

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université A. MIRA - Béjaïa -
Faculté des Sciences de la Nature et de La vie
Département de biologie physico-chimique

Mémoire de Master

*En vue de l'obtention du diplôme de Master en biologie
Spécialité : pharmacologie moléculaire*

Thème :

Evaluation de l'activité antioxydant de différents
extraits de *Foeniculum vulgare*

Présenté par :

M^{elle} Fethoun Marina et M^{elle} Saheb Rosa

Soutenu le : 14/06/2015 a 15h

Devant le jury

President: Mr Belkacem N

MAB Bejaia

Examineur: M^f Bouadam

MAA Bejaia

Promoteur : M^{me} Bennai Y

MAB Bejaia

2014-2015

REMERCIEMENT

On remercie en premier lieu Dieu tout en puissant de nous avoir accordé la puissance et la volonte d'achevé ce travail.

Nous remerciment également notre promotrice M^{me} BENNAI pour son suivi et son aide

On tien a remercié avec plus gratitude M^r BELKACEM N d'avoir accepté a accepté de présidé de jury de c mémoire

On remercie également M^r BOUADAME d'avoir accepté de se joindre à ce jury comme examinateur.

Nos remerciment vont également à tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin par leur conseil leur suggestion et par leurs encouragement à la réalisation de ce travail.

DEDICACES

A mes parents, pour votre amour, votre patience et générosité, je vous dédie ce travail en témoignage de ma grande reconnaissance et de mon éternel amour. Que dieu vous donne longue vie.

A ma très chère tante Drifa

A mes chers frères et sœurs et ma belle sœur qui une sœur pour moi, votre encouragement et leurs soutient.

*A mon neveu **Koucela** et mes très chers nièces **Rezika** et **Yakout** que dieu vous protègent*

A mes tante et oncles

A mes cousine et cousins

A mon amie d'enfance Kahina et sa petite famille

A nazihia et da mohamade et leurs enfants

A tous mes amis que j'ai vécu avec eux des beaux moments au cour de mon cursus à l'université

A tout e la promotion 2014/2015 option pharmacologie moléculaire

Tous ceux et celle qui mon aidé.

Dédicaces

Tous d'abord merci ALLAH de m'avoir donné la patience et le courage durant ces longues années d'études.

Je dédie ce modeste travail à ma mère qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite.

A mon père, écolé de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années d'études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.

Aucune dédicace ne saurait exprimer mes grandes admirations, mes considérations et mes sincères affections pour vous. Quoi que je fasse, je ne pourrais jamais vous récompenser pour les grands sacrifices que vous avez faits et continuez de faire pour moi

Que dieu les garde et les protège.

A mes très cher frères Dadathen, Massi, Koceila, Takfa, Arezki merci pour votre soutien et pour la confiance qui vous m'avez donné.

A mes très chère sœurs Kahina et Nassima merci pour vos encouragement et vos conseils

A ma tante Ghania tu es toujours avec moi merci pour ton aide.

A ma meilleure amie Naima avec toi j'ai partagé mes pires et bon moment durant tous mes années universitaires tu es ma sœur, merci

A mes belles sœurs

A mes très chers poussins nièce et neveu Toutou, Ninouche, Anais et Syphax

A mes ami(e)s Mabrouka Zahra et Salem pour vous soutien

A tous personne qui sont trop cher pour moi

Marina.F

LIST DES ABRVIATION

ABTS : Sel d'ammonium de l'acide 2,2'-azinobis-(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique).

Abs : Absorbance

AlCl₃ : Le chlorure d'aluminium

CH₂Cl₂ : Dichlorométhane

DPPH : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl

EAG : Equivalent d'acide Gallique

EQ : Equivalent Quercitine

ERO : Espèces réactives de l'oxygène

Fe²⁺ : Fer ferreux

Fe³⁺ : Fer ferrique +

FeCl₃ : Chlorure ferrique.

g : Gramme.

GPx : La glutathion peroxydase

H : Heur

Min : Minute

ml : Millilitre

mM : Mili mole

nm : Nanomètre

PS : Poids sec

Na₂CO₃ : Carbonate de sodium

TAC : Acide trichloracétique

UV : Ultra-violet

µm : Micromètre

% : Pourcentage

LIST DES FIGURES

Figure	Titre	pages
Figure n°1	structure chimique des principaux constituants des huiles essentielle de <i>Foeniculum vulgare</i>	04
Figure n°2	La structure chimique de squelette de base des anthocyanes	12
Figure n°3	structure chimique de squelette de base des flavonoïdes	13
Figure n°4	Structures des différentes classes de flavonoïdes	14
Figure n°5	photographie de partie aérienne de la plante de <i>Foeniculum vulgare</i>	17
Figure n°6	photographie de la plante de <i>Foeniculum vulgare</i> en poudre	17
Figure n°7	Protocole d'extraction des composés phénoliques	19
Figure n°8	Protocole de dosage des composés phénoliques totaux	20
Figure n°9	Protocole de dosage des flavonoïdes	21
Figure n°10	Protocole de l'évaluation de l'activité anti-radicalaire DPPH	23
Figure n°11	Protocole de l'évaluation du l'ABTS ^{°+}	24
Figure n°12	Protocole d'évaluation du pouvoir réducteur	26
Figure n°13	Représentation graphiques du taux des composés phénoliques des différentes fractions de <i>Foeniculum vulgare</i>	28
Figure n°14	représentation graphique du taux des flavonoïdes de <i>Foeniculum vulgare</i>	30
Figure n°15	Activité scavenger du radical DPPH de <i>Foeniculum vulgare</i>	31
Figure n°16	Effet scavenger contre le radicale ABTS des différentes fractions	32
Figure n°17	Pouvoir réducteur de <i>Foeniculum vulgare</i>	33

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
Tableau n°1	Classification taxonomique de <i>Foeniculum vulgare</i>	03
Tableau n°2	Structure des squelettes des polyphénols	11

Introduction	1
--------------------	---

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

I.1.Generalité.....	2
I.1.1.Description morphologique.....	2
I.1.2.origine et répartition géographique.....	2
I.1.3.systematique.....	3
I.2.Principaux constituant.....	3
I.2.1.composes phénoliques	3
I.2.2.flavonoides.....	4
I.2.2.les huiles essentiel.....	4
I.3. Utilisation et intérêts du <i>Foeniculum vulgare</i>	4
I.3.1.utilisation traditionnel et médicinale.....	5
I.3.2.utilisation culinaire	5
I.3.3. Intérêts biologiques.....	5
I.3.3.1.Activité antimicrobienne	5
I.3.3.2.Activité oestrogenique	5
I.3.3.3.Activité antiinflammatoire	5
I.3.3.4.Activité antioxydant	5
I.4.Le stress oxydatif	6
I.4.1.les radicaux libre	6
I.4.1.1.les espaces réactivées de l'oxygène	6
I.4.1.2.Role physiologiques des radicaux libres	8
I.4.1.3.Implication pathologique des espèces réactives de l'oxygènes	8
I.5.Les antioxydants et le système de défense antioxydant	8
I.5.1.les antioxydant endogène	8
I.5.2.Les antioxydants exogènes	9
I.6.les métabolites secondaires	10
I.6.1.composes phénoliques	10

I.6.1.1.classification des composes phénoliques	11
I.6.1.2.classification des polyphénols	12
I.6.2. Les anthocyanes	12
I.6.3. Les Tanins	12
I.6.4. Les flavonoïdes	13
I.6.3.1- Classification	14
I.6.3.2. Biosynthèse des composés phénoliques	15
I.6.5. Rôles physiologique et l'Activités biologiques des polyphénols	15
I.6.6.l'Activités biologiques	15

Chapitre II : Partie expérimentale

Matériels et Méthodes

II.1- Préparation de la matière végétale.....	17
II.1.1- Récolte et origine d'échantillon	17
II.1.2- Séchage	17
II.1.3- Broyage	17
II.2- Extraction des composés phénoliques	18
II.3. Dosage des composés phénoliques	20
II.4- Dosage des flavonoïdes	21
II.5- Evaluation de l'activité antioxydant	22
II.5.1- Evaluation de l'activité anti-radicalaire par la méthode du DPPH	22
II.5.1.1- Principe	22
II.5.2- Activité scavenger du radical ABTS ^{•+}	24
II.5.3.1- Détermination du pouvoir réducteur	24
II.6. analyse statistique.....	27

Résultats et Discussion

II.1. Le rendement d'extraction	28
II.2. Dosage des composées phénoliques totales	28
II.3. Dosage des flavonoïdes	29
II.4. Activités antioxydants	31
II.4.1. Activité scavenger du radical DPPH	31
II.4.2. Activité scavenger du radical ABTS ^{°+}	32
II.4.3. pouvoir réducteur.....	33
Conclusion et perspectives	35
Références bibliographiques	36

INTRODUCTION

Depuis la nuit des temps, les hommes se sont soignés avec les plantes qu'ils avaient à leur disposition contre les maladies bénignes. A travers les siècles, les traditions humaines ont su développer la connaissance et l'utilisation des plantes médicinales afin de vaincre la souffrance et d'améliorer la santé des hommes (**Iserin, 2001**).

Actuellement, la société scientifique, biologiste et chimiste, met en évidence le rôle tragique du processus oxydatif incontrôlable induit par les espèces réactives oxygénées (ERO). L'accumulation de ces molécules dans l'organisme aboutit à une chaîne réactionnelle radicalaire qui dégrade les molécules vitales biologiques. Parmi les activités biologiques attribuées aux plantes médicinales, l'activité antioxydant se révèle parmi les plus importante en raison du rôle qu'elle joue dans la prévention des maladies chroniques telles que les pathologies du cœur, le cancer, le diabète, l'hypertension, et la maladie d'Alzheimer en combattant le stress oxydant (**Cole et al., 2005; Liu, 2003; Riboli et Norat, 2003**).

Parmi les plantes aromatiques, figure le fenouil sauvage, il est considéré comme plante médicinale et épice dans les préparations culinaires, cette plante médicinale est utilisé comme carminative digestive, traitant des désordres respiratoires et gastro-intestinaux.

L'objectif de notre étude est d'estimer la teneur de cette espèce végétale de certains constituants chimiques tels que les composés phénoliques totaux, les flavonoïdes et l'étude de l'activité antioxydant de ces extraits.

I.1. Généralités

Foeniculum vulgare connu sous le nom fenouil est une plante appartenant à la famille des Apiacées, employée par l'Homme depuis l'antiquité. Il a été cultivé dans chaque pays entourant la mer Méditerranée en raison de sa saveur. (Muckensturm *et al.*, 1997).

Il est rapporté que le fenouil est riche en métabolites secondaires tels que les composés phénoliques, flavonoïdes, tanins, et les huiles essentielles. (Diaaz-maroto *et al.*, 2006)

I.1.1. Description morphologique

Le fenouil (*Foeniculum vulgare* Mill.) est une herbe aromatique semblable dans l'aspect à l'aneth (Murdock, 2002), bisannuelle ou éternelle. Les tiges sont droites, jaunâtre-vertes pâles, sillonnées et embranchées et s'élève jusqu'à 2m de longueur (Vienna *et al.*, 2005; Kaur et Arora, 2010). Les feuilles élèvent jusqu'à 40 cm de longueur ; elles sont finement disséquées, avec des segments finaux filiformes, environ 0.5mm de largeur (Vienna *et al.*, 2005). Les fleurs sont produites dans les ombelles, composés terminaux de 5-15cm de largeur, chaque section d'une ombelle contient 20-50 fleurs jaunes claires minuscules sur des courts pédicules (Stefanini *et al.*, 2006).

I.1.2. Origine et répartition géographique

Foeniculum vulgare Mill, est une plante originaire de l'est du bassin méditerranéen, il est distribué en Europe Centrale et la région méditerranéenne (Vienna *et al.*, 2005; Zahid *et al.*, 2009; Aprotosoie *et al.*, 2010). Il est largement cultivé dans toutes les régions tempérées et tropicales du monde, et est employé comme épice culinaire (Singh *et al.*, 2006; EFSA, 2009; Aprotosoie *et al.*, 2010).

I.1.3. Systématique

Rang taxonomique	Nomenclature
Règne	Plantae
Ordre	Apiales
Famille	Apiacé
Genre	Foeniculum
Espèces	<i>Foeniculum vulgare</i>
Nom binomiale	Foeniculum vulgare miller

Tableau n°1 : Classification taxonomique de *Foeniculum vulgare* (Abou el-soud *et al.*, 2011).

I.2. Principaux constituants

La plante de *Foeniculum vulgare* est caractérisée par la présence des composés phénoliques (Marino *et al.*, 2007), les coumarines (El-khrisy *et al.*, 1980), les monoterpénoides (Zellagui *et al.*, 2011), stérols, des terpènes, des alcaloïdes, des tannins, des saponines et les huiles essentielles (Tognolini *et al.*, 2007, Rather *et al.*, 2006), qui sont plus souvent composés étudiés qui montrent un certain nombre d'activités biologiques (Singh *et al.*, 2006).

I.2.1. Composés phénoliques

Les constituants non volatils du fenouil tels que les composés phénoliques, quercétin-3-O-rutinoside, quercétin-3-O-glucuronide, kaempferol-3-O-glucuronide, isoquercitrin, et isorhamnetin-3-O-glucoside, sont distribués sur toute la plante possèdent des effets biologiques, comme des effets antioxydants, antimicrobiens, anti-inflammatoires et vasodilatateurs (Harborne *et al.*, 1971)(Soliman *et al.*, 2002)

L'effet antioxydant des composés phénoliques de la plante a été également étudié par rapport à la prévention des maladies coronariennes et du cancer (Gilani *et al.*, 2000, Kahkonen *et al.*, 2001).

I.2.2. Les flavonoïdes

Le *Foeniculum vulgare* est caractérisé par présence composants flavonoïdes avec des activités antioxydants élevées telle que l'acide 3 l'acide caféoylquinique, 4 caféoylquinique, le 1,5-O-dicafféoylquinicacid, l'acide rosmarinique, l'eriodictyol-7-O-rutinoside, le quercetin-3-O-galactoside, le kaempferol-3-Orutinoside et le kaempferol-3-O-glucoside (**Parejo et al., 2004**).

I.2.3. les huiles essentielles

L'odeur caractéristique d'anis du fenouil, due à ses huiles essentielles, lui confère la caractéristique d'excellent aromatisant. On a rapporté que les composants principaux d'huile essentielle de graine de cette plante, sont trans-anethole, fenchone, estragol (chavicol méthylique), et l'a-phellandrène (**Ozbek et al., 2003**).

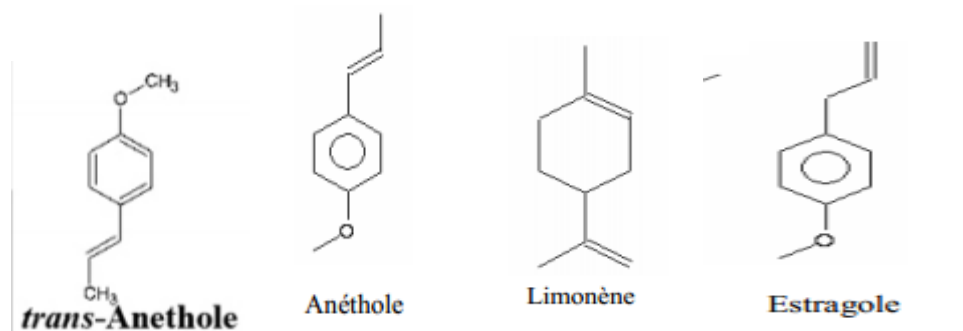


Figure n°1 : structure chimique des principaux constituants des huiles essentielle de *Foeniculum vulgare* (**Hussain et al., 1990**).

I.3. Utilisation et intérêts du *Foeniculum vulgare*

I.3.1. Utilisation traditionnelle et médicinale

Foeniculum vulgare, généralement est une plante médicinale et aromatique bien connue et importante employée couramment comme carminative digestif, traitant des désordres respiratoires et gastro-intestinaux. Il est également employé pour ses propriétés médicinales en tant que stimulant, diurétique, et sédatif (**Charl et al., 1993, Arslan et al., 1989**), et elle est de nos jours cultivée pour des usages industriels tels que les produits cosmétiques et pharmaceutiques (**Lazouni et al., 2007, Telci et al., 2009**)

I.3.2. Utilisation culinaire

Le fenouil est une plante comestible aromatique dont les graines et les fruits sont employées pour des formulations savoureuses, des sauces, des liqueurs, la confiserie, conserves au vinaigre, plats de viande, et boissons alcoolisées, dues à son odeur caractéristique d'anis (Bhati *et al.*, 1988) (Guilled et Manzanons, 1996) (Hellal,Z ,2011).

En raison de la saveur les bases gonflées du fenouil sont fraîchement consommées en salade ou cuits (Baytop, 1999 ; Atta-Aly, 2001).

I.3.3. Intérêts biologiques

I.3.3.1. Activité antibactérienne

L'huile essentielle extraite à partir des fruits du *Foeniculum vulgare* a montré l'effet antibactérien contre les microbes pathogènes portés par les aliments tels qu'*Escherichia coli*, *Bacillus megaterium* et *Staphylococcus aureus* (Mohsenzadeh, 2007).

I.3.3.2. Activité oestrogénique

Foeniculum vulgare a été employé comme agent oestrogénique pendant des siècles. On lui a rapporté à l'augmentation de la sécrétion de lait, favorise la menstruation, facilite la naissance (Albert-puleo, 1980).

I.3.3.3. Activité anti-inflammatoire

L'administration par voie orale (200 mg/kg) de l'extrait méthanoïque de fruit de *Foeniculum vulgare* montre des effets inhibiteurs contre les maladies inflammatoires (Choi et Hwang, 2004).

I.3.3.4. Activité antioxydant

Quelques produits chimiques et études biologiques ont prouvé que le fenouil est une excellente source d'antioxydants (Shahat *et al.*, 2011, Ghanem *et al.*, 2012).

Ruberto et ces collaborateurs ont démontré que les huiles du *Foeniculum vulgare* ont eu la capacité antioxydant *in vivo* (Ruberto *et al.*, 2000)

L'extrait du fruit de *Foeniculum vulgare* a montré une activité modérée dans l'analyse de peroxydation lipidique. Les composés purs d'isolement dans le *Foeniculum vulgare* ont montré une activité antioxydant plus élevée que les extraits bruts (Marino *et al.*, 2007).

I.4. Le stress oxydatif

Le stress oxydatif est définie comme étant le déséquilibre entre la génération des espèces réactives de l'oxygène et la capacité du corps à neutraliser et réparer les dommages oxydatifs (Boyd *et al.*, 2003).

I.4.1. Les radicaux libres

Un radical est une molécule ou un fragment moléculaire qui contient un électron (ou plus) non apparié (Bouhadjra, 2011). En effet, ce radical libre aura toujours tendance à remplir son orbitale en captant un électron pour devenir plus stable : il va donc se réduire en oxydant un autre composé (Goudable et Favier, 1997).

Parmi toutes les espèces radicalaires susceptibles de se former dans les cellules, il convient de distinguer un ensemble restreint de composés radicalaires qui jouent un rôle particulier en physiologie et que nous appellerons radicaux libres primaires, qui dérivent directement de l'oxygène. Les autres radicaux libres, dits radicaux secondaires (radical peroxy $ROO\bullet$, radical alkoxy $RO\bullet$), se forment par réaction de ces radicaux primaires sur les composés biochimiques de la cellule (Novelli, 1997).

I.4.1.1. Les espèces réactives de l'oxygène (ERO)

Parmi les espèces radicalaires les plus actives se trouvent les espèces réactives de l'oxygène (ERO) qui sont des radicaux libres qui dérivent de la molécule d'oxygène, par addition d'un électron (Gutteridge, 1993) (Jacques et André, 2004).

Les radicaux libres nocifs sont produits dans l'organisme au cours du métabolisme normal. Cette production augmente en rapport avec l'élévation de la consommation d'oxygène (Gauche et Hausswirth, 2006). Plusieurs mécanismes et systèmes responsables de la production de radicaux libres ont été identifiés jusqu'à présent, parmi eux nous citons :

- des fuites des électrons au niveau de la chaîne respiratoire de la mitochondrie (Arausseau, 2002).

- des processus inflammatoires produits par les cellules phagocytaires activées (**Van Antwerpen, 2006**).
- d'exposition à des agressions de l'environnement, comme les agents infectieux, la pollution, les UV, la fumée de cigarette et le rayonnement (**Tamer, 2003**).

Les principales espèces réactives de l'oxygène sont :

- **Anion superoxyde : $O_2^{\cdot -}$**

L'apparition de radicaux superoxydes peut résulter de l'auto-oxydation (oxydation par l'oxygène) de composés tels que des neuromédiateurs (adrénaline, noradrénaline, dopamine...), des thiols (cystéine), des coenzymes réduits (FMNH₂, FADH₂), mais aussi de la détoxification des xénobiotiques (toxiques, médicaments) par le système des cytochromes P450 présents au niveau du réticulum endoplasmique (**Halliwell et Gutteridge, 1999**).

- **Radical libre hydroxyle : (OH^{\cdot})**

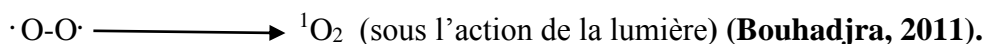
C'est le radical le plus dangereux dans l'organisme, il est formé de la réaction de l'anion superoxyde avec l'hydrogène peroxyde (**halliwell et al., 1984**) (**vergely et al., 2003**), il joue un rôle dans l'auto oxydation lipidiques (**hadi, 2004**).

- **Peroxyde d'hydrogène ou eau oxygénée (H_2O_2)**

Le Peroxyde d'hydrogène H_2O_2 qui n'est pas un radical libre peut être produit par réduction bivalente de l'oxygène grâce à un grand nombre de déshydrogénases, notamment l'acétyl CoA déshydrogénase, la NADH déshydrogénase, la xanthine oxydase, l'uricase, la monoamine-oxydase. (**Jadot, 1994**).

- **Oxygène singulet 1O_2**

Lorsque de l'énergie est apportée à l'oxygène, celui-ci passe à l'état singulet qui représente la forme activée. C'est une forme très énergétique de grande réactivité qui peut oxyder de nombreuses molécules. Il est formé à partir de l'ion superoxyde selon la réaction suivante :



I.4.1.2. Rôles physiologiques des radicaux libres

Les radicaux libres générés de façon permanente par le métabolisme normal de l'oxygène, ne sont pas seulement des produits agressifs mais aussi des modulateurs de voies de transduction du signal et de l'expression de gènes qui participent à l'homéostasie vasculaire. Ils jouent le rôle de messenger pour la cellule, dans l'apoptose et dans la défense contre les infections (**Human et al., 2002**).

I.4.1.3. Implications pathologiques des espèces oxygénées réactives

Il est bien connu que les ERO induit quelques dommages oxydants aux biomolécules comme des lipides, des acides nucléiques, des protéines, l'acide désoxyribonucléique et des hydrates de carbone. Ses dommages causent le vieillissement, le cancer, et d'autres maladies (**Kehrer, 1993 ; Aruoma, 1994**), Allant de l'athérosclérose au cancer tout en passant par les maladies inflammatoires, cardiovasculaires, neurodégénératives et le diabète (**Cadenas et Packer., 2002**).

I.5. Les antioxydants et Système de défense antioxydant

Les antioxydants sont l'ensemble des molécules susceptibles d'inhiber directement la production, de limiter la propagation ou de détruire les espèces réactives de l'oxygène. Ils peuvent agir en réduisant ou en dismutant ces espèces, en les piégeant pour former un composé stable, en séquestrant le fer libre ou en générant du glutathion (**Favier, 2003**)

On distingue au niveau des cellules deux lignes de défense inégalement puissantes pour détoxifier la cellule :

I.5.1. Les antioxydants endogènes (enzymatiques)

L'organisme humain possède un système enzymatique, constitué principalement de trois enzymes : la superoxyde dismutase (SOD), la catalase et la glutathion peroxydase (GPx) (**Avissar et al., 1989**).

Ces enzymes ont une action complémentaire sur la cascade radicalaire au niveau du superoxyde et du peroxyde d'hydrogène, conduisant finalement à la formation d'eau et d'oxygène moléculaire (**Marfak, 2003**).

- **Le superoxyde dismutase (SOD)**

Le superoxyde dismutase est une enzyme qui élimine l'anion superoxyde par une réaction de dismutation, elle produit de l'oxygène et du peroxyde d'hydrogène (**Jacques et André, 2004.**)

- **La catalase (CAT)**

La catalase présente en particulier dans les hématies et les peroxyosomes hépatiques, elle agit en synergie avec la SOD puisque son rôle est d'accélérer la dismutation du peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène moléculaire (**Smythies, 1998**) (**Piquet et Hebuterne, 2007**).

- **La glutathion peroxydase**

La glutathion peroxydase est une enzyme qui constitue l'un des plus importants systèmes enzymatiques de protection car elle est capable non seulement de détoxifier le peroxyde d'hydrogène, mais aussi d'autres hydroperoxydés résultant de l'oxydation du cholestérol ou des acides gras (**Ganther, 1999**).

I.5.2. Les antioxydants exogènes (non enzymatiques)

Les composés endogènes synthétisés par les cellules, le plus important est sans doute le glutathion réduit. La bilirubine capable de piéger les radicaux peroxydes et l'oxygène singulier, protégeant ainsi l'albumine et les acides gras liés à l'albumine des attaques radicalaires (**Trivalle, 2002**).

D'autres substances exogènes sont apportées par l'alimentation, telles que la vitamine E (tocophérol), la vitamine C (acide ascorbique), l'ubiquinone, et les caroténoïdes. D'autres composés comme les alcaloïdes, les polyphénols et les huiles essentielles sont également considérés comme antioxydants exogènes (**BRUNETON, 1999**).

- **La vitamine C**

La vitamine C est l'un des principaux antioxydants présent dans les fluides intra et extracellulaire, ces activité biologiques viennent de son puissant potentiel réducteur. Cependant un effet prooxydant a été constaté en présence de Fe^{3+} (**vertuani et al., 2004**).

○ La vitamine E

La vitamine E ou α -tocophérol, est un antioxydant liposoluble, elle se localise entre les chaînes d'acides gras des phospholipides qui constituent les membranes et les lipoprotéines.

Le rôle essentiel de la vitamine E est de capter les radicaux pyroxylés lipidiques ROO^\bullet qui propagent les chaînes de peroxydation (**Gardès et al., 2003**).

Les données cliniques ont prouvé que les patients d'Alzheimer obtiennent des avantages remarquables au traitement par la vitamine E (**Mohemmedi, 2006**).

○ Antioxydants d'origine végétale

Les caroténoïdes et les polyphénols sont généralement de bons capteurs de radicaux hydroxyles OH^\bullet et pyroxyles ROO^\bullet . Ils sont donc susceptibles d'inhiber les chaînes de peroxydation lipidique, mais d'une manière moins efficace que celle de l' α -tocophérol (**Gardès et al., 2003**).

I.6. Les métabolites secondaires

Les métabolites secondaires sont des molécules organiques complexes synthétisées et accumulées en petites quantités par les plantes autotrophes, ils sont divisés principalement en trois grandes familles : Les polyphénols, les terpènes, les alcaloïdes (**Lutge et al., 2002**) qui sont généralement de faible poids moléculaires (**Charl, 2005**), localisés dans certain parties végétaux (**Sted et al., 1998**) et biosynthésés à partir de métabolites primaires (acides aminés et hydranes) par diverses voies (**Bruneton, 1990**).

I.6.1. Les composés phénoliques

Les polyphénols sont des produits du métabolisme secondaire des végétaux, caractérisés par la présence d'au moins d'un noyau benzénique auquel est directement lié au moins un groupement hydroxyle libre, ou engagé dans une autre fonction tels que : éther, ester, hétéroside (**Bruneton, 1999**).

Ils sont considéré comme substance phytochimiques avec des effets prébiotiques, antioxydants, chélation et inflammation (**Protova et al., 2003**).

Les principales classes de composants phénoliques sont : les acides phénoliques (acide caféique, acide hydroxycinnamique, acide chlorogénique), les flavonoïdes qui représentent plus de la moitié des polyphénols, les tanins, et les coumarines (**Kang et Young, 1999, Tapiero et al., 2002**).

I.6.1.1. Classification des composés phénoliques

Les polyphénols forment un très vaste ensemble de substances chimiques, ils peuvent être classifiés selon le nombre et l'arrangement de leurs atomes de carbones (**Tableau n°2**).




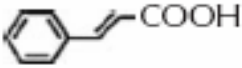

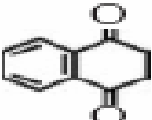
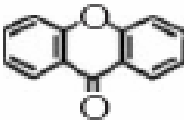


Nombre de carbones	Squelette	Classification	Exemple	Structure de Base
7	C6-C1	Acides phénols	Acide gallique	
8	C6-C2	Acétophénonnes	Gallacetophénone	
8	C6-C2	Acide phénylacétique	Acide hydroxyphénylacétique	
9	C6-C3	Acides hydroxycinamiques	Acide coumarique	
9	C6-C3	Coumarines	Esculitine	
10	C6-C4	Naphthoquinones	Juglone	
13	C6-C1-C6	Xanthones	Mangiférine	
14	C6-C2-C6	Stilbènes	Resveratrol	
15	C6-C3-C6	Flavonoïdes	Naringénine	

Tableau n°2 : Structure des squelettes des polyphénols (**Crozier et al., 2006**).

I.6.1.2. Les classe des polyphénols

❖ Les phénols simples et les acides phénoliques

Ils ont une fonction acide et plusieurs fonctions phénols. Ils sont incolores et plutôt rares dans la nature. Ils se divisent en deux catégories :

- **Les acides phénols dérivés de l'acide benzoïque :**

Ils sont très communs, aussi bien sous forme libre que combinée à l'état d'esters ou d'hétérosides (Haslam 1994).

- **Les acides phénols dérivés de l'acide cinnamique :**

Ils sont souvent estérifiés, les plus courants sont l'acide cinnamique, l'acide caféïque, l'acide férulique, l'acide *p*-coumarique et l'acide sinaptique (Haslam 1994, Bruneton 2009).

I.6.2. Les anthocyanes

Les anthocyanes donnent des couleurs très variées : bleu, rouge, mauve, rose ou rouge. Ces molécules ont, comme les flavonoïdes, un squelette de base en C15 formé de deux cycles A et B, et d'un hétérocycle (cycle C) ; mais leur caractéristique principale est que ce dernier est chargé positivement. Cette charge est due à leur structure de base commune : le cation flavylum ou 2 phenyl 1-benzopyrilium (Heller et Forkmann 1993).

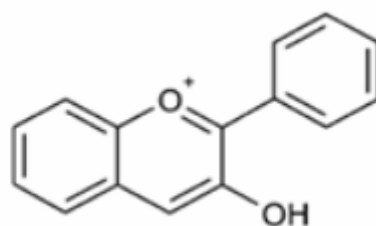


Figure n°2 : La structure chimique de squelette de base des anthocyanes (Havsteen, 2002).

I.6.3. Les tannins

Les tannins sont des macromolécules qui se divisent selon leur structure en deux groupes principaux :

❖ Les tannins hydrolysables

Ce sont des esters d'acide gallique qui se lient aux molécules de glucose. Plus précisément, un glucose se lie à plusieurs molécules d'acide gallique (Sarni- Manchado et Cheynier, 2006)

❖ Les tannins condensés

Ce sont des composés phénoliques hétérogènes. Ils se trouvent sous forme d'oligomères ou polymères de flavanes, flavan-3-ols, 5 desoxy-3-flavonols et flavan-3,4-diols (**Montenegro de Matta *et al.*, 1976, Sarni-Manchado et Cheynier, 2006**).

I.6.4. Les flavonoïdes

C'est le groupe le plus représentatif des composés phénoliques. Ces molécules ont des structures chimiques variées et des caractéristiques propres. Elles sont omniprésentes dans les fruits, les légumes, les graines, les boissons tels que le thé et le vin rouge et d'autres parties de la plante (**Tsimogiannins et Oreopoulou, 2006**).

Les flavonoïdes ont un squelette de base formé par deux cycles en C6 (A et B) reliés, entre eux par une chaîne en C3 qui peut évoluer en un hétérocycle (cycle C) (**Heller et Forkmann, 1993**).

Ils sont considérés comme des pigments quasi universels des végétaux qui peuvent participer dans les processus photosynthétiques (**Mukohata *et al.*, 1978**).

La nature chimique des flavonoïdes dépend de leur classe structurale, de degré d'hydroxylation et de méthylation, de degré de polymérisation, des substitutions et des conjugaisons sur le cycle C, c'est-à-dire la présence : de double liaison C2-C3, du groupe 3-O et la fonction 4-oxo (**Yao *et al.*, 2004 ; Tsimogiannins et Oreopoulou, 2006**).

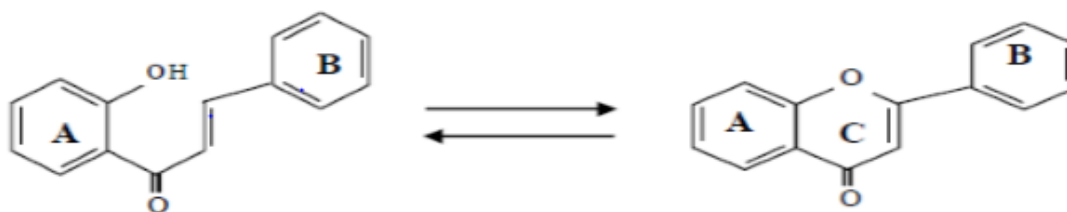
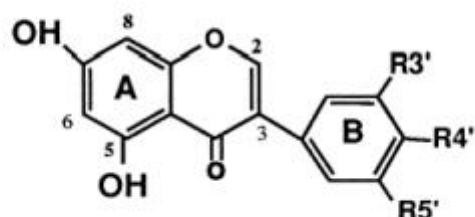


Figure n°3 : structure chimique de squelette de base des flavonoïdes (**Heller et Forkmanne, 1993**)

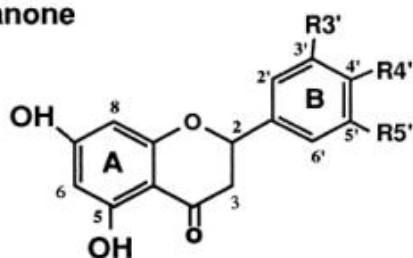
I.6.4.1. Classification

Tous les flavonoïdes ont une origine biosynthétique commune et de ce fait possèdent le même élément structural de base. Ils peuvent être regroupés en différentes classes selon le degré d'oxydation du noyau pyranique central (**Gamet -Payraastre *et al.*, 1999**).

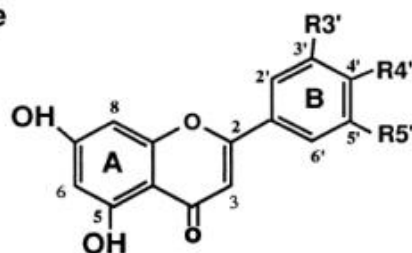
isoflavone



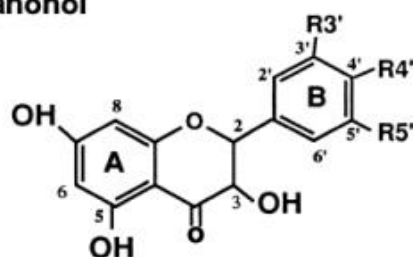
flavanone



flavone



flavanonol



flavonol

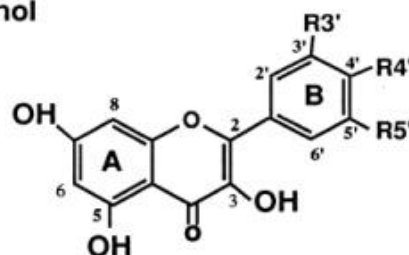


Figure n°4 : Structures des différentes classes de flavonoïdes

(Gamet -Payraastre *et al.*, 1999).

I.6.4.2. Biosynthèse des composés phénolique

❖ La voie de l'acide shikimique

La voie shikimate conduit à la formation des oses aux acides aminés aromatiques (phénylalanine et tyrosine) puis par désamination de ces derniers, aux acides cinnamiques et à leurs très nombreux dérivés : acide benzoïques, acétophénones, lignanes et lignines, coumarines (Bruneton, 1993).

❖ La voie de l'acide malonique

La glycolyse et la beta-oxydation aboutissent à la formation de l'acétyl-CoA donnant le malonate. C'est à travers cette voie que s'effectue la cyclisation des chaînes poly cétoniques, obtenues par condensation répétée d'unités « Acétate » qui se fait par carboxylation de l'acétyl-CoA. Cette réaction est catalysée par l'enzyme acétyl-CoA carboxylase (Fleeger et Flipse 1964, Richter, 1993).

I.6.5. Rôles physiologique et les activités biologiques des polyphénols

Les travaux de Nitsch et Nitsch, 1961 ont montré que les phénols seraient associés à de nombreux processus physiologiques : croissance cellulaire, différenciation organogène, dormance des bourgeons, floraison, tubérisation.

Les polyphénols sont aussi connu pour leur effets protecteurs contre le rayonnement UV, l'effet attracteur sur les insectes et les oiseaux pollinisateurs et pour ces propriétés antifongique et antibactérienne (Heimeur *et al.*, 2004) (Subramanian *et al.*, 2007).

I.6.6. Les activités biologiques

I.6.6.1. Activité antioxydant

Les flavonoïdes possèdent de nombreuses activités biologiques, ces activités sont attribuées en partie aux propriétés antioxydants de ces composés naturels (Fuhrman *et al.*, 1995). L'action antioxydant de ces composés ne s'exerce pas seulement par l'inhibition des radicaux libres, mais elle se manifeste aussi par la neutralisation d'enzymes oxydantes et par la chélation d'ions métalliques responsables de la production des espèces réactives de l'oxygène (Halliwell, 1994) (Cotelle, 2001).

I.6.6.2. Activité antibactérienne

Il a été rapporté que les extraits de plantes et beaucoup d'autres préparations phytochimiques riches en flavonoïdes ont possédé une activité antimicrobienne (**Tim et al., 2005**).

I.6.6.3. Activité antivirale

L'activité antivirale des flavonoïdes contre le virus de l'immunodéficience humaine (HIV) peut être liée directement sur les enzymes responsables de sa réplication (HIV-1 reverse transcriptase ou HIV-1 integrase). Par ailleurs d'autres flavonoïdes ont montré une activité antivirale contre le virus d'influenza, HIV-1 et HIV-2 (**Bylka et al., 2004**).

I.6.6.4. Activité anticancéreuse

Les substances polyphénoliques sont capables d'activer les mécanismes naturels de la défense anticancéreuse. En effet, les premiers stades de la phase d'initiation cancéreuse peuvent être bloqués par la capacité des tissus cibles à intercepter et à métaboliser les agents mutagènes (**Ames et al., 1995, Jhonson 1999**).

I.6.6.5. Effets antiallergiques

Di Carlo et ses collaborateurs (1999) ont étudié les effets antiallergiques de la quercétine, ils ont constaté que ce flavonoïde exerce ses effets, en inactivant l'enzyme ATPase Ca^{2+} dépendante.

➤ **Matériels et Méthodes**

II.1. Préparation de la matière végétale

II.1.1. Récolte et origine d'échantillon

La récolte de la partie aérienne de la plante de *Foeniculum vulgare* a été effectuée dans la région de Chemini à la wilaya de Bejaia au mois de février, loin de tout impact de pollution.



Figure n°5 : photographie de partie aérienne de la plante de *Foeniculum vulgare*

II.1.2. Séchage

L'échantillon a été bien nettoyé et débarrassé de toutes les impuretés avec de l'eau, ensuite, il a été séché dans une étuve à 40°C ventilée jusqu'à séchage complet.

II.1.3. Broyage

La plante sèche est broyée à l'aide d'un broyeur électrique, puis tamisée avec un tamiseur de 250 µm de diamètre afin d'obtenir une poudre fine, cette dernière a été récupérée et conservée dans des flacons en verre à température ambiante à l'abri de la lumière jusqu'à son utilisation.



Figure n°6 : photographie de la plante de *Foeniculum vulgare* en poudre.

II.2. Extraction des composés phénoliques

II.2.1. Préparation

L'extraction a été faite par macération de 40g de poudre végétale dans 400 ml d'éthanol, après évaporation l'extrait sec obtenu est dissout dans l'eau distillé, ensuite différents solvants (hexane, dichlorométhane, acétate d'éthyle) à différentes polarités ont été additionnés successivement afin d'obtenir différentes fractions (fraction hexanique, dichlorométhane, acétate d'éthyle et aqueuse) et chaque fraction a été évaporée pour avoir un extrait sec. La figure n°7 montre les différentes étapes de protocole d'extraction.

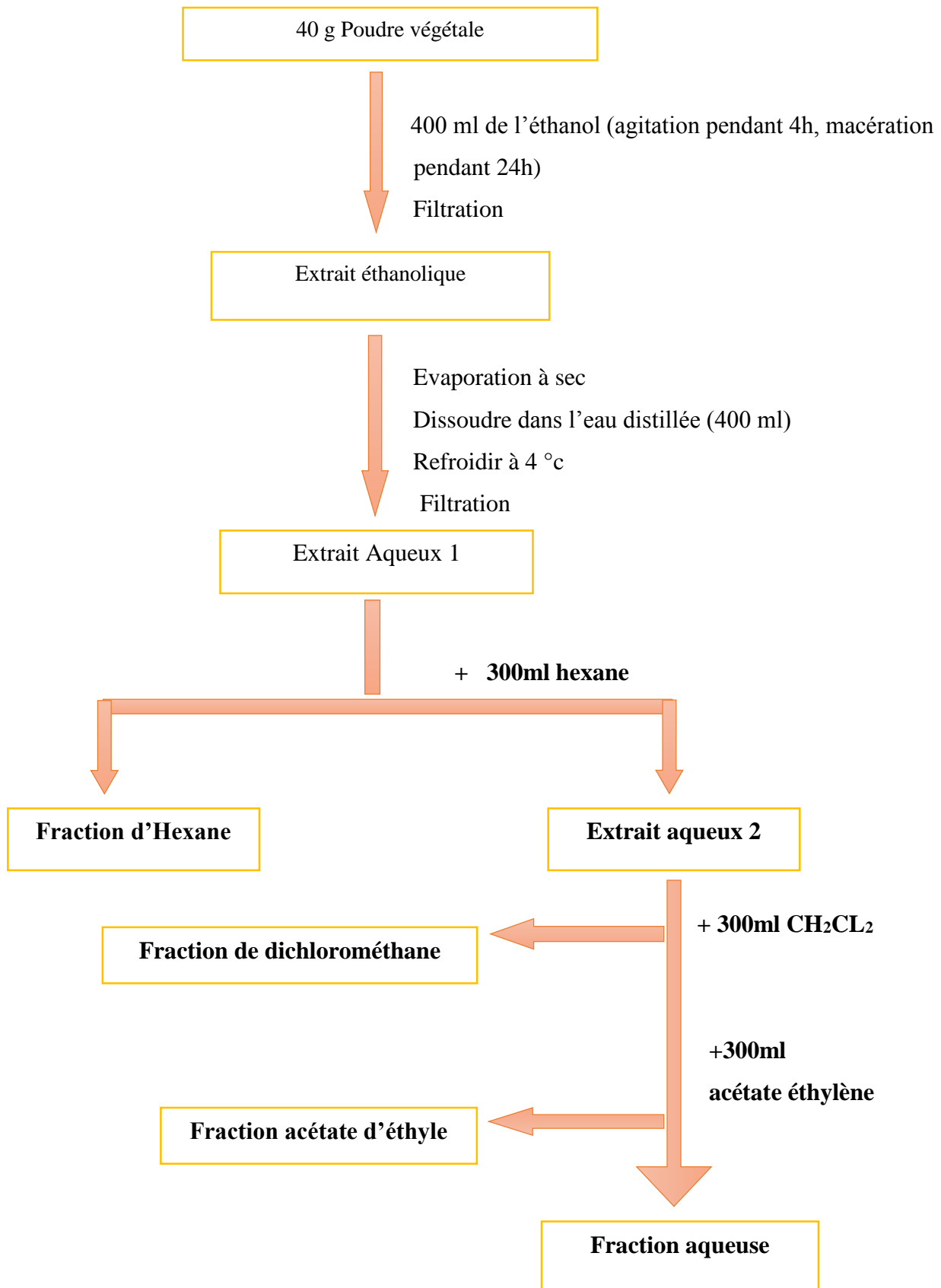


Figure n°7 : Protocole d'extraction des composés phénoliques (Parejo et al., 2002).

II.3. Dosage des composés phénoliques

II.3.1. Principe

Le dosage des composés phénoliques totaux a été déterminé selon la méthode décrite par **Djeridane *et al.*, 2006** avec quelques modifications. Cette méthode utilise le réactif de Folin-Ciocalteu, ce dernier est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et phosphomolibdique ($H_3PMO_{12}O_{40}$), il est réduit par les phénols en un mélange d'oxydes bleus de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (MO_8O_{23}) (**Ribéreau-Gayon *et al.*, 1972**). Cette coloration bleue dont l'intensité est proportionnelle aux taux de composés phénoliques présents dans le milieu donne un maximum d'absorption à 760 nm.

II.3.2. Mode opératoire

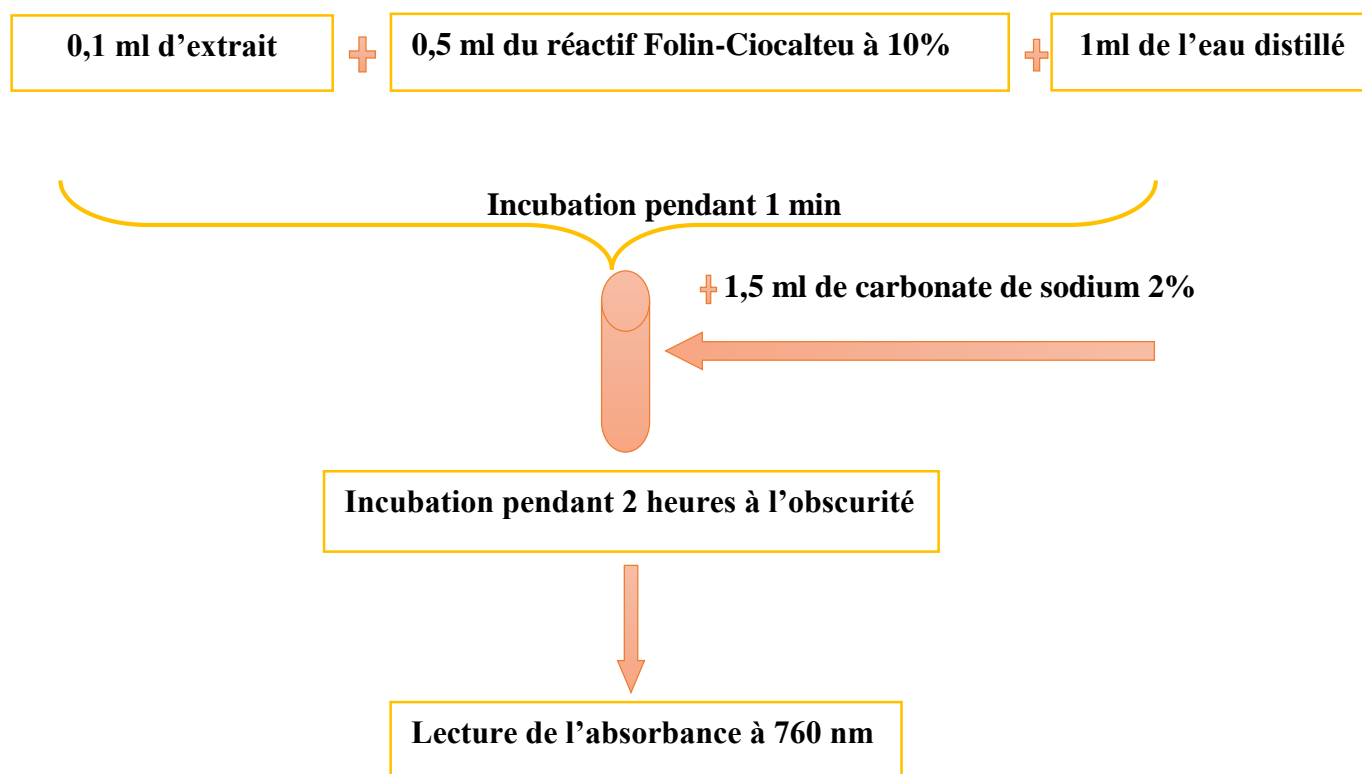


Figure n°8 : Protocole de dosage des composé phénoliques totaux (**Djeridane *et al.*, 2006**).

Le blanc est aussi préparé dans les mêmes conditions en remplaçant la quantité de l'extrait par le méthanol.

II.3.3. Expression des résultats

Les concentrations en composés phénoliques totaux des différents échantillons ont été déterminées en se référant à une courbe d'étalonnage utilisant l'acide gallique comme standard et exprimées en mg équivalent d'acide gallique/g de la matière sèche.

II.4. Dosage des flavonoïdes

II.4.1. Principe

Les flavonoïdes forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux (fer et aluminium), ceci traduit le fait que ces derniers perdent deux électrons pour s'unir à deux atomes d'oxygène de la molécule phénolique agissant comme donneur d'électrons (**Ribéreau-Gayon *et al.*, 1972**).

La méthode utilisée pour le dosage des flavonoïdes est celle décrite par **Cusodio *et al.*, 2009**.

II.4.2. Mode opératoire

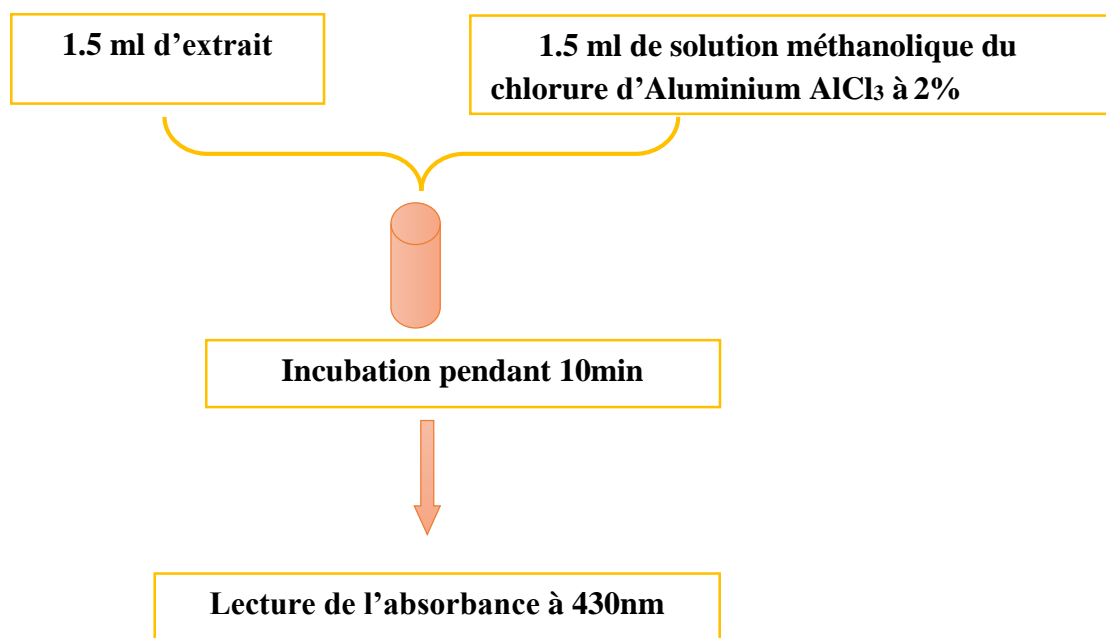


Figure n°9 : Protocole de dosage des flavonoïdes (**Custodio *et al.*, 2009**)

II.4.3. Expression des résultats

La concentration en flavonoïdes des différents échantillons a été déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage utilisant la quercétine comme standard, exprimée en mg équivalent de quercétine /g matières sèches.

II.5. Evaluation de l'activité antioxydant

Pour toutes les activités, l'extrait de *Foeniculum vulgare* est reconstitué dans le méthanol.

La Quercétine et l'acide gallique ont été utilisés comme des antioxydants de référence, pour apporter un point de comparaison avec les différents extraits.

II.5.1. Evaluation de l'activité anti-radicalaire par la méthode du DPPH

II.5.1.1. Principe

Le DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) est un radical libre stable utilisé pour remplacer les radicaux libres produits en réponses à des stress internes ou externes en présence d'un antioxydant, la couleur violette caractéristique du DPPH est transformée en une couleur jaune (**Brand et al., 1995**). L'intensité de la couleur est proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans le milieu à donner des protons, elle est mesurée à 517 nm. (**Sanchez-Moreno, 2002**).

II.5.1.2. Mode opératoire

La méthode de **Shirwaikar et al., 2006** a été utilisée pour évaluer l'activité anti radicalaire des extraits de *Foeniculum vulgare*.

Toutes les étapes suivies sont décrites dans la figure n°10

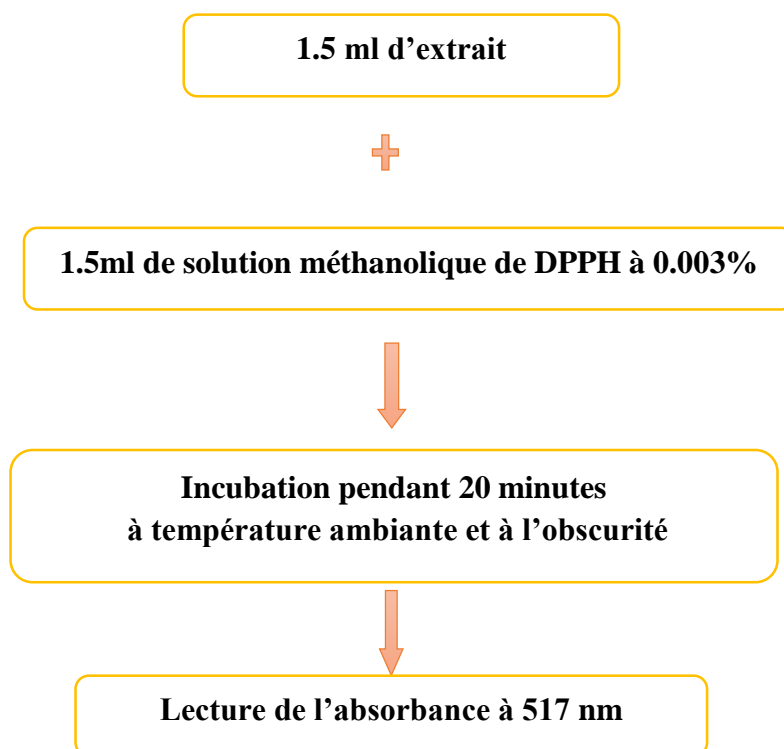


Figure n°10 : Protocole de l'évaluation de l'activité anti-radicalaire de l'extrait méthanolique de *Foeniculum vulgare* par la méthode de DPPH (Shirwaikar *et al.*, 2006)

II.5.1.3. Expression des résultats

L'activité anti-radicalaire est exprimée en pourcentage de piégeage du radical libre DPPH[•], où l'absorbance du mélange réactionnel qui contient le radical libre et l'échantillon à tester est reliée avec l'absorbance du mélange sans aucun antioxydant (solution contrôle). (Alyafi Alzhri, 2007).

L'activité anti-radicalaire est estimée selon l'équation suivante (Ozkan et Erdogan, 2011) :

$$I\% = (\text{Abs contrôle} - \text{Abs échantillon} / \text{Abs contrôle}) \times 100$$

Où :

Abs contrôle : absorbance du blanc qui contient tous les réactifs sauf le composé à tester.

Abs échantillon : absorbance de l'échantillon, qui contient les réactifs et le composé à tester.

I% : pourcentage inhibition.

II.5.2. Activité scavenger du radical ABTS^{•+}

II.5.2.1. Principe

L'activité antioxydant totale d'une molécule est déduite de sa capacité à inhiber le radical ABTS^{•+}, obtenu à partir de l'ABTS. L'obtention du radical cation résulte du contact de l'ABTS avec une enzyme de peroxydation (peroxydase metmyoglobine) (Miller et Rice-Evans, 1997) ou (horseradishperoxidase) (Arnao *et al.*, 2001) en présence de H₂O₂ ou d'un oxydant (dioxyde de manganèse) (Benavente-Garcia *et al.*, 2000 ; Miller *et al.*, 1997) ou persulfate de potassium (Re *et al.*, 1999). Le radical ABTS^{•+}, en contact avec un donneur de H[•] conduit à l'ABTS⁺ et à la décoloration à 734 nm de la solution (Lien *et al.*, 1999)

II.5.2.2. Préparation de la solution ABTS

Une solution de l'ABTS (7mM) a été préparée en mélangeant 72mg de l'ABTS avec 13,24 mg de persulfate de potassium (2,45mM) dans 20ml d'eau distillée, et laissée incuber pendant 16h à l'obscurité. La solution d'ABTS (7 mM) est diluée avec d'eau distillée jusqu'à atteindre une absorbance de 0.7±0.02 a une longueur d'onde de 734nm. (Lien *et al.*, 1999).

II.5.2.2. Mode opératoire

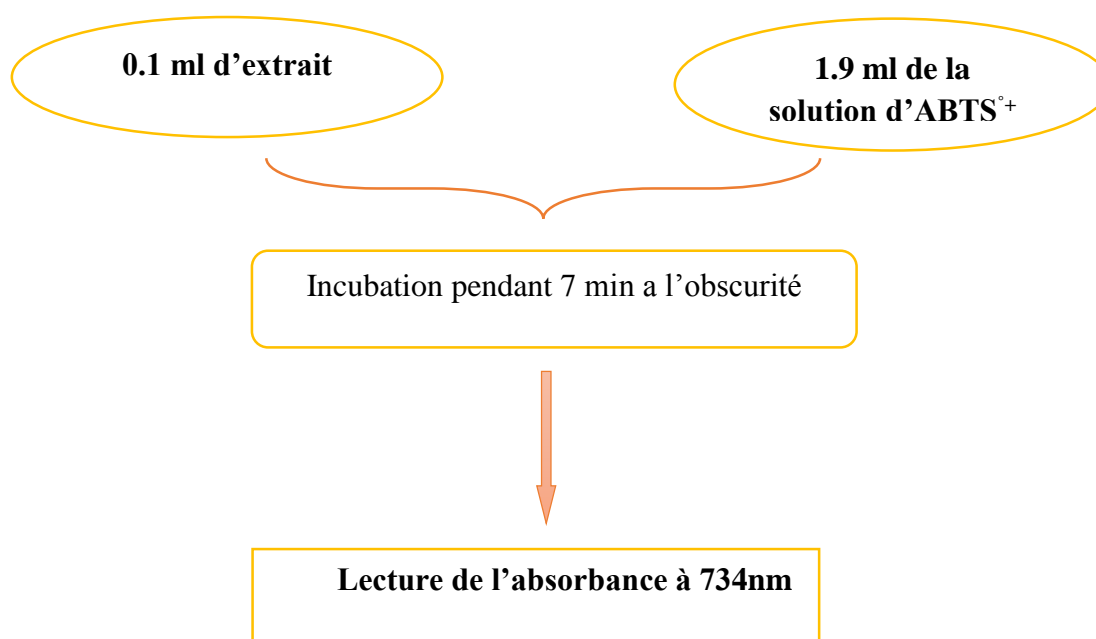


Figure n°11 : Protocole de l'évaluation du l'ABTS^{•+} (Re *et al.*, 1999)

II.5.2.3- Expression des résultats

La capacité d'antioxydant ayant un pouvoir anti-radicalaire est exprimé en équivalent de d'un antioxydant de synthèse Trolox.

Le Trolox est un analogue de la vitamine E a été utilisé comme standard a différente concentration (**miller *et al.*,1997**).

Le pourcentage d'inhibition du radical ABTS est déterminé selon la formule suivante :

$$\% \text{ de l'activité scavenger de l'ABTS}^{\bullet+} = [\text{Ac-At} / \text{Ac}] \times 100$$

Ac : Absorbance du contrôle ;

Ae : Absorbance de l'échantillon

II.5.3.1. Détermination du pouvoir réducteur

II.5.3.2. Principe

Le pouvoir réducteur d'un extrait est associé à son pouvoir antioxydant, cette technique est développée pour mesuré la capacité des extraits testés à réduire le fer ferrique (Fe^{3+}) présent dans le complexe $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ en fer ferreux (Fe^{2+}). En effet, le Fe^{3+} participe à la formation du radical hydroxyle par la réaction de Fenton. L'absorbance de milieu réactionnel est déterminé à 700nm (**Hubert, 2006**).

II.5.3.3. Mode opératoire

La méthode (**Elmastas *et al.*, 2007**) a été choisie afin de déterminer le pouvoir réducteur de différents extraits de *Foeniculum vulgare*. Les différentes étapes sont schématisées dans la **Figure n°12**

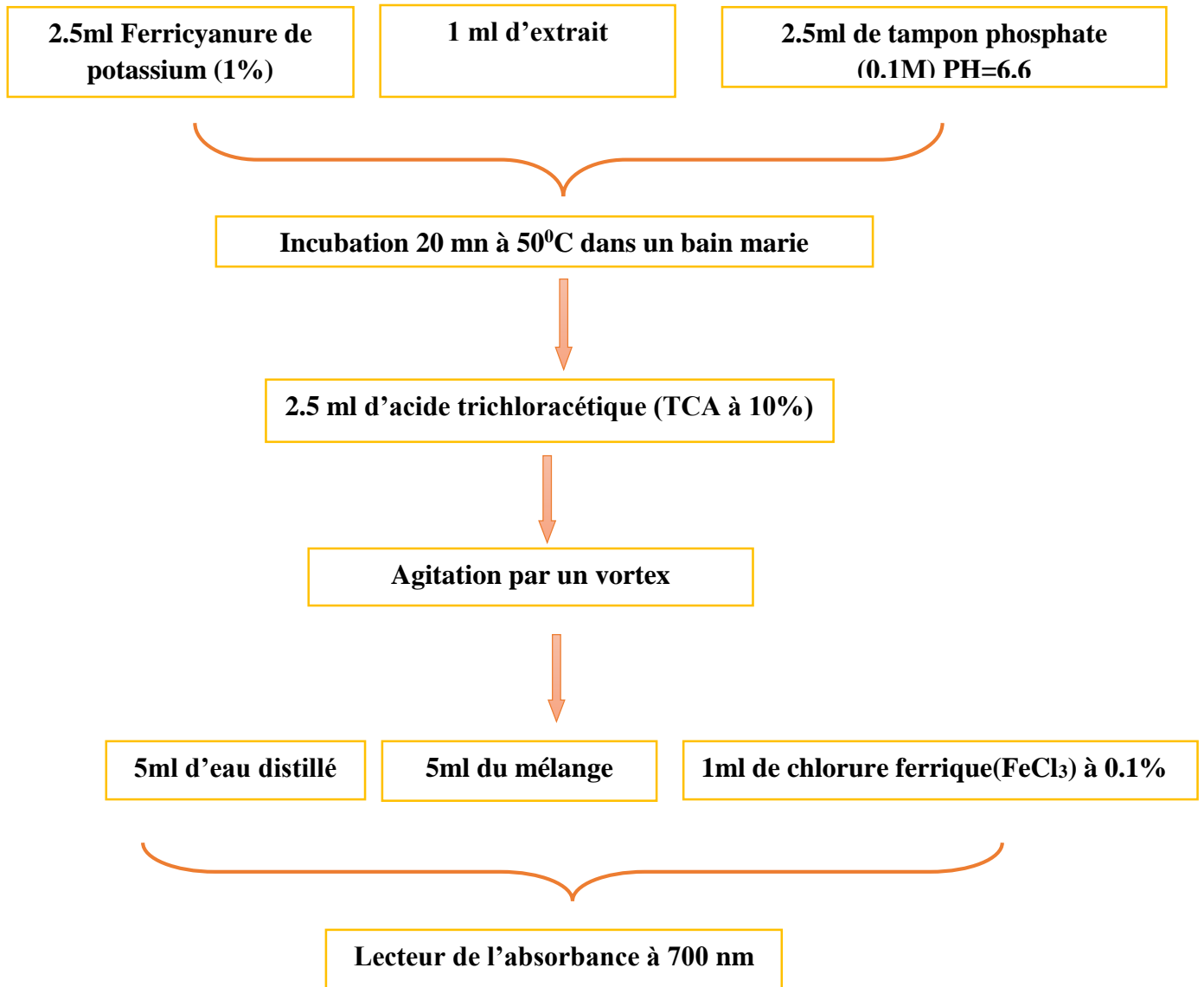


Figure n°12 : Protocole d'évaluation du pouvoir réducteur (Elmastas et al ., 2007)

II.5.3.4. Expression des résultats

L'augmentation de l'absorbance dans le milieu réactionnel indique l'augmentation de la réduction du fer. L'acide gallique et la quercétine sont utilisés comme des standards.

II.6. Analyse statistique

Trois mesures ont été réalisées pour chaque échantillons analysé et résultats ont été exprimé sous forme : moyenne \pm ecartype. Des comparaisons statistiques ont été effectuées en utilisant le logiciel anova. Les différences ont été considérées d'être significatives à $\alpha=0,05$.

➤ Résultats et Discussion

II.1. Le rendement d'extraction

L'extraction des polyphénols de la plante de *Foeniculum vulgare* par l'éthanol, nous a permis de déterminer le rendement de leur extrait brut.

Le rendement obtenu est de **0.55%**, il est calculé à partir de la formule suivante :

$$\text{Rdt}\% = \frac{\text{M extrait}}{\text{M échantillon}} \times 100$$

Le Rdt% : Le rendement d'extraction

M extrait : masse de la matière végétale utilisée sous forme de poudre en gramme.

M échantillon : masse de l'extrait sec en gramme.

II.2. Dosage des composés phénoliques totaux.

Les analyses quantitatives des phénols totaux, est déterminé à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage exprimé en mg équivalent d'acide gallique.

Les valeurs moyennes de la concentration en polyphénols totaux de la partie aérienne sèche de la plante sont représentées dans la **figure n°13** calculées à partir des valeurs des absorbances à une longueur d'onde de 760nm.

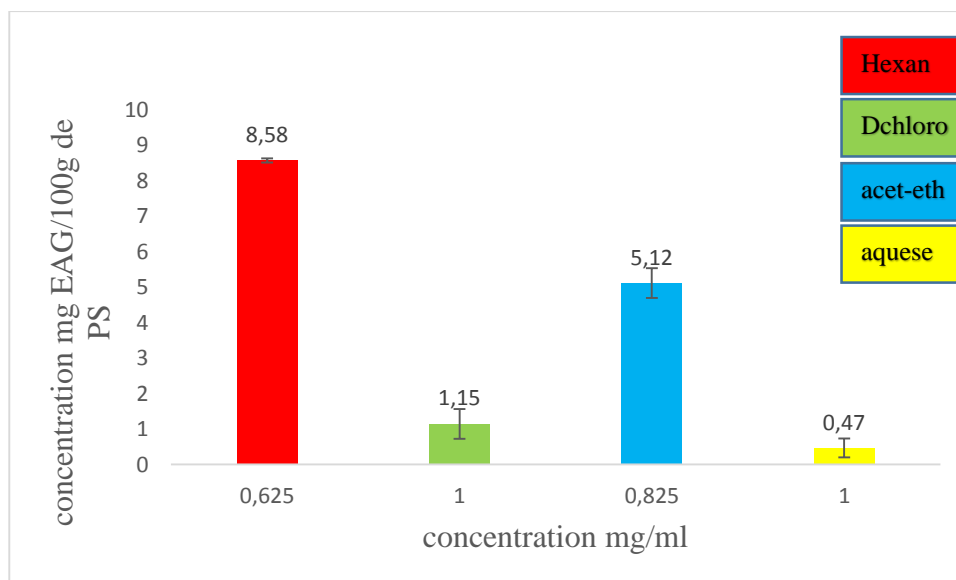


Figure n°13 : Représentation graphiques du taux des composés phénoliques des différentes fractions de *Foeniculum vulgare*.

Les résultats du dosage des composés phénoliques totaux, représentés dans la figure n°13, montre que la quantité des composés phénoliques des différentes fractions varie entre **0,47±0,27 mg EAG/100g PS** et **8,58±6,06mgEAG/100g PS**. Le taux des composés phénoliques le plus élevé a été détecté dans la fraction hexanique avec une teneur de **8,58 ±1,14mgEAG/100g PS**, suivi par la fraction d'acétate d'éthyle, la fraction dichlorométhane avec des teneurs de **5,12±0,42mgEAG/100g PS** et de **1,15±0,42mgEAG/100g PS** respectivement. La plus faible teneur a été enregistrée dans la fraction aqueuse avec une concentration de **0,47mg EAG/100g PS**. L'analyse statistique montre une différence significative entre les différents résultats des dosages. Cette variation est probablement due à la nature des composés extraits de chaque fraction et leurs propriétés. Lors de cette étude, c'est la fraction apolaire qui montre le taux le plus élevé, alors que la fraction aqueuse montre le taux le plus faible.

Comparativement à l'étude menée par **Parejo et al.** en **2002**, le dosage des composés phénoliques totaux a révélé des teneurs variantes de **36,99±0,9** à **401,37±19,42 GAE/mg** Extrait allant de l'extrait d'acétate d'éthyle à l'extrait aqueux, ces différences sont dues à la différence de la partie étudiée, qui est un facteur important et déterminant qui influence sur la nature des composés phénoliques et leurs quantités.

II.3. Dosage des flavonoïdes

Les analyses quantitatives des flavonoïdes, est déterminé à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage exprimé en mg équivalent quercitine.

Les valeurs moyennes de la concentration en flavonoïdes de la partie aérienne sèche de la plante sont représentées dans la **figure n°14** calculées à partir des valeurs des absorbances à une longueur d'onde de 430 nm.

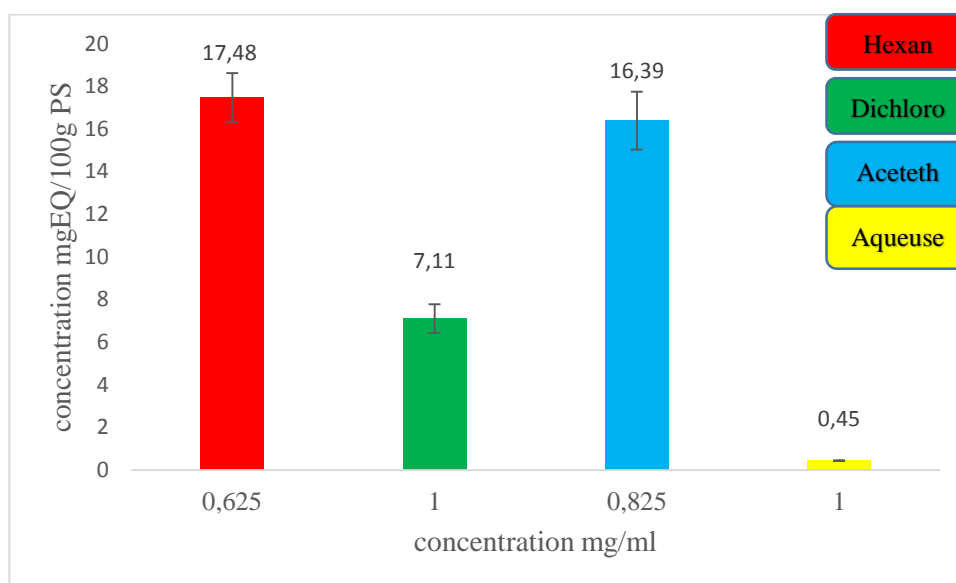


Figure n°14 : représentation graphique du taux des flavonoïdes de *Foeniculum vulgare*.

Les résultats du dosage des flavonoïdes représentés dans la Figure n°14, montre que la quantité des flavonoïdes des différentes fractions varie entre **0,45±0,01mg EQ/100g PS** et **17,48±1,14 EQ/100g PS**. L'analyse statistique a révélé qu'il n'existait pas de différences significative entre la teneur en flavonoïdes dans les deux fractions hexanique et acétate d'éthyle **17.48 mg EQ/100g PS** et **16,42±1,39 mg EQ/100gPS** respectivement, par contre il existe une différence significative entre ces deux dernières et les fractions dichlorométhane et aqueuse avec des teneurs de **7,11±0,68mgEQ/100gPS** et **0,45±0,01mgEQ/100g PS** dans l'ordre.

Cette répartition des flavonoïdes entre les différentes fractions est due aux multitudes des formes structurales de ces derniers qui leurs permettent d'avoir plusieurs types d'interactions selon la nature des solvants, ils peuvent avoir :

- Des interactions de type hydrophobe avec les solvants apolaires,
- Des interactions dipolaires avec les solvants polaires.
- Des liaisons hydrogènes des solvants de type eau, alcool et amine.
- Des interactions de type électrostatique (Erkoc, S. et al., 2003).

II.4. Activités antioxydants

La mise en évidence du pouvoir antioxydant des extraits de la plante a été évaluée par trois méthodes :

- le piégeage du radical libre DPPH.
- Pouvoir réducteur
- Test d'ABTS^{o+}

II.4.1. Activité scavenger du radical DPPH^o

Les histogrammes des figures n° et illustrent le pourcentage de l'activité scavenger du radical DPPH des antioxydants standards et des différentes fractions de la partie aérienne sèche de la plante.

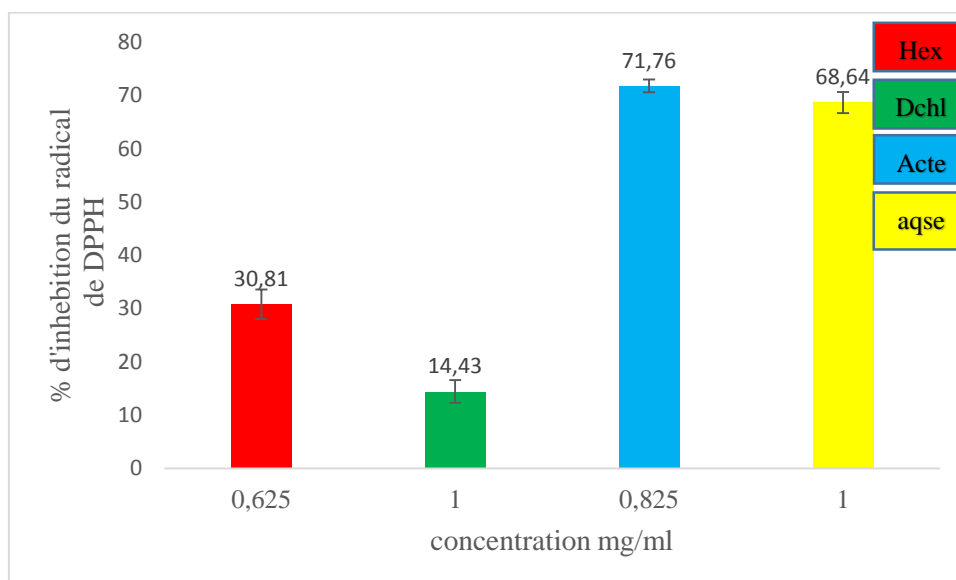


Figure n°15 : Activité scavenger du radical DPPH de *Foeniculum vulgare*.

A partir de la figure n°15, les extraits de *Foeniculum vulgare* présentent un pourcentage d'inhibition important qui varie entre **14,43%** et **71,76%** dans une gamme de concentration de **0,625 à 1 mg/ml**. En comparant à celle obtenue par les antioxydants de synthèse (annexe n°2) qui présentent un pourcentage d'inhibition important dans une gamme de concentration de **1µg/ml** avec un pourcentage d'inhibition de **87,20%** et **90,61%** pour la quercétine et l'acide gallique respectivement.

Les fractions acétate d'éthyle et aqueuse possèdent des pourcentages d'inhibition le plus important avec **71,76%** et **86,64%** respectivement qui sont largement supérieures à celle de la fraction hexanique et la fraction dichlorométhane des concentrations de **0,625 mg/ml** et **1mg/ml** avec un pourcentage d'inhibition de **30,81%** et **14,43%** respectivement.

Comparativement à l'étude menée par **Il-Suk Kim et al** en **2011**, qui ont démontré que l'activité anti-radicalaire d'extrait de fenouil à une concentration de **1mg/ml** présente juste **10,48%**. En comparant avec ce dernier, les résultats obtenus lors de cette étude, montrent une capacité d'inhibition plus élevée.

D'après les résultats obtenus par **Parejo et al** en **2002**, l'activité anti-radicalaire envers le DPPH a révélé que les différentes fractions de *Foeniculum vulgare* ont exhibé une activité qui varie entre **3,72%** et **82,91%**, sachant que la fraction d'acétate d'éthyle a enregistré un pourcentage d'inhibition le plus important qui est de **82,91%**.

II.4.2. Activité scavenger du radical ABTS^{o+}

La figure n°16 illustre le pourcentage d'inhibition du radical ABTS de différentes fractions de la partie aérienne sèche de la plante.

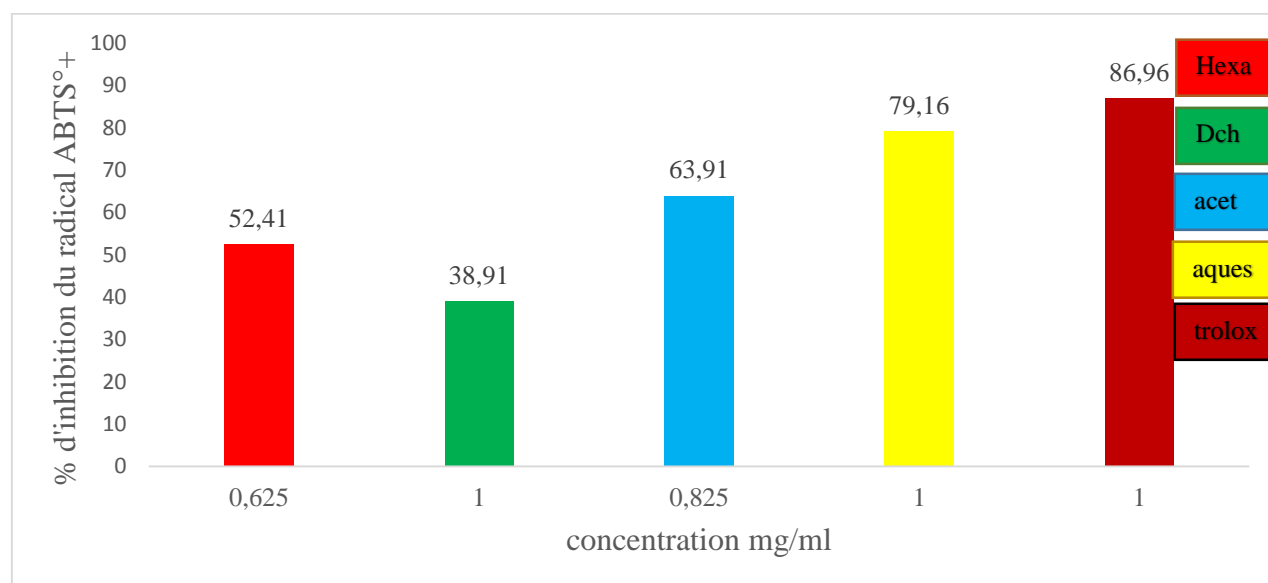


Figure n°16 : Effet scavenger contre le radical ABTS des différentes fractions.

A partir de la figure n°16, les résultats obtenus pour les différentes fractions de *Foeniculum vulgare* possèdent une activité anti-radicalaire comparative à celle du Trolox dont le pourcentage d'inhibition a été de **86,09%** avec une concentration de **1mg/ml**.

D'après les résultats la fraction aqueuse présente une activité anti-radicalaire similaire au Trolox, effectivement à une concentration de **1mg/ml** la fraction aqueuse possède un pourcentage de **71,76%**, suivi par la fraction d'acétate d'éthyle de concentration de **0,825mg/ml** à un pourcentage d'inhibition de **63,91%**, suivent enfin les deux fractions hexanique et dichlorométhane avec des pourcentages d'inhibition de **53,41%** et **38,41%** respectivement.

II.4.3. Pouvoir réducteur

Les différents extraits sont traités de la même façon que ceux des solutions standards de l'acide Gallique et la quercitine. Nous avons tracé les courbes représentant la variation du pouvoir réducteur exprimée en absorbance en fonction de la concentration.

La figure n°17 illustre le pouvoir réducteur des standards et les différentes fractions obtenues à partir de la partie aérienne de la plante sèche.

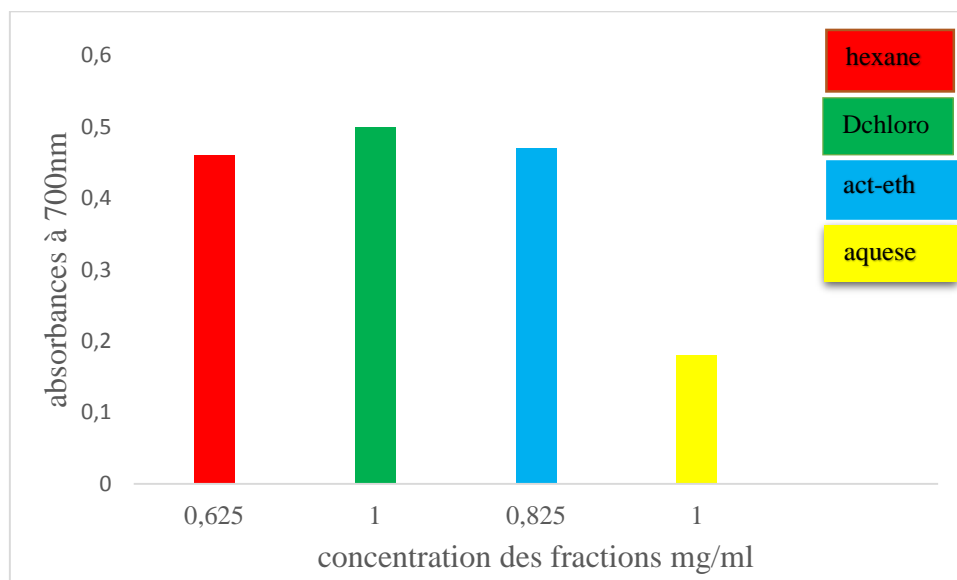


Figure n°17 : Pouvoir réducteur de *Foeniculum vulgare*.

Les résultats d'activité réductrice représentés dans la figure n°17, en comparant les activités réductrices des différents extraits à celles des antioxydants de synthèse (Annexe n°2), on constate que ces dernières ont une plus grande activité réductrice que celles de l'échantillon testé. En effet pour une concentration **1µg/ml** des standards, l'absorbance est de **0,828** et **0,285**

pour l'acide gallique et la quercétine respectivement, alors que pour l'échantillon testé, les absorbances varient entre **0,50** et **0,18** pour une gamme de concentration de **0,625** à **1 mg/ml**. Cette différence est due au degré de pureté des standards de synthèse, contrairement aux échantillons qui sont des extraits non purifiés.

L'analyse statistique révèle qu'il n'existe pas de différence significative entre le pouvoir réducteur des fractions organiques alors qu'il en existe une différence significative avec la fraction aqueuse avec des absorbances de **0,180** et **0,50** pour fraction dichlorométhane.

Ces résultats pourront être expliqués par le fait que l'extrait de dichlorométhane présente un pouvoir réducteur important, renfermant ainsi des molécules ayant un potentiel réducteur donneur d'électron plus fort, tandis que l'extrait de la phase aqueuse qui a montré un pouvoir réducteur moins important pourrait renfermer des molécules à potentiel réducteur donneur d'électron moins fort.

Comparativement, à l'étude menée par **Farooq et al** en **2009** où le potentiel de réduction des extraits des graines de fenouil a été testé, ils ont observé que pour une gamme de concentrations de **0** à **2,5 mg/ml**, les absorbances enregistrés variaient entre **0** à **0,60**. Ces résultats sont similaires avec ceux obtenus avec les différentes fractions du fenouil sachant ils ont utilisé des extraits brutes à partir de méthanol et éthanol à **80** et à **100%**.

Dans le cadre de ce présent travail, l'étude s'est portée sur la composition phytochimique et de l'activité antioxydant de différents extraits de *Foeniculum vulgare*.

La première étape qui consiste en l'extraction des composés phénoliques et fractionnement par différents solvants à polarité différentes, permettant ainsi de calculer le rendement de leur extrait brute qui est de **0.55%**.

Quantitativement, l'évaluation du contenu des polyphénols révèle une teneur allant de **0,47±0,27 à 8,58±6,06 mg EAG/100g PS** pour les extraits de la fraction aqueuse et de la fraction d'acétate d'éthyle respectivement. La même constatation a été faite avec la teneur des flavonoïdes qui varie entre **0,45±0,01 et 17,48±1,14 mg EQ/100g PS**, pour les extraits de de la fraction aqueuse et de la fraction d'hexane respectivement.

Concernant l'activité antioxydant, elle a été évaluée par trois tests : la capacité de piégeage de radical DPPH° et ABTS°, et le pouvoir réducteur, afin d'évaluer le potentiel de chaque fraction dans chaque test.

L'évaluation de l'activité antioxydant *in vitro* par les tests de piégeage des radicaux DPPH et ABTS révèle que la fraction aqueuse présente un pourcentage d'inhibition plus important comparant aux autres fractions. L'analyse statistique révèle que le pourcentage d'inhibition des deux radicaux libres des deux fractions acétate d'éthyle et dichlorométhane ne présente pas de différence significative, alors qu'il en existe une avec la fraction aqueuse. Pour le pouvoir réducteur, l'analyse a permis de constater que les fractions organiques présentaient une capacité similaire de réduction de fer ferreux.

En perspectives ; il serait intéressant d'élargir l'étude en :

- Isoler et identifier les molécules de chaque fraction,
- Elargir le panel des activités antioxydants *in vitro* et *in vivo* et d'autres tests biologiques tels que des activités antitumorales, anticancéreuses et anti-inflammatoires.
- Caractériser et isoler les principes actifs responsables de ces propriétés pharmacologiques.

A

Abou el-soud 1 N ., El-laithy N., el-saeed G., Wahby M.S., Khalil M., Morsy F Shaffie N. (2011).antidiabetic activities of foeniculum vulgare mill.Essential oil in streptozocion-induced Diabetic rats Macedonian journal of Medical sciences.4(2):139-146.

Albert-Puleo, M., (1980). Fennel and anise as estrogen agents. J. Ethnopharmacol. 2, 337–344

Alyafi Alzhri.G (2007), Determination of chemical composition of Prangos and the possibility to use in the applied field, Damascus University. P 54.

Ames BN, Gold LS, Willett WC, (1995). The causes and prevention of cancer. Proc. Natl. Acad. Sci. USA.92: 5258-65.

Aprotosoai A.C., Spac A.D., Hancianu M., Miron A., Tanasescu V.F., Dorneanu V. and Stanescu U., 2010. The chemical profile of essential oils obtained from fennel fruits (*Foeniculum vulgare* Mill.). FARMACIA, Vol. 58 (1); pp. 46-54.

Arnao, M. B., Cano, A., Acosta, M.2001. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. Food Chem., 73, 239-244.

Arslan.N, Bayrak.A, and Akgul.A (1989), *Herbe Hung.*, 1989, 28 (3), 27-32.

Atta-Aly, M. A. (2001). Fennel swollen base yield and quality as affected by variety and source nitrogen fertilizer. Scientific Horticulture, 88, 191–202.

Aurousseau, B. (2002). Les radicaux libres dans l'organisme des animaux d'élevage : Conséquences sur la reproduction, la physiologie et la qualité de leurs produits. *INRA Prod. Anim*, 15 (1) : 67-82.

Avissar N., WhitinJ.C., and Allen P.Z. (1989). Plasma selenium-dependent glutathione peroxidase. *Biol. Chem.* 2: 15850-15855.

B

Bahorun,T. (1997).Substances naturelles actives La flore mauricienne, une source d'approvisionnement potentielle. Food. Agric. Res. Council, Réduit, Mauritius, 83-94.

Baytop, T. (1999).Therapy with medicinal plants in Turkey (Past andPresent) (1st ed.) (p.320). Istanbul, Turkey, Publication of Istanbul University.

- Beaman , (1984).**The role of oxygen and its derivatives in microbial pathogenesis and host defense. *Ann. Rev. Microbiol.*, 38 (1984) 27-48. .
- Beloued (1998).** Plantes médicinales d'Algérie. Dép. De Botanique A L'institut National agronomique d'El-Harrach-Algérie : 277.
- Benavente-García, O, Castillo J., Lorente, J.2000.** Antioxidant activity of phenolic extracted from *olea europaea* leaves. *Food Chem.*, 2000, 68, 457-462.
- Bertoni, S., Bruni, R., Impicciatore, M., Barocelli, E., (2007).** Protective effect of *Foeniculum vulgare* essential oil and anethole in an experimental model of thrombosis. *Pharmacol. Res.* 56, 254–260.
- Bhati.DS, Shaktawat.MS, Somani.IL, and Agarwal HR (1988).** *Transactions of Indian Society of Desert Technology*, 1988, (2), 79-83.
- Bouhadjra., (2011).** Étude de l'effet des antioxydants naturels et de synthèse sur la stabilité oxydative de l'huile d'olive vierge, thèse pour l'obtention du diplôme de magister, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou
- Bouldjadj R, (2009).** Étude de l'effet antidiabétique et antioxydant de l'extrait aqueux lyophilisé d'*Artemisia herba alba* Asso, Université de Constantine, 2009
- Bourgaud f., Gravot a., milesi., gonti .E (2001).** Production of secondary metabolites: a historical perspective. *Plant science.* 161 (5), 839-851.
- Boyd B., Ford C., Koepke M.C., GaryK., Horn E., McAnalley S., and McAnalley B. (2003).** Etude pilote ouverte de l'effet antioxydant d'Ambrotose sur des personnes en bonne santé. *Glycoscience & Nutrition.* 4 (6):7. (Cited in Mohammedi Z, 2005).
- Brand WW, Cuvelier HE, Berset C (1995).** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Sci. Technol.* 1995, 82: 25-30.
- Bronner W. E. and Beecher G. R (1995).** Extraction and measurement of prominent flavonoids in orange and grapefruit juice concentrates. *J. Chromatog. A* 1995 ; 705: 247-256.).

Bruneton,(1993), acides phenols.in : pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales 3^{ème}ED :tec&doc.lavoisier,paris.200-1120.

BRUNETON J. ; (1999) ; Flavonoïdes, Pharmacognosie, Photochimie : Plantes médicinales ; Ed 3 : TEC et DOC (PARIS) ; p : 310-340

Bruneton J. (2009) Pharmacognosie : Phytochimie, plantes médicinales. 4e Ed. Éditions médicales internationales (Tec & Doc), Paris, 2009, 1288.1994, 11: 41-66.

Bylka W., Mathawska I. et Pilewski N. A. (2004). Natural flavonoid as antimicrobial agents. *Journal of the American Nutraceutical Association.*, 7 (2) : 24-26. 85

C

Canillac N., and Mourey A. (2001). Antibacterial activity of the essential oil of *Picea excels* on *Listeria*, *Staphylococcus aureus* and coliform bacteria. *Food Microbiol.*18: 261– 268.

Charles, MR Morales, and JE Simon, J. and J. E. Simon (1993) (eds.), *New crops*. Wiley, New York, 570-573.

Chia-chi.C (2002), estimation total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods , journal of food and drug analysis , vol 10, no. 3, pages 178-182.

Choi, W.G., Kim, W.J., Kim, W.K., Kim, M.J., Kang, W.H., Kim, C.M., (2002). Antimicrobial constituents of *Foeniculum vulgare*. *Arch. Pharmacol Res.* 25, 154–157
Choi, E.M., Hwang, J.K., (2004). Anti-inflammatory, analgesic and antioxidant activities of the fruit of *Foeniculum vulgare*. *Fitoterapia* 75 (2004), 557–565.).

Crozier, A., Clifford, M.N., Ashihara, H. (2006). *Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet*. Edt Blackwell Publishing Ltd.

custidioL.,FernandesE.,ESCAPAA.L.,LopezAvilésS.,FajardoA.,AliguéR.,AlberricioF.et RomannoA.2009.antioxydant activity *in vitro* inhibition of tumor cell growth by leaf extracts from the carob tree(*Ceratonia siliqua*).*Pharmaceutical Biology* .47.8:72-728.

D

Dewick PM. (1995), The biosynthesis of shikimate metabolites. *Nat. Prod. Rep.* 12: 579-607.

Diaaz-Maroto, M.C., Pea rez-Coello, M.S., Esteban, J., Sanz, J., (2006). Comparison of the volatile composition of wild fennel samples (*Foeniculum vulgare* Mill.) from Central Spain. *J. Agric. Food Chem.* 54, 6814–6818.

DjeridaneA., Youcfi M ., NadjemiB., BoutassounaD., stocker P.et VidalN.(2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food chemistry*, 97:654-660.

E

Edenharder, R., Grünhage, D. (2003). Free radical scavenging abilities of flavonoids as mechanism of protection against mutagenicity induced by tert-butyl hydro peroxide or cumene hydroperoxide in *Salmonella typhimurium* TA102. *Mutat. Res*, 540: 1–18.

EFSA, 2009. EFSA Scientific cooperation (ESCO) working group on botanicals and botanical preparations; Advice on the EFSA guidance document for the safety assessment of botanicals and botanical preparations intended for use as food supplements, based on real case studies on request of EFSA. *EFSA Journal*, 7 (9) : 280 ; 104p.

El-Khrisy, E. A. M., Mahmoud, A. M., Abu-Mustafa, E. A. (1980). Chemical constituents of *Foeniculum vulgare* fruits, *Fitoterapia* 51:273 -275

Elmastats M., Isildak O., Turkekul I. et Temur N (2007). Determination of antioxidant activity and antioxidant compound in Wild edible mushrooms. *Journal of food composition and analyze* ,20:337-345.

El-Soud, N.A., El-Laithy, N., El-Saeed, G., Wahby, M.S., Khalil, M., Morsy, F., Shaffie, N., (2011). Antidiabetic activities of *Foeniculum vulgare* Mill. Essential oil in Streptozotocin induced diabetic rats. *Macedonian J. Med. Sci.* 173, 1857–5773).

Erkoc, S.; Erkoc, F.; Keskin, N., (2003). Theoretical investigation of quercetin and its radical isomers. *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM*, 631, (1-3), 141-146.

F

Faudale, M., Viladomat, F., Bastida, J., Poli, F., Codina, C.,(2008).Antioxidant activity and phenolic composition of wild, edible, and medicinal fennel from different Mediterranean countries. *J. Agric.Food Chem.* 56, 1912–1920.

Favier A. (2003). Le stress oxydant. Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité chimique*.pp: 108-115.

Fleeger JL, Flipse IJ. (1964). Metabolism of bovine semen XIII. Malonic acid metabolism by bovine spermatozoa. *J. Dairy Sci.* 1964, 47 (5): 535-8.

G

Gamet-Payrastre, L., Manenti, S., Gratacap, M.P.,Tulliez, J., Chap, H., Payrastre, B. (1999) Flavonoids and the inhibition of PKC and PI 3- kinase. *General Pharmacology.* 32: 279-286.

Ganther H.E. (1999). Selenium metabolism, seleno proteins and mechanisms of cancer prevention: complexities with thioredoxin reductase. *Carcinogenesis.***20 (19) : 1657- 1666**

Gardès-Albert M, Dominique Bonnefont-Rousselot, Zohreh Abedinzadeh Z et Daniel Jore D. (2003). Espèces réactives de l'oxygène : Comment l'oxygène peut-il devenir toxique ? *L'actualité chimique.* Pp : 91-96.

Gerber M, Berta-Vanrullen I. (2006). Soja et phytoestrogènes. *Arch. Pédiatrie* 2006, 13 (6) : 534536

Ghanem, M.T.M ; Radwan, H.M.A ; Mahdy, E.M ; Elkholy, Y.M ; Hassanein, H.D ; Shahat, A.A (2012). Phenolic compounds from *Foeniculum vulgare* (Subsp. Piperitum) (Apiaceae) herb and evaluation of hepatoprotective antioxidant activity. *Pharmacogn. Res.* 4, 104–108.

Gilani, A. H.; Aziz, N.; Khan, M. A.; Shaheen, F.; Jabeen, Q.;Siddiqui, B. S.; Herzig, J. W.(2000). Ethno pharmacological evaluation of anticonvulsant, sedative and antispasmodic activities of *La Vandula stoechas* L. *J. Ethnopharmacol.* 71, 161-167.

GIRRE L. (2006), Les plantes et les médicaments : l'origine végétale de nos médicaments, Delachaux et niestlé, Paris, 253 pp.

Goudable, J. Favier, A. (1997). Radicaux libres oxygénés et antioxydants. *Nutrition Clinique et Métabolisme* 11,115-120.

Gross, M., Lewinsohn, E., Tadmor, Y., Bar, E., Dudai, N., Cohen, y.,Friedma, J., 2009. The inheritance of volatile phenyl propene is in bitter fennel (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *vulgare* Apiaceae) chemotypes and their distribution within the plant. *Biochem. Syst. Ecol.* 37, 308–316.

Guilland, D. 2003. NF- κ B activation in hydrogen peroxide-treated human endothelial cells. *Experi Biol and Med.* Vol 228: 855 – 865.

Gutteridge J.M. (1993). Free radicals in disease processes: a complication of cause and consequence. *Free Radic. Res. Commun.* **19**: 141-158.

H

Hadi M. (2004) la quercitine et ses derives : molecule a caractere pro-oxydant oiu capteur de radicaux libres ; etudes et aplication therapeutiques. These pesentén vue de l'obtention du garde de docteur en science de l'université louis pasteur domaine : pharmacochemie.155p

Heller W, Forkmann G. (1993). The flavonoids. Advances in research since 1986. In Harborne JB.Secondary Plant Products. Encyclopedia of plant physiology. Ed. Chapman & Hall,London, , 399-425.

Halliwell, B.Gutteridge, J.M.(1984).Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition metals and disease.*Biochem. J.*Vol 219:1–14.

Halliwell B., Gutteridge J.M.C(1999)., *Free Radicals in Biology and Medicine*, 3rd ed., Oxford University Press.

Haslam E (1994). Natural polyphenols (vegetable tannins): Gallic Acid metabolism. *Nat. Prod.* 11: 41-66.

Harborne, J. B.; Saleh, N. A. M(1971). Flavonol glycoside variation in fennel, *Foeniculum Vulgare*. *Phytochemistry* , 10, 399-400.

Havsteen, B.H. (2002). The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacol. Therapeut*, 96: 67– 202.

Hellal,Z (2011), Contribution à l'étude des propriétés antibactériennes et antioxydants de certaines huiles essentielles extraites des Citrus. Application sur la sardine (*Sardina pilchardus*). Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou.

Heller W, Forkmann G (1996). The flavonoids. Advances in research since. In Harborne JB. Secondary Plant Products. Encyclopedia of plant physiology. Ed. Chapman & Hall, London, 1993, 399-425.

Hubert.A.J, 2006. Caractérisation biochimique et propriétés biologiques des micronutriments du germe de soja. Etude des voies de sa valorisation en nutrition et santé humaine. These de doctorat en qualité et sécurité des aliments de l'Institut National Polytechnique de Toulouse. France 174p.

Human (2002). Aging: A Theory Based on Free Radical and Radiation Chemistry. Sci. Aging Know. Environ. 37, 14.

Hussain, R.A., Poveda, L.J., Pezzuto, J.M., Soejarto, D.D et Kinghorn, A.D. (1990), Sweetening agents of plant origin: phenylpropanoid constituents of seven sweettasting plants." Economic Botany, 44: 174-182.

I

Iserin P.2001. Encyclopédie des plantes médicinales, identification, préparation et soins, éd. Larousse.

J

Jacques B, and André R. (2004). Biochimie métabolique Ed ellipses .Paris. Pp : 217-219-220-223-225.

Jadot, G. (1994). Antioxydants et vieillissement, *Edition John Libby Eurotext*, p 35. **Jakupovic J, Paredes L, Bohlmann F, Watson L (1988)**. Prenyl flavanes from *Marshallia* species. *Phytochemical*. 27 (10): 3273-5.

Justine(2005), intérêt de la supplémentation en antioxydants dans l'alimentation des carnivores domestiques », THESE pour obtenir le grade de docteur vétérinaire. Université Paul-Sabatier de TOULOUSE.

K

Kahkonen, M. P.; Hopia, A. I.; Heinonen, M. Berry (2001). phenolics and their antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.* 49, 4076-4082

Kaur, G.J., Arora, D.S., (2008). In-vitro antibacterial activity of three plants belonging to the family Umbelliferae. *Int. J. Antimicrob. Agents* 31, 393–395 Kwon, Y.S.,

L

Lehucher-Michel, J. F. Lesgards, O. Delubac, P. Stocker, P. Durand, M. Prost(2002) ; Stress oxydant et pathologies humaines. *Press Med.*, 30, 1076-1081.

Lien, E. J., Ren, S., Bui, H. H., Wang, R.1999. Quantitative structure-activity relationship analysis of phenolic antioxidants. *Free Radic. Biol. Med.*, 26, 285-294.

M

Maamri S (2008). Etude de *Pistacia atlantica* de deux régions de sud algérien : dosage des lipides, dosage des polyphénols, essais antileishmaniens, Thèse pour l'obtention du diplôme de magister Université Boumerdes.

Malešev D. et Kuntić V. (2007). Investigation of metal-flavonoid chelates and the determination of flavonoids via metal-flavonoid complexing reactions. *Journal of the Serbian chemical society.*, 72 (10) : 921-939.

Marfak A. (2003). Thèse de doctorat Radiolyse Gamma des flavonoïdes ; Etude de leur réactivité avec des radicaux issus des alcools. Pp : 6-7-10-

Marfek A. (2003). Radiolyse gamma des flavonoids. Etude de leur réactivité avec les radicaux libres issus des alcools : formation des depsides. Thèse de doctorat de l'université de Limoges

Marotti, M., Dellacecca, V., Piccaglia, R., Giovanelli, E., Palevitch, D., & Simon, J. E. (1993). Agronomic and chemical of tree varieties of *Foeniculum vulgare* Mill. *Acta Horticulture*, 331, 63–69.

Marino, S.D., Gala, F., Borbone, N., Zollo, F., Vitalini, S., Visioli, F., Iorizzi, M., (2007). Phenolic glycosides from *Foeniculum vulgare* fruit and evaluation of antioxidative activity. *Phytochemistry* 68, 1805–1812.).

Miller, N. J., Rice-Evans, C. A. (1997). the relative contributions of ascorbic acid and phenolic antioxidants to the total antioxidant activity of orange and apple fruit juices and blackcurrant drink. *Food. Chem.*, 60, 331-337.

Miller, N. J., Rice-Evans, C. A. (1997). Factore influencing the antioxidant activity determinated by the ABTS^{°+} radical cation essay. *Free radical boil.med*, 26: 195-199.

Mogode D (2005), Etude phytochimique et pharmacologique de *Cassia nigricans vahl* (Caesalpinaceae) utilisé dans le traitement des dermatoses au Tchd .Université de Bamako.

Mohemmedi Z(2006), Etude du pouvoir antimicrobien et antioxydant des huiles essentielles et flavonoïdes de quelques plantes de la région de Tlemcen, Thèse pour l'obtention du diplôme de magister Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen.

Mohsenzadeh, M., (2007). Evaluation of antibacterial activity of selected Iranian essential oils against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* in nutrient broth medium. *Pak. J. Biol. Sci.* 10, 3693–3697.

Mukohata, Y., Nakabayashi, S., & Higashida, M. (1978). Quercetin, an energy transfer inhibitor in photophosphorylation. *FEBS Lett*, 85: 215– 218

Sarni-Manchado P, Cheynier V(2006). Les polyphénols en agroalimentaire, Ed. Lavoisier (Tec &Doc), Paris, 300-398.

N

Nijveldt R. J., Van Nood E., Van Hoorn D. E. C., Boelens P. G., Van Norren K. et Van Leeuwen P. A. M. (2001). Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *American journal of clinical nutrition.*, 74 : 418-425.

Novelli G. P (1997). Role of free radicals in septic shock. *J. Physiol. Pharmacol.* 1997 ; 48: 517-527.

Q

Oyaizu, M. (1986). Studies on product of browning reaction prepared from glucose amine.

Jpn. J. Nutr, 44: 307-315.

Özbek, H., Ugras, S., Düglar, H., Bayram, T., Özturk, G., Özturk, A. (2003) Hepatoprotective effect of *Foeniculum vulgare* essential oil, *Fitoterapia* 74:317-319.

Özçelik B. (2004). Flavonoids in fruit and vegetables: their impact on food quality, nutrition and health–STREP or CA. European commission is the 6 th framework programmer for research. Istanbul technical university Turkey.

P

Park, H.J., (1996). Syringin 4-O-b-glucoside, a new phenylpropanoidglycoside, and costunolide, a nitric oxide synthase inhibitor, from the stem bark of *Magnolia sieboldii*. J. Nat. Prod. 59, 1128–1130

Parejo, I., Viladomat, F., Bastida, J., Codina, C. (2004) Development and validation of a high-performance liquid chromatographic method for the analysis of antioxidative phenolic compounds in fennel using a narrow pore reversed phase C₁₈ column, *Anal. Chem. Acta* **519**: 271-280.

Parejo, I., Francece Viladomat, Jaume Bastida, Alfredo Rosace-Romeron, Nadin flerlage, Jesuce burillo and Carl codina, 2002. comparaison between the radical scavenging activit e of six distilled and nodistilled mediterranean Herbs aromatic plants. *Agricultural and Food Chemistry*.50, 6882-6890.

Piquet M.A. et Hebuterne X. ; (2007) ; Nutrition en pathologie digestive ; Ed : DOIN ; p: 1620.

R

Rather, B. A. Dar, S. N. Sofi, B. A. Bhat, M. A. Qurishi, Arabian Journal of Chemistry, (2012). Ruberto, G., Baratta, M.T., Deans, S.G., Dorman, H.J.D., 2000. Antioxidant and antimicrobial activity of *Foeniculum vulgare* and *Crithmum maritimum* essential oils. *Planta Med.* 66, 687–693.

Re, R. 1999, Pellegrini, N., Proteggente, A. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.*, 26, 1231-1237.

Re R., pellegrini.N.,Proteggente.A.,Pannala.A.,Yang.M. ,Rice EvensC.(1999).Antioxydant action decolorization assay.*FreeRadical biology*,26 :1231-1237.

Ribéreau-Gayon J, Peynaud m, Ribéreau-Gayon P and Sudraud P.1972. Sciences et techniques du vin. Tome 1, analyse et controle des vins. Ed. Dunod, Paris,p. 671.

Ribereau-Gayon P(1968).Notions générales sur les composées phénoliques, méthodes générales d'études des composés phénolique .In composés phénolique des végétaux .Ed.Dunod, Paris : 1973-201.

Richter G(1993). Métabolisme des végétaux. Physiologie et Biochimie. Ed. Presses Polytechniqueset Universitaire Romandes, 1993, 322-323.

Rietjens .I, Boersma M G, de Haan L, Spenkeliink B, Awad H M, Cnubben N H P et al. (2002).The pro-oxidant chemistry of natural antioxidants vitamin C, vitamin E, carotenoids and flavonoids. *Environmental Toxicology and Pharmacology 11*, 321-33.

S

Sanchez-Moreno C. (2002). Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. *Int. J. of Foods Sci. Tech.* **8**: 121-137.

Shahat, A.; Ibrahim, A.; Hendawy, S.; Omer, E.; Hammouda, F.; Abdel-Rahman, F.; Saleh,M.(2011).Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of essential oils from organically cultivated fennel cultivars. *Molecules*, 16, 1366–1377.

Shehata, A. H.; Khaleel, A. E.; Ezzat, S. M (2002). Anacetylated kaempferol glycoside from flowers of *Foeniculum Vulgare*and*F. dulce*. *Molecules*, 7, 245-251.

Shirwaiker A. Radjendrane K. et PunithaI.S.R.(2006).*In vitro* antioxidant studies on the BenzylTetra Isoquinilone alkaloidBerberine.*Bio.Pharm.Bull.*,29(9):1906-1910.

Shyma, A G Deviprasad, M P Raghavendra, J(2012). *Chem. Pharmac. Res.*, 4, 4501-4505.

Singh, S. Maurya, M. P. De Lampasona, C. Catalan (2006), *Food control*, **2006**, 17, 745-752.

Singh G., Maurya S., de Lampasona M.P. and Catalan C., 2006. Chemical constituents, antifungal and antioxidative potential of *Foeniculum vulgare* volatile oil and its acetone extract. *Food Control*, Vol. 17, pp.745–752.

Soliman, F. M.; Shehata, A. H.; Khaleel, A. E.; Ezzat, S. M (2002). An acetylated kaempferol glycoside from flowers of *Foeniculum Vulgare* and *F. dulce*. *Molecules* **2002**, 7, 245-251.

SMYTHIES J.R.; (1998); Every Person's Guide to Antioxidants; Ed: BRITISH CATALOGING; p: 89-110.

Stuart, M. (1982). Herbs and herbalism (pp. 62–64). New York: Van Nostrand Reinhold;1993

T

Tamer Fouad, M.D. (2003). Free radicals, Types, sources and damaging reactions, Internal Medicine Articles. (<http://www.doctorslounge.com/primary/articles/>)

Tamilselvi, P Krishnamoorthy, R Dhamocharan, P Arumugam, E Sagadevan, (2012) J. Chem. Pharm. Res, 4(6), 3259.

TEUSCHER E., ANTON R., LOBSTEIN A. (2005), Plantes aromatiques : épices, aromates, condiments et huiles essentielles, Tec & Doc, Paris, 522 pp

Tognolini, V. Ballabeni, S. Bertoni, R. Bruni, M (2007). Impicciatore, E. Barocelli, *Pharmacological Research*, 56, 254-260.

TRIVALLE C. ; (2002) ; Gérontologie préventive : élément de prévention du vieillissement pathologique ; Ed : MASSON (PARIS) ; p : 104-106.

Tsimogiannins, D.I., Oreopoulou, V. (2006). The contribution of flavonoid C-ring on DPPH free radical scavenging efficiency. A kinetic approach for the 3', 4'-hydroxy substituted members. *Innovat Food Sci Emerg Tech*, 7: 140-146

V

Van Antwerpen, P. (2006). Contribution à l'étude du pouvoir antioxydant de divers agents d'intérêt thérapeutique : Ciblage du système myeloperoxydase / peroxyde d'hydrogène/chlorure. *Thèse de doctorat en Sciences Pharmaceutiques*, Académie universitaire.

Verscheur (2002), revue bibliographique : les méthodes chimiques d'identification et de classification ons.biotechnology agron soc environ.6 (3) ,131-142.

Vertuani, S., Angusti, A., Manfredini, S., (2004). The antioxidants and pro-antioxidants network; an overview. *Curr. Pharm. Des.*, 2004, **10**, 1677-1694.

Vienna C.F., Bauer R., Carle R., Tedesco D., Tubaro A. and Zitterl-Eglseer K., 2005. Assessment of plants/herbs, plant/herb extracts and their naturally or synthetically produced components as "additives" for use in animal production. *FEEDAP*; 297p.

W

Wan J., Wilcock A., and Coventry M.J. (1998). The effect of essential oils of basil on the growth of *Aeromonashydrophila* and *Pseudomonas fluorescens*. *J. Appl. Microbiol.* 84:152–158.

Wan, Canillac N., and Mourey A. (2001). Antibacterial activity of the essential oil of *Picea excels* on *Listeria*, *Staphylococcus aureus* and coliform bacteria. *Food Microbiol.* 18 : 261– 268.

WICHTL M., ANTON R. (2003), Plantes thérapeutiques, 2e édition, Tec & Doc, Paris, 692 pp.

Wink, (2003) .evaluation of secondry metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective phytochemistry.64, 3-19.

Y

Yao, L.H., Jiang, Y.M., SHI, J., Tomas-Barberan, F.A., Datta, N., Singanusong, R., Chen, S.S. (2004). Flavonoids in Food and their health benefits. *Plant. Food Hum. Nutr.*, 59 : 113-122.

Z

Zahid N.Y., Abbasi N.A., Hafiz I.A. and Ahmad Z., 2009. Genetic diversity of indigenous fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) Germplasm in pakistan assessed by RAPD markers. *Pak. J. Bot.*, 41(4): pp.1759-1767.

Zellagui, N. Gherraf, A. Elkhateeb, M. E. F. Hegazy, T. A. Mohamed, A.Touil, A. A. Shahat, S. Rhouati, *J.Chil. Chem. Soc.*, **2011**, 56(3), 759-763.

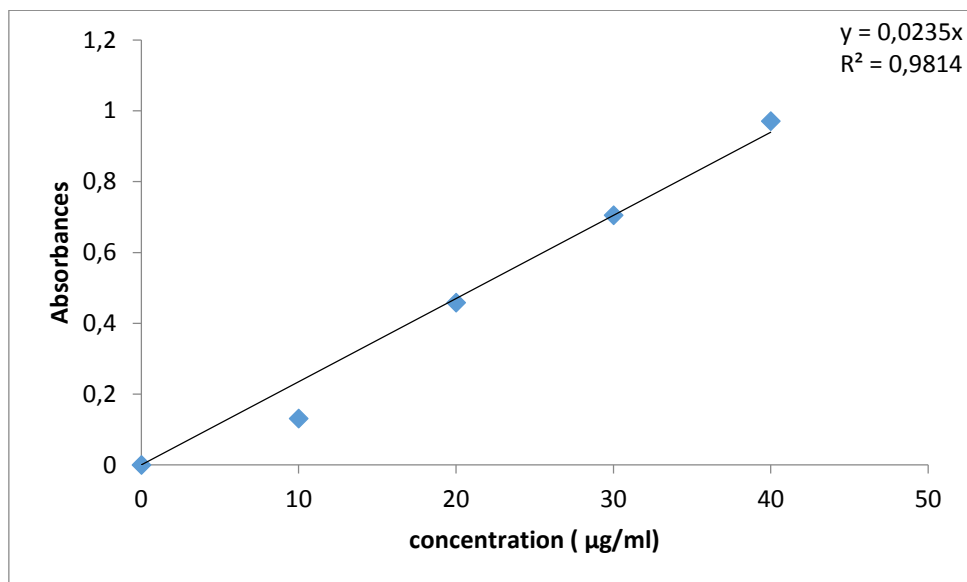


Figure n°1 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des phénols totaux.

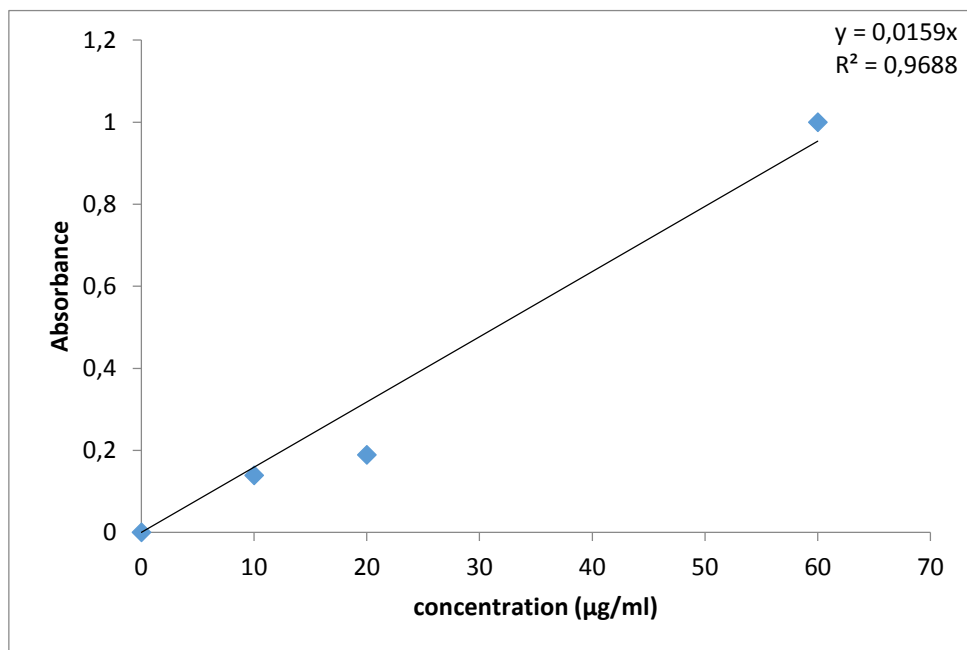


Figure n°2 : Courbe d'étalonnage de la quercitrine pour le dosage des flavonoïdes.

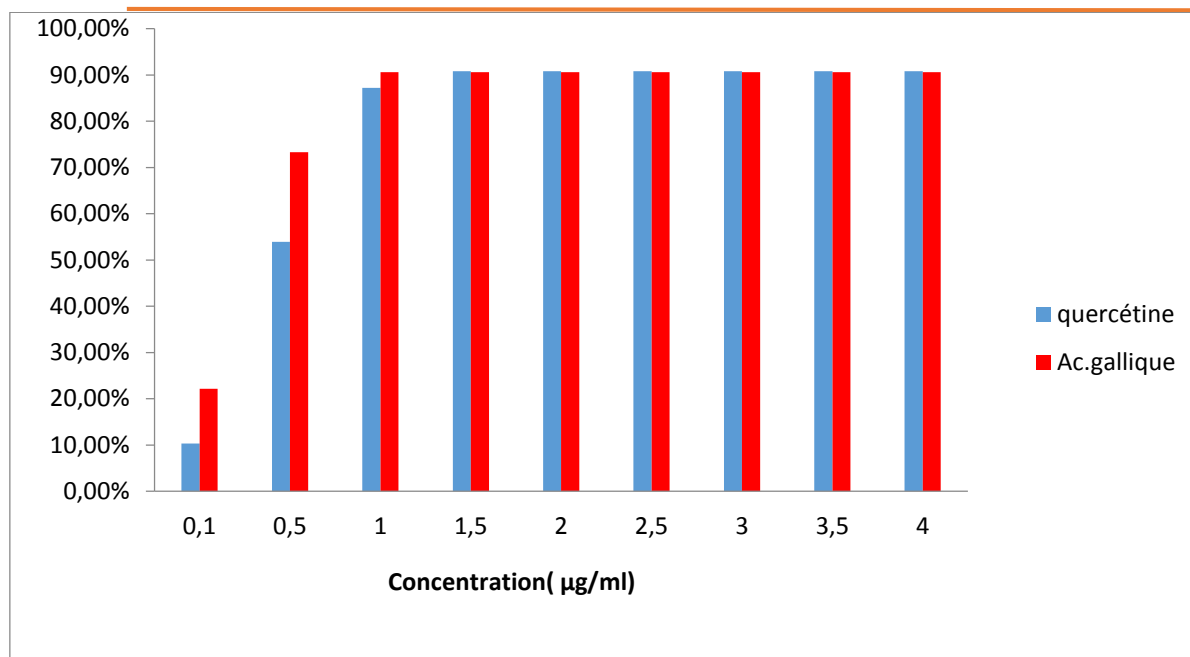


Figure n°3 : Activité scavenger du radicale DPPH des antioxydants standards.

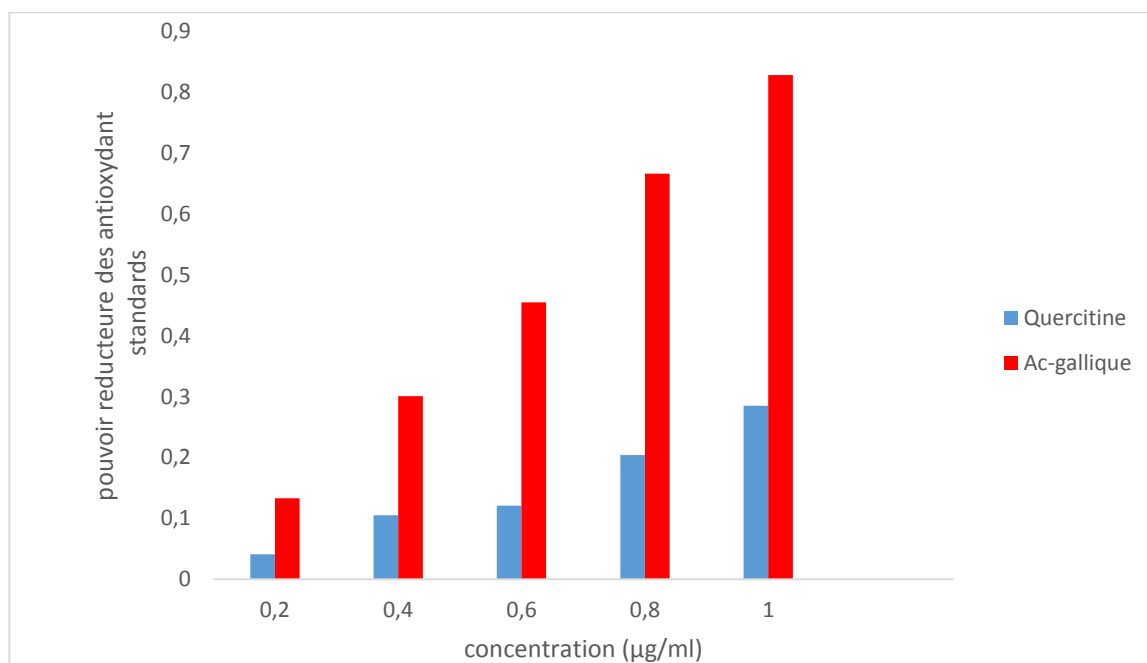


Figure n°4 : Pouvoir réducteur des antioxydants standards

Résumé

Foeniculum vulgare est une plante médicinale aromatique appartenant à la famille des apiacées cultivé dans chaque pays entourant la Méditerranée en raison de sa saveur. Connue pour ses multiples propriétés biologiques qui sont principalement due à sa richesse en métabolites secondaires comme les polyphénols et les huiles essentielles.

La partie aérienne a fait l'objet de ce présent travail pour extraire et estimer la teneur en composés phénoliques totaux et flavonoïdes des différentes fractions organiques et aqueuse ainsi que l'évaluation de l'activité antioxydant.

Le rendement d'extraction varie entre **0,61% à 2%**. Les résultats des dosages révèle une teneur en composés phénoliques totaux qui varie entre **0,47±0,27** et **8,58±6,06mgEAG/100g** et une teneur en flavonoïdes allant de **0,45±0,01** et **17,48±1,14 EQ/100g PS**, en notant que c'est la fraction hexanique qui présente les teneurs les plus élevées pour ces dosages.

L'évaluation de l'activité antioxydant indique que la fraction aqueuse présente un pourcentage d'inhibition des radicaux libres DPPH et ABTS plus important comparant aux autres fractions organiques. Pour le pouvoir réducteur, les résultats montrent que les fractions organiques présentaient une capacité similaire de réduction du fer ferreux.

Mots clés : *Foeniculum vulgare*, polyphénols, activité antioxydant, activité antiradicalaire, pouvoir réducteur.

Abstract:

Foeniculum vulgare is an aromatic herb belonging to the family Apiaceae grown in every country around the Mediterranean because of its flavor. Known for its multiple biological properties that are mainly due to its wealth of secondary metabolites such as polyphenols and essential oils.

The extraction yield varies between **0,61% to 2%**. Assay results reveal a content in phenolic compounds which varies between **0,47 ± 0,27** and **8,58 ± 6,06mgEAG / 100g** and a flavonoid content ranging de **0,45 ± 0,01** et **± 17,48 ± 1,14 EQ / 100 PS**, noting that it is the hexane fraction having the highest levels for these assays.

Evaluation of the antioxidant activity indicates that the aqueous fraction had a percentage of inhibition of DPPH free radicals and ABTS most important comparing to other organic fractions. For the reducing power, the results show that the organic fractions had similar capacity reduction of ferrous iron.

Keywords: *Foeniculum vulgare*, polyphenols, antioxidant activity, radical scavenging activity, reducing power