A., Fernandez –Gutiérrez A. Phenolic-Compound-Extraction systems for fruit and vegetable samples. *Molecules*. 2010; 28: 206-212.
- Green R. J. Antioxydant activity of peanut plant tissues. Master's Thesis. Department of food science. Faculty of north california state university (USA) .2004; 23p.

Harborne J. B. Phytochemical methods a guide to modern techniques of plant analysis. Chapman and Hall Ltd, London. 1973; 278p.

Hatzidimitriou E., Nenadis N., Tsimidou M. Z. Changes in the catechin and epicatechin content of grape seeds on storage under different water activity (aw) conditions. Food Chemistry. 2007; 105: 1504-1511.

Heim K. E., Tagliaferro A. R., Bobilya D. J. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *J. Nutr. Biochem.* 2002; 13: 572-584.

Huang D., Boxin O., Prior L. R. The chemistry behind antioxidant capacity assays. Agricultural and food chemistry. 2005 ; 53 : 1841-1856.

IESV, 2016. Institut européen des substances végétales. Plantes médicinales.

Jarraya R. et Damak M. Alcaloïdes des feuilles de *Hammada scoparia (pomel) Iljin*. Journal de la société chimique de Tunisie. 2001 ; 4 : 941-948.

Javanovic S. V., Steenken S., Tosic M., Marjanovic B., Simic M. J. Flavonoids as antioxidants. Journal of the American Chemical Society. 1994; 116: 4846-4851.

Jokic S., Velic D., Bilic M., Bucic-Kojic A., Planinic M., Tomas S. Modelling of the process of solid-liquid extraction of total polyphenols from Soybeans. Czech journal of food sciences. 2010; 28: 206-212.

Kemassi A., Darem S., Cherif R., Boual Z., Sadine S., Aggoune M. S., Ould el hadj-khelil A., Ould elhadj M. D. Recherche et identification de quelques plantes médicinales à caractère hypoglycémiant de la pharmacopée traditionnelle des communautés de la vallée du M'Zab (Sahara septentrional Est Algérien). Journal of Advanced Research in Science and Technology. 2014; 1: 1-5.

Koffi E., Sea T., Dodehe Y., Soro S. Effect of solvent type on extraction of polyphenols from twenty three ivoirian plants. Journal of animal and plant sciences. 2010; 5: 550-558.

Lamchouri F., Benali T., Bennani B., Toufik H., Ibn Majdoub L., Bouachrine M., Lyoussi B. Preliminary phytochemical and antimicrobial investigations of extracts of *Haloxylon scoparium*. Journal of materials and environmental science. 2012 ; 3: 754-759.

Le Houerou H. N. Diversité biologique, développement durable et désertisation. Centre international de hautes études agronomique de la méditerranée, Paris. 1995; 10p.

Lee C., Yoon J. UV direct photolysis of 2, 2-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate) (ABTS) in aqueous solution: Kinetics and mechanism. Journal of photochemistry and photobiology A: Chemistry. 2008; 197: 232-238.

- Lee K.W., Kim Y. J., Lee H. J., Lee C.Y. Cocoa has more phenolic phytochemicals and a higher antioxidant capacity than teas and red wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003; 51: 7292-7295.
- Li Y., Lopez P., Durand P., Ouazzani J., Badet B., Badet-Denisot M. A. An enzyme-coupled assay for amidotransferase activity of glucosamine-6-phosphate synthase. *Analytical Biochemistry*. 2007 ; 370: 142-146.
- Louerrad Y., Haddi R., Kaid Harche M. Etude de la peroxydation lipidique chez une plante médicinale *Haloxylon scoparium (Pomel)*. *Journal of bioresources valorization*. 2016 ; 1: 28-33.
- Macheix J., Fleuriet A., Jay-Allemand C. Les composés phénoliques végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Presses polytechnique et universitaires romandes, Lausanne, Suisse. 2005 ; 1p.
- Mahmoudi S., Khali M., Mahmoudi N. Etude de l'extraction des composés phénoliques de différentes parties de la fleur d'Artichaut (*Cynara scolymus L.*). *Revue «Nature and technologie»*. B-Science agronomiques et biologiques. 2013 ; 9 : 35-40.
- Majhenic L., Skerget M., Knez Z. Antioxidant and antimicrobial activity of guarana seed extracts. *Food Chemistry*. 2007 ; 104: 1258-1268.
- Malle H., Benrima A., Houyou Z. Étude floristique des parcours steppiques des régions arides : effet de surpâturage, de l'ensablement et des labours (cas de la zone de mokrane wilaya de Laghouat), *Revue Agrobiologia*. 2017 ; 7: 334-345.
- Metuedjo A. Les plantes médicinales en Afrique et en Europe. Diplomica Verlag GmbH, Allemand. 2003; 14p.
- Mezghani-Jarraya R., Hammami H., Damak M. Molluscicidal activity of *Hammada scoparia (pomel) Iljin* leaf extracts and the principal alkaloids isolated from them against *Glba truncatula*. *Memorias do instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro*. 2009; 104: 1035-1038.
- Miliauskas G., Venskutonis P. R., Van Beek T. A. Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extract. *Food Chemistry*. 2004; 85: 231-237.
- Moghimpour E et Handali S. Saponin: properties, methods of evaluation and applications. *Annual Research and Review in Biology*. 2015; 5: 207-220.
- Mohammed Z. et Atik F. Impact of Solvent Extraction Type on Total Polyphenols Content and Biological Activity from *Tamarix aphylla (L.) Karst.* *International Journal of Pharma and Bio Sciences*. 2011 ; 2: 609-615.

- Mohammedi Z. Etude Phytochimique et Activités Biologiques de quelques Plantes médicinales de la Région Nord et Sud-Ouest de l'Algérie. Thèse de Doctorat. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen. 2013 ; 94p.
- Motamed S. et Naghibi F. Antioxidant activity of some edible plants of the Turkmen Sahra region in northern Iran. Food Chemistry. 2010 ; 119: 1637-1642.
- Mulas M. et Mulas G. Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. Short and Medium-Term Priority Environmental Action Programme (SMAP), Italia. 2004; 90 p.
- Omar Sarr S., Dior Fall A., Gueye R., Diop A., Diatta K., Diop N., Ndiaye B., Diop Y. M. Etude de l'activité antioxydante des extraits des feuilles de *Vitex doniana* (*Verbenaceae*). International journal of biological and chemical sciences. 2015 ; 9 : 1263-1269.
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Directives OMS sur les bonnes pratiques agricoles et les bonnes pratiques de récolte (BPAR) relatives aux plantes médicinales, Genève. 2003 ; 18p.
- Ould El Hadj M. D., Hadj-Mahammed M., Zabeirou H. Place des plantes spontanées dans la médecine traditionnelle de la région d'Ouargla (Sahara septentrional est). Courrier de savoir. 2003; 03: 47-51.
- Ouzid Y., Smail-Saadoun N., Houali K. Comparative study of *in vitro* antioxidant activity of foliar Endophytic fungi and leaves extracts of *peganum harmala* of Dayate aiat (Laghouat, Algeria). Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2018; 10: 147-157.
- Ozenda P. Flore du Sahara. Edition du centre national de la recherche scientifique 15, quai Anatole, Paris. 1977; 598 p.
- Parejo I., Viladomat F., Bastida J., Rosas-Romero A., Saavedra G., Murcia G. S., Jiménez A. M., Codina C. Investigation of Bolivian plant extracts for their radical scavenging activity and antioxidant activity. Life Sciences. 2003; 73: 1667-1681.
- Pengelly A. The constituents of medicinal plants. Sunflower Herbals, Australia. 2004; 100 p.
- Pisoschi A. M. et Negulescu P. G. Methods for total antioxidant activity determination. Biochemistry and analytical biochemistry. 2011 ; 1: 100-106.
- Popovici C., Saykova I., Tylkowski B. Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. Revue de Génie Industriel. 2009; 4: 25-39.
- Prior R. L., Wu X., Schaich K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. Agricultural and food chemistry. 2005 ; 53: 4290-4302.

- Quezel P. et Santa S. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Centre national de la recherche scientifique, Paris. 1962 ; 558 p.
- Rached W., Benamar H., Bennaceur M., Marouf A. Screening of the antioxidant potential of some Algerian Indigenous plants. *Journal of Biological sciences*. 2010; 10: 316-324.
- Rates S. M. K. Plants as source of drugs. *Toxicon*. 2001; 39: 603-613.
- Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology et Medicine*. 1999; 26: 1231-1237.
- Rimjihim S., Kumari N., Jainendra K. Preliminary phytochemical screening of methanolic extract of *Clerodendron infortunatum*. *International organization of scientifique research*. 2014; 7: 10-13.
- Rosas M. R. El genero *Atriplex* (Chenopodiaceae) en Chile. *Gayaba Bot*. 1989; 46: 3-82.
- Sahoo N., Manchikanti P., Dey S. Herbal drugs: Standards and regulation. *Fitoterapia*. 2010; 81: 462-471.
- Saidi S. A., Bourigaa E., Bouaziz A., Mongi S., Chaaben R., Jamoussi K., Raoudha M. J., Pelt J. V., El-Feki A. Protective effects of *Hammada scoparia* flavonoid-enriched fraction on liver injury induced by warm ischemia/reperfusion. *Journal of pharmaceutical biology*. 2015; 53: 1810-1817.
- Salah N., Miller N. J., Paganga G., Tijburg L., Bolwell G. P., Rice-Evans C. Polyphenolic flavanols as scavengers of aqueous phase radicals and as chain-breaking antioxidants. *Archives of biochemistry and biophysics*. 1995 ; 322: 339-460.
- Salemkour N., Benchouk K., Nouasria D., Nacereddine S. K., Belhamra M. Effets de la mise en repos sur les caractéristiques floristiques et pastorale des parcours steppiques et la Région de Laghouat (Algérie). *Journal Algérien des Régions Arides*. 2013 ; 12 : 103-114.
- Sanchez-Moreno C., Larrauri J. A., Saura-Calixto F. A. Procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *Journal of the science of food and agriculture*. 1998; 76: 270-276.
- Schlesier K., Harwat M., Böhm V., Bitsch R. Assessment of antioxidant activity by using different *in Vitro* methods. *Free radical research*. 2002; 36: 177-187.
- Shakya A. K. Medicinal plants: Future source of new drugs. *International journal of herbal medicine*. 2016; 4: 59-64.
- Siddhuraju P; et Becker K. The antioxidant and free radical scavenging activities of processed cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) seed extracts. *Food Chemistry*. 2007; 101: 10-19.

Singh J. P., Rathore V. S., Roy M. M. Notes about *Haloxylon salicornicum* (Moq.) Bunge ex Boiss. A promising shrub for arid regions. Genetic Resources and Crop Evolution. 2015; 62: 451-463.

Singleton V. L et Rossi J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. American journal of enology and viticulture. 1965; 16: 58-144.

Sochor J., Ryvolova M., Krystofova O., Salas P., Hubalek J., Vojtech A., Trnkova L., Havel L., Beklova M., Zehnalek J., Provaznik I., Kizek R. Fully Automated Spectrometric Protocols for Determination of Antioxidant Activity: Advantages and Disadvantages. Molecules. 2010 ; 15: 8618-8640.

Sofowora A. Plantes médicinales et médecine traditionnelle d'Afrique. Académie suisse des sciences naturelles. Suisse. 2010 ; 22p.

Solfo R. Etude d'une plante médicinale malgache *Buxus Madagascarica* Baill. Edition de l'office de la recherche scientifique et technique d'outre-mer, Paris. 1973 ; 90 p.

Tahraoui F. Evolution de la population et découpages administratifs en Algérie, le cas de la wilaya d'Oran. Cahiers Géographiques de l'Ouest. 2011 ; 11: 79-90.

Tian F., Li B., Zhang G., Luo Y. Identification and structure-activity relationship of gallotannis separated from *Galla chinensis*. Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie (LWT) – Food Science and Technology. 2011; 42: 1289-1295.

Trotognon E. et Felloni C. Petit atlas des plantes médicinales. Delachaux et Niestlé, Paris. 2009 ; 22p.

Vermerris W. et Nicholson R. Phenolic compound chemistry. Springer, Allemand. 2006; 1-70 pp.

William G. et Hopkins M. Physiologie végétale. De Boeck Supérieur, paris ; 2003 : 273p.

Yi-Zhong C., Mei S., Jie X., Qiong L., Harold C. Structure–radical scavenging activity relationships of phenolic compounds from traditional Chinese medicinal plants. Life Sciences. 2006; 78: 2872- 2888.

Zaporozhets O. A., Krushynska O. A., Lipkovska N. A., Barvinchenko V. N. A new test method for the evaluation of total antioxidant activity of herbal products. Journal of agricultural and food chemistry. 2004 ; 52 : 21-25.

Zerriouh M. Contribution à l'étude phytochimique et activité antidiabétique de *Hammada scoparia* (Pomel), « Remth ». Thèse de Doctorat. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen. 2015 ; 56p.

ABSTRACT

This study is intended to verify the antioxidant potential of some crude extracts of a plant species with therapeutic use in both of Ghardaia and Laghouat regions. To do that, some aqueous, methanolic and hydromethanolic crude extracts were prepared. Qualitative phytochemical screening tests and other quantitative assays were done in order to evaluate the major polyphenolic compound contents and their antioxidant activities towards free radicals were then assessed.

The obtained result showed that the leaves of our plant species contains a very high levels, 86% of the crude extracts from Laghouat region species, and 54% from the plant samples of Ghardaia region. Similarly, the Laghouat region species was the richest one in polyphenolic compounds in its crude extracts.

The antioxidant activity tests allowed to evaluate the potency of crude extracts in reducing or trapping free radicals.. The hydromethanolic extract of the leaves of the Ghardaia species proved to be the strongest natural antioxidant against the free radical DPPH with 264.12 ± 4.134 mg trolox Eq/ dry plant matter. In other hand, the aqueous crude extract of the leaves of the Laghouat species presented the strongest reducing power of ABTS free radicals with 344.319 ± 0.954 mg trolox E/ DPM.

In brief, the aqueous, methanolic and hydromethanolic crude extracts of the aerial part of the *Hammada scoparia* species appear to be rich in compounds of secondary metabolism and possess generally a strong anti-radical power.

Key words: *Hammada scoparia*, Ghardaia, Laghouat, Phytochemistry, Crude extract, Antioxidant potential.

ملخص

أجريت هذه الدراسة لأجل معرفة قدرة مضادات الأكسدة لبعض المستخلصات الخام المستخلصة من نوع نباتي ذو استعمال علاجي في منطقة غرداية والأغواط. وللقيام بذلك تم إعداد مستخلصات خام مائية وميثانولية وهيدروميثانولية. تم إجراء فحوصات فيتوكيميائية نوعية وأخرى كمية لتقييم محتويات المركبات البوليفينولية الرئيسية وتحديد نشاطها المضاد للأكسدة ضد الجذور الحرة.

النتائج المتحصل عليها بينت ان اوراق هذه النبتة لديها مردود مرتفع إلى حد ما بحوالي 86 % و 54 % من المستخلصات الإجمالية في الأغواط وغرداية على التوالي. وبالمثل، النوع الموجود في الاغواط تبين أنه أكثر غنى من مركبات البوليفينولية في مستخلصاتها الخام.

قيمت اختبارات نشاط مضادات الأكسدة قوة المستخلصات الخام في تخفيض او تثبيط الجذور الحرة. أثبت المستخلص الهيدروميثانولي من اوراق العينة الموجودة بمنطقة غرداية أنه أقوى مضادات الأكسدة الطبيعية ضد DPPH الجذري الحر بـ 264.12 ± 4.134 ملغ MVS / g trolox E. من ناحية أخرى، كان مستخلص الأوراق الخام المائي لأنواع الأغواط أعلى قدرة على اختزال جذرية ABTS مع 344.319 ± 0.954 ملغ MVS / g trolox E.

باختصار، يبدو أن المستخلصات المائية والميثانولية والهيدروميثانولية في الجزء العلوي لنبتة الرمث *Hammada scoparia* غنية بمركبات البوليفينولية، وتمتلك قدرة ضد الجذور الحرة.

الكلمات الدالة: *Hammada scoparia*، غرداية، الأغواط، الفيتوكيمياء، مستخلص خام، مضادات الأكسدة.