

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie physico-chimique
Spécialité Biochimie Appliquée



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

Etude de l'activité antioxydante d'*Ammodaucus leucotrichus*

Présenté par :

BENNAI Dyhia & BENSADI Nesrine

Soutenu le : 23 septembre 2021

Devant le jury composé de :

Mme. REMILA-KHIREDDINE S.	MCB	Président
Mme. METROUH-AMIR H.	MCA	Encadreur
Mme. CHAHER-BAZIZI N.	MCA	Examineur

Année universitaire : 2020 / 2021

Remerciement

Avant toute chose, on remercie Dieu, le tout puissant, qui nous a accordé la force et la patience, pour mener à bien ce travail.

*Nous tenons à présenter notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadreur **Mme Metrouh-Amir Hassiba** qui a accepté de nous encadrer et qui nous a fait bénéficier de son savoir et de ses conseils éclairés afin de perfectionner ce travail. Nous la remercions pour sa disponibilité et son encouragement durant toute la période de la réalisation de ce travail.*

*Nos plus vifs remerciements s'adressent aux membres de jury, **Mme REMILA Salifa** pour nous avoir fait l'honneur de présider ce jury et à **Mme CHAHER Nassima** pour avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce travail.*

Nous remercions toutes personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Enfin, nous exprimons notre profonde reconnaissance à tous nos enseignants pour le savoir qui nous a été transmis au long de notre parcours d'apprentissage au sein de la faculté des sciences de la nature et de la vie.

Dédicace

Je dédie ce mémoire

A ma chère mère

A mon cher père

Qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs

Je n'ai pas assez de mots pour vous remercier et vous dire à quel point je suis contente d'être votre fille, j'essaye de vous rendre le même amour que vous m'aviez donné au fil de ma vie même si je sais que cela va être difficile, mais je vous aime de tout mon cœur.

A la prune de mes yeux, ma très chère sœur, amie et confidente SARA

Pour son écoute, sa disponibilité, son respect et son non-jugement qui m'apportent énormément et me pousse à être meilleure.

A mes très chères tantes (deuxièmes mamans).

A mes grandes sœurs Rachida Souad et Yasmina qui m'ont toujours soutenu.

Fouzia que je souhaitais qu'elle soit présente avec moi.

Mes adorables cousines : Imene, Yasmine, Hannane, Alicia, Sirine, Sihem, Linda, Noura avec les quelles j'ai tout partagé.

Mes chères copines : Radia, Yasmine, Imene, Manar et Sara pour leur présence à chaque instant, pour le soutien qu'elles m'ont apporté, avec toute mon affection et ma reconnaissance.

A une certaine personne toujours présente dans mes pensées.

Toute la promo de biochimie appliquée 2021

A mon binôme Dyhia qui est aussi ma sœur et ma copine avec laquelle j'ai partagé tout le travail, les beaux moments ainsi que les mauvais, et à toute sa famille.

Nesrine

Dédicace

A ma très chère maman, a la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices et la confiance que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études, tu as joué le double rôle d'un papa et d'une maman, Que Dieu te bénisse et te donne longue vie et de santé et de bonheur.

A la mémoire de mon cher Père qui n'a pas vu le fruit de son soutien continu et de ses encouragements. Rien au monde ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour toi mon cher papa. Que DIEU t'accueille dans son vaste paradis.

Aux hommes de ma vie, mes frères Lounes et Adel ... les prunelles de mes yeux, l'épaule solide, les personnes dingues de mon estime et mon respect. Votre affection et votre soutien m'ont été d'un grand secours au long de ma vie, aucun mot ne pourrait exprimer l'amour et la gratitude que je vous porte.

Ma bien-aimée belle sœur, mon amie et mon alliée qui m'as toujours soutenu et pousser à aller de l'avant soumia

Mon amie, binôme et ma confidente Nesrine, avec qui j'ai partagé chaque instant de ces cinq dernières années ainsi qu'à toute sa famille

Les sœurs que dieu m'a offert Camelia et laetitia, avec les quelles j'ai grandi

Mes amies avec lesquelles j'ai passé les plus beaux moments Imene, Yasmine, manar ...

A mes tantes, mes cousines et mes cousins...

Dyhia

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction01

Partie bibliographique

1	Présentation d'<i>Ammodaucus leucotrichus</i>03
1.1	Description botanique et classification d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>03
1.2	Noms de la plante04
1.3	Répartition géographique d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>04
1.4	Usages thérapeutiques traditionnels d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>04
1.5	Composition chimique d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>04
2	Composés phénoliques05
2.1	Définition05
2.2	Classification06
2.2.1	Phénols simples et leurs dérivés.....06
2.2.2	Acides phénoliques07
2.2.3	Flavonoïdes08
2.2.4	Tanins10
2.3	Propriétés anti oxydantes des composés phénoliques11
2.3.1	Chélation des métaux11
2.3.2	Neutralisation des radicaux libres12
2.3.3	Inhibition des enzymes12

Matériel et méthodes

1	Matériel et méthodes.....	13
1.1	Préparation du matériel végétal	13
1.2	Extraction des composés phénoliques	13
1.2.1	Effet de la durée d'extraction	13
1.2.2	Effet de la technique et du solvant d'extraction	13
1.2.3	Effet du rapport solide/liquide	14
1.3	Détermination de la teneur en antioxydants	14
1.3.1	Dosage des composés phénoliques	14
1.3.2	Dosage des flavonoïdes	14
1.3.3	Dosage des tanins condensés	15
1.4	Evaluation de l'activité antioxydante	15
1.4.1	Activité « scavenger » du radical DPPH	15
1.4.2	Pouvoir réducteur	16
1.4.3	Test de blanchissement du β -carotène	16
1.5	Etude statistique	17

Résultats et discussions

1	Teneur en Antioxydants	18
1.1	Composés phénoliques	18
1.1.1	Effet de la durée d'extraction.....	18
1.1.2	Effet du solvant et de la technique d'extraction	19
1.1.3	Effet du rapport solide/liquide	21
1.2	Flavonoïdes	22
1.2.1	Effet de la durée d'extraction.....	22
1.2.2	Effet du solvant et de la technique d'extraction	23
1.2.3	Effet du rapport solide/liquide	24

1.3	Tanins condensés	25
1.3.1	Effet de la durée d'extraction	25
1.3.2	Effet du solvant et de la technique d'extraction	26
1.3.3	Effet du rapport/solide liquide	28
2	Etude de l'activité antioxydante	28
2.1	Activité « scavenger » du radical DPPH	28
2.1.1	Effet de la durée d'extraction	28
2.1.2	Effet du solvant et de la technique d'extraction.....	29
2.1.3	Effet du rapport/solide liquide	30
2.2	Pouvoir réducteur du fer.....	31
2.2.1	Effet de la durée d'extraction	31
2.2.2	Effet du solvant et de la technique d'extraction.....	32
2.2.3	Effet du rapport/solide liquide	33
2.3	Activité inhibitrice de l'oxydation du β-carotène.....	34
2.3.1	Effet de la durée d'extraction.....	34
2.3.2	Effet du solvant et de la technique d'extraction	35
2.3.3	Effet du rapport/solide liquide	36
	Conclusion	38
	Liste des références bibliographiques	40
	Annexes	

Abs : Absorbance

A. leucotrichus : *Ammodaucus leucotrichus*

ANOVA : Analysis Of Variance

DPPH : 2,2-diphenyl-1-picryl hydrazyl.

EAG : Equivalent Acide Gallique

EC : Equivalent Catéchine

ED : Eau distillée

EQ : Equivalent Quercétine

g : Grammes

MS : Matière sèche

min : Minutes

mL : Millilitres

mm : Millimètres

nm : Nanomètre

P : Probabilité

PH : Potentiel d'hydrogène

R : Radical

µm : Micromètres

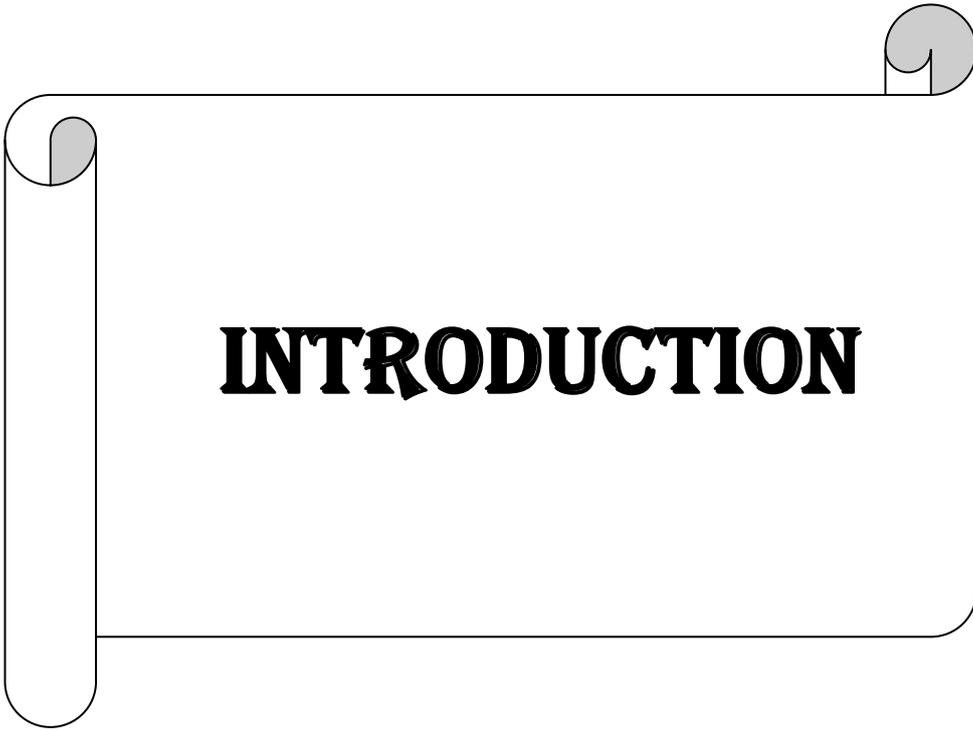
Figure 1 : photographie d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>	3
Figure 2 : Structure de base des flavonoïdes	8
Figure 3 : Classification des flavonoïdes	9
Figure 4 : Structure de base des tanins. a) tanins hydrolysables. b) tanins condensés...10	
Figure 5 : Sites de chélation des métaux de transition par les flavonoïdes	11
Figure 6 : Effet de la durée d'extraction sur la teneur en composés phénoliques d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>	19
Figure 7 : Effet du solvant et de la technique d'extraction sur la teneur en composés phénoliques d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>	21
Figure 8 : Effet du rapport solide liquide sur la teneur en composés phénoliques d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>	21
Figure 9 : Effet de la durée d'extraction sur la teneur en flavonoïdes d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>	23
Figure 10 : Effet du solvant et de la technique d'extraction sur la teneur en flavonoïdes d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>	24
Figure 11 : Effet du rapport solide/liquide sur la teneur en flavonoïdes d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>	25
Figure 12 : Effet de la durée d'extraction sur la teneur en tanins condensés d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>	26
Figure 13 : Effet du solvant et de la technique d'extraction sur la teneur en tanins condensés d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>	27
Figure 14 : Effet du rapport solide/liquide sur la teneur en tanins condensés d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>	28
Figure 15 : Effet de la durée d'extraction sur l'activité « scavenger » du radical DPPH d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>	29
Figure 16 : Effet du solvant et de technique d'extraction sur l'activité « scavenger » du radical DPPH d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>	30
Figure 17 : Effet du solvant et de la technique d'extraction sur l'activité « scavenger » du radical DPPH d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>	31

Figure 18 : Effet de la durée d'extraction sur le pouvoir réducteur du fer d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>	32
Figure 19 : Effet du solvant et de la technique d'extraction sur le pouvoir réducteur du fer d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>	33
Figure 20 : Effet du rapport solide liquide sur le pouvoir réducteur du fer d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>	34
Figure 21 : Effet de la durée d'extraction sur l'activité inhibitrice de l'oxydation du β -carotène d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>	35
Figure 22 : Effet du solvant et de la technique d'extraction sur l'activité inhibitrice de l'oxydation du β -carotène d' <i>Ammodaucus leucotrichus</i>	36
Figure 23 : Effet du rapport solide liquide sur l'activité inhibitrice de l'oxydation du β -carotène d' <i>Ammodaucus leuchotrichus</i>	37

Tableau I : Différentes classes des composées phénoliques.....6

Tableau II : Principaux acides hydroxybenzoïques.....7

Tableau III : Principaux acides hydroxycinnamiques.....8



INTRODUCTION

L'histoire des plantes aromatiques et médicinales est indubitablement associée à l'évolution des civilisations. Dans toutes les régions du monde, l'histoire des peuples, en particulier arabes et africains, montre que l'utilisation de ces plantes au sein des pharmacopées traditionnelles pour le traitement des maladies de l'homme et de l'animal est très ancienne et elle a évolué avec l'histoire de l'humanité.

La grande majorité des populations rurales se soigne exclusivement avec des plantes aromatiques et médicinales en dépit de la toxicité des produits chimiques, ceci est dû au coût élevé des médicaments prescrits par la médecine moderne et à l'éloignement et/ou l'insuffisance des centres de santé, ce qui constitue un enjeu économique et culturel très important (**Gherraf et al., 2017**).

De nos jours, les vertus thérapeutiques des plantes présentent un regain d'intérêt grâce à l'amélioration des techniques d'extraction et aux progrès des méthodes d'analyses. Cependant, les recherches sur les substances naturelles sont le fruit d'une longue expérience. Elles ont commencé par l'inventaire systématique des plantes utilisées par les guérisseurs indigènes, auquel est venu s'adjoindre un criblage scientifique systématique permettant de déceler les principales catégories de substances naturelles actives. **Newman et al. (2007)** estiment que deux tiers des médicaments actuels ont une origine naturelle obtenue par hémisynthèse ou par modification d'un produit naturel.

Ces plantes peuvent développer un système antioxydant performant, souvent corrélé à une grande biodisponibilité en polyphénols (**Ksouri et al., 2007; Ksouri et al., 2012**). Ces composés sont largement connus pour leur potentiel antioxydant. Par conséquent, une grande attention a été portée sur l'utilisation d'antioxydants pour inhiber la peroxydation des lipides et protéger des dommages dus aux radicaux libres qui ont été revendiqués pour jouer un rôle clé, affectant la santé humaine en provoquant des maladies graves, telles que le cancer et les maladies cardiovasculaires par dégénérescence cellulaire (**Manssouri et al., 2020**).

La flore algérienne est caractérisée par une grande diversité, méditerranéenne, semi-méditerranéenne et désertique. Cette flore est estimée à 3000 espèces appartenant à différentes familles botaniques. C'est ce qui a donné à la pharmacopée traditionnelle une richesse inestimable (**Gherraf et al., 2013; Khaldi et al., 2017**).

Ainsi, dans le cadre de la connaissance et de la valorisation des plantes algériennes, nous nous sommes intéressées à l'étude de l'activité antyoxidante des extraits phénoliques d'*Ammodaucus leucotrichus* (Kûmun-sûfi ou akâman). Cette plante de la famille des *Apiacées*

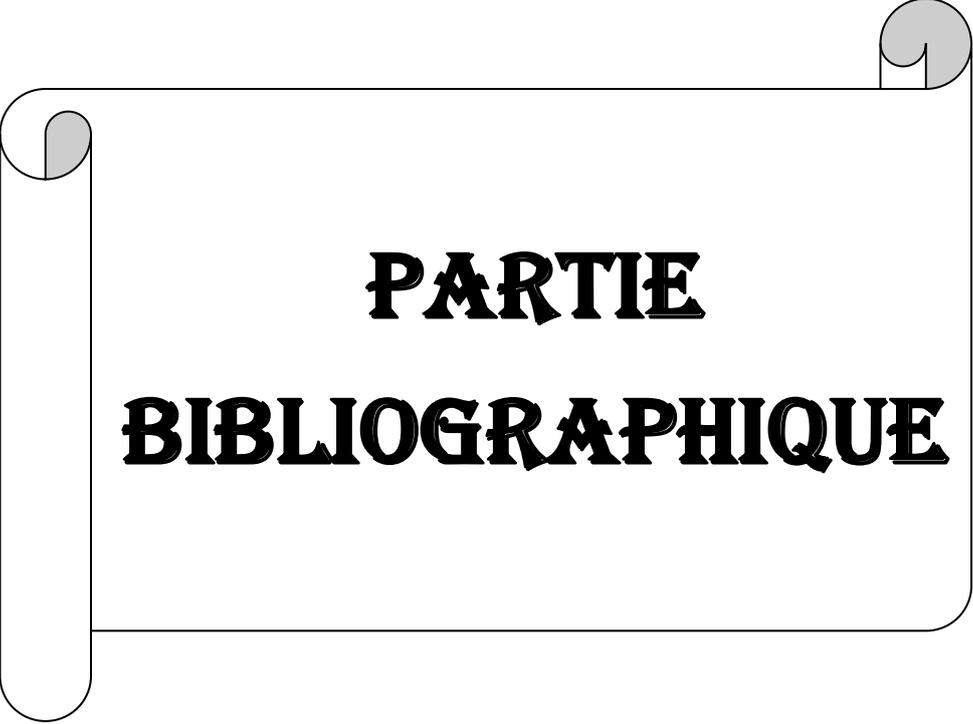
est utilisée en thérapeutique traditionnelle contre le diabète et multiples autres maladies (**Dahmane et al., 2017**).

Dans ce contexte, l'objectif de ce travail est d'étudier l'effet de quelques paramètres d'extraction sur la teneur en composés phénoliques et l'activité antioxydante d'*Ammodaucus leucotrichus*.

La présente étude est articulée autour de deux axes principaux; le premier est une synthèse bibliographique permettant de cerner l'essentiel du sujet, alors que le second est une étude expérimentale incluant les différentes méthodologies utilisées dans le but d'atteindre l'objectif fixé pour cette étude. Pour cela nous nous sommes fixés les objectifs suivants :

- Extraction des composés phénoliques à partir d'*Ammodaucus leucotrichus* en étudiant l'effet de plusieurs paramètres d'extraction (solvant, rapport solide/liquide, durée et technique d'extraction);
- Dosage des composés phénoliques, flavonoïdes et des tanins condensés;
- Détermination de l'activité antioxydante des extraits obtenus en utilisant différentes méthodes.

Les résultats obtenus seront présentés et discutés en fonction des données disponibles ce qui permettra de dégager une conclusion et d'envisager des perspectives.



**PARTIE
BIBLIOGRAPHIQUE**

1 Présentation d'*Ammodaucus leucotrichus*

1.1 Description botanique et classification d'*Ammodaucus leucotrichus*

Ammodaucus leucotrichus (*A. leucotrichus*) est une plante médicinale appartenant à la famille des *Apiacées*, anciennement appelé *Ombellifères* (Velasco-Negueruela et al., 2006). C'est une plante annuelle glabre à tiges dressées, rameuses et finement striées, les feuilles sont très divisées à lanières étroites un peu charnues avec des ombelles à 2-4 rayons, involucre à bractées très divisées. Les fleurs sont blanches toutes égales. Les méricarpes sont allongés à côtes secondaires couvertes de longs poils soyeux très denses, crépus, jaunes roux à la base puis blancs et longs de 8 à 10 mm. Cette plante à une forte odeur d'anis, elle est assez commune dans tout le Sahara où elle est très appréciée et ramassée ce qui tend à la raréfier (Figure 1) (Ozenda, 1991).

La classification systématique d'*A. leucotrichus* est la suivante (Quezel et Santa, 1963):

- Embranchement: spermatophytes
- Sous- embranchement: Angiospermes
- Classe: Eudicots
- Sous classe: Astéridées
- Ordre: Apiales
- Famille: Apiaceae
- Genre: *Ammodaucus*
- Espèce: *Ammodaucus leucotrichus* Coss. & Dur



Figure 1 : Photographie d'*Ammodaucus leucotrichus* (Idm'hand et al., 2020).

1.2 Noms de la plante

A. leucotrichus est connue sous le nom de «Kûmun-Sûfi ou akâman» dans la plupart des pays arabo-africains, alors qu'en Algérie, elle est généralement appelée « Moudrayga » et en français elle est appelée «Cumin chevelu» (Idm'hand et al., 2020). Son nom en anglais est «Hairy Cumin» (Velasco-Negueruela et al., 2006).

1.3 Répartition géographique d'*Ammodaucus leucotrichus*

L'aire géographique de cette espèce dite saharienne va de l'Atlantique à l'Égypte. Sa distribution entière est basée au nord de l'Afrique (Algérie, Maroc, Tunisie, Libye) elle s'étend jusqu'à l'Égypte et l'Afrique tropicale (Manssouri et al., 2020).

1.4 Usages thérapeutiques traditionnels d'*Ammodaucus leucotrichus*

A. leucotrichus est une plante très utilisée en médecine traditionnelle dans les pays d'Afrique du Nord, en particulier dans le sud du Sahara Algérien.

Les graines de cette plante sont utilisées pour traiter les maladies liées à l'appareil digestif et pour soulager les douleurs de l'estomac et du foie. Les feuilles sont également utilisées pour soulager les douleurs thoraciques. Dans la région du Tassili en Algérie, la plante étudiée est principalement utilisée sous forme de poudre ou d'infusion pour traiter les symptômes mentionnés ci-dessus. Dans la même région, un mélange de graines de la plante *A. leucotrichus* avec du lait ou du millet est utilisé pour retrouver l'appétit ou éviter l'indigestion. Les feuilles sont utilisées pour aromatiser le thé. Sous forme de poudre, elle est considérée comme un aliment épicé très apprécié dans la région de Djanet (Louail et al., 2016).

1.5 Composition chimique d'*Ammodaucus leucotrichus*

Les études chimiques menées par Dahmane et al. (2017) et Manssouri et al. (2020) sur la séparation et l'identification des composés chimiques de la plante *A. leucotrichus*, ont rapporté la présence des terpènes (le Périllaldéhyde, le limonène, le myrcène, le α -pinène, le β -pinène), des coumarines et des saponines, ainsi que d'autres composants tels que: le Thymol, les Tanins, le Carvacrol, le Flavone glycoside et Shybnol.

2 Composés phénoliques

Tous les végétaux contiennent des composés phénoliques mais, comme c'est le cas pour la plupart des substances naturelles qualifiées de métabolites secondaires, leur répartition qualitative et quantitative est inégale selon les espèces, les organes, les tissus et les stades physiologiques (**Macheix et al., 2006**).

Ces composés suscitent actuellement beaucoup d'intérêt en raison du bénéfice qu'ils pourraient apporter en termes de prévention des maladies (**Hennebelle et al., 2004**). Ils ont été décrits comme étant des antioxydants, des anti-allergènes, des anti-inflammatoires, des anti-thrombotiques et des anti-tumoraux (**Hanhineva et al., 2010**).

2.1 Définition

Les composés phénoliques forment un très vaste groupe de métabolites secondaires, qui est difficile de définir simplement. Ils sont largement répandus dans le règne végétal et ils regroupent un ensemble de 8000 molécules (**Bruneton, 1999**).

Bien qu'étant très diversifiés, ils ont tous en commun un élément structural fondamental qui les caractérise qui est la présence d'au moins un noyau benzénique auquel est directement lié un groupe hydroxyle, libre ou engagé dans une autre fonction: éther, ester, hétéroside (**Bruneton, 1999**).

Les composés phénoliques des végétaux sont issus de deux grandes voies d'aromagenèse:

La voie de l'acide shikimique qui est à l'origine de la formation de la phénylalanine et de la tyrosine. La désamination de ces acides aminés conduit à la formation des acides cinnamiques et à leur très nombreux dérivés (acides benzoïques, coumarines ...) (**Ribereau-Gayon, 1968; Macheix et al., 2006**).

L'autre voie part de l'acétate et conduit à des poly-b-cétoesters de longueur variable, les poly acétates, qui engendrent par cyclisation des composés souvent polycycliques: chromones, quinones, xanthones etc. (**Bruneton, 1999**).

2.2 Classification

Les composés phénoliques peuvent être regroupés en de nombreuses classes qui se différencient d'abord par la complexité du squelette de base (allant d'un simple squelette (6 carbones) à des formes très polymérisées), ensuite par le degré de modification de ce squelette (degré d'oxydation, d'hydroxylation, de méthylation ...), enfin par les liaisons possibles de ces molécules de base avec d'autres molécules (glucides, lipides, protéines, autres métabolites secondaires) (Tableau I) (Macheix *et al.*, 2006).

Tableau I: Différentes classes des composés phénoliques (Macheix *et al.*, 2006).

Squelette carboné	Classes	Exemples	Origines (exemples)
C6	Phénol simples	Catéchol	Nombreuses espèces
C6-C1	Acides Hydroxybenzoïques	p-hydroxybenzoïques	Epices, fraises
C6-C3	Acides Hydroxycinnamiques Coumarines	Acide caféique Scopolétine	Pomme de terre, Pomme, citrus
C6-C4	Naphtoquinones	Juglone	Noix
C6-C2-C6	Stilbènes	Resvératrol	Vigne
C6-C3-C6	Flavonoïdes Isoflavonoïdes	Quercétin Cyanidine	Fruits, légumes, Fleurs, soja, pois
(C6-C3) ₂	Lignanes	Pinirésinol	Pin
(C6-C3) _n	Lignines		Bois, fruits à noyau
(C6-C3-C6) _n	Tanins condensés		Raisin, kaki

2.2.1 Phénols simples et leurs dérivés

Ce sont des dérivés en C6 du noyau benzénique, rares à l'état naturel et issus de la décarboxylation de l'acide shikimique. Dans cette classe se trouve par exemple l'hydroquinol, le pyrocatéchol et le phloroglucinol (Chira *et al.*, 2008).

2.2.2 Acides phénoliques

Les acides phénoliques constituent environ un tiers des phénols alimentaires qui peuvent être présents dans les plantes sous des formes libres et liées. Ce sont des composés organiques possédant au moins une fonction carboxylique et un hydroxyle phénolique (**Ignat et al., 2011**). Ils sont représentés par deux sous-classes, les acides hydroxybenzoïques et les acides hydroxycinnamiques (**Macheix, 1996**).

- **Acides hydroxybenzoïques**

Les acides hydroxybenzoïques présentent une structure de base de type C6-C1, composée d'un noyau benzénique sur lequel vient s'attacher un carbone. Ces acides hydroxybenzoïques sont très communs, aussi bien sous forme libre que sous forme d'esters ou d'hétérosides (Tableau II) (**Bruneton, 2009; Chira et al., 2008**).

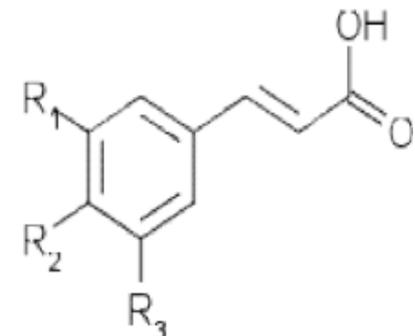
Tableau II: Principaux acides hydroxybenzoïques (**Macheix et al., 2006**).

Acides hydroxybenzoïques					
	R1	R2	R3	R4	Formule
Acide parahydroxybenzoïque	H	H	OH	H	
Acide protocatéchique	H	OH	OH	H	
Acide vanillique	H	OCH ₃	OH	H	
Acide gallique	H	OH	OH	OH	
Acide synringique	H	OCH ₃	OH	OCH ₃	
Acide salicylique	OH	H	H	H	
Acide gentisique	OH	H	H	OH	

- **Acides hydroxycinnamiques**

Ils représentent une classe très importante dont la structure de base est C6-C3. Leur squelette se compose d'un noyau benzénique avec une chaîne aliphatique à 3 carbones, avec un ou plusieurs groupements hydroxyles souvent estérifiés en ester d'alcool aliphatique (Tableau III) (**Chira et al., 2008**).

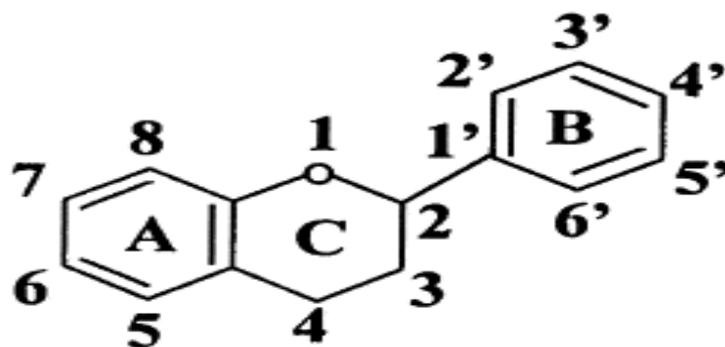
Tableau III: Principaux acides hydroxycinnamiques (Macheix et al., 2006).

Acides hydroxycinnamiques				
	R1	R2	R3	Formule
Acide paracoumarique	H	OH	H	
Acide caféique	OH	OH	H	
Acide férulique	OCH ₃	OH	H	
Acide sinapique	OCH ₃	OH	OCH ₃	
E-anéthole	H	OCH ₃	H	
Acide 3,4diméthoxycinnamique	OCH ₃	OCH ₃	H	

2.2.3 Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des pigments quasi universels des végétaux (Ghestem et al., 2001). Presque toujours hydrosolubles (Bruneton, 1999). Ils sont largement abondants dans les organes jeunes tels que les feuilles et les boutons floraux. Ces composés sont responsables de la coloration des fleurs et des fruits et parfois des feuilles. (Bruneton, 1999; Ghestem et al., 2001; Catier et Roux, 2007).

Ils ont une origine biosynthétique commune et par conséquent, possèdent tous un même squelette de base à quinze atomes de carbone (Figure 2), constitué de deux unités aromatiques, deux cycles en C6 (A et B), reliés par une chaîne en C3 (chalcones) (Bruneton, 1999; Gebhardt et al., 2005).

**Figure 2:** Structure de base des flavonoïdes (Heim et al., 2002).

Les flavonoïdes sont classés selon plusieurs critères: présence ou non d'une double liaison en position 2, et présence ou non d'un groupement hydroxyle en position 3 (Tsimogiannis et Oreopoulou, 2006).

Structuralement, les flavonoïdes se répartissent en plusieurs classes (Figure 3), dont les plus importantes sont les flavones, les flavonols, les flavanones, les dihydroflavonols, les isoflavones, les flavanols et les anthocyanidines (Pietta, 2000; Gramza et Korczak, 2005).

Les flavonoïdes se rencontrent à la fois sous forme libre (aglycone) ou sous forme glycosylée (Sakihama et al., 2002; Ghedira, 2005). Les flavonoïdes se rencontrent également sous formes O- et C-hétérosides. Il s'agit généralement des motifs flavonol et flavone qui sont substitués par un glucide en position 3 et 5, respectivement. La partie osidique consiste en un résidu de D-glucose, D-galactose, D-allose ou pentose (L-arabinose, L-rhamnose, D-xylose) (Bruneton, 1999).

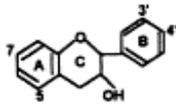
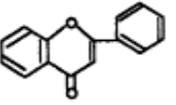
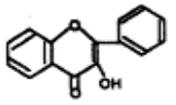
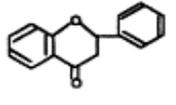
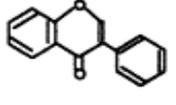
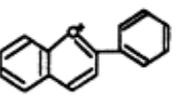
Class	General structure	Flavonoid	Substitution Pattern
Flavanol		(+)-catechin (-)-epicatechin Epigallocatechin gallate	3,5,7,3',4'-OH 3,5,7,3',4'-OH 3,5,7,3',4',5'-OH,3-gallate
Flavone		chrysin apigenin rutin luteolin luteolin glucosides	5,7-OH 5,7,4'-OH 5,7,3',4'-OH, 3-rutinose 5,7,3',4'-OH 5,7,3'-OH, 4'-glucose 5,4'-OH, 4',7-glucose
Flavonol		kaempferol quercetin	3,5,7,4'-OH 3,5,7,3',4'-OH
		myricetin tamarixetin	3,5,7,3',4',5'-OH 3,5,7,3'-OH,4'-OMe
Flavanone (dihydroflavon)		naringin naringenin taxifolin eriodictyol hesperidin	5,4'-OH,7-rhamnoglucose 5,7,4'-OH 3,5,7,3',4'-OH 5,7,3',4'-OH 3,5,3'-OH,4'-OMe, 7-rutinose
Isoflavone		genistin genistein daidzin daidzein	5,4'-OH, 7-glucose 5,7,4'-OH 4'-OH, 7-glucose 7,4'-OH
Anthocyanidin		apigenidin cyanidin	5,7,4'-OH 3,5,7,4'-OH,3,5-OMe

Figure 3: Classification des flavonoïdes (Heim et al., 2002).

2.2.4 Tanins

Les tanins sont des composés phénoliques, solubles dans l'eau, avec un poids moléculaire compris entre 500 et 3000 Daltons. Ils sont caractérisés par la capacité de précipiter les protéines (**Catier et Roux, 2007**). Ils sont divisés en deux groupes majeurs selon leurs structures: les tanins hydrolysables et les tanins condensés (Figure 4) (**Macheix et al., 2006**).

➤ Tanins hydrolysables

Ce sont des esters de glucose, c'est-à-dire un noyau central de glucose sur lequel se fixent, au moyen d'une liaison ester, des acides: l'acide gallique pour le groupe des gallotanins, l'acide hexahydroxydiphénique ou ellagique pour le groupe des ellagitanins (**Guignard, 1979; Derbel et Ghedira, 2005**). Leur hydrolyse, par des acides, des bases ou certaines enzymes, libère le glucose ainsi que les acides galliques ou phénoliques liés (**Bravo, 1998; Khanababae et Ree, 2001; Bennick, 2002**).

➤ Tanins condensés

Ce sont des polymères de haut poids moléculaire de flavan-3-ol (catéchines) et de flavan-3,4-diol (leucoanthocyanidines), ou un mélange des deux (**Labieniec et al., 2003**).

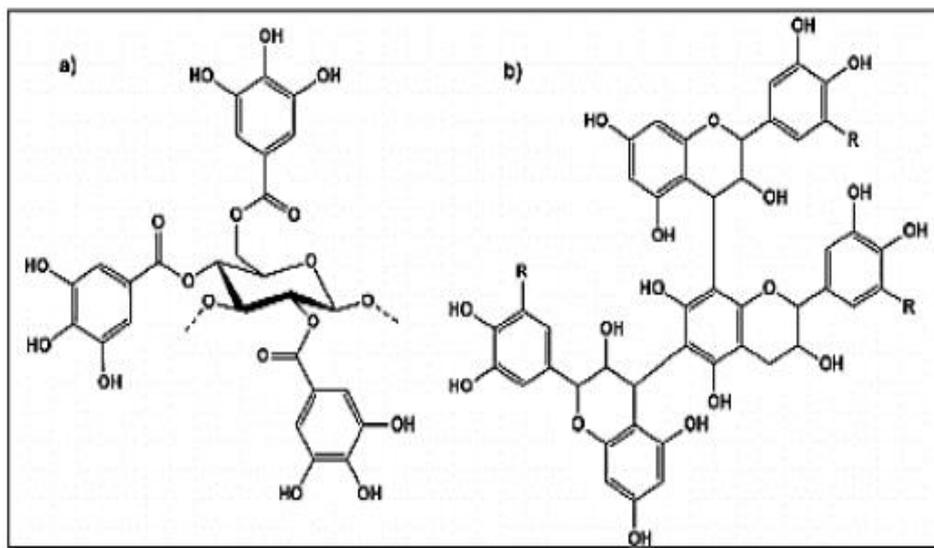


Figure 4: Structure de base des tanins. a) tanins hydrolysables. b) tanins condensés (**Lochab et al., 2014**).

2.3 Propriétés anti oxydantes des composés phénoliques

Grâce à leur diversité structurale, les composés phénoliques exercent une activité antioxydante *via* plusieurs mécanismes et agissent à différents niveaux des réactions radicalaires par la chélation des métaux de transition, la neutralisation des radicaux libres, l'inhibition d'enzymes génératrices de radicaux libres, et l'induction de la synthèse d'enzymes antioxydantes (Bors *et al.*, 1997; Cotelle *et al.*, 2001; Grassmann *et al.*, 2002; Su *et al.*, 2007; Edreva *et al.*, 2008).

2.3.1 Chélation des métaux

Plusieurs études telle que celle de Morris et ses collaborateurs en 1995 et Hider et son équipe en 2001 ainsi que celle de Halliwell en 2006, affirment que divers composés phénoliques sont considérés comme de bons chélateurs des ions métalliques tels que le fer et le cuivre qui permettent de catalyser les oxydations.

Les recherches réalisées par Van Acker et ses collaborateurs en 1996 sur la chélation des ions du fer par certains flavonoïdes ont mis en évidence les sites essentiels pour la chélation des ions métalliques. Ces sites sont constitués par les groupements 3'-hydroxyl, 4'-hydroxyl sur le cycle B, 3-hydroxyl et 4-oxo de l'hétérocycle C et 4-oxo et 5-hydroxyl de l'hétérocycle C et du cycle A, respectivement (Pietta, 2000; Heim *et al.*, 2002).

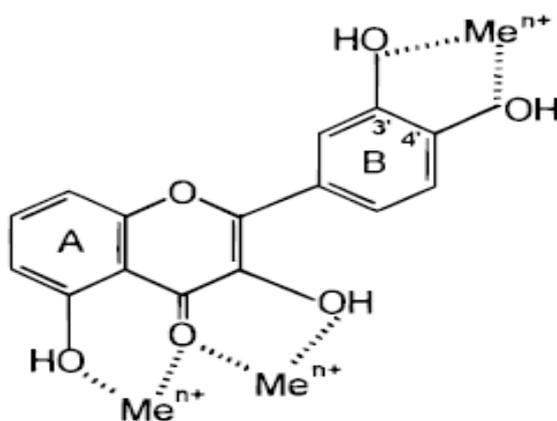


Figure 5: Sites de chélation des métaux de transition par les flavonoïdes (Pietta, 2000).

2.3.2 Neutralisation des radicaux libres

Les composés phénoliques en particulier les flavonoïdes sont des piègeurs efficaces de radicaux libres en les réduisant par transfert direct d'un électron sur leur dernière couche électronique (**Ghedira, 2005**) selon la réaction suivante:

flavonoïde (OH) + R[•] → Flavonoïde (O[•]) + RH (**Ghedira, 2005; Sokół-Łętowska et al., 2007**).

Cette activité anti-radicalaire nécessite:

- La structure 3',4'-dihydroxy du cycle B, qui est essentielle à l'activité des flavonoïdes possédant un hétérocycle saturé.
- La double liaison 2-3 conjugué avec la fonction 4-oxo-, qui est responsable de la délocalisation d'électrons stabilisant le radical aroxy.
- Les hydroxyles en position 3 et 5 qui permettent une activité anti-radicalaire maximale (**Sokół-Łętowska et al., 2007**).

2.3.3 Inhibition d'enzymes

Les composés phénoliques affectent l'activité de nombreux systèmes enzymatiques (**Olszanecki et al., 2002**). En raison de la présence de multiples fonctionnalités phénol, ils interagissent avec les protéines si fortement, que la précipitation des complexes protéines-polyphénols se produit fréquemment (**Handique et al., 2002**).

Afin d'étudier le mécanisme d'action de l'activité inhibitrice des flavonoïdes, **Sadik et al. (2003)** ont mis en évidence l'effet de la quercétine sur l'oxydation de l'acide linoléique par une lipoxygénase. Ces auteurs ont constaté que le mécanisme d'inhibition des lipoxygénases par la quercétine est dû à une inhibition irréversible résultante de liaisons covalentes entre l'enzyme et les dérivés oxydés de la quercétine (quinone ou radical phénoxy) et non pas à une complexation ou à une oxydation du Fe²⁺.



**MATÉRIEL ET
MÉTHODES**

1 Matériel et Méthodes

1.1 Préparation du matériel végétal

La plante entière *A. leucotrichus*, a été récoltée d'une manière aléatoire en Mars 2020 à la Wilaya de Bechar (Algérie). Après la récolte, la plante a été nettoyée des poussières et de toutes autres impuretés, puis séchée à une température ambiante dans un endroit aéré et à l'abri de la lumière.

Le matériel végétal séché a été broyé puis tamisé en utilisant des tamiseurs de différentes granulométries (500 et 250 μ m). Les fractions dont le diamètre est inférieur à 250 μ m ont été retenues pour l'extraction.

1.2 Extraction des composés phénoliques

Dans la présente étude, l'extraction des composés phénoliques à partir d'*A. leucotrichus*, a été réalisée en testant l'effet de la durée, du solvant d'extraction, du rapport solide/liquide, et en appliquant deux techniques d'extraction à savoir; extraction par macération et extraction assistée aux ultrasons.

1.2.1 Effet de la durée d'extraction

Pour étudier l'effet de la durée d'extraction des composés phénoliques de d'*A. leucotrichus*, l'extraction a été réalisée pendant 1heure, 2heures et 3heures de macération en utilisant comme solvant l'eau distillée.

Une prise d'essai de la poudre (0,4g) a été mise en contact avec 20mL du solvant d'extraction. Après 1heure, 2heures et 3heures de macération à l'abri de la lumière, les mélanges ont été filtrés et conservés pour déterminer la teneur en composés phénoliques et évaluer l'activité antioxydante.

1.2.2 Effet de la technique et du solvant d'extraction

Afin d'étudier l'effet de la technique et du solvant d'extraction, les composés phénoliques totaux d'*A. leucotrichus* ont été extraits par macération pendant 3heures et par ultrasons pendant 30minutes, en utilisant comme solvants l'eau distillée, l'acétone 50%, le méthanol 50% et l'éthanol 50%.

Une quantité de 0,4g de la poudre a été mélangée avec 20mL du solvant d'extraction. Après 3heures de macération et 30minutes d'extraction assistée aux ultrasons, les mélanges obtenus ont été filtrés et conservés pour déterminer la teneur en composés phénoliques et évaluer l'activité antioxydante.

1.2.3 Effet du rapport solide/liquide

Pour déterminer l'effet du rapport solide/liquide, l'extraction des composés phénoliques d'*A. leucotrichusa* été effectuée en utilisant trois rapports solide/liquide à savoirs: 0,1/20; 0,2/20 et 0,4/20 (g/mL).

Une quantité de 0,1; 0,2 ou 0,4g de la poudre a été mélangée avec 20mL d'eau distillée. Après 3heures de macération, les mélanges obtenus ont été filtrés et conservés pour les utiliser afin de déterminer la teneur en composés phénoliques et évaluer l'activité antioxydante.

1.3 Détermination de la teneur en antioxydants

1.3.1 Dosage des composés phénoliques

- **Principe**

Le réactif de Folin-Ciocalteu, mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$), oxyde les composés phénoliques; les oxydes métalliques produits sont de couleur bleue, dont l'absorbance est proportionnelle à la quantité des composés phénoliques présents dans l'échantillon (**Ribéreau-Gayon *et al.*, 1982**).

- **Mode opératoire**

La teneur en composés phénoliques est estimée selon la méthode de **Kähkönen *et al.* (1999)**. Un volume de 1mL du réactif de Folin-Ciocalteu est ajouté à 0,2mL d'extrait. Après 3minutes, 0,8mL de la solution de carbonate de sodium (7,5%) sont ajoutés. Après 1heure d'incubation, l'absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 750nm. La concentration en composés phénoliques des extraits, exprimée en gramme équivalent acide gallique par 100g de matière sèche, est déterminée en se référant à la droite d'étalonnage (Annexe).

1.3.2 Dosage des flavonoïdes

- **Principe**

Les flavonoïdes forment des complexes jaunâtres avec l'aluminium sous forme d'ions Al^{+3} après décomposition de chlorure d'aluminium ($AlCl_3$). Les complexes formés sont responsables de l'absorption de la lumière dans le visible (**Ribéreau-Gayon, 1968**).

- **Mode opératoire**

Les teneurs en flavonoïdes des extraits obtenus sont déterminées par la méthode de **Lamaison et Carnat, (1990)**. Une partie aliquote de chaque extrait a été ajoutée à un volume égal de chlorure d'aluminium (2%). L'absorbance a été lue à 410nm après 20 min

d'incubation. Les résultats sont exprimés en gramme équivalent quercétine par 100g de matière sèche à partir de la droite d'étalonnage (Annexe).

1.3.3 Dosage des tanins condensés

- **Principe**

Le dosage des tanins condensés est basé sur la condensation des composés polyphénoliques (flavanes-3-ols) avec la vanilline en milieu acide ce qui donne une solution de couleur rouge brique (**Price et al., 1978**).

- **Mode opératoire**

La méthode suivie pour doser la teneur en tanins condensés est celle proposée par **Swain et Hillis, (1959)**; Le réactif de la vanilline a été préparé par solubilisation de 1g de la vanilline dans 100mL d'acide sulfurique (70%). Un volume de 1mL de ce réactif a été mélangé avec 1mL d'extrait. Après incubation à 50°C pendant 20min, l'absorbance a été mesurée à 500nm. Les résultats sont exprimés en gramme équivalent catéchine par 100g de matière sèche à partir de la droite d'étalonnage (Annexe).

1.4 Evaluation de l'activité antioxydante

L'activité antioxydante des extraits d'*A. leucotrichus* a été déterminée en utilisant plusieurs tests différents à savoirs:

1.4.1 Activité « scavenger » du radical DPPH

- **Principe**

Un antioxydant a la capacité de donner un hydrogène au radical synthétique DPPH· (2,2-diphényl-1-picryl hydrazyl) de coloration violette (forme oxydée) pour le réduire en DPPH-H (2,2-diphényl-1-picryl hydrazine) de coloration jaune-verte (**Molyneux, 2004**).

- **Mode opératoire**

L'effet « scavenger » du DPPH est déterminé par la méthode de **Kroyer et Hegedus, (2001)**; 0.3mL d'extrait sont ajoutés à 2.7mL de DPPH (60µM). L'absorbance a été lue à 517nm après 1 heure d'incubation à l'obscurité. Le pourcentage d'inhibition du radical DPPH· est exprimé par la formule suivante:

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

$A_{\text{témoin}}$: Absorbance du témoin (0.3mL Eau distillée + 2.7mL DPPH);

$A_{\text{échantillon}}$: Absorbance de l'extrait (0.3mL extrait + 2.7mL DPPH).

1.4.2 Pouvoir réducteur

- **Principe**

L'analyse du pouvoir réducteur est basée sur la réduction du fer ferrique (Fe^{3+}) du complexe ferricyanure- Fe^{3+} en fer ferreux (Fe^{2+}), en présence d'antioxydants réducteurs (Bijoy *et al.*, 2008). La forme réduite donne une couleur verte qui est proportionnelle au pouvoir réducteur de l'extrait (Gülçin *et al.*, 2006).

- **Mode opératoire**

Le pouvoir réducteur est estimé par la méthode de Yildirim *et al.* (2001); 1mL d'extrait est additionné à 2,5mL de tampon phosphate (0,2M, pH 6,6) et 2,5mL de ferricyanure de potassium (1%). Après incubation à 50°C pendant 20min, 2,5mL d'acide trichloracétique (10%) sont ajoutés au mélange. Après centrifugation à 3000g pendant 10min, 2,5mL du surnageant sont mélangés avec 2,5mL d'eau distillée et 0,5mL de chlorure ferrique (0,1%). L'absorbance est mesurée à 700nm.

1.4.3 Test de blanchissement du β -carotène

- **Principe**

Dans ce test, l'oxydation de l'acide linoléique dans un système d'émulsion aqueuse génère des radicaux peroxydes, suite à l'abstraction des atomes d'hydrogènes à partir de groupements méthylènes diallyliques de l'acide linoléique. Ces radicaux libres vont par la suite oxyder le β -carotène hautement insaturé (11 paires de doubles liaisons) entraînant ainsi la disparition de sa couleur rouge. Cependant, la présence des antioxydants réduit l'ampleur de la destruction du β -carotène en neutralisant les radicaux libres dérivés de l'acide et permet donc de prévenir l'oxydation et le blanchissement du β -carotène (Unten *et al.*, 1997).

- **Mode opératoire**

Le test de blanchissement du β -carotène est réalisé par la méthode de Sun *et Ho*, (2005). Une quantité de 2mg de β -carotène est dissoute dans 10mL de chloroforme. 1mL de cette solution est additionné à 200mg de tween 20 et 20 μ L d'acide linoléique. Après élimination du chloroforme par évaporation, 100mL de l'eau oxygénée diluée sont ajoutés et le mélange résultant est agité vigoureusement. Un volume de 2mL de l'émulsion du β -carotène/acide linoléique est additionné à 100 μ L d'extrait. Après incubation à 50°C pendant 120min, l'absorbance des extraits est mesurée à 470nm. L'activité antioxydante des extraits est exprimée en pourcentage d'inhibition de blanchissement du β -carotène en employant la formule suivante:

$$\% = [(A_{A(120)} - C_{C(120)}) / (C_{C(0)} - C_{C(120)})] \times 100$$

$A_{A(120)}$: Représente l'absorbance en présence de l'extrait à $t = 120$ min;

$C_{C(120)}$: Représente l'absorbance du contrôle à $t = 120$ min;

$C_{C(0)}$: Représente l'absorbance du contrôle à $t = 0$ min.

1.5 Etude statistique

L'analyse statistique des résultats a été effectuée avec l'application ANOVA univariée (test Tukey-Kramer, logiciel JMP7) et la comparaison des résultats est prise à la probabilité $P < 0.05$. Toutes les données représentent la moyenne de trois essais \pm écart type.

Ce travail a été consacré à étudier l'effet de la durée d'extraction, de la polarité du solvant, de la technique d'extraction et du rapport solide/liquide sur la teneur en composés phénoliques et l'activité antioxydante d'*A. leucotrichus*.

Dans la présente étude, l'activité antioxydante des extraits phénoliques obtenus a été déterminée en utilisant différentes méthodes à savoir; l'activité « scavenger » du radical DPPH, l'activité réductrice du fer et le test de blanchissement du β -carotène.

1 Teneur en antioxydants

La solubilité des composés phénoliques dépend de leur nature chimique dans la plante, qui varie de composés simples à fortement polymérisés. Les matières végétales peuvent contenir des quantités variables d'acides phénoliques, de flavonoïdes, d'anthocyanines et de tanins. Cette diversité structurale est responsable de la grande variabilité des propriétés physico-chimiques influençant l'extraction des composés phénoliques, par conséquent, il est très difficile de développer un procédé d'extraction approprié pour tous les composés phénoliques de la plante (Mahmoudi et al., 2013).

1.1 Composés phénoliques

1.1.1 Effet de la durée d'extraction

Pour étudier l'effet de la durée d'extraction sur la teneur en composés phénoliques, l'extraction a été réalisée par macération durant 1 heure, 2 heures et 3 heures, en utilisant l'eau distillée comme solvant d'extraction

L'analyse statistique des résultats trouvés a montré que les teneurs en composés phénoliques obtenues présentent des différences significatives selon la durée utilisée pour l'extraction ($p < 0.05$) (Figure 6).

L'extraction pendant 3 heures a permis de donner la meilleure teneur en composés phénoliques (1,18gEAG/100g), alors que l'extraction pendant 2 heures a permis d'extraire la plus faible teneur (0,44g EAG/100g).

Michiels et al. (2012) ont énoncé que le temps pendant lequel le solvant et le matériel végétal sont mis en contact peut influencer la libération progressive de solutés à partir de la matrice végétale vers le solvant. Et donc cela influence l'efficacité de l'extraction.

D'après les résultats de Telli et al. (2010), si le temps d'extraction est combiné au bon type de solvant, il influence considérablement sur l'extraction des composés phénoliques, ce qui permet de dire que la prolongation du temps d'extraction accroît d'une manière significative le rendement d'extraction.

Druzynska et al. (2007), ont démontré une augmentation du rendement des composés phénoliques totaux dans les extraits du thé vert avec la prolongation du temps d'extraction.

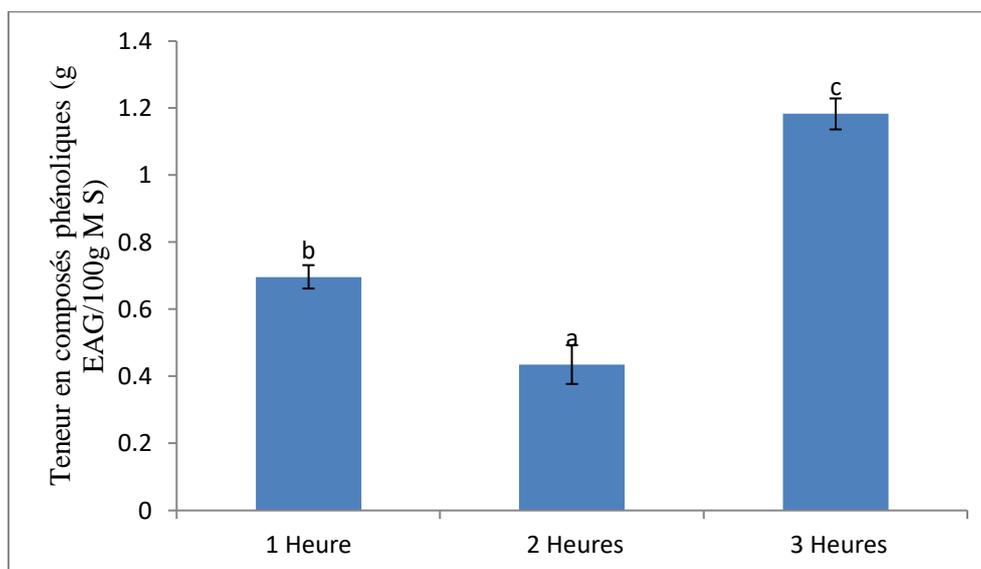


Figure 6: Effet de la durée d'extraction sur la teneur en composés phénoliques d'*Ammodaucus leucotrichus*.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents.

1.1.2 Effet du solvant et de la technique d'extraction

Afin d'étudier l'effet du solvant et de la technique d'extraction, les composés phénoliques d'*A. leucotrichus* ont été extraits par macération et par ultrasons, en utilisant comme solvant d'extraction l'eau distillée, l'acétone 50%, le méthanol 50% et l'éthanol 50%.

L'addition de l'eau aux solvants organiques augmente la solubilité des composés phénoliques par modulation de la polarité du solvant organique. Cette augmentation est peut être due à l'affaiblissement des liaisons d'hydrogène dans les solutions aqueuses. Elle pourrait également être due à l'augmentation de la basicité et de l'ionisation des composés phénoliques dans de telles solutions. La solubilité des composés phénoliques dépend principalement du nombre de groupements hydroxyles, de poids moléculaire et de la longueur de la chaîne carbonique du squelette de base (**Mahmoudi et al., 2013**).

L'analyse statistique des teneurs en composés phénoliques des extraits d'*A. leucotrichus* a révélé des différences significatives en fonction du solvant utilisé et de la technique suivie pour l'extraction ($p < 0,05$) (Figure 7).

Les résultats de l'extraction par macération ont montré que la teneur la plus élevée en composés phénoliques a été présentée par l'extrait méthanolique (50%) avec une valeur de 1,73g EAG/100g, suivi de celles obtenues par les extraits éthanolique (50%) et acétonique

(50%), avec des valeurs de 1,63 et 1,56g EAG/100g, respectivement. Alors que la teneur la plus faible (1,18g EAG/100g) a été obtenue en utilisant l'eau distillée.

Lors de l'étude de **Halla et al. (2018)** sur la même plante de ce travail, la plus faible teneur en composés phénoliques (0,17g EAG/100g) a été obtenue par l'extrait méthanolique (50%) préparé par macération.

En utilisant la technique d'extraction assistée aux ultrasons, l'étude a révélé que l'acétone 50% a permis d'extraire la teneur en composés phénoliques la plus élevée avec une valeur de 2,13g EAG/100g, par contre les extraits préparés par le méthanol 50%, l'éthanol 50% et l'eau distillée ont permis de donner les teneurs les plus faibles, avec des valeurs allant de 1,17 à 1,22g EAG/100g.

L'étude statistique globale a révélé qu'il n'y a pas de différence entre les teneurs en composés phénoliques obtenues par les deux techniques d'extraction utilisées; macération et extraction assistée aux ultrasons.

Jovanović et al. (2017), ont trouvé que l'extraction à l'eau distillée avait le rendement en composés phénoliques le plus faible en utilisant la technique d'extraction assistée aux ultrasons, ce qui concorde avec les résultats de la présente étude.

La solubilité des composés phénoliques est gouvernée par le type du solvant utilisé (polarité), du degré de polymérisation des composés phénoliques, ainsi que de leurs interactions avec d'autres composés de la plante et la formation des complexes insolubles **Fallehet al. (2008)**.

Carrera et al. (2012) ont montré que la technique d'extraction assistée aux ultrasons est la meilleure pour extraire les composés phénoliques, ce qui ne concorde pas avec nos résultats.

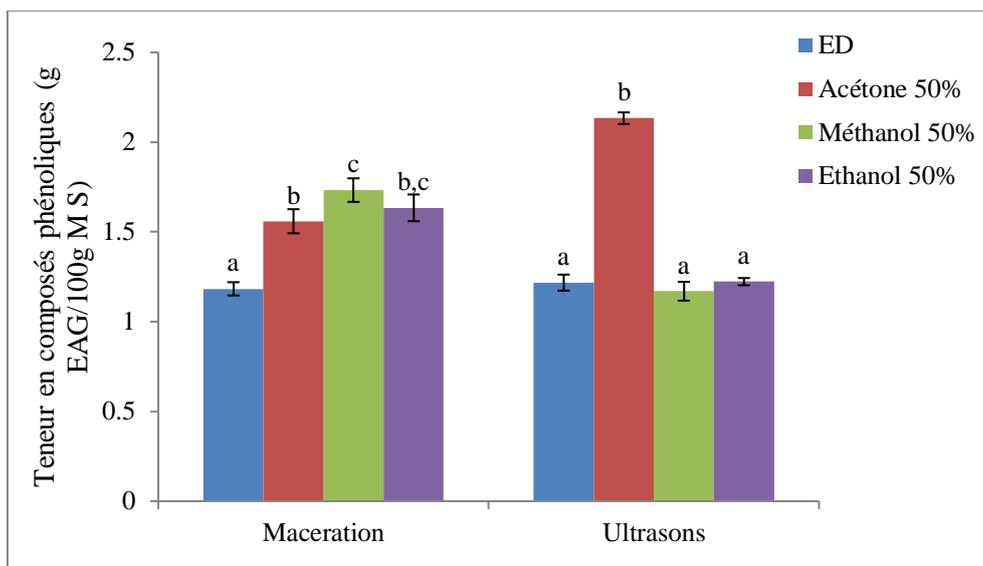


Figure 7: Effet du solvant et de la technique d'extraction sur la teneur en composés phénoliques d'*Ammodaucus leucotrichus*.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents.

1.1.3 Effet du rapport solide/liquide

Pour étudier l'effet du rapport solide/liquide sur la teneur en composés phénoliques d'*A. leucotrichus*, l'extraction a été réalisée en testant trois rapports solide/liquide (0,1/20, 0,2/20 et 0,4/20 (g/mL)), pendant 3heures et en utilisant comme solvant l'eau distillée (Figure 8).

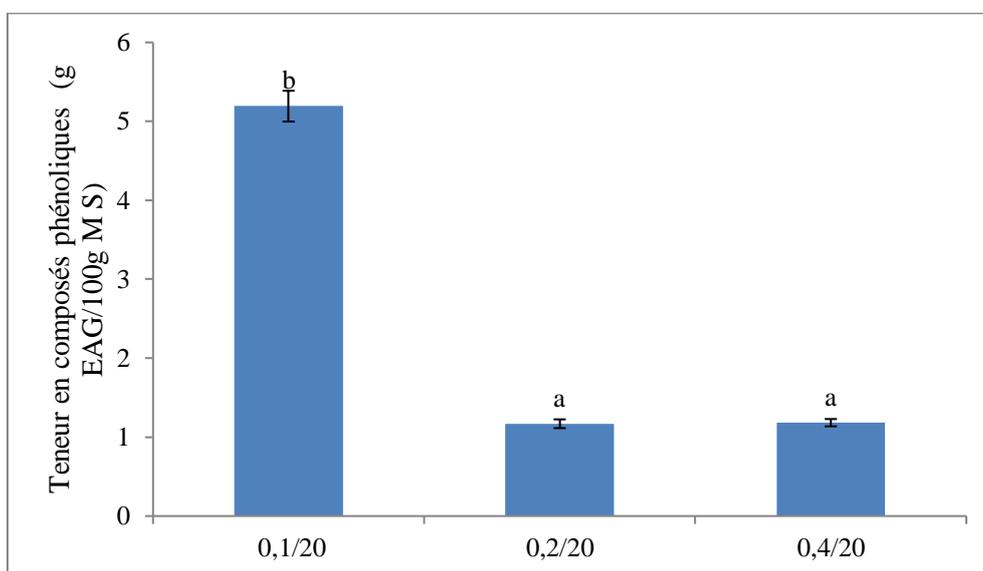


Figure 8: Effet du rapport solide/liquide sur la teneur en composés phénoliques d'*Ammodaucus leucotrichus*.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents

L'étude statistique a montré qu'il existe une différence significative entre les teneurs en composés phénoliques d'*A. leucotrichus* révélées selon le rapport solide/liquide testé ($p < 0,05$). La meilleure teneur a été obtenue avec le rapport 0,1g/20mL avec une teneur de 5,19g EAG/100g, suivi des rapports 0,2g/20mL et 0,4g/20mL avec des teneurs de 1,17 et 1,18g EAG/100g, respectivement.

L'augmentation du rapport solide/liquide pourrait avoir un effet négatif sur l'extraction. En effet, le rapport solide/liquide de 0,1/10 est celui qui a permis d'extraire le meilleur taux quel que soit le solvant étudié. Au-delà de ce rapport, les taux diminuent, Selon **Pradal, (2016)**, pour l'obtention d'une extraction efficace, le solvant devait pénétrer la matrice solide pour atteindre les solutés. Ainsi, le volume du solvant doit être suffisant pour permettre un transfert plus facile du soluté vers le solvant. Donc dans notre étude, le volume de 10mL de solvant est suffisant pour 0,1g de poudre, ce qui permet une bonne diffusivité des solutés à l'intérieur.

1.2 Flavonoïdes

1.2.1 Effet de la durée d'extraction

L'étude statistique a révélé que les teneurs en flavonoïdes dans les extraits obtenus après des durées différentes (1heure, 2heures, 3heures), présentent des différences significatives ($p < 0,05$)(figure 9).

L'extraction pendant 1heure a permis de donner la meilleure teneur en flavonoïdes (0,11g EQ/100g), alors que l'extraction pendant 2heures a permis d'extraire la plus faible teneur(0,06g EQ/100g).

Un temps d'extraction excessif n'est pas utile pour l'amélioration de la teneur en antioxydants extraite. La durée de mise en contact de l'échantillon avec le solvant apparait comme un paramètre qui influence l'extraction des composés phénoliques (**Chirinos et al., 2007**). Ce qui concorde avec les résultats trouvés.

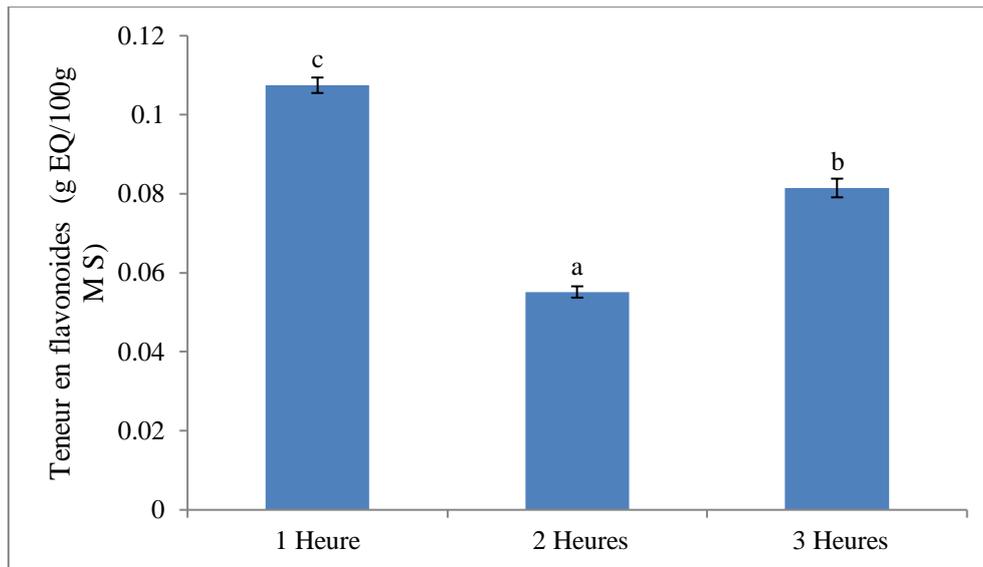


Figure 9: Effet de la durée d'extraction sur la teneur en flavonoïdes d'*Ammodaucus leucotrichus*.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents.

1.2.2 Effet du solvant et de la technique d'extraction

Afin d'étudier l'effet du solvant et de la technique d'extraction, les flavonoïdes d'*A. leucotrichus* ont été extraits par macération et par ultrasons, en utilisant comme solvant d'extraction l'eau distillée, l'acétone 50%, le méthanol 50% et l'éthanol 50%.

L'analyse statistique des teneurs en flavonoïdes des extraits d'*A. leucotrichus* a révélé des différences significatives en fonction du solvant utilisé et de la technique suivie pour l'extraction ($p < 0,05$) (Figure 10).

Les résultats de l'extraction par macération ont montré que la teneur la plus élevée en flavonoïdes a été présentée par les extraits méthanolique (50%) et éthanolique (50%) avec une valeur de 0,42g EQ/100g. Suivie de 10,36g EQ/100g obtenue par l'extrait acétonique (50%). Alors que la teneur la plus faible (0,08g EQ/100g) a été obtenue par l'extrait aqueux.

Concernant les teneurs en flavonoïdes des extraits obtenus par la technique d'extraction assistée aux ultrasons, l'étude a révélé que l'acétone (50%) a permis d'extraire la teneur en flavonoïdes la plus élevée avec une valeur de 0,65g EQ/100g, suivie des teneurs obtenues par les extraits éthanolique (50%) et méthanolique (50%) avec des valeurs de 0,58 et 0,47g EQ/100g, respectivement. Alors que la teneur la plus faible (0,17g EQ/100g) a été obtenue par l'extrait aqueux.

L'étude statistique globale a montré que la technique d'extraction assistée aux ultrasons a donné les meilleures teneurs en flavonoïdes par rapport à celles obtenues en utilisant l'extraction par la macération.

Un résultat similaire a été obtenu par **Veličković et al. (2007)** qui ont trouvé que les extraits de *Salvia officinalis L* et de *Salvia glutinosa L* obtenus par extraction assistée aux ultrasons contenaient des teneurs en flavonoïdes plus élevées à celles obtenues par macération. Ce qui a été également confirmé par **Jovanovic et al. (2017)**.

Les faibles teneurs en flavonoïdes obtenues avec les extraits aqueux peuvent s'expliquer par la présence d'impuretés (acide organiques, glucides, protéines solubles) qui peuvent interférer dans le dosage des flavonoïdes, **Chirinos et al. (2007)** ont démontré que l'utilisation de l'eau pure comme solvant d'extraction mène à un extrait ayant une teneur élevée en impuretés (acides organiques, glucides, protéines solubles).

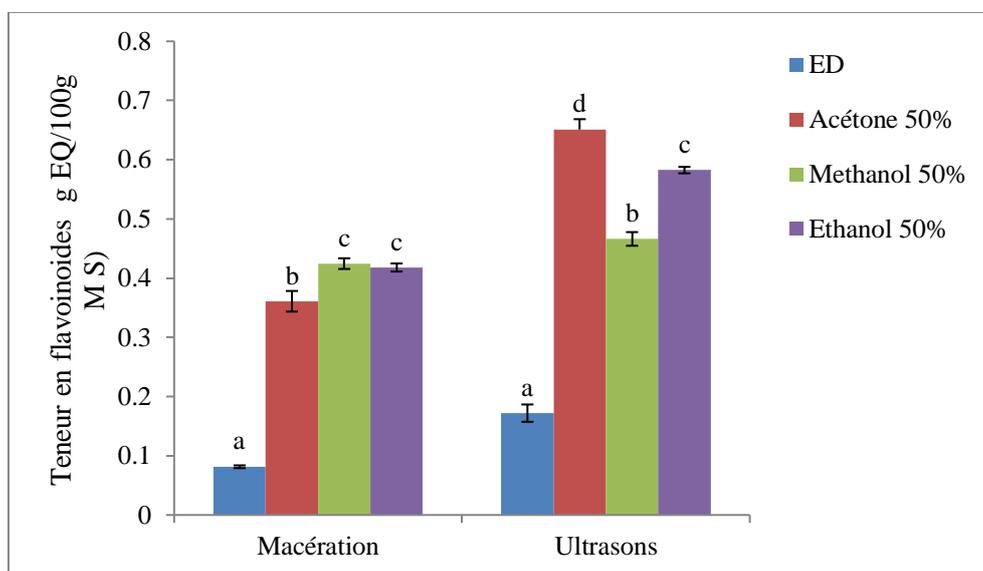


Figure 10: Effet du solvant et de la technique d'extraction sur la teneur en flavonoïdes d'*Ammodaucus leucotrichus*.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents.

1.2.3 Effet du rapport solide/liquide

Pour étudier l'effet du rapport solide/liquide sur la teneur en flavonoïdes d'*A.leucotrichus*, l'extraction a été réalisée en testant 3 rapports solide/liquide (0,1g/20mL, 0,2g/20mL et 0,4g/20mL), pendant 3heures et en utilisant comme solvant l'eau distillée.

La présente étude a montré qu'il existe une différence significative entre les teneurs en flavonoïdes d'*A.leucotrichus* selon le rapport solide/liquide testé ($p < 0,05$). (Figure 11).

La meilleure teneur en flavonoïdes a été obtenue avec le rapport 0,1g/20mL avec une teneur de 0,29g EQ/100g, suivi du rapport 0,4g/20mL avec une teneur de 0,081g EQ/100g, tandis que la plus faible teneur (0,06g EQ/100g) a été obtenue avec le rapport 0,2g/20mL.

Les résultats de ce travail montre que le plus faible rapport a permis de donner la meilleure teneur en flavonoïdes, L'une des explications probables de ce phénomène est que généralement l'utilisation d'un plus grand volume de solvant pourrait obtenir une plus grande quantité de composés bioactifs, car elle pourrait accélérer la diffusion des composés, ce qui pourrait être favorable pour augmenter le rendement en composés phénoliques **Muñiz-Márquez et al. (2013)**.

Lorsque le volume du solvant utilisé est plus important, une grande quantité du solvant pourra pénétrer les cellules et plus de composés phénoliques pourront s'extraire **Casazza et al. (2011)**.

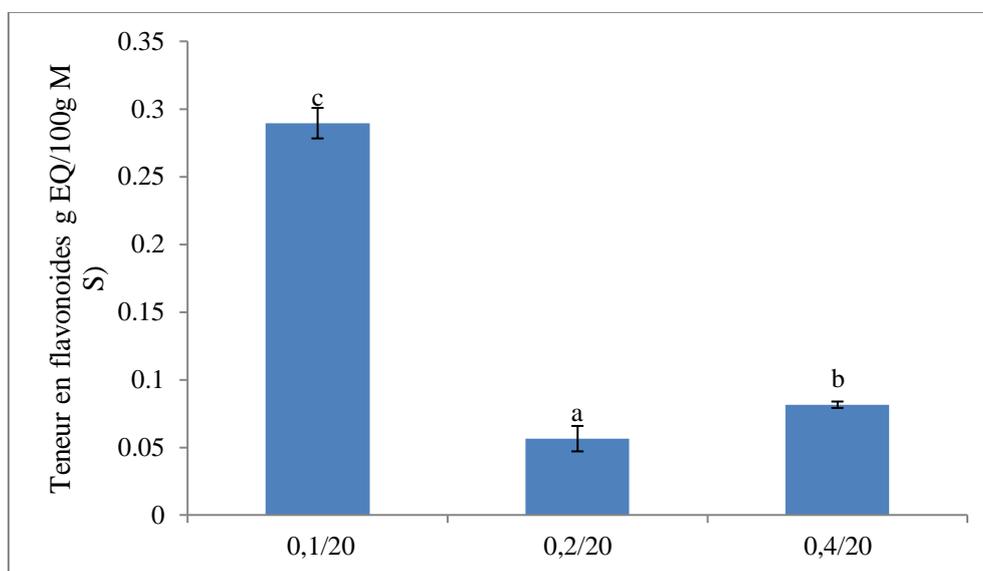


Figure 11: Effet du rapport solide/liquide sur la teneur en flavonoïdes d'*Ammodaucus leucotrichus*.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents.

1.3 Tanins condensés

1.3.1 Effet de la durée d'extraction

Dans ce travail les teneurs en tanins condensés révélées dans les extraits d'*A. leucotrichus* obtenus après 1heure, 2heures et 3heuresde macération, en utilisant l'eau distillée comme solvant d'extraction, ont présentées des différences significatives ($p < 0,05$)(figure 12).

La meilleure teneur en tanins condensés (0,27g EC/100g)a été trouvée après 3heures d'extraction, suivie par celles obtenues après 2heures et 1heure d'extractions avec des valeurs de 0,20 et 0,19g EC/100g, respectivement.

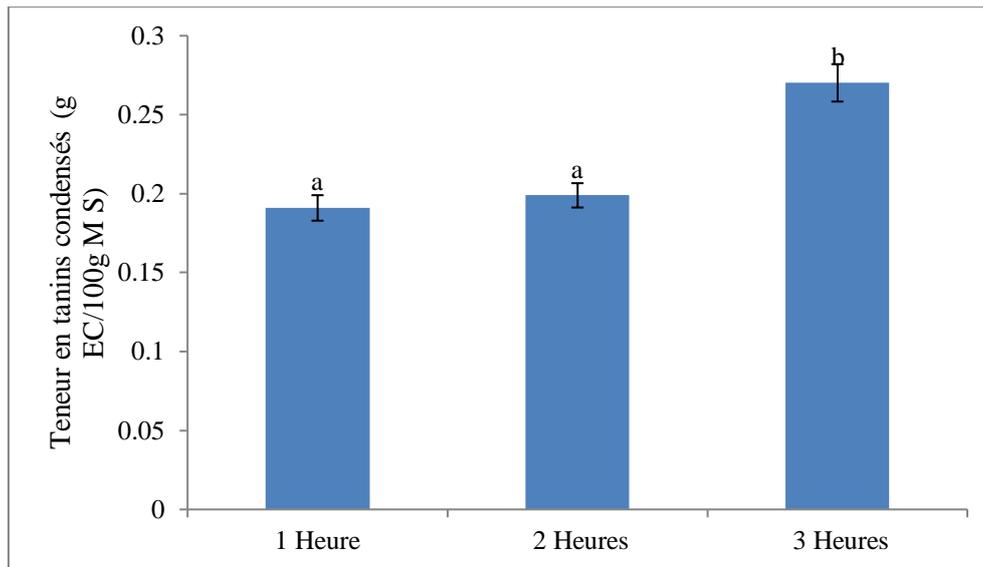


Figure12: Effet de la durée d'extraction sur la teneur en tanins condensés d'*Ammodaucus leucotrichus*.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents.

1.3.2 Effet du solvant et de la technique d'extraction

L'analyse statistique des teneurs en tanins condensés des extraits d'*A. leucotrichus* extraits par macération et par ultrasons, en utilisant comme solvant d'extraction l'eau distillée, l'acétone 50%, le méthanol 50% et l'éthanol 50%, a montré des différences significatives en fonction du solvant utilisé et de la technique appliquée pour l'extraction ($p < 0,05$) (Figure 13).

Les résultats des extraits obtenus par macération ont montré que la teneur en tanins condensés la plus élevée a été présentée par l'extrait acétonique (50%) avec une valeur de 1,51g EC/100g, suivi par les teneurs obtenues par les extraits méthanolique (50%) et éthanolique (50%), avec des valeurs de 0,43 et 0,41g EC/100g, respectivement. Et enfin la teneur la plus faible (0,27g EC/100g) a été obtenue avec l'extrait aqueux.

L'analyse des teneurs en tanins condensés obtenues par la technique d'extraction assistée aux ultrasons, a révélé que l'acétone (50%) a permis d'extraire la teneur en tanins condensés la plus élevée avec une valeur de 1,65g EC/100g. Alors que l'extrait préparé par l'eau distillée a enregistré la teneur la plus faible avec une valeur de 0,28g EC/100g.

Cette étude n'a révélé aucune différence significative entre les teneurs en tanins condensés obtenues par macération et celles obtenues par extraction assistée aux ultrasons ($p < 0,05$).

L'étude menée par **Carrera et al. (2012)** n'a révélé aucune différence significative entre les teneurs en tanins obtenues en utilisant la technique d'extraction assistée aux ultrasons et

celles obtenues par la technique d'extraction classique, ce qui concorde avec les résultats de la présente étude.

Les résultats obtenus révèlent que le meilleur solvant pour l'extraction des tanins condensés est l'acétone 50%. Plusieurs études ont montré que l'acétone est le meilleur solvant pour l'extraction des tanins **Chirinos et al. (2007)**, ce qui confirme les résultats de la présente étude.

La teneur la plus élevée en tanins condensés obtenue en utilisant l'acétone comme solvant d'extraction pourrait être expliquée par le fait que l'acétone possède la capacité de solubiliser les proanthocyanidines qui ne sont pas solubles dans le méthanol. L'extraction des tanins condensés dépend de leur nature chimique, du solvant utilisé et des conditions opératoires (**Mahmoudi, 2013**).

La faible teneur en tanins condensés obtenue par les deux techniques utilisées avec l'extrait aqueux peut être expliquée par le fait que les tanins condensés à poids moléculaire élevé diffusent plus faiblement que les oligomères dans l'eau (**Bennick, 2002; Cheynier et al., 2005**).

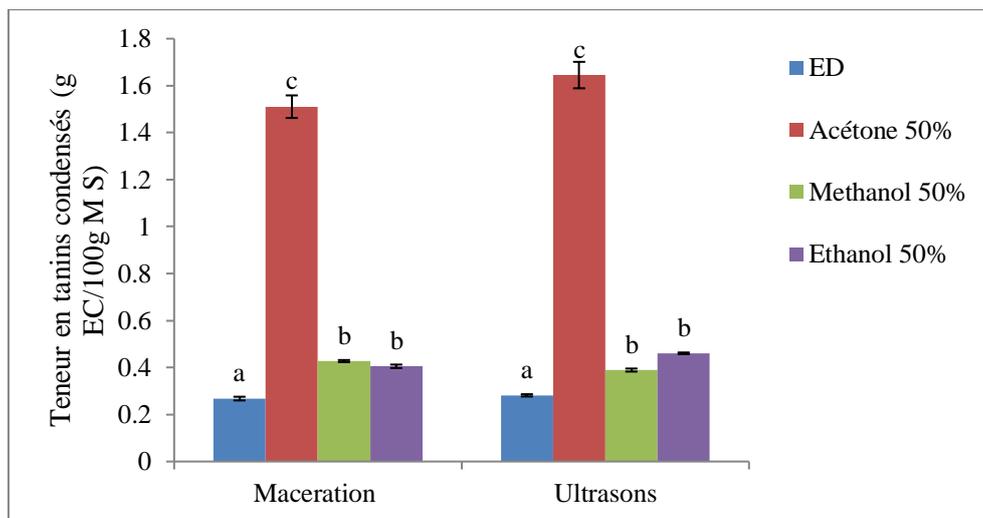


Figure13: Effet du solvant et de la technique d'extraction sur la teneur en tanins condensés d'*Ammodaucus leucotrichus*.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents.

1.3.3 Effet du rapport solide/liquide

L'étude des résultats des extraits obtenus en testant les rapports ; 0,1/20; 0,2/20 et 0,4/20(g/mL), a montré qu'il existe une différence significative entre les teneurs en tanins condensés selon le rapport solide/liquide testé ($p < 0,05$) (Figure 14).

La meilleure teneur en tanins condensés a été obtenue avec le rapport 0,1g/20mL avec une teneur de 1,04g EC/100g, tandis que la teneur la plus faible (0,27g EQ/100g) a été obtenue avec le rapport 0.4g/20mL. Le rapport 0,2g/20mL a donné une valeur moyenne de 0,44g EC/100g.

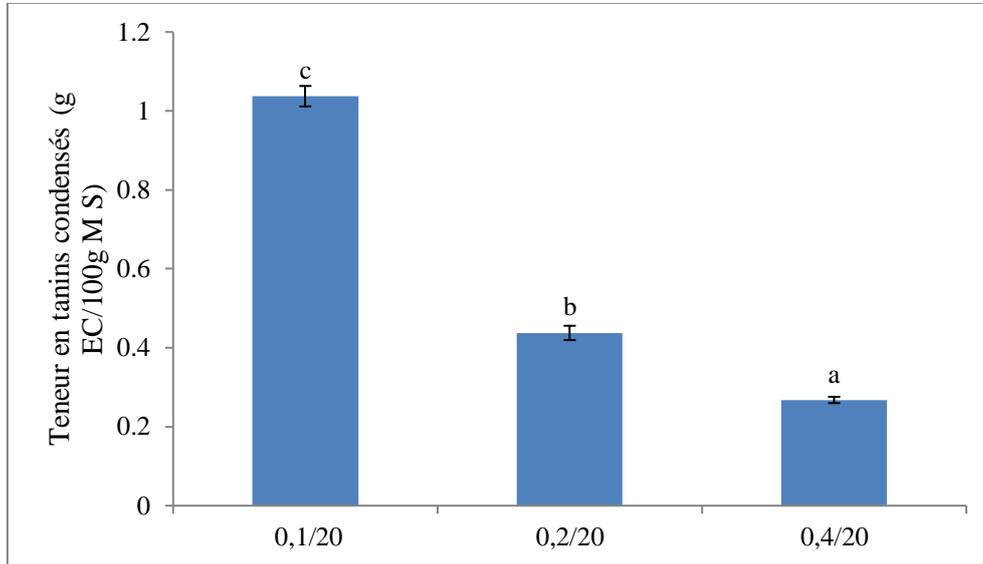


Figure 14: Effet du rapport solide/liquide sur la teneur en tanins condensés d'*Ammodaucus leucotrichus*.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents.

2 Etude de l'activité antioxydante

2.1 Activité « scavenger » du radical DPPH

2.1.1 Effet de la durée d'extraction

L'étude statistique des résultats de l'activité « scavenger » du radical DPPH d'*A. leucotrichus* a montré qu'il existe une différence significative entre les pourcentages d'inhibition du DPPH selon la durée d'extraction ($p < 0,05$) (Figure 15).

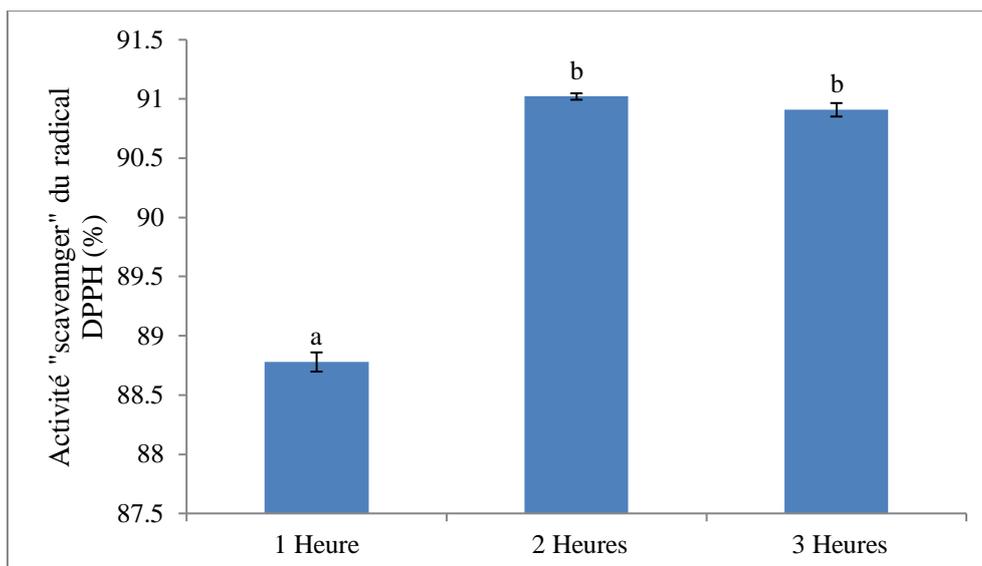


Figure15: Effet de la durée d'extraction sur l'activité « scavenger » du radical DPPH d'*Ammodaucus leucotrichus*.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents.

Le présent travail révèle que les extraits obtenus après 3heures et 2heures de macération, ont permis de donner les meilleures pourcentages d'inhibition du DPPH avec des valeurs de 90,91 et 91,02%. Alors que la plus faible activité d'inhibition du DPPH (88,78%) a été enregistrée par l'extrait obtenu après 1heure d'extraction.

2.1.2 Effet du solvant et de la technique d'extraction

Les extraits d'*A. leucotrichus* préparés par différents solvants et en utilisant comme technique d'extraction la macération et l'extraction assistée aux ultrasons ont présentés de différents pourcentages d'inhibition du DPPH selon le solvant et la technique utilisée ($p < 0,05$). (Figure 16). Cependant d'importantes capacités inhibitrices du DPPH ont été exhibées par tous les extraits d'*A. leucotrichus*.

Les résultats des extraits obtenus par macération ont montré que l'extrait méthanolique (50%) a exercé l'activité anti-radicalaire vis à vis du radical DPPH la plus élevée, avec un pourcentage de 92,87%. Les extraits acétonique (50%) et éthanolique (50%) ont exhibés des activités anti-radicalaires moyennes avec des pourcentages de 91,26 et 92,44%, respectivement. Le pourcentage le plus faible 90,91% a été obtenu par l'extrait aqueux.

En utilisant la technique d'extraction assistée aux ultrasons, l'étude a révélé que l'extrait méthanolique (50%) a exercé l'activité anti-radicalaire vis à vis du radical DPPH la plus élevée, avec un pourcentage de 93,76%, suivi par les extraits acétonique (50%) et éthanolique

(50%) avec un pourcentage de 91,71 et 90,36%, respectivement. Alors que le pourcentage le plus faible 89.76% a été obtenu par l'extrait aqueux.

Les résultats actuels sur l'activité « scavenger » du radical DPPH d'*A. leucotrichus* sont en accord avec une étude réalisée par **Sebaa et al. (2018)** sur la même plante étudiée, ces auteurs ont montré que l'extrait méthanolique a également exercé l'activité anti-radicalaire vis à vis du radical DPPH la plus élevée.

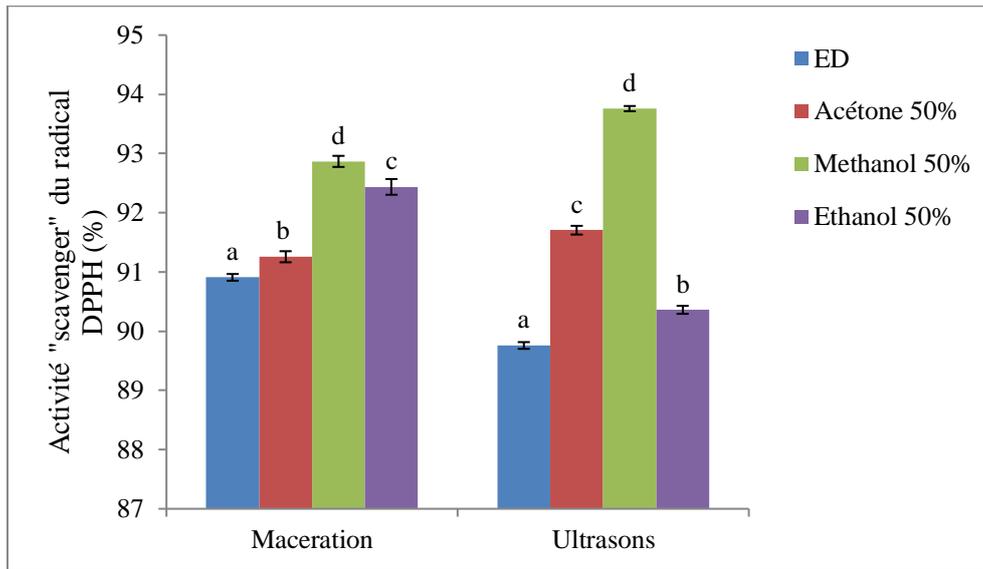


Figure16: Effet du solvant et de technique d'extraction sur l'activité « scavenger » du radical DPPH d'*Ammodaucus leucotrichus*.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents.

2.1.3 Effet du rapport solide/liquide

L'étude statistique de l'activité anti-radicalaire du DPPH d'*A. leucotrichus* a montré qu'il existe une différence significative entre les différents extraits selon le rapport solide/liquide testé à savoir 0,1/20; 0,2/20 et 0,4/20 (g/mL) en utilisant l'eau distillée comme solvant d'extraction ($p < 0,05$). (Figure 17).

Les rapports 0,4g/20mL et 0,1g/20mL ont exercé l'activité anti-radicalaire vis à vis du radical DPPH la plus élevée, avec un pourcentage de 90,91 et 90,90%, respectivement. Alors que le plus faible pourcentage 90,19% a été obtenu par le rapport 0,1g/20mL.

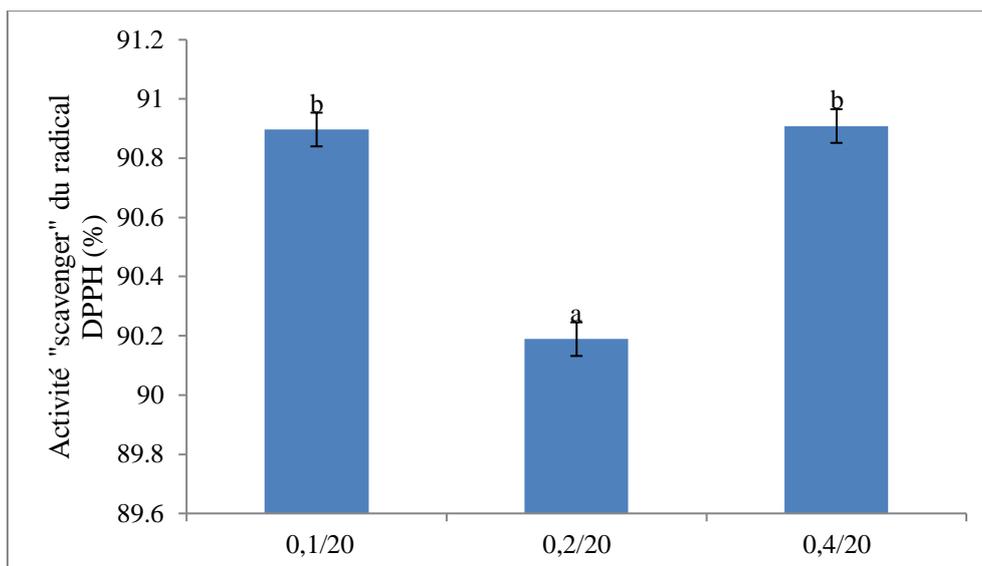


Figure 17: Effet du rapport solide/liquide sur l'activité « scavenger » du radical DPPH d'*Ammodaucus leucotrichus*.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents.

2.2 Pouvoir réducteur

2.2.1 Effet de la durée d'extraction

Les pouvoirs réducteurs des extraits d'*A. leucotrichus* préparés à différents temps d'extraction à savoirs 1heure, 2heures et 3heures en utilisant l'eau distillée comme solvant d'extraction présentent des différences significatives ($p < 0,05$). (Figure 18).

L'extraction pendant 1heure a permis de donner le meilleurpouvoir réducteur qui a été de 3,96,suivi de la durée de 3heures avec une valeur de 3,31. Alors que l'extraction pendant 2heures a permis d'enregistrer l'activité réductrice la plus faible qui a été de 2,66.

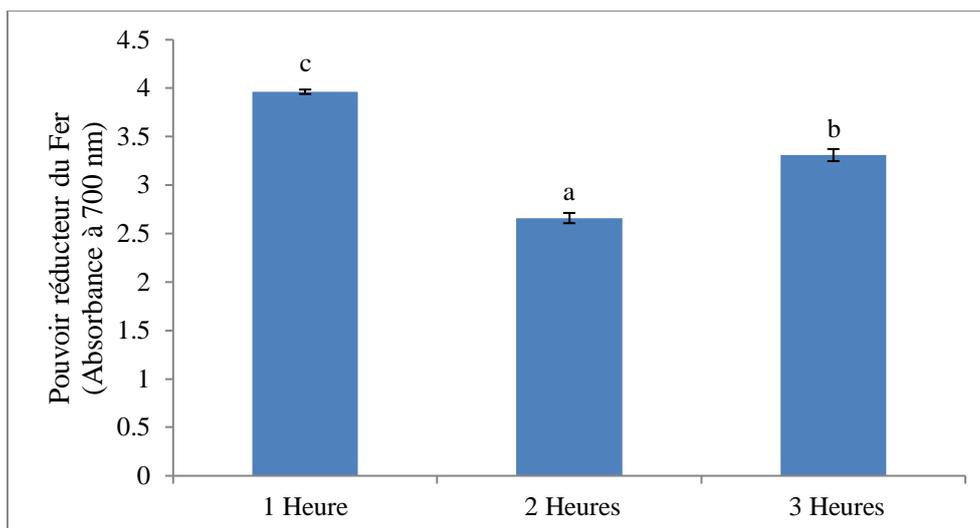


Figure 18: Effet de la durée d'extraction sur le pouvoir réducteur du fer d'*Ammodaucus leucotrichus*.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents

2.2.2 Effet du solvant et de la technique d'extraction

Pour étudier l'effet du solvant et de la technique d'extraction sur l'activité réductrice du fer des extraits d'*A. leucotrichus*, l'extraction a été réalisée par macération durant 1 heure, 2 heures et 3 heures, en utilisant l'eau distillée comme solvant d'extraction. Les résultats montrent que ces extraits ont fortement réduit le fer ferrique avec des valeurs significativement différentes ($p < 0,05$). (Figure 19).

Les résultats de l'extraction par macération ont montré que le pouvoir réducteur le plus élevé a été présenté par l'extrait aqueux avec une valeur de 3,31, suivi par celles obtenues par les extraits méthanolique (50%) et acétonique (50%), avec des valeurs de 2,91 et 2,62, respectivement. Alors que le pouvoir réducteur le plus faible (2,08) a été présenté par l'extrait éthanolique (50%).

Quant aux extraits obtenus par la technique d'extraction assistée aux ultrasons, l'étude a révélé également que le pouvoir réducteur le plus élevé a été présenté par l'extrait aqueux avec une valeur de 3,22, suivi par ceux trouvés dans les extraits éthanolique (50%) et méthanolique (50%), avec des valeurs de 2,99 et 2,94, des respectivement. En revanche le pouvoir réducteur le plus faible (2,80) a été obtenu avec l'extrait acétonique (50%).

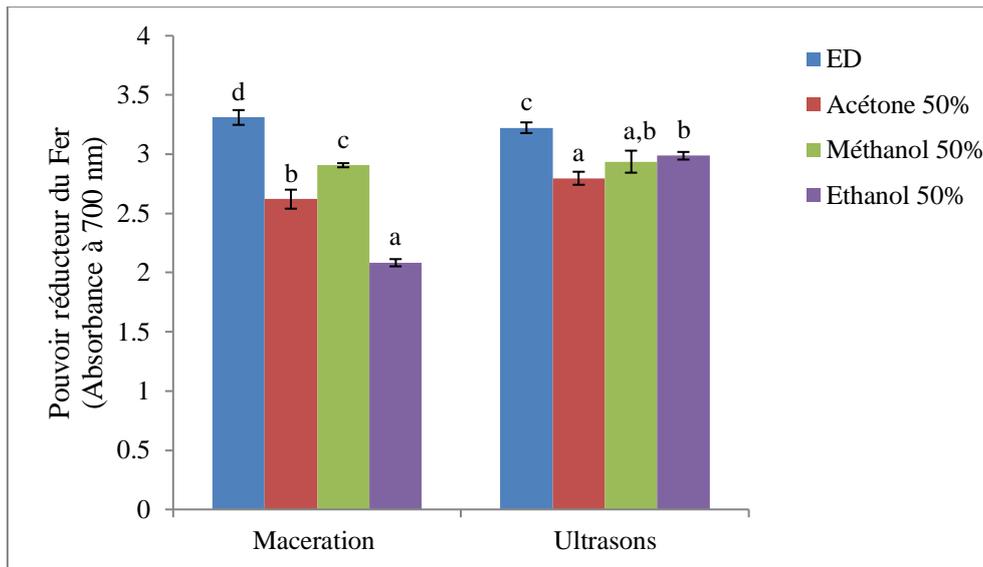


Figure19: Effet du solvant et de la technique d'extraction sur le pouvoir réducteur du fer d'*Ammodaucus leucotrichus*.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents.

2.2.3 Effet du rapport solide/liquide

L'étude statistique du pouvoir réducteur du fer des extraits obtenus en appliquant les rapports 0,1/20; 0,2/20; 0,4/20 (g/mL) et l'eau distillée comme solvant d'extraction, a montré qu'il existe une différence significative entre les différents extraits selon le rapport solide/liquide testé ($p < 0,05$). (Figure 20).

Les résultats trouvés montrent que les extraits des rapports 0,4/20 et 0,1/20 (g/mL) possèdent les pouvoirs réducteurs les plus importants, avec des absorbances de 3,31 et 3,37, respectivement. Cependant l'extrait du rapport 0,2g/20mL a présenté le plus faible pouvoir réducteur qui a été de 1,11.

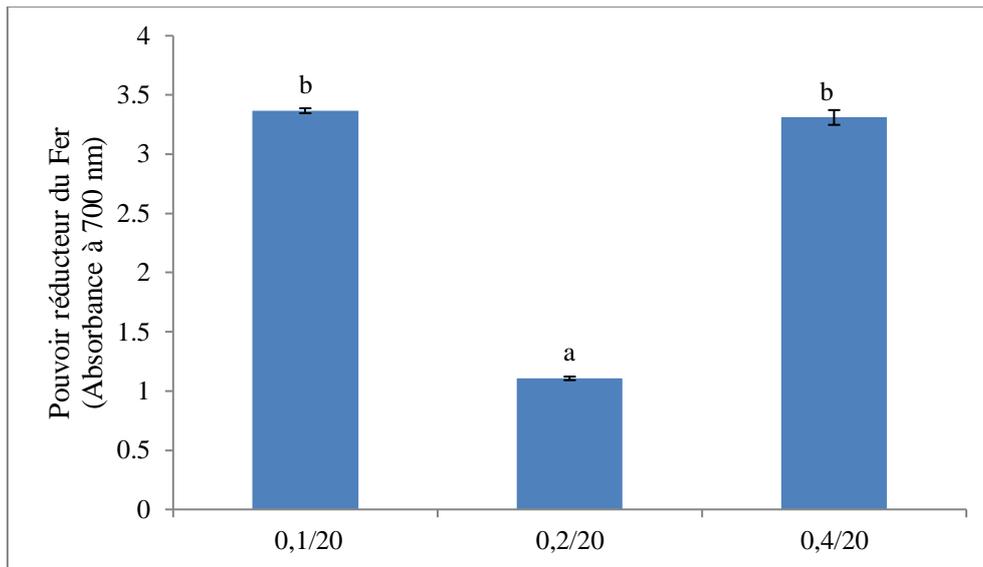


Figure20: Effet du rapport/solide liquide sur le pouvoir réducteur du fer d'*Ammodaucus leucotrichus*.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents.

2.3 Activité inhibitrice de l'oxydation du β -carotène

2.3.1 Effet de la durée d'extraction

Pour étudier l'effet de la durée d'extraction sur l'activité inhibitrice de l'oxydation du β -carotène des extraits d'*A. leucotrichus*, l'extraction a été réalisée par macération durant 1 heure, 2 heures et 3 heures, en utilisant l'eau distillée comme solvant d'extraction.

L'étude statistique a montré une différence significative entre les pourcentages d'inhibition de l'oxydation du β -carotène des extraits selon la durée d'extraction ($p < 0,05$). (Figure 21).

L'extraction pendant 3 heures a permis de donner le meilleur pourcentage d'inhibition de l'oxydation du β -carotène (92,38%). Alors que l'extraction pendant 1 heure a permis d'enregistrer le plus faible pourcentage d'inhibition de l'oxydation du β -carotène (58,10%).

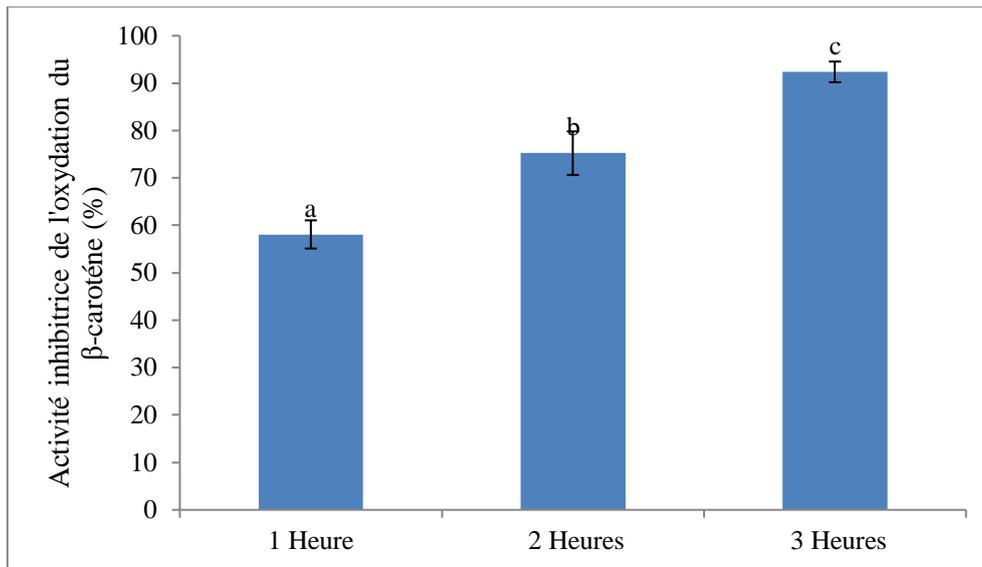


Figure 21: Effet du solvant et de la durée d'extraction sur l'activité inhibitrice de l'oxydation du β -carotène d'*Ammodaucus leucotrichus*.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents.

2.3.2 Effet du solvant et de la technique d'extraction

Pour étudier l'effet du solvant et de la technique d'extraction sur l'activité inhibitrice de l'oxydation du β -carotène des extraits d'*A. leucotrichus*, l'extraction a été réalisée par macération et par ultrasons, en utilisant comme solvant d'extraction l'eau distillée, l'acétone 50%, le méthanol 50% et l'éthanol 50%.

L'étude statistique a montré une différence significative entre les pourcentages d'inhibition de l'oxydation du β -carotène des extraits selon le solvant et la technique d'extraction utilisés ($p < 0,05$). (Figure 22).

Les résultats de l'extraction par macération ont montré que le pourcentage d'inhibition de l'oxydation du β -carotène le plus élevé (92,38%) a été présenté par l'extrait préparé par l'eau distillée, suivi par les extraits éthanolique (50%) et méthanolique (50%) avec des pourcentages de 24,29 et 22,86%, respectivement. Alors que le pourcentage le plus faible 13,81% a été présenté par l'extrait acétonique (50%).

En utilisant la technique d'extraction assistée aux ultrasons, l'étude a révélé que l'extrait aqueux a permis de donner également le meilleur pourcentage d'inhibition de l'oxydation du β -carotène qui est de 95,71%, suivi par les extraits acétonique (50%) et méthanolique (50%) avec des pourcentages de 77,62% et 71,90%, respectivement. Alors que le pourcentage d'inhibition le plus faible (69,52%) a été obtenu avec l'extrait éthanolique (50%).

Les pourcentages les plus importants d'inhibition de l'oxydation du β -carotène révélés avec les extraits aqueux d'*A.leucotrichus* pourraient être dus à la richesse de ces extraits en composés phénoliques glycosylés.

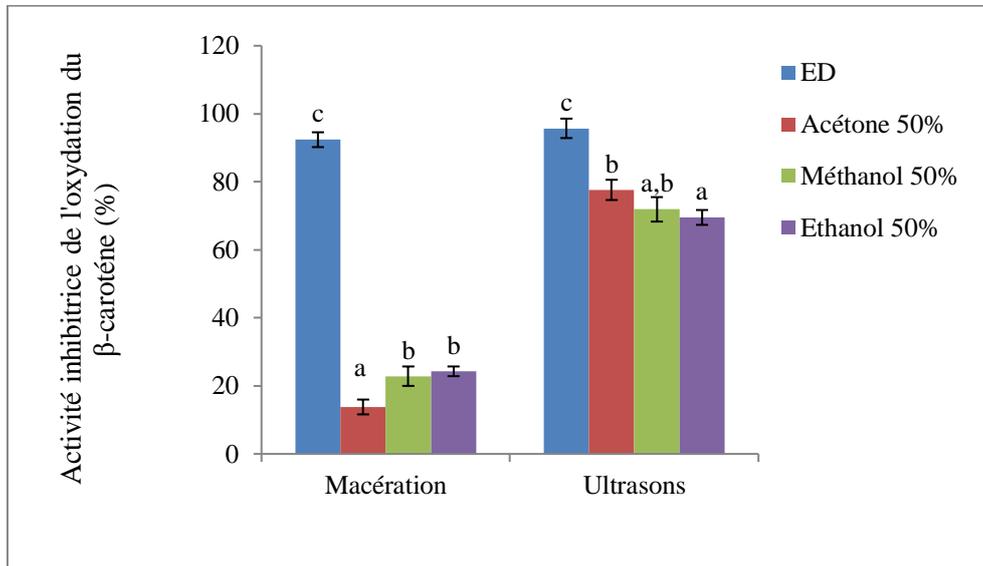


Figure22: Effet du solvant et de la technique d'extraction sur l'activité inhibitrice de l'oxydation du β -carotène d'*Ammodaucus leucotrichus*.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents.

2.3.3 Effet du rapport solide/liquide

L'étude statistique a montré une différence significative entre les pourcentages d'inhibition de l'oxydation du β -carotène des extraits selon le rapport solide/liquide utilisé ($p < 0,05$). (Figure 23).

Le meilleur pourcentage d'inhibition de l'oxydation du β -carotène (92,38%) a été obtenu avec le rapport 0,4g/20mL. Suivi du pourcentage 83,33% qui a été obtenu par le rapport 0,2g/20mL. Tandis que le plus faible pourcentage d'inhibition (12,40%) a été obtenu avec le rapport 0,1g/20mL.

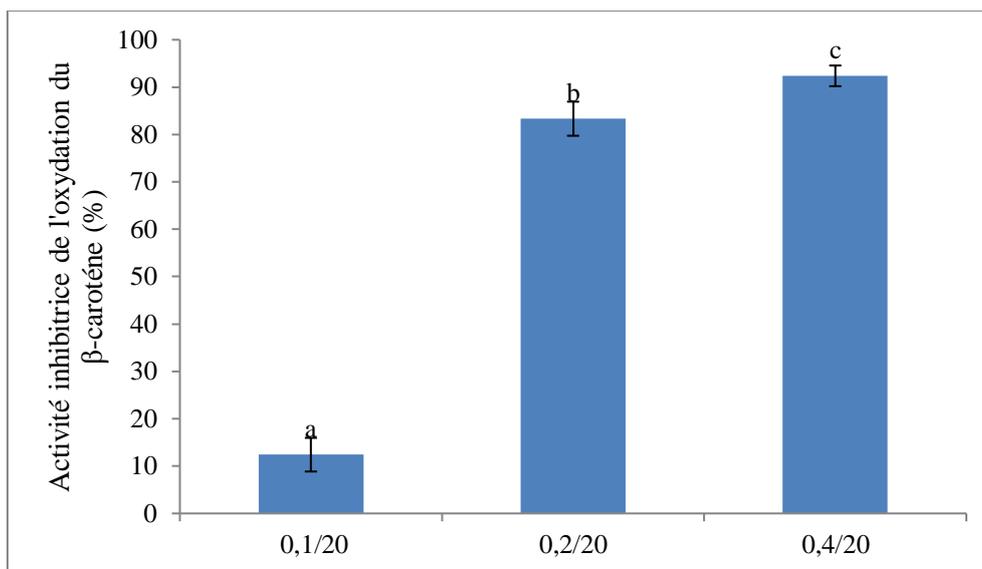
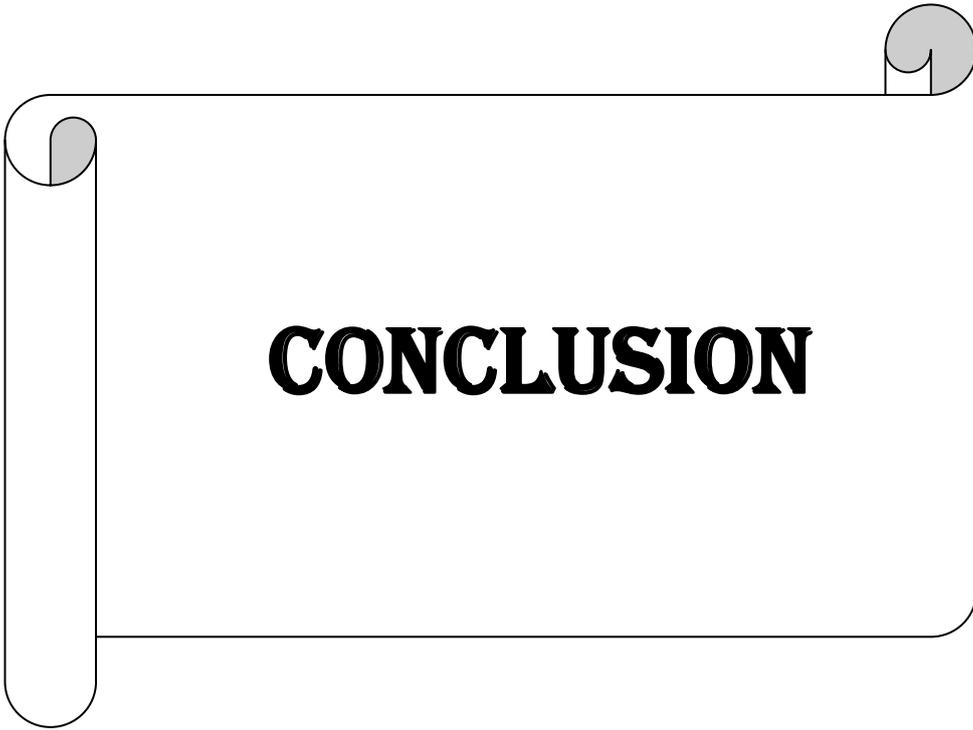


Figure 23: Effet du solvant et de la technique d'extraction sur l'activité inhibitrice de l'oxydation du β -carotène d'*Ammodaucus leucotrichus*.

Les résultats qui portent des lettres différentes sont significativement différents.



CONCLUSION

La composition chimique des extraits d'une plante aromatique dépend en grande partie du mode d'extraction appliquée et du solvant utilisé. En effet des modifications importantes, tant en niveau de la teneur en extrait qu'au niveau de la composition chimique, sont observées.

La présente étude apporte une contribution originale à l'étude de la composition chimique (composés phénoliques, flavonoïdes et tanins condensés), ainsi qu'à la détermination de l'activité antioxydante des extraits d'une plante médicinale de la flore du Sahara Algérienne *Ammodaucus leucotrichus*.

Afin d'extraire le maximum de composés phénoliques, différents paramètres d'optimisation ont été testés à savoir; la durée d'extraction, le solvant et la technique d'extraction, ainsi que le rapport solide/liquide.

L'étude statistique des résultats obtenus montre que les teneurs en composés phénoliques, flavonoïdes et en tanins condensés présentent des différences significatives selon les paramètres utilisés ($p < 0,05$).

L'étude de l'effet de la durée d'extraction en utilisant comme technique d'extraction la macération a montré que les plus grandes teneurs en composés phénoliques et en tanins condensés ont été trouvées après 3 heures de macération. Alors que la plus grande teneur en flavonoïdes a été constatée après 1 heure de macération.

Cette étude a montré que les teneurs les plus élevées en composés phénoliques, flavonoïdes et en tanins condensés ont été révélées dans l'extrait préparé après 30 minutes d'extraction assistée aux ultrasons et en utilisant l'acétone 50% comme solvant.

L'étude de l'effet du rapport, a révélé que les meilleures teneurs en composés phénoliques, flavonoïdes et en tanins condensés ont été trouvées avec le rapport 0,1g/mL.

La détermination de l'activité antioxydante des extraits d'*Ammodaucus leucotrichus* a été réalisé par les tests suivants : l'activité « scavenger » du radical DPPH, le pouvoir réducteur du fer et le test de blanchissement du β -carotène. Les résultats obtenus varient en fonction des paramètres d'extraction utilisés d'une manière significative ($p < 0,05$).

Pour l'activité « scavenger » du radical DPPH, les résultats trouvés ont révélé que les extraits obtenus après des durées d'extraction de 2 et 3 heures ont présenté les pourcentages d'inhibition du radical DPPH les plus élevés. En ce qui concerne le pouvoir réducteur, les meilleures activités réductrices du fer ont été enregistrées après 1 heure de macération.

Pour les deux techniques d'extraction, l'étude a montré que l'extrait préparé par le méthanol 50% a exhibé la plus importante activité « scavenger » du radical DPPH. Tandis que la meilleure activité réductrice du fer a été présentée par l'extrait préparé avec l'eau distillée.

Concernant l'étude de l'effet du rapport solide/liquide, les résultats trouvés ont révélé que les rapports 0,1/20 et 0,4/20 ont enregistré les meilleures activités « scavenger » du radical DPPH et les meilleures activités réductrices du fer.

A propos du test de l'oxydation du β -carotène, l'étude de l'effet de la durée et du rapport solide/liquide a révélé que la meilleure activité inhibitrice a été trouvée en appliquant le rapport 0,4/20 et après une durée de 3 heures de macération.

L'étude de l'effet du solvant et de la technique d'extraction a montré que l'activité inhibitrice de l'oxydation du β -carotène la plus élevée a été exercée par l'extrait préparé avec eau distillée pour les deux techniques d'extraction testées.

L'analyse des résultats obtenus révèle que les extraits de la plante étudié ont inhibé le radical DPPH, réduit le fer et inhibé l'oxydation du β -carotène, ce qui fait que cette plante mérite de retenir notre intérêt à divers autres points de vue.

En termes de perspectives et dans le but de compléter ce travail à l'avenir, il serait intéressant de :

- ✓ Elargir le cadre de l'optimisation des conditions d'extraction des composés phénoliques (la variation du PH, la température et la concentration du solvant d'extraction);
- ✓ Etudier l'effet d'autres méthodes d'extraction (extraction par micro-ondes et extraction par Soxhlet);
- ✓ Etudier les possibles activités biologiques de ses extraits afin de mettre en évidence d'éventuelles activités : anti-inflammatoire, antimicrobienne et cytotoxique.



**LISTE DES
RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

- Bennick A. (2002). Interaction of plant polyphenols with salivary proteins. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 13(2): 184-196.
- Bijoy M., Jayati S., Prabir K.S. (2008). Antioxidant activities of soybean as affected by Bacillus-fermentation to kinema. *Food Research International*, 1: 586-593.
- Bors W., Michel C. and Stettmaier K. (1997). Antioxidant effects of flavonoids. *Biofactors*, 6(4): 399-402.
- Bravo L. (1998). Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition reviews*, 56(11): 317-333.
- Bruneton J. (1999). *Pharmacognosie et phytochimie des plantes médicinales*. Paris: TEC et DOC, EM inter. 3^{ème} édition. P. 227-228.
- Bruneton J. (2009). *Pharmacognosie et phytochimie des plantes médicinales*. Paris: TEC et DOC, EM inter. 4^{ème} édition. P. 259-441.
- Carrera C., Ruiz-Rodríguez A., Palma M. and Barroso C.G. (2012). Ultrasound assisted extraction of phenolic compounds from grapes. *Analytica chimica acta*, 732: 100-104.
- Casazza A.A., Aliakbarian B. and Perego P. (2011). Recovery of phenolic compounds from grape seeds: effect of extraction time and solid–liquid ratio. *Natural product research*, 25(18): 1751-1761.
- Catier O and Roux D. (2007). *Botanique Pharmacognosie Phytothérapie*. Paris: porphyre. 3^{ème} édition. P. 72-74.
- Chira K., Suh J.H., Saucier C., and Teissède P.L. (2008). Les polyphénols du raisin. *Phytothérapie*, 6(2): 75-82.
- Cheyner V. (2005). Polyphenols in foods are more complex than often thought. *The American journal of clinical nutrition*, 81(1): 223S-229S.
- Chirinos R., Rogez H., Campos D., Pedreschi R. and Larondelle Y. (2007). Optimization of extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruíz & Pavón) tubers. *Separation and Purification Technology*, 55(2): 217-225.
- Cotellet N. (2001). Role of flavonoids in oxidative stress. *Current topics in Medicinal Chemistry*, 1: 569-590.
- Dahmane D., Dob T., Krimat S., Nouasri A., Metidji H. and Ksouri A. (2017). Chemical composition, antioxidant and antibacterial activities of the essential oils of medicinal plant *Ammodaucus leucotrichus* from Algeria. *Journal of Essential oil research*, 29(1): 48-55.

- Derbel S. and Ghedira K. (2005). Les phytonutriments et leur impact sur la santé. *Phytothérapie*, 3(1): 28-34.
- Druzynska B., Stepniewska A. and Wolosiak R. (2007). The influence of time and type of solvent on efficiency of the extraction of polyphenols from green tea and antioxidant properties obtained extracts. *Acta Scientiarum Polunorum: Technologia Alimentaria*, 6: 27-36.
- Edreva A., Velikova V., Tsonev T., Dagnon S., Gürel A., Aktaş L. and Gesheva E. (2008). Stress-protective role of secondary metabolites: diversity of functions and mechanisms. *Gen Appl Plant Physiol*, 34(1-2): 67-78.
- Falleh H., Ksouri R., Chaieb K., Karry-Bouraoui N., Trablsi N., Boulaaba M. and Abdelly C. (2007). Phenolic composition of *Cynara cardunculus L.* organs, and their biological activities. *Compt. Rend. Biol*, 331: 372-379.
- Gebhardt Y., Witte S., Forkmann G., Lukacin R., Matern U. and Martens S. (2005). Molecular evolution of flavonoid dioxygenases in the family *Apiaceae*. *Phytochemistry*, 66: 1273-1284.
- Ghedira K. (2005). Les flavonoïdes: structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie*, 3(4): 162-169.
- Gherraf N., Zellagui A., Kabouche A., Lahouel M., Salhi R. and Rhouati S. (2017). Chemical constituents and antimicrobial activity of essential oils of *Ammodaucus leucotrichus*. *Arabian Journal of Chemistry*, 10: S2476-S2478.
- Ghestem A., Seguin E., Paris M. and Orecchioni A.M. (2001). *Le préparateur en pharmacie: botanique-pharmacognosie-phytothérapie-homéopathie*. Paris: TEC Et DOC, EM Inter. 2^{ème} édition. P. 99-190.
- Gramza A. and Korczak J. (2005). Tea constituents (*Camellia sinensis L.*) as antioxidants in lipid systems. *Trends in Food Science & Technology*, 16(8): 351-358.
- Grassmann J., Hippeli S. and Elstner E.F. (2002). Plant's defence and its benefits for animals and medicine: role of phenolics and terpenoids in avoiding oxygen stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40(6-8): 471-478.
- Gülçin İ. (2006). Antioxidant activity of caffeic acid (3, 4-dihydroxycinnamic acid). *Toxicology*, 217(2-3): 213-220.
- Guignard J.L. (1979). Les composés aromatiques. In: *Abrégé de biochimie végétale*. Paris: Masson. 2^{ème} édition. P.171-214.
- Halla N., Boucherit K., Boucherit-Otmani Z., Touati F.Z., Rahmani N. and Aid I. (2019). *Ammodaucus leucotrichus* and *Citrullus colocynthis* from Algerian Sahara:

Ethnopharmacological application, phytochemical screening, polyphenols content and antioxidant activity of hydromethanolic extracts. *Journal of King Saud University-Science*, 31(4): 541-548.

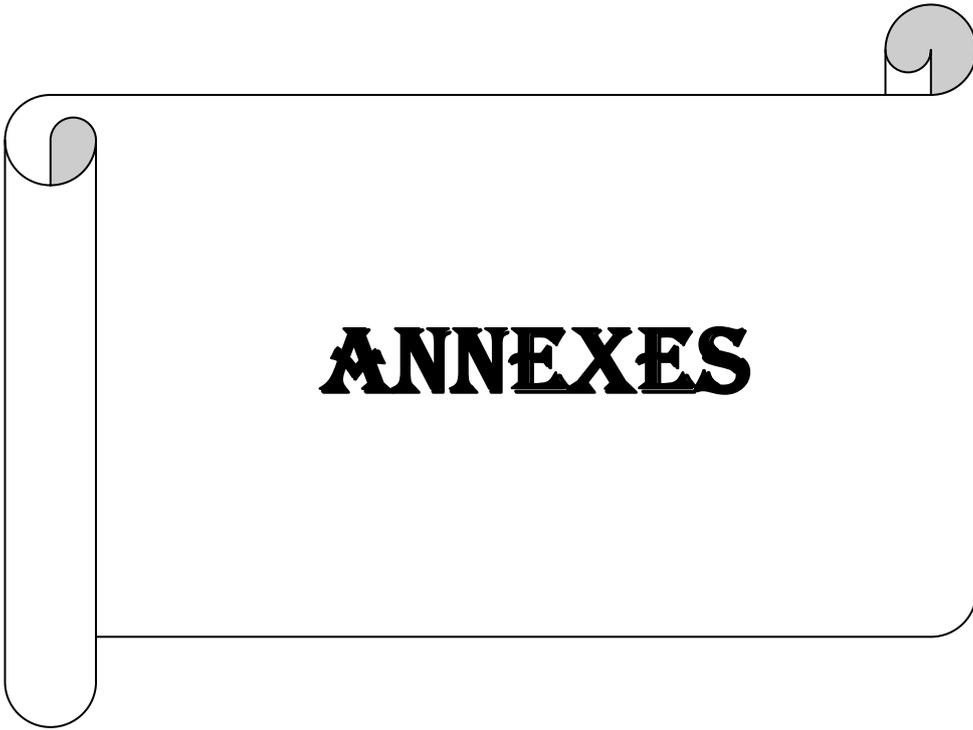
- Halliwell B. (2006). Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. *Plant physiology*, 141(2): 312-322.
- Handique J.G. and Baruah J.B. (2002). Polyphenolic compounds: an overview. *Reactive and Functional Polymers*, 52(3): 163-188.
- Hanhineva K., Törrönen R., Bondia-Pons I., Pekkinen J., Kolehmainen M., Mykkänen H. and Poutanen K. (2010). Impact of dietary polyphenols on carbohydrate metabolism. *International journal of molecular sciences*, 11(4): 1365-1402.
- Heim K.E., Tagliaferro A.R. and Bobilya D.J. (2002). Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *The Journal of nutritional biochemistry*, 13(10): 572-584.
- Hennebelle T., Sahpaz S. and Bailleul F. (2004). Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. *Phytothérapie*, 2(1): 3-6.
- Hider R.C., Liu Z.D. and Khodr H.H. (2001). Metal chelation of polyphenols. *Methods in Enzymology*, 335: 190-203.
- Idm'hand E., Msanda F. and Cherifi K. (2020). Medicinal uses, phytochemistry and pharmacology of *Ammodaucus leucotrichus*. *Clinical Phytoscience*, 6(1): 1-8.
- Ignat I., Volf I. and Popa V.I. (2011). A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food chemistry*, 126(4): 1821-1835.
- Jovanović A.A., Đorđević V.B., Zdunić G.M., Pljevljakušić D.S., Šavikin K.P., Gođevac D.M. and Bugarski B.M. (2017). Optimization of the extraction process of polyphenols from *Thymus serpyllum L.* herb using maceration, heat-and ultrasound-assisted techniques. *Separation and Purification Technology*, 179: 369-380.
- Khaldi A., Meddah B., Moussaoui A. and Sonnet P. (2017). Anti-mycotoxin effect and antifungal properties of essential oil from *Ammodaucus leucotrichus Coss. & Dur.* On *Aspergillus flavus* and *Aspergillus ochraceus*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20(1): 36-44.
- Khanababae K. and Ree T.V. (2001). Tannins: classification and definition. *Natural Product Reports*, 18: 641-649.

- Ksouri R., Megdiche W., Debez A., Falleh H., Grignon C. and Abdelly C. (2007). Salinity effects on polyphenol content and antioxidant activities in leaves of the halophyte *Cakile maritima*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45(3-4): 244-249.
- Ksouri R., Ksouri W.M., Jallali I., Debez A., Magné C., Hiroko I. and Abdelly C. (2012). Medicinal halophytes: potent source of health promoting biomolecules with medical, nutraceutical and food applications. *Critical reviews in biotechnology*, 32(4): 289-326.
- Kähkönen M.P., Hopia A.I., Vuorela H.J., Rauha J.P., Pihlaja K., Kujala T.S. and Heinonen M. (1999). Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 47(10): 3954-3962.
- Kroyer G. and Hegedus N. (2001). Evaluation of bioactive properties of pollen extracts as functional dietary food supplement. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2(3): 171-174.
- Labieniec M., Gabryelak T. and Falcioni G. (2003). Antioxidant and pro-oxidant effects of tannins in digestive cells of the freshwater mussel *Unio tumidus*. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 539(1-2): 19-28.
- Lamaison J.L. and Carnart A. (1990). Teneurs en principaux flavonoïdes des fleurs et des feuilles de *Crataegus monogyna* Jacq. et de *Crataegus laevigata* (Poiret) DC. en fonction de la période de végétation. *Plantes médicinales et phytothérapie*, 25(1):12-16.
- Lochab B., Shukla S. and Varma I.K. (2014). Naturally occurring phenolic sources: monomers and polymers. *RSC advances*, 4(42): 21712-21752.
- Louail Z., Kameli A., Benabdelkader T., Bouti K., Hamza K., and Krimat S. (2016). Antimicrobial and antioxidant activity of essential oil of *Ammodaucus leucotrichus* Coss. & Dur. seeds. *J. Mater. Environ. Sci*, 7(7): 2328-2334.
- Macheix J.J., Fleuriet A. and Sarni- Manchado P. (2006). Composés phénoliques dans la plante : Structure, biosynthèse et rôles. In: Sarni- Manchado Pascale., Cheynier Véronique. *Les polyphénols en agroalimentaire*. Paris: Tec &Doc Lavoisier. P. 1-28.
- Macheix J.J. (1996). Les composés phénoliques des végétaux: quelles perspectives à la fin du XXème siècle?. *Acta botanica gallica*, 143(6): 473-479.
- Mahmoudi S., Khali M. and Mahmoudi N. (2013). Etude de l'extraction des composés phénoliques de différentes parties de la fleur d'artichaut (*Cynara scolymus* L.). *Nature & Technology*, (9): 35.
- Michiels J.A., Kevers C., Pincemail J., Defraigne J.O. and Dommes J. (2012). Extraction conditions can greatly influence antioxidant capacity assays in plant food matrices. *Food Chemistry*, 130(4): 986-993.

- Manssouri M., Znini M. and Majidi L. (2020). Studies on the antioxidant activity of essential oil and various extracts of *Ammodaucus leucotrichus* Coss. & Dur. Fruits from Morocco. *Journal of Taibah University for Science*, 14(1): 124-130.
- Moktan B., Saha J. and Sarkar P.K. (2008). Antioxidant activities of soybean as affected by Bacillus-fermentation to kinema. *Food Research International*, 41(6): 586-593.
- Molyneux P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J. sci. technol*, 26(2): 211-219.
- Morris C.J., Earl J.R., Trenam C.W. and Blake D.R. (1995). Reactive oxygen species and iron-a dangerous partnership in inflammation. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 27(2): 109-122.
- Muñoz-Márquez D.B., Martínez-Ávila G.C., Wong-Paz J.E., Belmares-Cerda R., Rodríguez-Herrera R. and Aguilar C.N. (2013). Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Laurus nobilis* L. and their antioxidant activity. *Ultrasonics sonochemistry*, 20(5): 1149-1154.
- Newman D.J. and Cragg G.M. (2007). Natural products as sources of new drugs over the last 25 years. *Journal of natural products*, 70(3): 461-477.
- Olszanecki R., Gebaska A., Kozlovski V.I. and Gryglewski R.J. (2002). Key words: flavonoids, nitric oxide synthase, macrophages. *Journal of Physiology and Pharmacology*, 53(4): 571-584.
- Ozenda P. (1991) *.Flore et végétation du Sahara*. Paris: CNRS. P. 601-602.
- Pietta P.G. (2000). Flavonoids as antioxidants. *Journal of natural products*, 63(7): 1035-1042.
- Pradal D., Pascal D. and Krasimir D. (2016). *Eco- procédés d'extraction de polyphénols antioxydants à partir d'un co-produit agro-alimentaire*. These de Doctorat, filière ingénierie des fonctions biologiques, université de Lille 1, P. 241.
- Price M.L., Van Scoyoc S. and Butler L.G. (1978). A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26(5): 1214-1218.
- Quezel P. and Santa S. (1963). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques*. Paris: CNRS. P. 982.
- Ribereau-Gayon P. (1968). *Les composés phénoliques des végétaux*. Paris: Dunod. P. 61-153.

- Ribereau-Gayon P. (1982). Notions générales sur les composés phénoliques, méthodes générales d'études des composés phénoliques. In : *Composés phénoliques des végétaux*. Paris: Dunod. P. 173-201.
- Sakihama Y., Cohen M.F., Grace S.C. and Yamasaki H. (2002). Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities: phenolics-induced oxidative damage mediated by metals in plants. *Toxicology*, 177(1): 67-80.
- Sadik C.D., Sies H. and Schewe T. (2003). Inhibition of 15-lipoxygenases by flavonoids: structure–activity relations and mode of action. *Biochemical pharmacology*, 65(5): 773-781.
- Sebaa A., Marouf A., Kambouche N. and Derdour A. (2018). Phytochemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of *Ammodaucus leucotrichus* fruit from Algerian Sahara. *Oriental Journal of Chemistry*, 34(1): 519.
- Sokół-Łętowska A., Oszmiański J. and Wojdyło A. (2007). Antioxidant activity of the phenolic compounds of hawthorn, pine and skullcap. *Food chemistry*, 103(3): 853-859.
- Su L., Yin J.J., Charles D., Zhou K., Moore J. and Yu L., (2007). Total phenolic contents, chelating capacities, and radical-scavenging properties of black peppercorn, nutmeg, rosehip, cinnamon and oregano leaf. *Food Chemistry*, 100: 990-997.
- Sun T. and Ho C.T. (2005). Antioxidant activities of buckwheat extracts. *Food chemistry*, 90(4): 743-749.
- Swain T. and Hillis W.E. (1959). The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I.-The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 10(1): 63-68.
- Telli A., Mahboub N., Boudjeh S., Siboukeur O., and Moulti-Mati F. (2010). Optimisation des conditions d'extraction des polyphénols de dattes lyophilisées (*Phoenix dactylifera* L.) Variété ghars. *Annales des Sciences et Technologie*, 2(2): 107-114.
- Tsimogiannis D.I. and Oreopoulou V. (2006). The contribution of flavonoid C-ring on the DPPH free radical scavenging efficiency. A kinetic approach for the 3', 4'-hydroxy substituted members. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 7(1-2): 140-146.
- Unten L., Koketsu M. and Kim M. (1997). Antidiscoloring activity of green tea polyphenols on β -carotene. *Journal of agricultural and food chemistry*, 45(6): 2009-2012.
- Van Acker S.A., Tromp M.N., Griffioen D.H., Van Bennekom W.P., Van Der Vijgh W.J., and Bast A. (1996). Structural aspects of antioxidant activity of flavonoids. *Free Radical Biology and Medicine*, 20(3): 331-342.

- Velasco-Negueruela A., Pérez-Alonso M.J., De Paz P.P., Palá-Paúl J. and Sanz J. (2006). Analysis by gas chromatography–mass spectrometry of the volatiles from the fruits of *Ammodaucus leucotrichus subsp. leucotrichus* and *subsp. nanocarpus* grown in North Africa and the Canary Islands, respectively. *Journal of Chromatography A*, 1108(2): 273-275.
- Veličković D.T., Nikolova M.T., Ivancheva S.V., Stojanović J.B. and Veljković V.B. (2007). Extraction of flavonoids from garden (*Salvia officinalis* L.) and glutinous (*Salvia glutinosa* L.) sage by ultrasonic and classical maceration. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 72(1): 73-80.
- Yildirim A., Oktay M. and Bilaloglu V. (2001). The antioxidant activity of the leaves of *Cydonia vulgaris*. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 31(1): 23-27.



ANNEXES

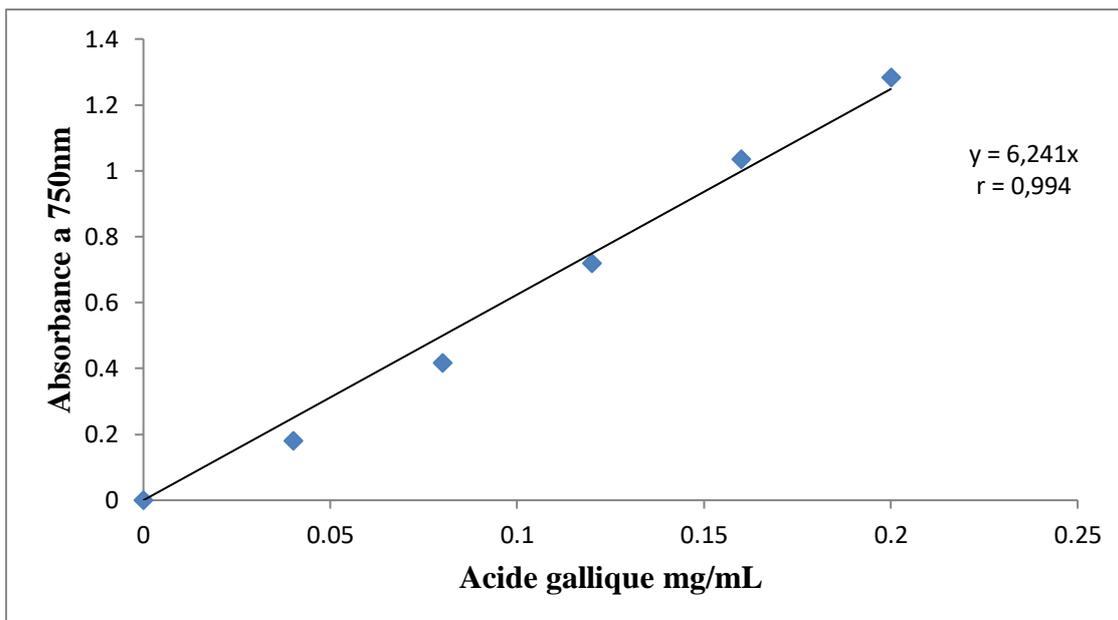


Figure 01 : Droite d'étalonnage des composés phénoliques

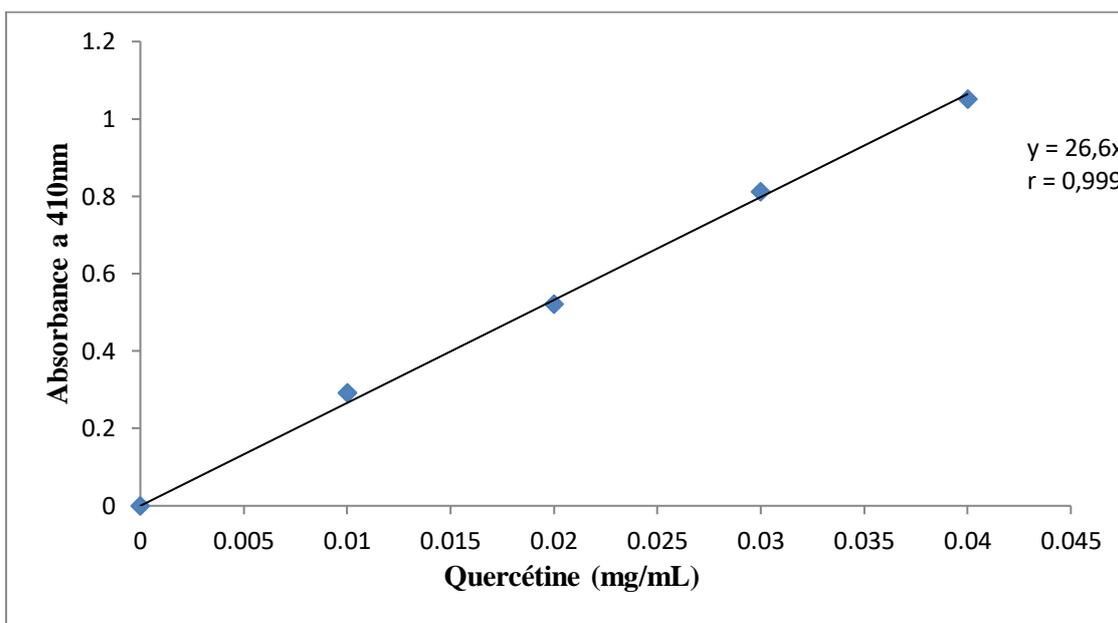


Figure 02 : Droite d'étalonnage des flavonoïdes.

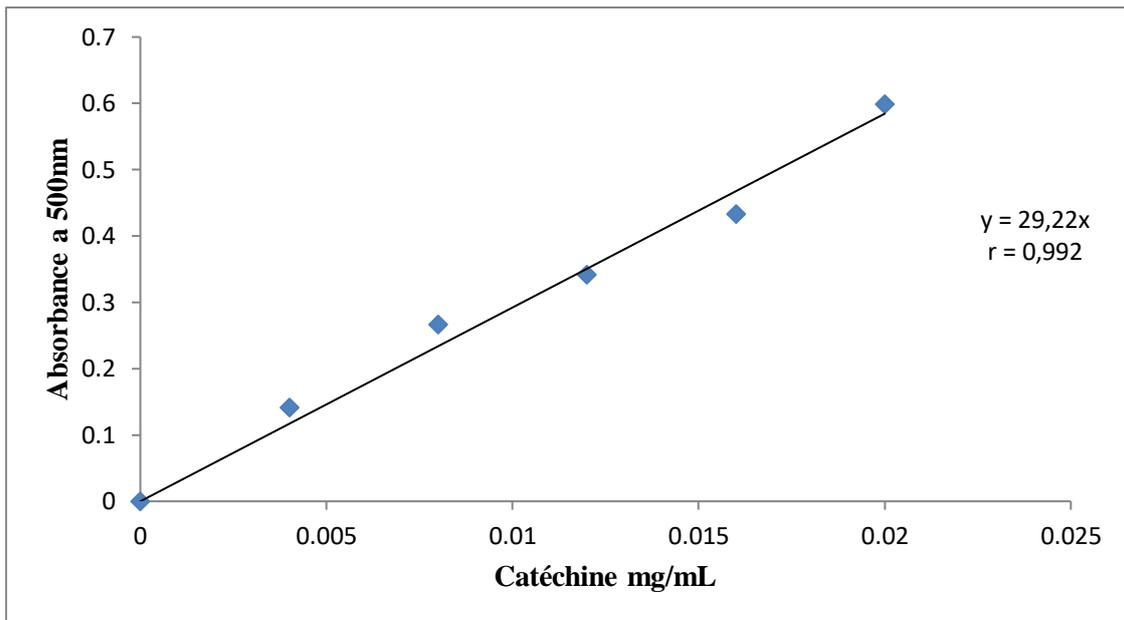


Figure 03 : Droite d'étalonnage des tanins condensés.

Le présent travail consiste à étudier l'effet de quatre paramètres d'extraction (la durée, la nature du solvant, la technique et le rapport solide/liquide) sur les teneurs en composés phénoliques et sur l'activité antioxydante d'*Ammodaucus leucotrichus*. Les résultats de ce travail ont révélé que les teneurs les plus élevées en composés phénoliques ont été trouvées dans l'extrait préparé après 30 minutes d'extraction assistée aux ultrasons et en utilisant l'acétone 50%. L'étude de l'effet du rapport solide/liquide, a révélé que les meilleures teneurs en composés phénoliques ont été trouvées avec le rapport 0,1g/mL. Pour les deux techniques d'extraction, l'extrait préparé par le méthanol 50% a exhibé la plus importante activité « scavenger » du radical DPPH. Tandis que la meilleure activité réductrice du fer a été présentée par l'extrait aqueux. L'étude de l'effet du rapport solide/liquide a révélé que les rapports 0,1/20 et 0,4/20 et les extraits obtenus après 2 et 3 heures de macération ont donné les meilleures activités « scavenger » du radical DPPH. Tandis que les meilleures activités réductrices du fer ont été enregistrées après 1 heure de macération. Pour l'activité inhibitrice du blanchissement du β -carotène, l'étude de l'effet de la durée et du rapport solide/liquide a révélé que la meilleure activité a été trouvée après 3 heures de macération et en appliquant le rapport 0,4/20. L'étude de l'effet du solvant et de la technique d'extraction a montré que l'activité inhibitrice de l'oxydation du β -carotène la plus élevée a été exercée par l'extrait préparé avec l'eau distillée pour les deux techniques d'extraction testées. L'analyse des résultats obtenus révèle que les extraits de la plante étudiée ont inhibé le radical DPPH, réduit le fer et inhibé l'oxydation du β -carotène, ce qui fait que cette plante mérite de retenir notre intérêt à divers autres points de vue.

Mots clés : *Ammodaucus leucotrichus*, composés phénoliques, activité antioxydante, macération, ultrasons.

Abstract

The present work consisted of studying the effect of four extraction parameters (duration, nature of solvent, technique and solid to liquid ratio) on the levels of phenolic compounds and on the antioxidant activity of *Ammodaucus leucotrichus*. The results of this work revealed that the highest levels of phenolic compounds were found in the extract prepared after 30 minutes of ultrasound assisted extraction and using acetone 50%. effect of the solid to liquid ratio, revealed that the best levels of phenolic compounds were found with the ratio 0.1g/mL. For both extraction techniques, the extract prepared with methanol 50% exhibited the greatest "scavenger" activity of the DPPH radical. While the best iron reducing activity was exhibited by the aqueous extract. The study of the effect of the solid to liquid ratio, revealed that the ratios 0.1/20 and 0.4/20 and the extracts obtained after 2 and 3 h of maceration gave the best "scavenger" activities of the DPPH radical. While the best iron reducing activities were recorded after 1 hour of maceration. For the inhibitory activity of β -carotene bleaching, the study of the effect of the duration and the solid-liquid ratio revealed that the best activity was found after 3 hours of maceration and by applying the ratio 0.4/20. The study of the effect of the solvent and of the extraction technique showed that the highest β -carotene oxidation inhibitory activity was exerted by the extract prepared with distilled water for both techniques of extraction tested. The analysis of the results obtained reveals that the extracts of the plant studied inhibited the DPPH radical reduced iron and inhibited the oxidation of β -carotene, so that this plant deserves our interest from various other points of view.

Key words: *Ammodaucus leucotrichus*, phenolic compounds, antioxidant activity, maceration, ultrasound.

ملخص

اشتمل العمل الحالي على دراسة تأثير أربعة معاملات استخلاص (المدة ، طبيعة المذيب ، التقنية ونسبة المادة الصلبة و السائلة) على مستوى المركبات الفينولية وعلى النشاط المضاد للأكسدة في كمون الصوفي (*Ammodaucus leucotrichus*).

أظهرت نتائج هذا العمل أن أعلى مستويات المركبات الفينولية وجدت في المستخلص المحضر بعد 30 دقيقة من الاستخلاص بمساعدة الموجات فوق الصوتية وباستخدام الأسيون 50%. أظهر تأثير النسبة الصلبة و السائلة أن أفضل مستويات المركبات الفينولية تم العثور عليها بنسبة 0.1 جم/ مل. لكلتا تقنيتي الاستخلاص، أظهر المستخلص المحضر بالميثانول 50% أكبر نشاط "كاسح" لجذر DPPH. بينما أظهر المستخلص المائي أفضل نشاط لخفض الحديد. أظهرت دراسة تأثير نسبة المادة الصلبة و السائلة أن النسب 0.1/20 و 0.4/20 و المستخلصات التي تم الحصول عليها بعد 2 و 3 ساعات من النقع أعطت أفضل أنشطة "الكسح" لجذر DPPH. بينما تم تسجيل أفضل أنشطة ارجاع الحديد بعد ساعة من النقع. بالنسبة للنشاط التثبيطي لتبييض β -كاروتين ، كشفت دراسة تأثير المدة ونسبة المادة الصلبة و السائلة أن أفضل فعالية تم العثور عليها بعد 3 ساعات من دراسة تأثير المادة الصلبة وبتطبيق النسبة 0.4/20. أظهرت تقنية المذيب والاستخلاص أن أعلى فعالية مثبطة لأكسدة β -كاروتين تم إجراؤها بواسطة المستخلص المحضر بالماء المقطر لكلا تقنيتي الاستخلاص المختبرة. يكشف تحليل النتائج التي تم الحصول عليها أن مستخلصات النبات المدروسة أعاقت جذر DPPH ، و أرجعت الحديد وتبظت أكسدة β -كاروتين. ما يجعل هذا النبات يستحق اهتمامنا من جهات نظر أخرى مختلفة.

الكلمات المفتاحية: كمون الصوفي، مركبات الفينول، نشاط مضادات الأكسدة، النقع، الموجات فوق الصوتية.