

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

Université ABDERRAHMANE MIRA de Bejaia
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie physico-chimique.

Mémoire de Fin de Cycle

En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Filière : Biologie

Option : Biochimie Appliquée

Thème

**Evaluation de l'activité antioxydant des huiles
essentielles de *Foeniculum vulgare***

Réalisé par :

M^{elle} MERAD Mouna

M^{elle} TERKI Kenza

Devant le Jury :

Président: Mr OUCHEMOUKH S.

Promotrice: Mme BENNAI Y.

Examinatrices: Melle ADRAR S.

Mme KADJI H.

M.C.A UAM Bejaia

M.A.B UAM Bejaia

M.A.B UAM Bejaia

M.A.A UAM Bejaia

Année universitaire : 2013/2014

Remerciement

Au terme de notre travail, nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères Au bon Dieu pour la patience et la santé qui nous ont été utiles tout au long de notre parcours.

Nous exprimons nos remerciements et notre profonde gratitude :

A notre promotrice M^{me} BENNAI, de nous avoir encadré ainsi que pour les conseils, les orientations et le temps qu'elle nous a consacré à la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements au président de jury M^r OUCHEMOUKH. S pour nous avoir consacré de son temps en nous faisant l'honneur d'accepter de présider le jury.

Nous remercions également les examinatrices, M^{lle} ADRARS. et M^{me} KADJI H. pour nous avoir fait l'honneur d'examiner ce travail.

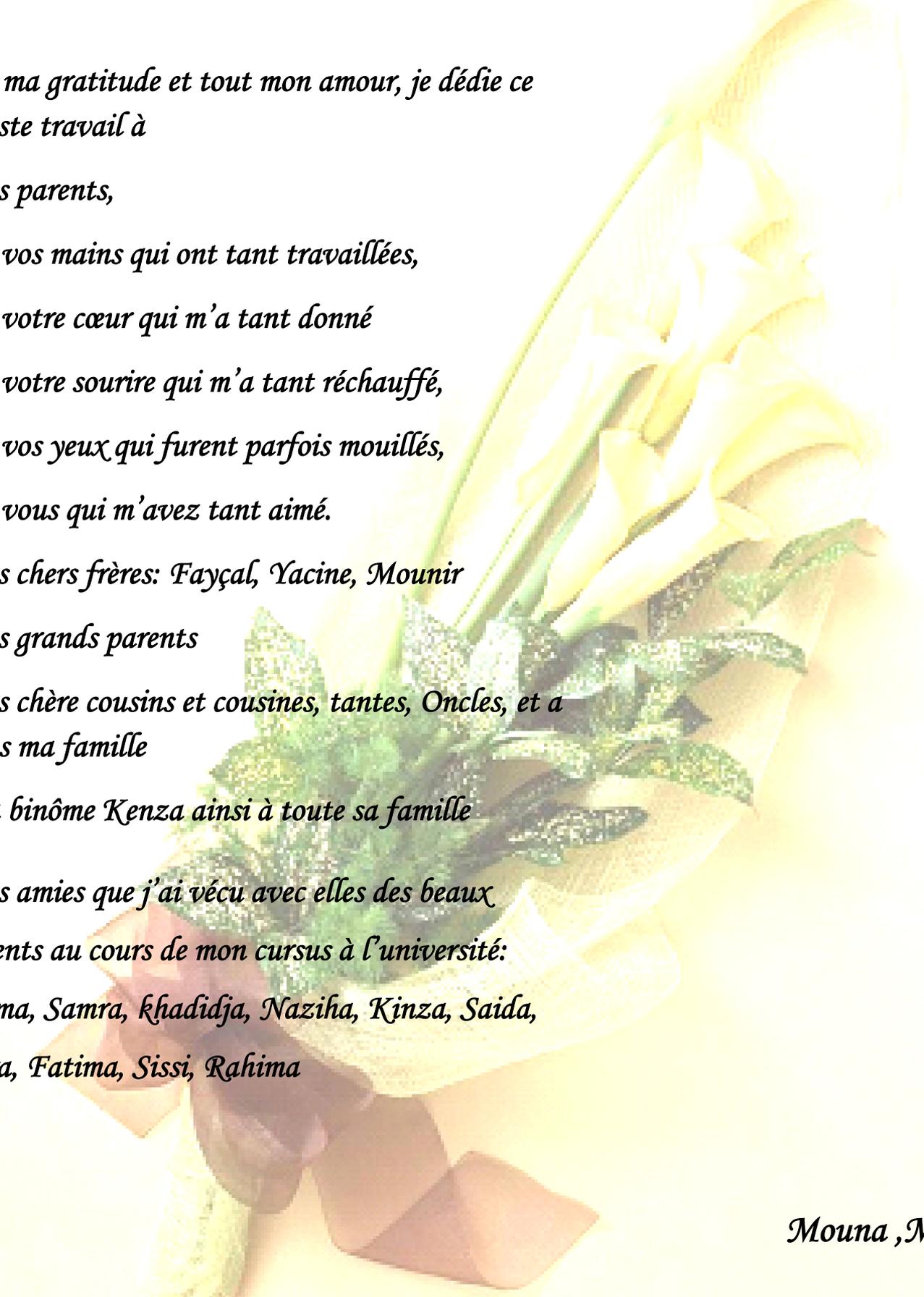
Nous tenons à remercier profondément Mr BOUADAM de nous avoir accueillis au sein de son labo, pour son aide et ces conseils.

On tient aussi à remercier tous le personnel du laboratoire en particulier M^{lle} BOUREBABA Linda pour sa patience et son aide.

Enfin, on remercie profondément nos chers parents pour leur soutien moral et matériel durant nos études ainsi que toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

*M^{elles} : MERAD Mouna
TERKI Kenza*

Dédicace



*Avec ma gratitude et tout mon amour, je dédie ce
modeste travail à*

A mes parents,

Pour vos mains qui ont tant travaillées,

Pour votre cœur qui m'a tant donné

Pour votre sourire qui m'a tant réchauffé,

Pour vos yeux qui furent parfois mouillés,

Pour vous qui m'avez tant aimé.

A mes chers frères: Fayçal, Yacine, Mounir

A mes grands parents

*A mes chère cousins et cousines, tantes, Oncles, et à
toutes ma famille*

A ma binôme Kenza ainsi à toute sa famille

*A mes amies que j'ai vécu avec elles des beaux
moments au cours de mon cursus à l'université:*

Narima, Samra, Khadidja, Naziha, Kinza, Saida,

Zahra, Fatima, Sissi, Rahima

Mouna ,M.

Dédicace

En guise de reconnaissance Je dédie ce modeste travail à :

-Ce qui j'ai tant aimé avec beaucoup d'affection et je suis très fière de l'avoir et tous les mots du monde ne peuvent exprimer l'amour et le respect que je lui porte : mon très cher papa « merci papa » ;

-A ma regretté mère qui m'a laissé un immense vide que dieu l'accueille dans son vaste paradis, même s'elle n'était plus là, son existence est éternelle dans mon cœur.

-Ma belle-mère, pour son encouragement et son soutien ;

-Mes chers frères (Mouloud et Soufiane) et mes chères sœurs (Hakima, Nabila, Sabrina et ma petite sœur Imane) ;

-Mes beaux frères (Kamel et Younes) et ma belle-sœur (Rahima) ;

-Mes grands-parents, Mes oncles (Papa Hamou, papa Madjid, Khali Bouzid, Khali Achour et Khali Salem), mes tantes, mes cousins et cousines ;

- Ma binôme Mouna ainsi à toute sa famille ;

-Tous mes amis (es) surtout Djaouida, Chafia, Sonia, Hassiba et Sylia , Nassima, Narima, Samra, Khado, zazou, zakia et ma chère amie Lynda ;

-Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin ;

-Toute la promotion Biochimie Appliquée 2013-2014.

Kenza T.

Liste d'abréviations

ABTS : Acide 2, 2' - Azinobis (3-éthylbenzo Thiazoline-6-Sulphonique).

AlCl₃ : Chlorure d'Aluminium

DPPH : 2,2-Diphényle -1- Picryl-Hydrazyle.

EAG : Equivalent d'acide Gallique.

EQ : Equivalent Quercétine.

ERO : Espèce Réactive de l'Oxygène

Fe²⁺ : Fer ferreux.

Fe³⁺ : Fer ferrique

FeCl₃ : Trichlorure Ferrique.

g : gramme

GPx : Glutathion peroxydase.

H : Hydrogène.

H₂O₂ : Peroxyde d'hydrogène.

HE : Huile essentielle

MF : Matière Fraiche.

Min: minute.

ml : millilitre

MS : Matière Sèche.

Na₂CO₃ : Carbonate de Sodium.

PF : Plante fraîche

PS : Plante sèche

RL : Radicaux Libres.

TAC : Acide trichloroacétique.

µm: micromètre.

Liste des figures

Figures	Titre	Page
Figure n°1	Les structures moléculaires des composants bioactifs principaux d'huile essentielle de <i>Foeniculum vulgare</i>	5
Figure n°2	Structure de base des flavonoïdes	14
Figure n°3	Biosynthèse des terpènes	18
Figure n°4	Photographies de la partie aérienne de <i>Foeniculum vulgare</i>	27
Figure n°5	Photographie du dispositif d'hydrodistillation	28
Figure n°6	Protocole d'extraction de l'huile essentielle	29
Figure n°7	Huiles essentielles de <i>Foeniculum vulgare</i>	30
Figure n°8	Protocole de dosage des composés phénoliques	31
Figure n°9	Protocole de dosage des Flavonoïdes	32
Figure n°10	Structure de DPPH et sa réduction par un antioxydant	33
Figure n°11	Protocole de l'évaluation de l'activité anti-radicalaire des extraits de <i>Foeniculum vulgare</i> par la méthode du DPPH	34
Figure n°12	Protocole de l'évaluation du pouvoir réducteur des extraits de <i>Foeniculum vulgare</i>	35
Figure n°13	Protocole de l'évaluation de l'ABTS de l'huile essentielle de <i>Foeniculum</i>	36
Figure n°14	Représentation graphique de la teneur en eau de la partie aérienne de <i>Foeniculum vulgare</i>	37
Figure n°15	Représentation graphique du taux de composés phénoliques de l'huile essentielle de <i>Foeniculum vulgare</i>	39
Figure n°16	Représentation graphique du taux de flavonoïdes de l'huile essentielle de <i>Foeniculum vulgare</i>	40

Figure n°17	activité scavenger du radical DPPH des antioxydants standards	41
Figure n°18	Activité scavenging du radical DPPH de l'huile essentielle de <i>Foeniculum vulgare</i>	42
Figure n°19	pouvoir réducteur des antioxydants de synthèse	43
Figure n°20	pouvoir réducteur de l'huile essentielle de <i>Foeniculum vulgare</i>	43
Figure n°21	L'effet scavenger contre le radical ABTS de l'huiles essentielle et de trolox	44

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau I	Classification taxonomique de <i>Foeniculum vulgare</i>	3
Tableau II	Principales caractéristiques des différentes parties du <i>Foeniculum vulgare</i>	4
Tableau III	Rendements obtenus dans différents pays	38
Tableau IV	Teneurs en huile essentielle en fonction des périodes de cueillette	38

Sommaire

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

Synthèse Bibliographique

*Chapitre I: Généralités sur *Foeniculum vulgare**

I.Aspect botanique de <i>Foeniculum vulgare</i>	2
I.1. Présentation de la famille des Apiacées (ombellifères).....	2
I.2. Présentation de l'espèce <i>Foeniculum vulgare</i>	2
I.2.1. Description de la plante.....	2
I.2.2. Systématique de <i>Foeniculum vulgare</i>	3
I.2.3. Distribution	3
I.2.4. Caractéristiques des différentes parties de <i>Foeniculum vulgare</i>	3
II. Phytochimie de <i>Foeniculum vulgare</i>	4
II.1. Les polyphénols	5
II.2. Les huiles essentielles	5
II.2.1. Localisation.....	5
II.2.2. Composition.....	5
III. Intérêt pharmacologique de <i>Foeniculum vulgare</i>	6
III.1. Médecine traditionnelle.....	6
III.2. Médecine moderne	7
III.2.1. Activité antibactérienne	7
III.2.2. Activité antifongique	7
III.2.3. Activité anti-inflammatoire.....	7
III.2.4. Activité oestrogénique.....	8
III.2.5. Activité de Hepatoprotective	8
III.2.6. Activité antidiabétique	8
III.2.7. Activité antioxydant.....	8
IV-Toxicité	9

Chapitre II: oxydants et antioxydants

I- Les radicaux libres	10
I-1- définition.....	10
I.2. Production	10
I.3. Stress oxydant.....	10
II. Les antioxydants	11
II.1. Le système endogène.....	11
II.2. Le système exogène.....	12
II.2.1. Composés phénoliques.....	12
II.2.1.1. Définition.....	12
II.2.1.2. Classification.....	12
II.2.1.3. Biosynthèse	13
II.2.1.4. Propriétés des polyphénols	13
II.2.1.4. Les flavonoïdes	13
Définition et historique	13
Classification	14
Structure des flavonoïdes.....	14
II.2.2. Les huiles essentielles	14
II.2.2.1. Historique.....	14
II.2.2.2. Définition	15
II.2.2.3. Biosynthèse et composition chimique	16
II.2.2.3.1. Composés terpéniques	17
Les monoterpènes	17
Les sesquiterpènes	17
II.2.2.3.2. Les composés aromatiques dérivés du phénylpropane	19
II.2.2.3.3. Les composés d'origines diverses.....	19
II.2.2.4. Caractéristiques et propriétés physiques	19
II.2.2.5. Extraction des huiles essentielles.....	20
II.2.2.5.1. Entraînement à la vapeur d'eau.....	21
II.2.2.5.2. L'expression à froid du péricarpe frais de certains citrus	21
II.2.2.5.3. Autres procédés.....	22
II.2.2.6. Paramètres influençant la composition chimique des huiles essentielle	22

II.2.2.6.1. Influence du chimiotype	22
II.2.2.6.2. Influence du cycle végétatif	23
II.2.2.6.3. Influence des facteurs environnementaux.....	23
II.2.2.7. Activités biologiques des huiles essentielles	23
II.2.2.7.1. Activité Insecticide	24
II.2.2.7.2. Activité antiseptique	24
II.2.2.7.3. Activité eupeptique	24
II.2.2.7.4. Activité antispasmodique.....	24
II.2.2.7.5. Activité irritante	24
II.2.2.7.6. Activité neurologique.....	25
II.2.2.7.7. Activité antibactérienne	25
II.2.2.7.8. Activité antioxydante	25
II.2.3. Toxicité des huiles essentielles	26

Partie expérimentale

Materiel et Méthodes

Matériel et méthodes	27
I. Préparation du matériel végétal.....	27
I.1. Récolte et identification de la plante	27
I.2. Séchage.....	27
II. Méthodes.....	27
II.1. Test d'humidité	27
II.2. Extraction de l'huile essentielle	28
II.2. Dosage des composés phénoliques totaux	30
II.3. Dosage des flavonoïdes.....	32
II.3. Evaluation de l'activité antioxydant	33
II.3.1. Evaluation de l'activité anti-radicalaire par la méthode du DPPH	33
II.3.2. Détermination du pouvoir réducteur	35
II.3.3. Activité scavenger du radical ABTS•+	36

Résultats et discussion

I. Détermination du taux d'humidité	37
II. Rendement d'extraction en huile essentielle.....	37

III. Teneurs des composés phénoliques totaux et flavonoïdes	39
Composés phénoliques totaux	39
Flavonoïdes.....	40
IV-Activités antioxydants.....	41
IV-1-Activité scavenger du radical DPPH*	41
IV-pouvoir réducteur	43
V- Activité scavenger du radical ABTS ^{•+}	44
Conclusion et perspectives	46
Références bibliographiques	47
Glossaire	
Annexes	

L'histoire des plantes aromatiques et médicinales est associée à l'évolution des civilisations. Dans toutes les régions du monde, l'histoire des peuples montre que ces plantes ont toujours occupé une place importante en médecine, dans la composition des parfums et dans les préparations culinaires. La valorisation de ces ressources naturelles végétales passe essentiellement par l'extraction de leurs huiles essentielles (HE) (**Amarti et al., 2011**). Ces dernières sont des mélanges complexes utilisés en phytothérapie comme en aromathérapie (**Arnal-Schnebelen et al., 2008**).

Produits comme métabolites secondaires par les plantes, ils interviennent dans plusieurs domaines comme l'industrie alimentaire comme conservateur, cosmétique, pharmaceutique et comme agents antimicrobiens en médecine (**Oussou et al., 2010**).

Malgré les progrès réalisés dans la synthèse de nouveaux médicaments au 20^{ème} siècle, plus de 25% des médicaments prescrits dans les pays industrialisés sont dérivés directement ou indirectement de plantes (**Karou et al., 2005**).

Depuis quelques années, le monde des sciences biologiques et médicales est envahi par un nouveau concept, celui du « stress oxydant », causé par la présence en excès de radicaux libres oxygénés, impliqués dans de nombreuses maladies (**Favier, 2006**). De ce fait, de nombreuses études s'intéressent de plus en plus aux effets thérapeutiques des antioxydants d'origine naturelle (**El-Haci et al., 2012**).

Le fenouil (*Foeniculum vulgare* Mill.1691), appartenant à la famille des Apiacées, est une espèce de plantes aromatiques. De nombreuses études phytochimiques ont été menées jusqu'à présent pour étudier la composition chimique de l'huile essentielle de fenouil de différentes origines (**Telci et al., 2009**).

L'objectif du présent travail consiste à :

- Effectuer le dosage des composés phénoliques totaux et des flavonoïdes à partir des huiles essentielles ;
- L'évaluation de l'activité antioxydant par pouvoir réducteur, piégeage du radical DPPH, et inhibition du radical ABTS^{·+}.

I. Aspect botanique de *Foeniculum vulgare*

I.1. Présentation de la famille des Apiacées (ombellifères)

Apiacés ou généralement connus en tant que la famille du persil ou de carotte, comporte environ 434 genres et 3 700 espèces. La plupart des espèces sont les herbes tempérées et aromatiques (Lim, 2013).

Les espèces d'ombellifères sont généralement distinguées par la présence de tiges creuses et de pétioles de mise en gaine. Les feuilles sont presque toujours alternes et pennées ou palmées ou plus d'une fois composées; stipules sont généralement absents. Les fleurs sont généralement petites, la plupart du temps bisexuelles.

C'est l'une des familles les plus nombreuses au sein des cultures végétales. Cette famille est riche en métabolites secondaires et incarne de nombreux genres de valeur économique et médicinale élevée (huiles essentielles y compris).

La grande famille des ombellifères est riche en huiles essentielles. Par conséquent, cette famille a été choisie pour donner un aperçu sur le contenu et constituants des huiles. Les huiles essentielles peuvent être trouvées dans plus de trente familles botaniques, inclus ombellifères (Olle et Bender, 2010).

I.2. Présentation de l'espèce *Foeniculum vulgare*

I.2.1. Description de la plante

Le fenouil (*Foeniculum vulgare*) plante appartenant à la famille des apiacées, avec une grande histoire d'utilisation (Abou El-Soud *et al.*, 2011). Le nom *Foeniculum* est du mot latin qui signifie le foin parfumé. Le fenouil était dans la grande demande pendant le moyen âge (Muckensturm *et al.*, 1997), connu et employé par les humains depuis l'antiquité, il est cultivé dans chaque pays entourant la mer méditerranée en raison de son arôme (Oktay *et al.*, 2003) comme herbe aromatique et également dans la médecine folklorique, en raison des propriétés pharmacologiques de son huile essentielle (Križmana *et al.*, 2007).

I.2.2. Systématique de *Foeniculum vulgare*Tableau I : Classification taxonomique de *Foeniculum vulgare* (Abou El-Soud *et al.*, 2011).

Rang taxonomique	Nomenclature
Règne	Plantae
Ordre	Apiales
Famille	Apiaceae (Umbelliferae)
Genre	<i>Foeniculum</i>
Espèces	<i>Foeniculum vulgare</i>
Nom binomial	<i>Foeniculum vulgare</i> Miller

Botaniquement, le vulgare est l'espèce unique du genre *Foeniculum vulgare* Miller. Cette espèce est divisée en deux sous-espèces : sous-espèce *piperitum* et sous-espèce *vulgare*. Ce dernier inclut trois variétés : var. *vulgare* (Mill.), var. *dulce* (Mill.) et var. *azoricum* (Mill.). La sous-espèce *piperitum* est une plante vivace non cultivée, avec des feuilles lobées courtes et rigides et des ombelles étroites qui produisent de petits fruits. Cette sous-espèce est exempte du parfum d'anis (Muckensturm *et al.*, 1997 ; Napoli *et al.*, 2010).

I.2.3. Distribution

Initialement originaire des terrains en friche et des coteaux calcaires du pourtour méditerranéen (Wichtl & Anton, 2003). Il a été cultivé et présenté dans beaucoup de régions à l'extérieur de cette zone; commercialement dans certains d'entre eux (Zoubiri *et al.*, 2010), son aire de répartition s'étend aujourd'hui dans presque toute l'Europe (sauf au nord), en Afrique du Nord, en Asie Mineure, dans les régions du Caucase, en Iran et en Asie Centrale. La plante est naturalisée notamment en Amérique du Nord, à l'est de l'Asie, en Malaisie, en Indonésie, en Nouvelle Zélande en Afrique du Sud (Teuscher *et al.*, 2005) et elle est cultivée dans toutes les régions tempérées du globe (Botrel, 2007).

I.2.4. Caractéristiques des différentes parties de *Foeniculum vulgare*

Foeniculum vulgare, généralement connu sous le nom de fenouil, est un petit genre des herbes annuelles, bisannuelles ou éternelles (Gulfraz *et al.*, 2008).

Le tableau II résume les caractéristiques propres à chaque organe de la plante.

Tableau II : Principales caractéristiques des différentes parties du *Foeniculum vulgare*

Organe	Caractéristiques	Références
La tige	Robuste et lisse, pouvant atteindre 2 m de haut cylindrique et rameuse porte des feuilles alternes pétiolées à la base.	(Wichtl & Anton, 2003) (Teuscher <i>et al.</i> , 2005).
Les feuilles	Les feuilles supérieures sont sessiles, découpées en lanières filiformes et très allongées, d'où un aspect aérien et plumeux.	(Teuscher <i>et al.</i> , 2005).
Les fleurs	Sont régulières, radiales, à 5 sépales formant un bourrelet, 5 pétales jaune verdâtre tronquées et roulées vers l'intérieur, 5 étamines, 2 styles courts, un ovaire infère et divisé en 2 loges.	(Teuscher <i>et al.</i> , 2005).
Le fruit	Le fruit est une graine sèche de 4-10 mm. Le fruit vert Jaunâtre, est parqué de cinq cotes.	(Rather <i>et al.</i> , 2012). (Debuigne & Couplan., 2009).

II. Phytochimie de *Foeniculum vulgare*

La plante renferme une essence aromatique riche en anéthol, en méthyl-chavicol ou estragole et en fenchone. Elle contient aussi des flavonoïdes, des stérols et des furano-coumarines, en particulier de l'impératorine et du bergaptène (Debuigne & Couplan, 2009).

Les trois variétés de la sous-espèce de *Foeniculum vulgare* ont révélés la présence de 18 monoterpénoïdes importants (Lim, 2013).

Les fruits de *Foeniculum vulgare* contient de l'huile essentielle composée principalement de trans-anethole, fenchone et estragole. Il contient également des composés phénoliques dont les flavonoïdes (flavonoïdes glycosides et aglycones flavonoïdes), des acides phénoliques, acides hydroxycinnamiques, des coumarines et des tanins (Rahimi & Ardekani, 2013).

II.1. Les polyphénols

Les polyphénols constituent une famille de molécules largement présentes dans le règne végétal, ils sont le produit du métabolisme secondaire (N'Guessan *et al.*, 2011).

Quarante-deux substances phénoliques ont été identifiées à partir de matières végétales de fenouil, dont 27 n'avaient pas déjà été signalées dans le fenouil, y compris dérivés de l'acide hydroxycinnamique, flavonoïdes glycosides, et flavonoïdes aglycones (Lim, 2013).

II.2. Les huiles essentielles

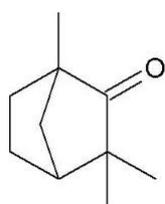
II.2.1. Localisation

Les composés volatils des plantes sont variables, apparaissant pratiquement dans n'importe laquelle de ses pièces à savoir fleurs, feuilles, racines et tige (Senatore *et al.*, 2013), mais les huiles essentielles sont principalement concentrées dans les méricarpes (fruits) (Choi & Hwang, 2004).

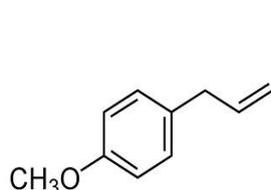
II.2.2. Composition

La composition de *Foeniculum vulgare* en huile essentielle montre une chimio-diversité considérable selon la méthode d'extraction et d'origine géographique, le contenu d'huile essentielle diminue avec la maturité de fruit (Rather *et al.*, 2012).

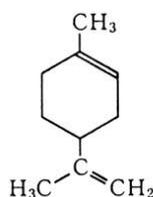
Les huiles essentielles se composent de plusieurs monoterpènes et des phénylpropanoïdes, où le trans-anéthole, l'estragole, le fenchone et le limonène existent en tant que constituants principaux (Choi & Hwang, 2004 ; Senatore *et al.*, 2013). Le trans-anéthole, souvent le constituant le plus répandu, confère au fenouil le goût de l'anis, le fenchone fournit l'amertume, et l'estragole (methylchavicol) la douceur (Choi & Hwang, 2004).



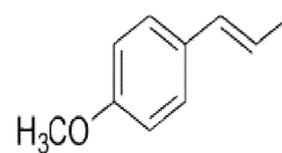
Fenchone



l'estragole



limonène



Trans-anéthol

Figure n° 1: Les structures moléculaires des composants bioactifs principaux d'huile essentielle du *Foeniculum vulgare* (Rather *et al.*, 2012 ; Couic-marinié & Lobstein, 2013).

Ces composants ont des applications importantes, à savoir, le fenchone est employé comme révulsif, le limonène est employé comme solvant de résines et d'agent de dispersion, le trans-anethole est employé comme aromatisant en parfumerie, en cosmétiques dans le savon et aide pharmaceutique (saveur), le méthyl-chavicol ou l'estragole est employé en parfumerie et comme saveur en nourriture et boissons alcoolisées, le α -pinène utilisé dans la fabrication du camphre, insecticides, solvants et bases de parfum (Stefanini *et al.*, 2006).

La teneur en huile essentielle des feuilles est comprise entre 0,7 et 1 %. Sa composition qualitative est proche de celle issue des fruits, mais les feuilles basales possèdent en plus du trans-anéthole, des concentrations élevées en monoterpène : jusqu'à 37% d' α -pinène, jusqu'à 42% d' α -phellandrène chez *Foeniculum vulgare* (Teuscher *et al.*, 2005).

III. Intérêt pharmacologique de *Foeniculum vulgare*

III.1. Médecine traditionnelle

Le fenouil est employé dans la médecine traditionnelle comme épice pour aromatiser des pains, poissons, liqueurs, salades et fromages (Senatore *et al.*, 2013). Typiquement, le fenouil et ses préparations sont employés pour traiter divers désordres, agissant en tant que carminatif, digestif, lactogogé et agent diurétique (Križman *et al.*, 2007).

Le fenouil est employé dans les remèdes d'herbes, pour soulager les troubles de voies respiratoires, l'indigestion et également employé pour augmenter le flux de lait des mères qui allaitent (Mahmoudi *et al.*, 2012).

L'infusion de feuilles est efficace contre les irritations de la gorge et constitue un expectorant léger. Le fenouil est sans danger pour les enfants et, en sirop, il peut être prescrit en cas de coliques ou de rages de dents du nourrisson (Botrel, 2007).

La racine est réputée comme diurétique. Elle lutte contre les rétentions d'eau de l'organisme, quelque soient leur origine et leur localisation : enflure des chevilles, des pieds et des jambes, de plus, la racine stimule l'appétit (Debuigne & Couplan, 2009) et est admise comme dépuratif, c'est-à-dire qu'elle est censée faciliter l'élimination urinaire et intestinale des déchets de l'organisme (Arnal-schnebelen *et al.*, 2008).

Le fruit du fenouil est traditionnellement utilisé pour stimuler la digestion, traiter les symptômes des troubles digestifs (flatulences, ballonnement épigastriques, éructations) et soulager la douleur qui les accompagne (Arnal-schnebelen *et al.*, 2008).

Le fenouil est fortement recommandé pour le diabète, la bronchite, des toux chroniques et pour le traitement des calculs rénaux (**Barros et al., 2009**).

III.2. Médecine moderne

Foeniculum vulgare est une plante médicinale bien connue avec différentes propriétés pharmacologiques, y compris antioxydant, cytotoxique, anti-tumoral, anti-inflammatoire, antifongique, antibactérien, oestrogénique et hépatoprotective (**Rahimi & Ardekani, 2013**).

III.2.1. Activité antibactérienne

L'huile essentielle du fenouil a montré des propriétés antibactérienne et antivirale (**Singh & Kale, 2008**). L'huile extraite à partir des fruits du *Foeniculum vulgare* a montré un effet antibactérien contre les agents pathogènes portés par les aliments comme *Escherichia coli*, *Bacilles megaterium* et *Staphylococcus aureus* (**Mohsenzadeh, 2007**) in (**Rather et al., 2012**).

III.2.2. Activité antifongique

L'huile essentielle de fenouil a montré un effet antifongique. Les divers extraits de l'écorce ont également rapporté pour posséder l'activité antifongique contre des *candida albicans*. également cet l'huile réduit la croissance et la germination mycélienne du sclerotiorum de sclérotinie (**Rather et al., 2012**).

III.2.3. Activité anti-inflammatoire

Le fenouil a été utilisé en médecine traditionnelle iranienne pour traiter des maladies inflammatoires et a été démontré qu'il possède des effets anti-inflammatoires (**Lim, 2013**).

III.2.4. Activité oestrogénique

Le *Foeniculum vulgare* a été employé comme agent oestrogénique pendant des siècles en augmentant la sécrétion du lait, favorisant les règles, facilitant la naissance et augmentant l'appétit. Le constituant principal l'huile essentielle du fenouil : l'anethole a été considérée comme agent oestrogénique actif. Quelques autres études ont suggéré que le réel agent

pharmacologiquement actifs sont des polymères d'anethole, comme le dianethole et le photoanethole (Albert-puleo, 1980) in (Rather *et al.*, 2012).

III.2.5. Activité de Hepatoprotective

L'huile essentielle du fenouil possède une activité hepatoprotective, prouvée dans une étude de l'hepatotoxicité empêchée par l'huile essentielle de fenouil avec preuves des niveaux diminués d'aspartate aminotransférase, alanine amino-transferase (Alt), phosphatase alcaline et bilirubine (Ozbek *et al.*, 2003) in (Rather *et al.*, 2012).

L'étude histopathologique a également suggéré que l'huile essentielle de fenouil a empêché le développement des lésions hépatiques chroniques (Lim, 2013).

III.2.6. Activité antidiabétique

L'huile essentielle de *Foeniculum vulgare* montre une activité hypoglycémiant. L'administration d'huile essentielle aux rats diabétiques a corrigé l'hyperglycémie, ceci fait la possibilité de son inclusion dans l'industrie du médicament antidiabétique (El-Soud *et al.*, 2011) in (Rather *et al.*, 2012).

III.2.7. Activité antioxydant

L'extrait des graines de fenouil a été montré pour avoir des activités antioxydants (Mahmoudi *et al.*, 2012).

L'activité antioxydante des fenouils sauvages ; comestibles et médicinaux a été déterminée à partir de différents pays méditerranéens (Faudale *et al.*, 2008) in (Rather *et al.*, 2012). L'extrait méthanolique du fruit a été également rapporté pour avoir montré une activité antioxydant par la diminution de niveau du malondialdéhyde dans le groupe d'extrait de méthanol de comparé au groupe témoin (Ruberto *et al.*, 2000) in (Rather *et al.*, 2012).

L'action inhibitrice d'huile et les extraits acétoniques dans le système d'acide linoléique ont été étudiés en surveillant l'accumulation de peroxyde dans l'émulsion pendant l'incubation par la méthode du thiocyanate ferrique (Marino *et al.*, 2007) in (Rather *et al.*, 2012).

Dans une étude portant sur les propriétés antioxydants de différentes parties de *Foeniculum vulgare*, les pousses avaient la plus haute radical-scavenger et l'inhibition de l'activité de peroxydation lipidique (Rahimi & Ardekani, 2013).

D'autres études ont démontrés que le fenouil possédait des activités antitumorale, acaricide, cytoprotectrice *in vitro* et activité anticancéreuse (**Rather et al., 2012**).

IV-Toxicité

Aucune toxicité grave et/ou les effets indésirables ont été enregistrés après l'ingestion de fenouil sauf quelques cas de réactions allergiques. Il y a quelques rapports sur les réactions allergiques telles que l'asthme et la rhinite après l'ingestion de fruit. Il a été rapporté que l'estragole, constituant important, est un agent cancérigène chez l'animal. Mais il faut considérer que le métabolisme de ce composé entre humaine et animal est différent et aussi que les effets secondaires entre forme isolée d'un agent et lorsque cet agent appliqué en tant que constituant naturel dans la production des mélanges multi-composants sont significativement différents (**Rahimi & Ardekani, 2013**).

I- Les radicaux libres

I-1- définition

La découverte d'espèces chimiques radicalaires présentes normalement dans l'organisme a bouleversé notre compréhension des mécanismes biologiques (**Favier, 2003**).

En effet, les radicaux libres sont des molécules ou atomes qui possèdent un ou plusieurs électrons non appariés sur leur couche externe. Cet état leur confère une instabilité énergétique et cinétique. En jouant le rôle d'accepteur ou donneur d'électrons, les radicaux libres ont donc la propriété d'être extrêmement réactifs vis-à-vis des autres molécules, possédant un temps de demi-vie extrêmement court (de la nano- à la milliseconde) (**Koehler-Ramonatxo, 2006**).

D'après **Goudable et Favier (1997)**, la réactivité chimique des radicaux libres de l'oxygène est variable selon la molécule considérée, mais ce sont pour la plupart de puissants oxydants.

I.2. Production

Ces radicaux libres sont produits par divers mécanismes physiologiques car ils sont utiles pour l'organisme à dose raisonnable ; mais la production peut devenir excessive ou résulter de phénomènes toxiques exogènes et l'organisme va devoir se protéger de ces excès par différents systèmes antioxydants (**Favier, 2003**).

Dans les circonstances quotidiennes normales, des radicaux libres sont produits en permanence en faible quantité comme les médiateurs tissulaires ou les résidus des réactions énergétiques ou de défense, et cette production physiologique est parfaitement maîtrisée par des systèmes de défense, d'ailleurs adaptatifs par rapport au niveau de radicaux présents (**Favier, 2003**).

I.3. Stress oxydant

Selon **Pincemail (1999)**, le stress oxydatif se définit comme étant un déséquilibre profond de la balance entre prooxydants et antioxydants en faveur des premiers, ce qui conduit à des dégâts cellulaires irréversible.

Le stress oxydant sera la principale cause initiale de plusieurs maladies comme le cancer, syndrome de détresse respiratoire aigüe, œdème pulmonaire, vieillissement accéléré...etc.

La plupart des maladies induites par le stress oxydant apparaissent avec l'âge, car le vieillissement diminue les défenses antioxydantes et augmente la production mitochondriale des radicaux (**Favier, 2003**).

Le stress oxydant est également impliqué dans des affections aussi diverses que l'arthrite, la maladie de Parkinson et la maladie d'Alzheimer. Enfin, le stress oxydant est également un mécanisme majeur dans le vieillissement physiologique, selon la théorie radicalaire (**Koechlin-Ramonatxo, 2006**).

II. Les antioxydants

Les antioxydants représentent un système de protection cellulaire face à la réactivité des espèces oxygénées (**Koechlin-Ramonatxo, 2006**). Ce sont des composés de nature exogène ou endogène l'un ou l'autre empêche la formation d'oxydants toxiques, intercepter tout ce qui sont générés et les inactiver, et ainsi bloquer la réaction de propagation de chaîne produite par ces oxydants (**kumar et al., 2010**).

II.1. Le système endogène

Il est constitué d'enzymes ou d'agents réducteurs (superoxyde dismutase, catalase, glutathion peroxydase, complexe enzymatique de la thiorédoxine) dont l'action est de neutraliser les EOR par leur transformation en molécules stables et non réactives (**Tessier & Marconnet, 1994**).

Exemple : Glutathion peroxydase et réductase

Le rôle de la glutathion peroxydase (GPx) est de réduire d'une part le peroxyde d'hydrogène en molécule d'eau, et d'autre part les hydroperoxydes organiques (ROOH) en alcools. Lors de cette réaction, qui demande l'intervention de deux molécules de glutathion (GSH), celles-ci se transforment en glutathion-disulfure (GSSG).

La glutathion réductase (GR), quant à elle, a pour rôle de régénérer le GSH à partir du GSSG. Au cours de cette réaction, la glutathion réductase utilise un cofacteur, le NADPH réduit en NADP⁺ qui sera régénéré par la glucose-6-phosphate-déhydrogénase (G6PD) pour une utilisation ultérieure (**Soares, 2005**).

II.2. Le système exogène

L'organisme possède une seconde ligne de défense « les piègeurs de radicaux libres » qui sont des composés pour la plupart apportés par l'alimentation et dont le rôle essentiel est de neutraliser les effets toxiques des EOR, limitant ainsi toute atteinte de l'intégrité cellulaire (**Koehler-Ramonatxo, 2006**). Les antioxydants exogènes sont représentés par l'acide ascorbique (vitamine C), tocophérol (vitamine E), glutathion (GSH), caroténoïdes, flavonoïdes et d'autres antioxydants (**Valko, 2007**).

Exemple :

La vitamine C, hydrosoluble, est le cofacteur de plusieurs enzymes et joue le rôle d'agent réducteur. Cette vitamine est capable de réagir directement avec les radicaux superoxydes, hydroxyles et l'oxygène singulet. Paradoxalement, elle peut jouer le rôle d'antioxydant, comme celui de pro-oxydant (**Tessier & Marconnet, 1994**).

II.2.1. Composés phénoliques

II.2.1.1. Définition

Les polyphénols sont des molécules synthétisées par les végétaux. Ils appartiennent à leur métabolisme secondaire et participent à leur défense contre les agressions environnementales (**Edeas, 2007**). Les composés phénoliques sont présents dans toutes les parties des végétaux supérieurs (racines, tiges, feuilles, fleurs, pollens, fruits, graines et bois). Les plus représentés sont les anthocyanes, les flavonoïdes et les tannins (**Boizote & Charpentier, 2006**).

II.2.1.2. Classification

L'appellation « polyphénols » ou « composés phénoliques » regroupe un vaste ensemble de plus de 8 000 molécules, divisées en une dizaine de classes chimiques, qui présentent toutes un point commun : au moins un cycle aromatique à 6 carbones dans leur structure, lui-même porteur d'un nombre variable de fonctions hydroxyles (OH).

Les représentants les plus nombreux (plus de 5 000 molécules isolées) et les plus connus sont les « flavonoïdes ». Néanmoins, de nombreuses autres structures existent, tels que les acides phénols (dérivés de l'acide cinnamique, par exemple), tanins hydrolysables, coumarines, lignanes, quinones et autres phloroglucinols (**Hennebelle et al., 2006**).

II.2.1.3. Biosynthèse

Les grandes lignes des voies de biosynthèse des principaux composés phénoliques sont maintenant bien connues (**Sarni-Manchado & Cheynier, 2006**). La voie la plus courante est celle de shikimate (l'acide shikimique), conduit des oses aux acides aminés aromatiques (phénylalanine et tyrosine) puis, par désamination de ces derniers, aux acides cinnamiques et à leurs très nombreux dérivés : acides benzoïques, acétophénonés, lignanes et lignines, coumarines. L'autre voie est celle de l'acétate qui conduit à des poly- β -cetoesters de longueur variable –les polyacétates (**Bruneton, 2009**).

II.2.1.4. Propriétés des polyphénols

Les éventuels bénéfices que pourraient apporter les polyphénols à la santé humaine, ces derniers intéressent particulièrement deux domaines : la phytothérapie – puisque l'explication de l'efficacité supposée de nombreuses plantes médicinales repose en tout ou en partie sur la présence de composés phénoliques dans ces plantes.

De plus en plus d'études indiquant que les polyphénols pourraient diminuer le risque de survenue d'un certain nombre de pathologies, en particulier celles liées au vieillissement et aux lésions oxydatives (cancers, maladies cardiovasculaires ou neurodégénératives) (**Hennebelle, 2004**).

Les polyphénols possèdent des propriétés antioxydantes et sont capables de piéger les radicaux libres générés en permanence par notre organisme ou formes en réponse à des agressions de notre environnement. Les polyphénols sont les antioxydants les plus abondants dans nos régimes alimentaires (**Edeas, 2007**).

- **Les flavonoïdes**

- a) **Définition et historique**

Le nom flavonoïde vient du mot latin (flavus) qui veut dire jaune. En 1938 l'intérêt nutritionnel pour les flavonoïdes date de la découverte de la vitamine C par Szent Goryi. (**Kebeiche, 2009**).

Actuellement, les flavonoïdes sont connus par de remarquables activités pharmacologiques comme entre autres des effets antiviraux, antimicrobiens et anticancéreux (**Narayana et al., 2001 ; Seyoum et al., 2006**), anti-allergiques, anti-inflammatoires, anti-thrombotiques, anti-tumoraux et hépatoprotecteurs (**Middleton et al., 2009**).

Les flavonoïdes sont des pigments universels des végétaux, responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles. Les flavonoïdes assurent la protection des tissus végétaux contre les effets nocifs du rayonnement ultraviolet (**Winkel-Shirley, 2001**).

On les trouve d'une manière générale dans toutes les plantes vasculaires, ou ils peuvent être localisés dans différents organes : Racines, tiges, bois, feuilles, fleurs et fruits (**Ghedira, 2005 ; Nijveldt et al., 2001**).

b) Classification

Les flavonoïdes constituent des composés ayant un faible poids moléculaires qui se subdivisent en différentes classes structurales (**Chen & Ping Dou, 2008**). Selon **Scalbert et al., (2005)**, les principales classes des flavonoïdes sont : flavonols, flavones, flavanones, isoflavones, dihydroflavonols, anthocyanidines et flavanols.

c) Structure des flavonoïdes

D'après **Chira et al., (2008)**, une molécule de flavonoïde est constituée de deux noyaux aromatiques A et B relié par un pont de trois carbones. Ces composés phénoliques comprennent 15 atomes de carbones formant une structure C₆-C₃-C₆.

La figure 02 présente la formule développée générale des flavonoïdes selon (**Marfak, 2003**).

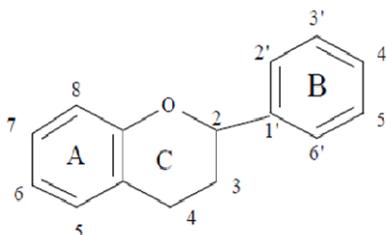


Figure 2: Structure de base des flavonoïdes (**Marfak, 2003**).

II.2.2. Les huiles essentielles

II.2.2.1. Historique

Dans de nombreux cas les plantes ont une histoire d'utilisation en tant que remèdes folkloriques et sont toujours employées pour tuer ou repousser des insectes (**Zoubiri & Baaliouamer, 2011**).

Depuis le Moyen âge, les huiles essentielles ont été très utilisées pour des applications bactéricides, virucides, fongicides, antiparasites, insecticides, médicinales et cosmétiques **(Bakkali, 2008)**.

Les huiles essentielles semblent donc avoir accompagné la civilisation humaine depuis ses premières genèses. Les égyptiens puis les grecs et les romains ont employés diverses matières premières végétales ainsi que les produits qui en découlent, notamment les huiles essentielles. Ces utilisations concernaient différents domaines : parfumerie, médecine, rites religieux, coutumes païennes, alimentation, etc. L'effet des huiles essentielles a été décrit dans les pharmacopées mais leur utilisation ne semble pas avoir été répandue en Europe jusqu'au XVIème siècle **(Burt, 2004)**.

Dès 1972, date à partir de laquelle, l'utilisation des huiles essentielles à commencer dans la pratique médicale quotidienne, avec exigence au préalable à toute mise sur le marché d'huiles essentielles à usage thérapeutique, la parfaite connaissance de leur origine, tant botanique qu'industrielle, tant géographique que saisonnière.

Dès 1974, le problème de la très grande complexité d'action des huiles essentielles a été soulevé, et souligné les discordances existantes entre les résultats observés *in vitro* et ceux que l'on pouvait constater dans l'application de traitements par voie générale.

En 1976, l'action des huiles essentielles par voie générale (absorption orale ou parentérale) a été démontrée dans le cadre des maladies infectieuses, ne peut s'expliquer par aucun des mécanismes micro-éradicateurs connus **(Duraffourd & Lapraz, 2002)**.

Actuellement, l'utilisation des huiles essentielles dans les industries alimentaires, pharmaceutiques, sanitaires, cosmétiques et agricoles n'a pas changé beaucoup sauf que davantage sont maintenant connus au sujet de certains de leurs mécanismes d'action, en particulier au niveau antimicrobien **(Bakkali et al., 2008)**.

II.2.2.2. Définition

Les huiles essentielles sont des mélanges de composés odorants et volatils d'origine végétale **(Ghestem et al., 2001)** sécrétées puis excrétées par les plantes aromatiques. Du fait de leur métabolisme propre, qui leur donne notamment leur caractère volatil, elles sont exhalées par le végétal **(Duraffourd & Lapraz, 2002)**.

Certains organismes de normalisation (A.F.N.O.R. et I.S.O.) ont donné une définition beaucoup plus précise des huiles essentielles : produit obtenu à partir d'une matière première végétale, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par procédés mécaniques à partir de l'épicarpe des citrus, soit par distillation sèche (**Paris & Hurabielle, 1980**).

Les huiles essentielles peuvent être stockées dans tous les organes végétaux : fleurs bien sûr mais aussi feuilles et bien que cela soit moins habituel, dans des écorces, des bois, des racines, des rhizomes, des fruits, des graines (**Bruneton, 2009**). Les huiles essentielles sont produites dans le cytoplasme des cellules sécrétrices et s'accumulent en général dans des cellules glandulaires spécialisées, situées en surface de la cellule et recouvertes d'une cuticule (**Teuscher et al., 2005**).

Pour certains auteurs, il est important de distinguer huile essentielle et essence ; cette dernière est une substance aromatique naturelle que sécrète la plante, directement extraite par expression. En revanche, L'huile essentielle est le résultat de la distillation à la vapeur d'eau des plantes aromatiques pour en extraire l'essence (**Catier & Roux, 2007**).

Il existe environ 3000 huiles essentielles connues, dont environ 300 sont commercialement importantes destinées principalement pour le marché des saveurs et des parfums (**Burt, 2004**). Malgré leurs différences de constitution, les huiles essentielles présentent un certain nombre de caractères communs (**Ghestem et al., 2001**).

II.2.2.3. Biosynthèse et composition chimique

La composition chimique d'une huile essentielle est très complexe et soumise à de très nombreuses variables. Connaître avec exactitude les constituants d'une huile essentielle est fondamental, à la fois pour vérifier sa qualité, expliquer ses propriétés et prévoir sa toxicité potentielle (**Couic-marinier & Lobstein, 2013**).

Les constituants des huiles essentielles appartiennent, de façon quasi exclusive, à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques distinctes ; le groupe des terpénoides d'une part et celui des composés aromatiques dérivés du phénylpropane, beaucoup moins fréquents, d'autre part. Elles peuvent également renfermer divers produits issus de processus dégradatif mettant en jeu des constituants non volatils (**Bruneton, 2009**).

II.2.2.3.1. Composés terpéniques

Les terpènes forment structurellement et fonctionnellement différentes classes. Elles sont faites à partir des combinaisons de plusieurs unités bases de 5 carbones (C_5) appelées l'isoprène.

La biosynthèse des terpènes se compose de la synthèse du précurseur du diphosphate d'isopentenyl (PIP), addition répétitive d'IPPs pour former le précurseur de prenyldiphosphate des diverses classes des terpènes, modification du prenyldiphosphateallylique par les synthétases spécifiques de terpène pour former les terpènes en conclusion, modification enzymatique secondaire (réaction redox) du squelette pour attribuer les propriétés fonctionnelles aux différents terpènes. Les terpènes principaux sont les monoterpènes (C_{10}) et les sesquiterpènes (C_{15}), les hemiterpenes (C_5), diterpènes (C_{20}), triterpènes (C_{30}) et tetraterpenes (C_{40}) (**Burt, 2004**).

a) Les monoterpènes

Les carbures sont presque toujours présents. Ils peuvent être acyclique (myrcène, ocimène), monocyclique ou bicycliques, ils constituent parfois plus de 90% de l'huile essentielle (citrus, térébenthines) (**Bruneton, 2009**) et porteurs de groupements fonctionnels variées :

- alcools : exemple, géraniol, menthol, bornéol ;
- cétones : camphre, thuyones ;
- ester : acétate d'isobornyl ;
- phénols : thymol (**Catier & Roux, 2007**).

A noter que quelques composés (thymol, carvacrol), bien que possédant une structure aromatique, ont une origine terpénique (**Paris & Hurabielle, 1980**).

b) Les sesquiterpènes

Les variations structurales dans cette série sont de même nature que dans le cas précédent, carbures, alcools et cétones étant les plus fréquents, il convient de remarquer que l'allongement de la chaîne farnésylopyrophosphate (FPP) accroît le nombre des cyclisations possible, d'où la très grande variété des structures connues (plus d'une centaine de squelettes différents ont été décrits) (**Bruneton, 2009**).

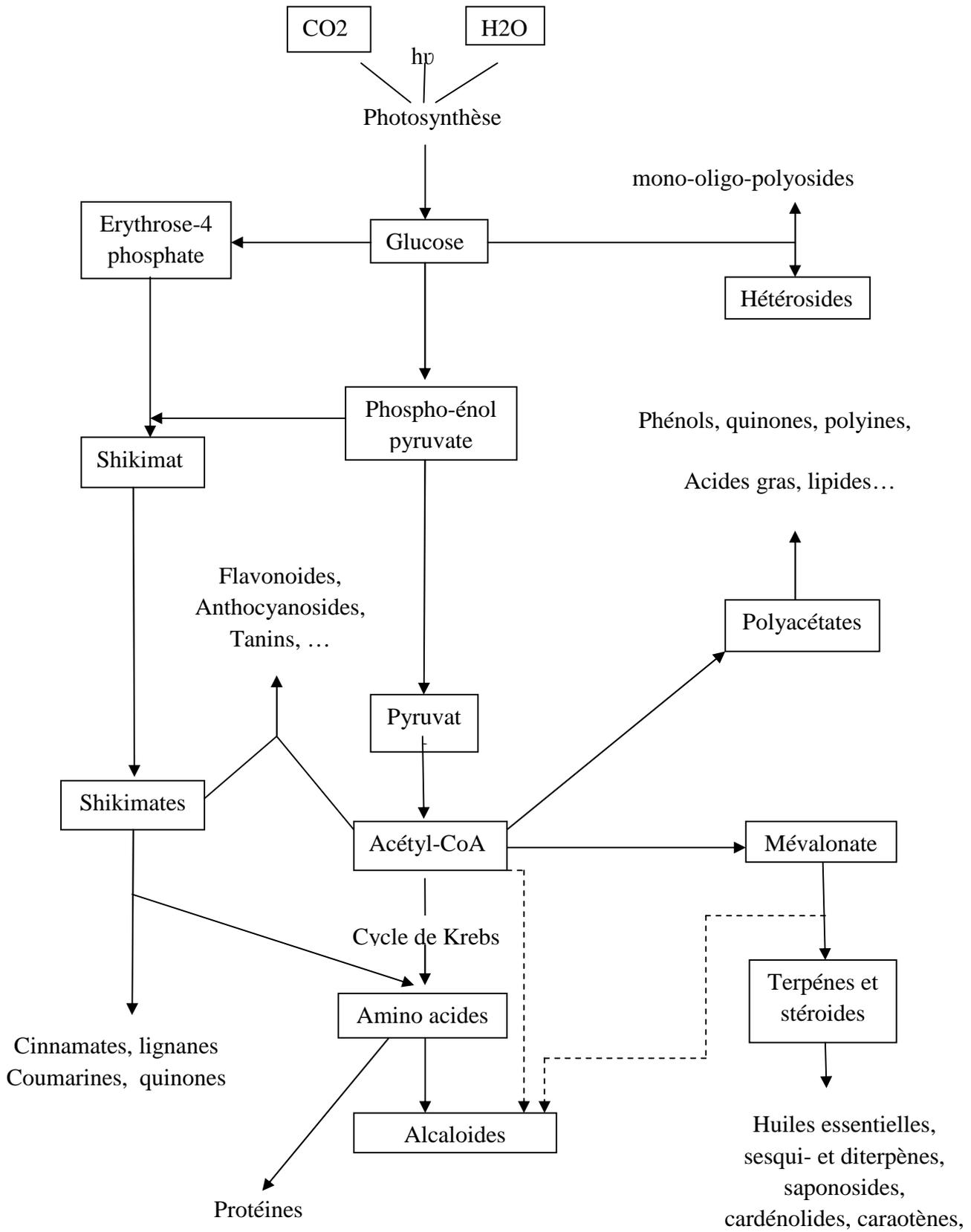


Figure n° 3: Biosynthèse des terpènes (Bruneton, 1999)

II.2.2.3.2. Les composés aromatiques dérivés du phénylpropane

Les dérivés du phénylpropane (C_6-C_3) sont beaucoup moins fréquents que les précédents. Ce sont très souvent des allyles et propénylphénols, parfois des aldéhydes, on peut également rencontrer dans les huiles essentielles des composés en C_6-C_1 comme la vanilline ou comme l'antranilate de méthyle (Bruneton, 2009; Bekhechi & Abdelouahib, 2010).

II.2.2.3.3. Les composés d'origines diverses

Il s'agit là de produits résultant de la transformation de molécules non volatiles. Ces composés contribuent souvent aux arômes des fruits. Compte tenu de leur mode de préparation, les concrètes et les absolues peuvent en renfermer. Il en est de même pour les huiles essentielles lorsqu'ils sont entraînés par la vapeur d'eau (Bruneton, 2009).

II.2.2.4. Caractéristiques et propriétés physiques

Malgré leurs différences de constitution, les huiles essentielles possèdent en commun un certain nombre de propriétés physiques :

- Généralement liquides à température ordinaire,
- Volatiles et entraînés à la vapeur d'eau,
- Généralement incolore ou jaune pâle lorsqu'elles viennent d'être préparé,
- Densité généralement inférieure à 1,
- Un peu solubles dans l'eau mais lui communiquent leur odeur,
- Soluble dans la plupart des solvants organiques et dans les huiles fixes,
- Sensibles à l'oxydation et donc de conservation limitée.

De ces propriétés découlent les principales précautions à prendre pour les conserver, dans les flacons de petite taille, bien bouchés, fumés ou en aluminium et si possible à basse température (Catier & Roux, 2007).

II.2.2.5. Extraction des huiles essentielles

Après la récolte, et suivant la partie de la plante à extraire (plante entière, pétales de fleurs, fleurs, feuilles, racines ou fruits), le procédé d'extraction mis en œuvre est différent et par conséquent la composition de l'extrait en est affectée.

Ce qui introduit cette diversité, c'est d'abord la variété des matières premières et ensuite la sensibilité considérable de certains parfums qui n'obligent à employer que des moyens peu violents sans interventions d'agents chimiques trop énergétiques (**Bekhechi & Abdelouahib, 2010**).

Le produit d'extraction peut varier dans la qualité, la quantité et dans la composition selon le climat, la composition du sol, l'organe de la plante, l'âge et l'étape végétative de cycle (**Bakkali, 2008**).

Le choix du type d'extraction doit permettre de retirer des végétaux des essences aromatiques avec un rendement le plus élevé et conserver aussi intact que possible les parfums les plus délicats. Ainsi, la méthode d'obtention des huiles essentielles intervient de façon déterminante dans le rendement en huiles et dans leur composition (**Bekhechi & Abdelouahib, 2010**).

Aujourd'hui des techniques industrielles performantes pour extraire les huiles essentielles : l'entraînement à la vapeur d'eau en surpression, la turbodistillation (procédé de distillation utilisant du matériel végétal broyé), l'hydrodiffusion (procédé de distillation où la vapeur d'eau est pulsée de haut en bas à travers le végétal), l'hydrodistillation par micro-ondes et l'extraction à froid au dioxyde de carbone (gaz carbonique). Toutefois, ces procédés modifient quelque peu leur structure (**Arnal-schnebelen et al., 2008**).

Parmi les divers procédés d'extraction des huiles essentielles, deux seulement sont admis par la pharmacopée française (ainsi que par l'A.F.N.O.R et l'I.S.O) :

- L'entraînement à la vapeur d'eau,
- L'expression à froid du péricarpe frais de certains citrus (**Paris & Hurabielle, 1980**).

II.2.2.5.1. Entraînement à la vapeur d'eau

Selon Bruneton (2009) :

❖ L'hydrodistillation simple consiste à immerger directement le matériel végétal à traiter [intact ou éventuellement broyé (turbodistillation)] dans un alambic rempli d'eau qui est ensuite portée à ébullition. Les vapeurs hétérogènes sont condensées sur une surface froide et l'huile essentielle se sépare par différence de densité. Dans une variante du procédé le matériel végétal est broyé *in situ* (turbo- extracteur).

❖ Dans la distillation à vapeur saturée, le végétal n'est pas en contact avec l'eau : la vapeur d'eau est injectée au travers de la masse végétale disposée sur des plaques perforée. Pour raccourcir le temps de traitement, limiter l'altération des constituants de l'huile essentielle et économiser l'énergie, il est possible de travailler en surpression modérée (de 1 à 3 bar). La conséquence de la surpression étant une augmentation de la température, la qualité du produit peut en souffrir.

La distillation à vapeur saturée peut également être conduite en continu, dans des installations automatisées, pour certaines productions (lavande, menthe), on utilise des alambics mobiles qui sont en fait des bennes de récolte conçues pour être intercalées par l'agriculteur lui-même, après remplissage, dans un montage de distillation.

❖ L'hydrodiffusion consiste à pulser de la vapeur d'eau à très faible pression (0,02-0,15 bar) à travers la masse végétale, du haut vers le bas. La composition des produits obtenus est qualitativement sensiblement différente de celle des produits obtenus par les méthodes classiques. Le procédé permet un gain de temps et d'énergie

II.2.2.5.2. L'expression à froid du péricarpe frais de certains citrus

Le principe de la méthode est très simple : les zestes sont dilacérés et le contenu des poches sécrétrices qui ont été rompues est récupéré par un procédé physique. Le procédé classique consiste à exercer, sous un courant d'eau, une action abrasive sur la surface du fruit. Après élimination des déchets solides, l'huile essentielle est séparée de la phase aqueuse par centrifugation.

D'autres machines rompent les poches par dépression et recueillent directement l'huile essentielle, ce qui évite les dégradations liées à l'action de l'eau. La plupart des installations permettent en fait la récupération simultanée ou séquentielle des jus de fruits et de l'huile essentielle, celle-ci étant recueillie par jet d'eau après abrasion (rayure, pointes) avant ou pendant l'expression du jus du fruit. Un traitement enzymatique des eaux résiduelles peut permettre de les recycler et augmente sensiblement le rendement final en huile essentielle. Les huiles essentielles de citrus sont également obtenues à partir des jus de fruits (**Bruneton, 2009**).

II.2.2.5.3. Autres procédés

Depuis quelques années, des nouvelles technologies ont été développées. C'est en particulier le cas de l'hydrodistillation par micro-onde sous vide. Dans ce procédé, la plante est chauffée sélectivement par un rayonnement micro-onde dans une enceinte dont la pression est réduite de façon séquentielle : l'huile essentielle est entraînée dans le mélange azéotropique formé avec la vapeur d'eau propre à la plante traitée (sans ajout pour les produits traités en frais). Très rapide et peu consommateur d'énergie, le procédé livre un produit qui, le plus souvent, est de qualité supérieure à celle du produit d'hydrodistillation traditionnelle (temps de travail divisé par 5 à 10 et température plus basse) (**Bruneton, 2009**).

II.2.2.6. Paramètres influençant la composition chimique des huiles essentielles

II.2.2.6.1. Influence du chimiotype

La composition chimique d'une plante, avant tout déterminée par sa biosynthèse et son profil génétique. Ainsi pour une même espèce, de nombreux chimiotypes aux profils chimiques différents, peuvent exister (**teucher et al., 2003**). L'un des meilleurs exemples étant le thym (*thymus vulgaris*) des régions de l'ouest méditerranéen.

Cette espèce qui est morphologiquement homogène et ayant un caryotype stable, a sept chimiotypes différents : six dans la zone arides ou garrigues du sud de France (avec le thymol, carvacrol, geraniol, linalool, α -terpinol ou le trans-4thujanol et le cis-8-mycenol) et un en Espagne (avec le cineol). Le même phénomène est observé dans les autres espèces de thym, mais aussi pour d'autres labiées (**Bruneton, 1999**).

II.2.2.6.2. Influence du cycle végétatif

La proportion des composés d'une huile essentielle, pour une espèce donnée, peut varier largement tout au long de son développement. Exemple chez la menthe, le néomenthol et la menthone qui sont prédominants au début de la période de floraison, voient leur teneurs diminuer par la suite, le catabolisme de ces dérivés aboutissent à l'accumulation de menthol et d'un composant non volatil, le glucoside de néomenthyl (**Bruneton, 1987**)

II.2.2.6.3. Influence des facteurs environnementaux

Selon les conditions environnementales, le profil chimique d'une plante peut également être modifié. La qualité et la quantité de lumière, la température et l'indice de pluviométrie, les facteurs édaphiques et le stress (par exemple la contamination par les microorganismes), sont autant de facteurs influençant la composition d'une plante donnée (**Teucher, 2003**). Quelques exemples vont illustrer l'influence des facteurs environnementaux :

- * Chez la menthe poivrée, les longues journées et les nuits tempérées, conduisent à un rendement élevé en huiles essentielles et à une élévation du niveau en menthofurane, au contraire les nuits froides favorisent la formation du menthol.
- * Chez *Laurus nobilis*, la concentration en huiles essentielles des feuilles, avec une exposition sud, est plus grande que l'exposition nord.
- * Chez quelques citrus, plus la température est élevée, plus la concentration en huiles essentielles est élevée (**Bruneton, 1999**).

II.2.2.7. Activités biologiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles ou certains de leurs composants sont employés dans les parfums et les produits de cosmétiques, dans les produits sanitaires, en art dentaire, dans l'agriculture, comme conservateurs de nourriture, additifs, et en tant que remèdes naturels. Quelques huiles essentielles semblent présenter des propriétés médicinales particulières qui ont été prétendues traiter un ou différents dysfonctionnements d'organe ou désordre systémique.

Des huiles essentielles ont été en grande partie utilisées pour leurs propriétés déjà observées en nature, c'est à dire pour leurs activités antibactériennes, antifongiques et insecticides (**Bakkali et al., 2008**).

II.2.2.7.1. Activité Insecticide

Les investigations dans plusieurs pays confirment que les huiles essentielles de certaines plantes repoussent non seulement des insectes, mais aussi elles possèdent des actions insecticides de contact et de fumigation contre les parasites spécifiques et des actions fongicides contre quelques agents pathogènes importants de plantes.

Les plantes aromatiques sont parmi les insecticides les plus efficaces de l'origine botanique, et les huiles essentielles constituent souvent la fraction bioactive des extraits de plantes. En général les huiles essentielles ont été identifiées en tant que ressource naturelle importante en insecticides (**Zoubiri & Baaliouamer, 2011**).

II.2.2.7.2. Activité antiseptique

La plupart des huiles essentielles présentent des propriétés antiseptiques plus au moins intenses. Ces propriétés sont particulièrement marquées chez les huiles essentielles à eucalyptol et chez celles riches en dérivés phénoliques (Ex : thym, giroflier) (**Gheslem et al., 2001**).

II.2.2.7.3. Activité eupeptique

De nombreuses drogues à huile essentielle ont des propriétés eupeptiques (facilitent et stimulent la digestion), et sont utilisées dans cette indication en infusion. Elles intensifient la sécrétion gastrique d'où les qualificatifs de « stomachiques » ou de « digestifs » qui leur sont données. Trouvant principalement dans ce groupe les menthes et les drogues à anéthole (**Axel Gheslem et al., 2001**).

II.2.2.7.4. Activité antispasmodique

S'exerçant principalement au niveau digestif, ce qui fait dire que de nombreuses essences sont digestives et stomachiques tel que : camomille, fenouil (**Catier & Roux, 2007**).

II.2.2.7.5. Activité irritante

Au niveau cutané, elles provoquent une sensation de chaleur avec rubéfaction, voire une légère anesthésie locale. Ces essences entrent dans la composition de nombreuses préparations destinées au traitement des algies musculaires et articulaires (**Catier & Roux, 2007**).

II.2.2.7.6. Activité neurologique

Certaines huiles essentielles sont utilisées principalement pour lutter contre l'agitation, l'anxiété et les états de nervosité ; (lavande, de mélisse) (**Teuscher et al., 2005**).

II.2.2.7.7. Activité antibactérienne

Huiles essentielles et leurs composants sont exploités dans des produits commerciaux (**Burt, 2004**). En effet, elles ont un champ d'action très large, inhibent aussi bien la croissance des bactéries que celles des levures et des moisissures. L'effet biologique a souvent été trouvé supérieur à celui de plusieurs fongicides du commerce (**Bekhechi & Abdelouahib, 2010**).

II.2.2.7.8. Activité antioxydante

L'activité antioxydante des huiles essentielles est une autre propriété biologique de grand intérêt parce qu'elles peuvent conserver des nourritures des effets toxiques des oxydants. Si les huiles essentielles peuvent nettoyer quelques radicaux libres, elles peuvent également agir en tant qu'agents anti-inflammatoires, parce qu'une des réponses inflammatoires est l'éclat oxydant qui se produit en cellules diverses (**Miguel, 2010**).

In vitro et *in vivo* les études ont démontrés comment ces substances agissent en tant qu'antioxydants. La recherche scientifique de la décennie passée a concentré son intérêt sur les huiles essentielles extraites en tant que sources naturelles des composés antioxydants (**Viuda-Martos, 2011**).

L'action antiseptique et l'activité bactéricide des huiles essentielles en usage externe ont donnés lieu à de nombreuses études objectives et indéniables. En revanche, les autres propriétés qui leur sont attribuées ont été rares à avoir reçu une preuve expérimentale, encore exclusivement en laboratoire, et surtout dans la première moitié de ce siècle (**Duraffourd & Lapraz, 2002**).

Plusieurs études ont documentés les propriétés, anti-ulcéreuses, anti-cancérogènes et antivirales des huiles essentielles de plante (**Zoubiri & Baaliouamer, 2011**).

In vitro, les huiles essentielles présentant la plus haute fréquence d'activité sont celles qui contiennent les principes les plus antiseptiques (**Duraffourd & Lapraz, 2002**).

II.2.3. Toxicité des huiles essentielles

La toxicité est importante à connaître lorsque l'huile essentielle est utilisée comme médicament dans le cadre de l'aromathérapie, définie comme le traitement des maladies par les essences de plantes.

Les risques de toxicité aiguë sont liés en particulier à la neurotoxicité des huiles essentielles contenant des cétones (thuyone, pinocamphone), mais d'autres monoterpènes sont également toxiques à forte doses tel que le camphre et le menthol (**Cathier & Roux, 2007**).

Certaines huiles essentielles, consommées inconsidérément, ont provoqué des accidents toxiques, ce qui a fait réserver aux pharmaciens la vente de certaines huiles essentielles (notamment à thuyones) et est à l'origine d'un embryon de réglementation (**Gheslem et al., 2001**).

En règle générale, les huiles essentielles ont une toxicité aiguë faible ou très faible par voie orale: une DL50 comprise entre 2 et 5 g/kg pour la majorité des huiles couramment utilisées (anis, eucalyptus, girofle, etc.) ou le plus fréquemment supérieure à 5 g/kg (camomille, citronnelle, lavande, marjolaine, vétiver, etc.) ; d'autres ont une DL50 inférieure à 1g/kg : l'huile essentielle de boldo (0.13 g/kg) ; l'essence de moutarde (0.34 g/kg) ; les essences d'origan et de la sarriette (1.37 g/kg) ; les huiles essentielles du basilic, de l'estragon et de l'hysope (1.5 ml/kg). Tandis que la toxicité chronique est assez mal connue (**Bruneton., 1999**).

I. Préparation du matériel végétal

I.1. Récolte et identification de la plante

La partie aérienne de *Foeniculum vulgare* (Tige et feuilles) (figure n° 4) a été récoltée au mois de mars 2014 dans la région FENAÏA ILMATEN de la commune d'El kseur, située 26 km de la wilaya de Bejaïa, loin de tout impact de pollution.

L'identification botanique de la plante a été réalisée au niveau du laboratoire de physiologie végétale et d'écologie de l'université de Bejaïa.



Figure n° 4 : Photographies de la plante aérienne de *Foeniculum vulgare* (Original).

I.2. Séchage

La plante fraîchement récoltée, a été lavée à l'eau courante afin de la débarrasser des poussières et autres particules et conservée à l'ombre dans un endroit sec et aéré.

La plante a été utilisée pour l'extraction de l'huile essentielle, elle est divisée en deux parties, une partie utilisée fraîche et l'autre partie est séchée dans une étuve à 40°C.

II. Méthodes

II.1. Test d'humidité

a) Principe

Selon la méthode utilisée par **Amarti *et al.*, 2010 ; Hassane *et al.*, 2011**, le contenu en humidité de la plante a été déterminée. Elle consiste en la détermination de la perte de masse par dessiccation à l'étuve à 60 °C.

Le taux d'humidité est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Taux d'humidité \%} = (M_f - M_s / M_f) \times 100$$

Où :

M_f : poids de la matière fraîche exprimé en grammes.

M_s : poids de la matière sèche exprimé en grammes.

b) Mode opératoire

Le protocole du test d'humidité effectué consiste à mettre dans une étuve à une température de 60°C, trois échantillons de matière végétale fraîche de 30 g chacun jusqu'à stabilisation du poids (Amarti *et al.*, 2010).

II.2. Extraction de l'huile essentielle

La partie aérienne a été pesée (100g) et laissée macérer dans un ballon de 1 L contenant 500 ml d'eau distillé (Williams & Lusunzi, 1994), pendant 24 heures. L'extraction a ensuite été effectuée par hydrodistillation (figure n° 5) à l'aide d'un appareil de type Clevenger.



Figure n° 5 : Photographie du dispositif d'hydrodistillation

a) Mode opératoire

Selon le procédé décrit par **Amarti *et al.*, (2010)**, l'huile essentielle de *Foeniculum vulgare* a été extraite. Les différentes étapes du protocole d'extraction sont représentées dans la figure n° 6.

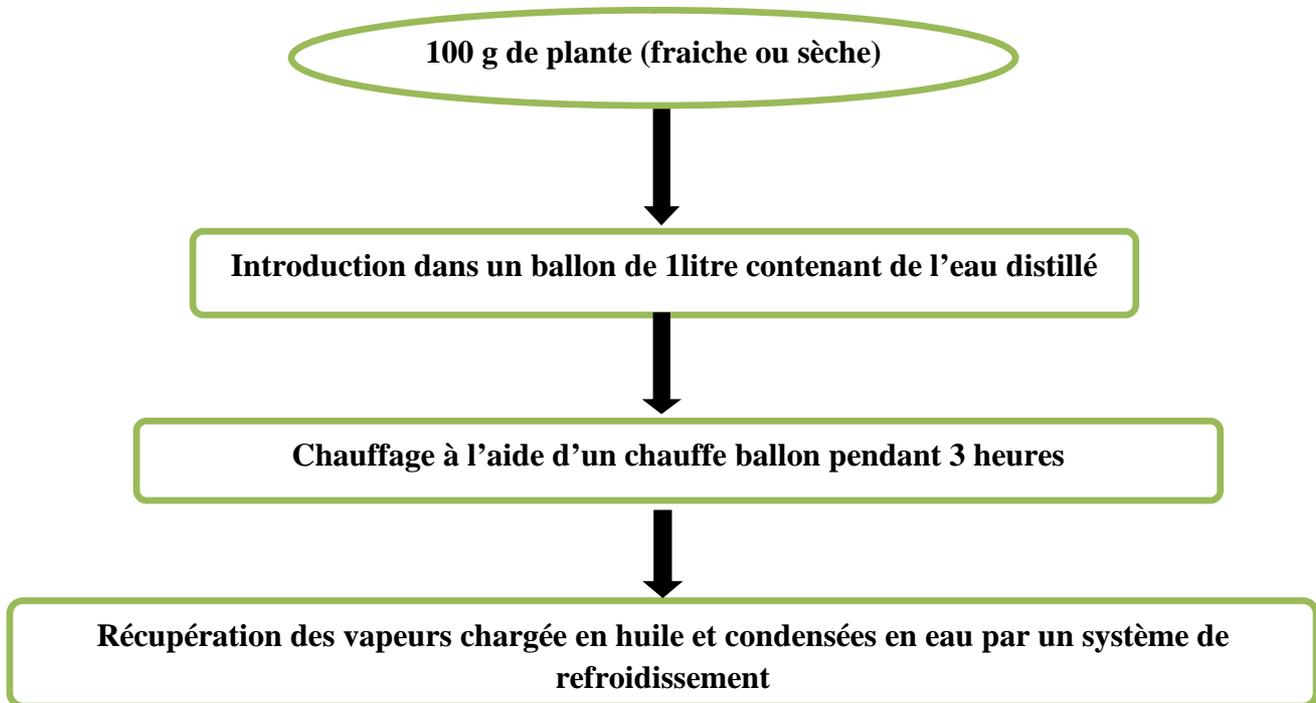


Figure n°6: Protocole d'extraction de l'huile essentielle (**Amarti *et al.*, 2010**)

- **Décantation**

La décantation est réalisée dans une ampoule à décanter d'un litre dans laquelle le mélange précédent se sépare en deux phases non miscibles. Une phase aqueuse, dans la partie inférieure et l'huile essentielle de densité plus faible, dans la partie supérieure de l'ampoule.

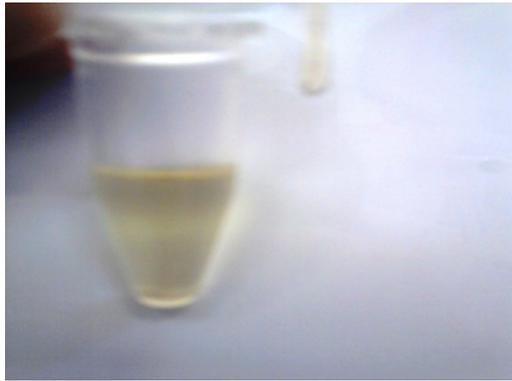


Figure n° 7 : Huiles essentielles de *Foeniculum vulgare*

- **Conservation**

Les huiles récupérées sont conservées au réfrigérateur à 4°C dans des flacons sombres afin de les préserver de la lumière et de la chaleur (**De Billerbeck, 2007**).

- b) Calcul du rendement**

Le rendement en huile essentielle est le rapport de la quantité d'huile recueillie après distillation sur la quantité de la biomasse.

- Le rendement, exprimé en pourcentage est calculé selon la formule suivante :

$$\mathbf{R (\%) = (M_2 / M_1) \times 100}$$

Où :

R (%) : Rendement de l'huile essentielle en pourcentage.

M₂ : masse d'extrait récupéré exprimée en grammes.

M₁ : masse du végétal utilisé pour l'extraction exprimée en grammes.

II.2. Dosage des composés phénoliques totaux

Le dosage des polyphénols totaux a été réalisé sur l'huile essentielle de *Foeniculum vulgare*.

a) Principe

Le dosage colorimétrique des composés phénoliques totaux a été déterminée selon la méthode décrite par **Djeridane *et al.*, (2006)** avec quelques modification, utilisant le réactif de Folin Ciocalteu, qui est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMO_{12}O_{40}$). Ces derniers, lors de l'oxydation des phénols, sont réduits en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène (**Ribereau-Gayou, 1968**).

La coloration produite, dont l'absorption maximale est 760 nanomètres est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux (**Boizot & Charpentier, 2006 ; Padda, 2006**).

a) Mode opératoire

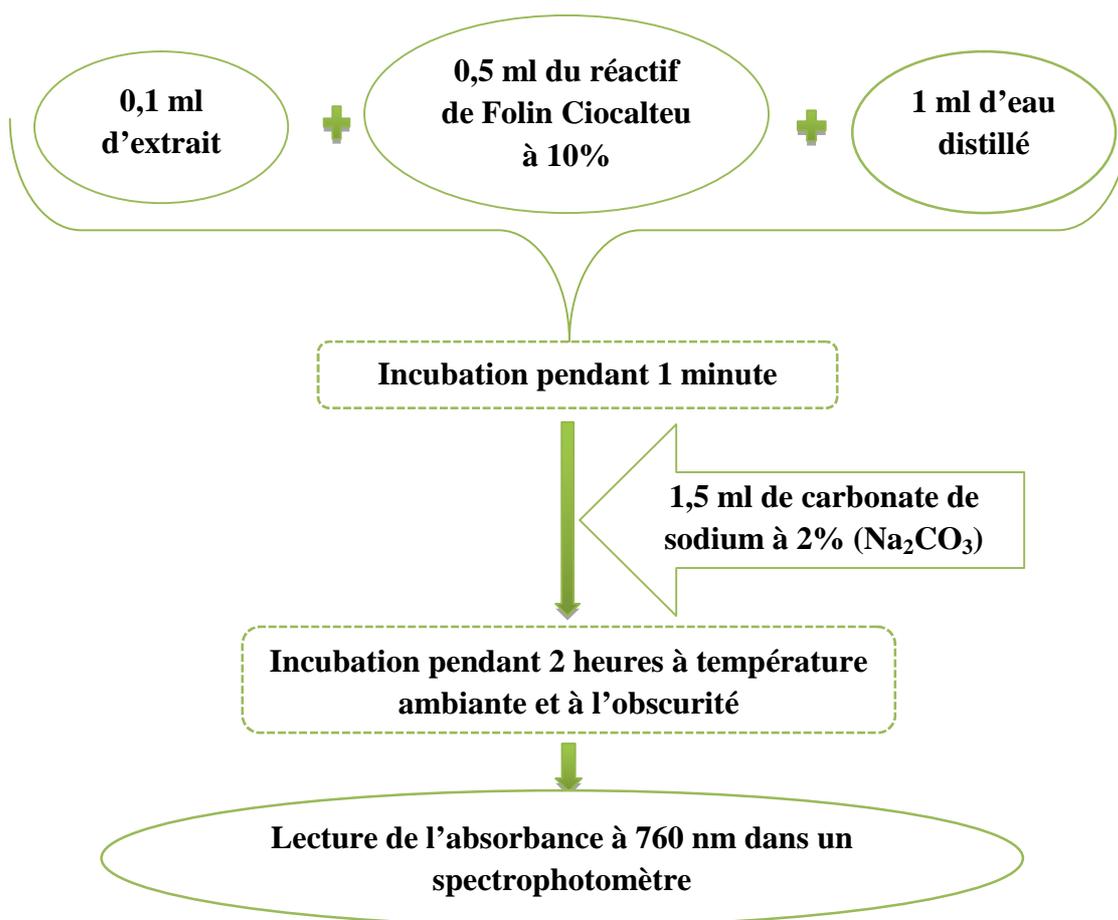


Figure n° 8 : Protocole de dosage des composés phénoliques **Djeridane *et al.*, 2006**).

b) Expression des résultats

La concentration en composés phénoliques, des différents échantillons a été déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage utilisant de l'acide gallique comme standard et exprimée en mg équivalent d'acide gallique /g d'huile.

II .3. Dosage des flavonoïdes**a) Principe**

Les flavonoïdes forment un complexe jaunâtre par chélation des métaux (le fer et l'aluminium), en perdant deux électrons il s'unit à deux atomes d'oxygène du composé phénolique qui est dans ce cas donneur d'électrons (**Ribéreau-Gayon, 1968**).

La méthode utilisée pour le dosage des flavonoïdes est celle décrite par **Custódio *et al.*, (2009)** (figure n° 9).

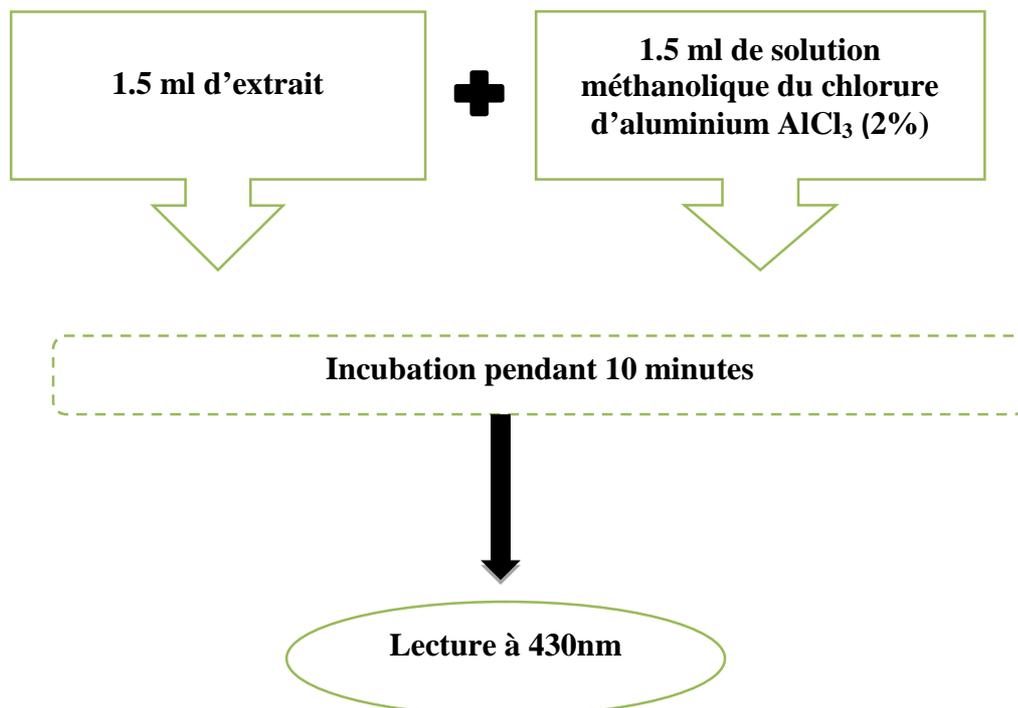
a) Mode opératoire

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

b) Expression des résultats

La concentration en flavonoïdes des différents échantillons est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage utilisant de la quercétine comme standard et exprimée en mg équivalent quercétine /g d'huile.

II.3. Evaluation de l'activité antioxydant

Pour toutes les activités, l'extrait de l'huile essentielle est reconstitué dans du méthanol et préparé à différentes concentrations.

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

II.3.1. Evaluation de l'activité anti-radicalaire par la méthode du DPPH

a) Principe

Le DPPH (2,2-Diphényl-1-picrylhydrazyl) est un radical libre, stable ou accepteur d'hydrogène de couleur violette intense (Cavar *et al.*, 2012). Ce radical perd sa coloration native quand il réagit avec des substances antioxydants (AH), qui lui transfèrent des électrons ou des protons.

La forme réduite du DPPH confère à la solution une couleur jaune (Athamena *et al.*, 2010).

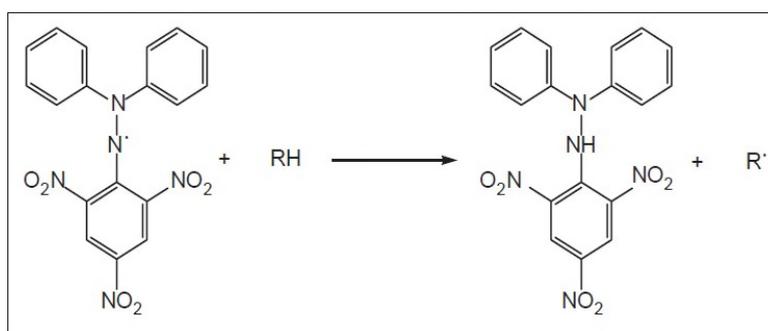


Figure n° 10 : Structure de DPPH et sa réduction par un antioxydant (Molyneux, 2004).

L'intensité de la coloration, mesurée au spectrophotomètre à 517 nanomètres, est inversement proportionnelle à l'activité anti-radicalaire des composés à tester (**Kouamé *et al.*, 2009**).

a) Mode opératoire

La méthode suivie par **Shirwaikar *et al.*, (2006)** avec quelques modifications a été utilisée pour évaluer l'activité anti-radicalaire des extraits de *Foeniculum vulgare*. Toutes les étapes de l'essai sont décrites dans la figure n° 11.

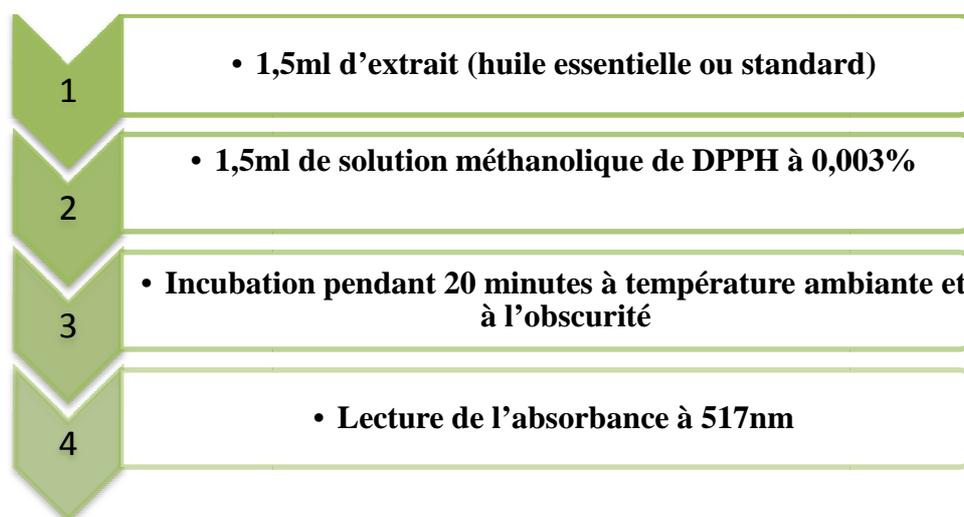


Figure n° 11 : Protocole de l'évaluation de l'activité anti-radicalaire de l'huile essentielle de *Foeniculum vulgare* par la méthode du DPPH (**Shirwaikar *et al.*, 2006**)

b) Expression des résultats

Par **Özkan *et Erdoğan* (2011)**, le pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH (%) a été calculé selon la formule suivante :

$$I\% = (AC - AT/AC) \times 100$$

Où

A_C : Absorbance de contrôle, contenant tous les réactifs excepté le composé testé.

A_T : Absorbance de la réaction contenant le composé testé.

II.3.2. Détermination du pouvoir réducteur

a) Principe

L'analyse du pouvoir réducteur, d'un antioxydant, est basée sur la réduction du complexe fer ferrique (Fe^{3+}), en fer ferreux (Fe^{2+}), en présence des antioxydants réducteurs (Bijoy *et al.*, 2008). Elle se manifeste par l'apparition d'une couleur « bleu prussien », mesurable par spectrophotométrie à 700 nanomètres, et dont l'intensité est proportionnelle au pouvoir réducteur des extraits testés (Gulçin *et al.*, 2005).

b) Mode opératoire

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

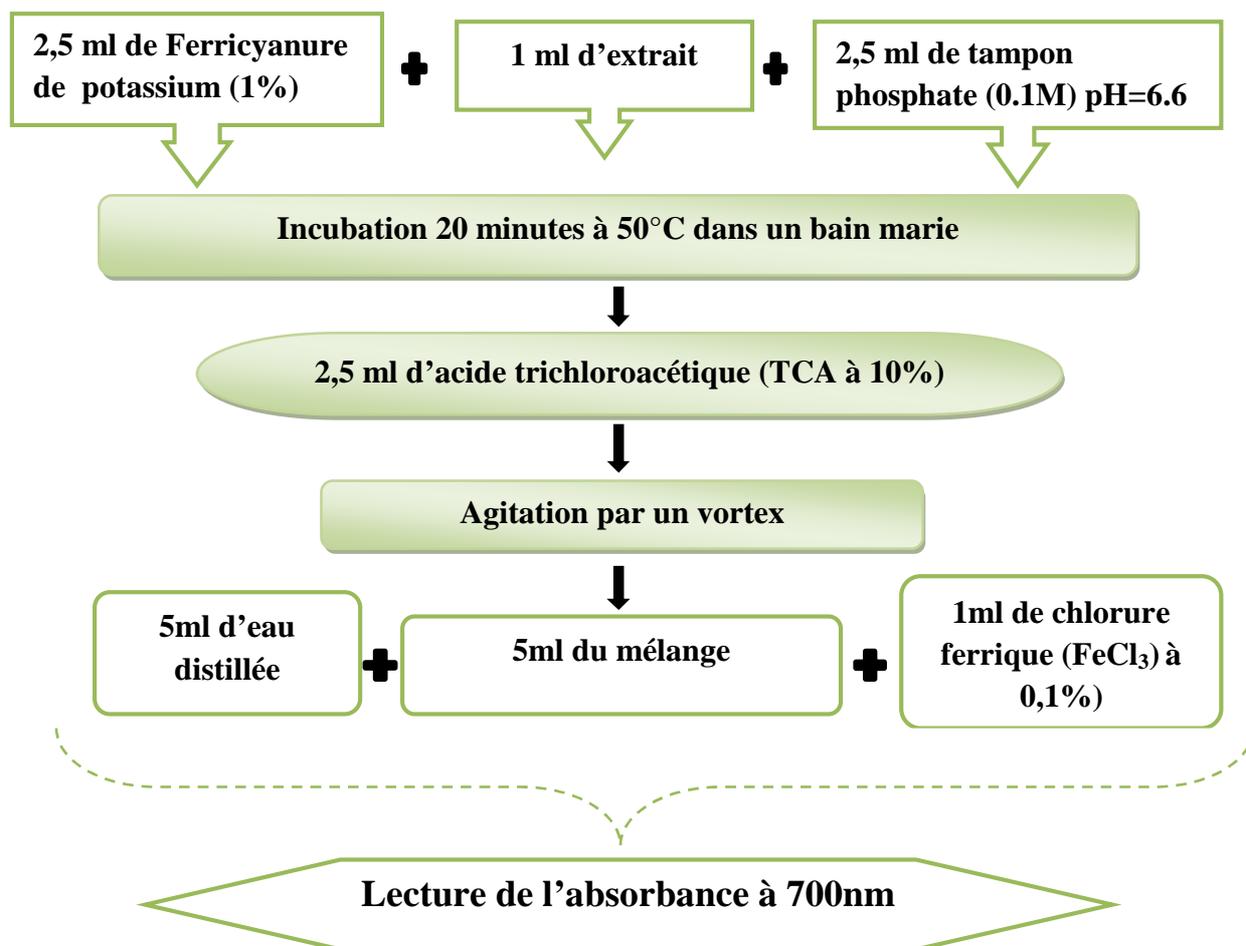


Figure n° 12 : Protocole de l'évaluation du pouvoir réducteur de huile essentielle de *Foeniculum vulgare* (Elmastas *et al.*, 2007).

c) Expression des résultats

Pour chaque concentration, une absorbance est mesurée et les résultats sont représentés sous forme de graphique.

II.3.3. Activité scavenger du radical ABTS^{•+}

a) Principe

Ce test est basé sur la capacité d'un antioxydant à stabiliser le radical cationique ABTS^{•+} (Acide 2,2- azino-bis-3-éthyl-Benzo Thiazoline Sulfonique) de coloration bleu-verte en le transformant en ABTS⁺ incolore par piégeage d'un proton par l'antioxydant. La décroissance de l'absorbance causée par l'antioxydant reflète la capacité de capture du radical libre (Re *et al.*, 1999).

Mode opératoire

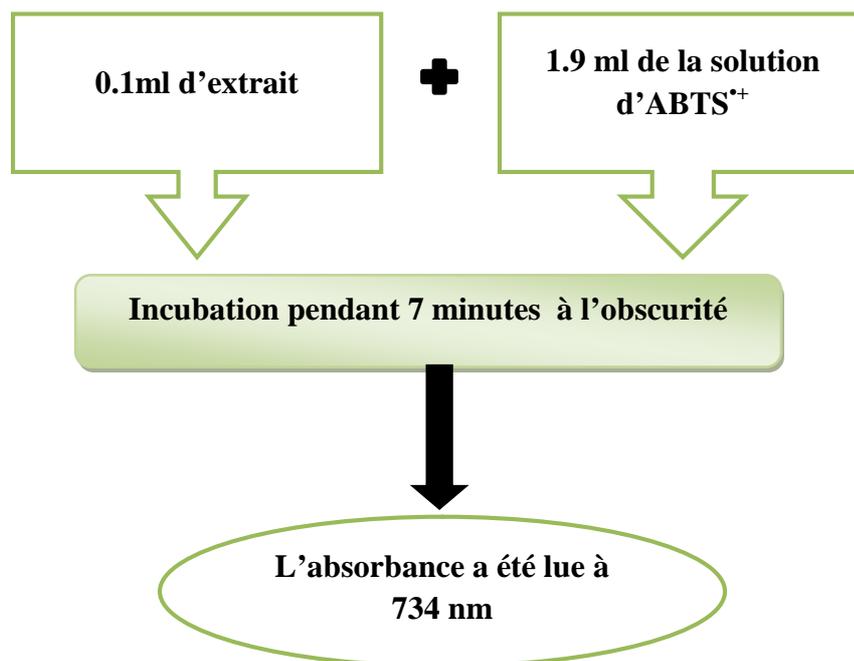


Figure n° 13: Protocole de l'évaluation du ABTS^{•+} de huile essentielle de *Foeniculum vulgare* (Re *et al.*, 1999).

I. Détermination du taux d'humidité

Le test d'humidité a été effectué dans le but d'estimer la teneur en eau de la partie aérienne de *Foeniculum vulgare*.

L'analyse des trois échantillons de la plante utilisée pour le test a révélé un taux d'humidité important égale à **81,19% ± 0,47%** représenté dans la figure n° 14.

Ce résultat indique que plus de la moitié du poids de la plante fraîche est constituée d'eau.

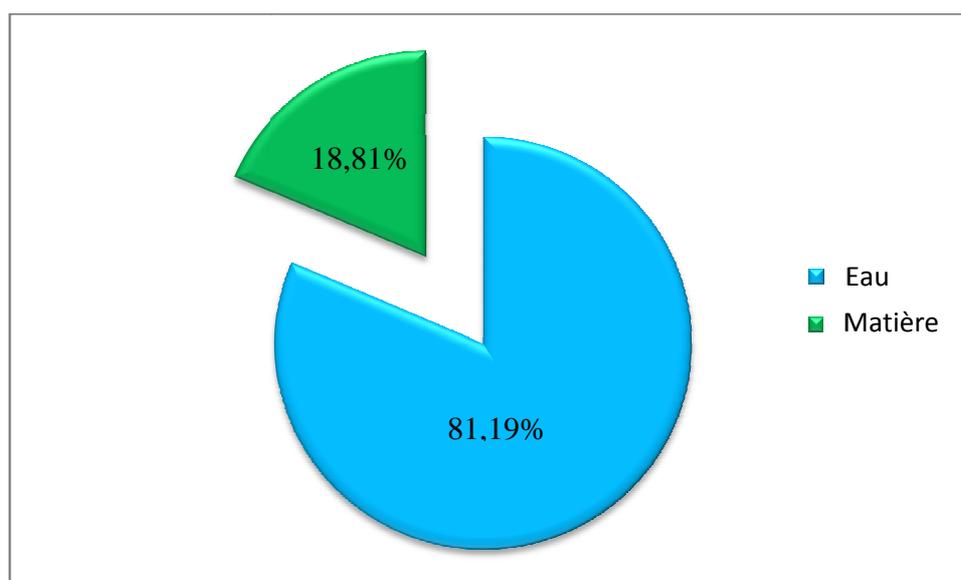


Figure n° 14: Représentation graphique de la teneur en eau de la partie aérienne de *Foeniculum vulgare*.

II. Rendement d'extraction en huile essentielle

Le rendement moyen en huile essentielle a été calculé en fonction de la matière végétale première de la partie aérienne de la plante.

L'hydrodistillation de la partie aérienne de *Foeniculum vulgare* a fourni une huile essentielle de couleur jaunâtre caractérisée par une odeur intense, avec un rendement de **0,43%** pour la plante sèche et **0,10%** pour la plante fraîche.

L'analyse des huiles essentielles de la partie aérienne de *Foeniculum vulgare* de différents origines par **Lazouni et al., (2007)**, ont montré l'extrême variabilité du rendement en fonction de lieu de récolte et aussi de la période de la récolte. Leurs résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III : Rendements obtenus dans différents pays.

Origine	France	Inde	Japon
Rendement %	2,1	0,72	2,7

Tableau IV: Teneurs en huile essentielle en fonction des périodes de cueillette.

Période de cueillette	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Rendement %	0,98	1,53	1,82	2,15

Le tableau III montre que le rendement en huiles essentielles de *Foeniculum vulgare* des régions (France et Japon) est largement supérieur au rendement obtenu avec plante étudiée, de même pour les résultats obtenus à différentes périodes de cueillette (Septembre, Octobre, Novembre et Décembre) en revanche dans la région de l'Inde le rendement reste proche à celui obtenu lors de cette étude.

Les travaux réalisés par **Diao, (2014)**, sur les graines de *Foeniculum vulgare* obtenus comme produit commercial en mois d'octobre, ont révélé un rendement de 1.74 % de l'huile essentielle, de même pour **Hamdy Roby et al., (2013)** qui sont également parvenu à extraire 1.95 % d'huile essentielle à partir de la même espèce.

Anwar et ses collaborateurs, (2009), ont obtenu un rendement de **2,81%** d'huile essentielle à partir de graines de fenouil qui ont été rassemblées des plantes cultivées pendant mai-juin 2006 du jardin botanique, université d'agriculture, Faisalabad, Pakistan.

De ces résultats, il s'est avéré que le rendement en huile essentielle obtenu à partir de la partie aérienne du fenouil sauvage dans la région d'El kseur de Bejaïa (Algérie) est nettement plus inférieur que celui obtenu par d'autres auteurs à partir de la même espèce, cette différence peut s'expliquer par :

La période de récolte de la plante, en effet, dans cette étude, la plante a été récolté aux mois de mars-avril au stade végétatif, contrairement à **Anwar et al., (2009)**, qui ont utilisé la plante récoltée au mois de mai.

La région de récolte de la plante influence sur le rendement d'extraction des huiles essentielles.

D'autre part, la partie de la plante utilisée semble être également un facteur influençant le rendement en huile essentielle, en effet dans cette étude c'est la partie aérienne, qui a été utilisée, contrairement à **Hamdy Roby et al., (2013)**, qui ont utilisé les graines, où le rendement est plus important.

III. Dosage des composés phénoliques totaux et flavonoïdes

❖ Composés phénoliques totaux

La détermination de la teneur totale en polyphénols est obtenue en utilisant la courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide gallique (annexe n°1).

Les valeurs moyennes de la concentration en polyphénols totaux de l'huile essentielle de *Foeniculum vulgare* sont représentées dans la figure n°16, calculées à partir des valeurs des absorbances à une longueur d'onde de 760 nm.

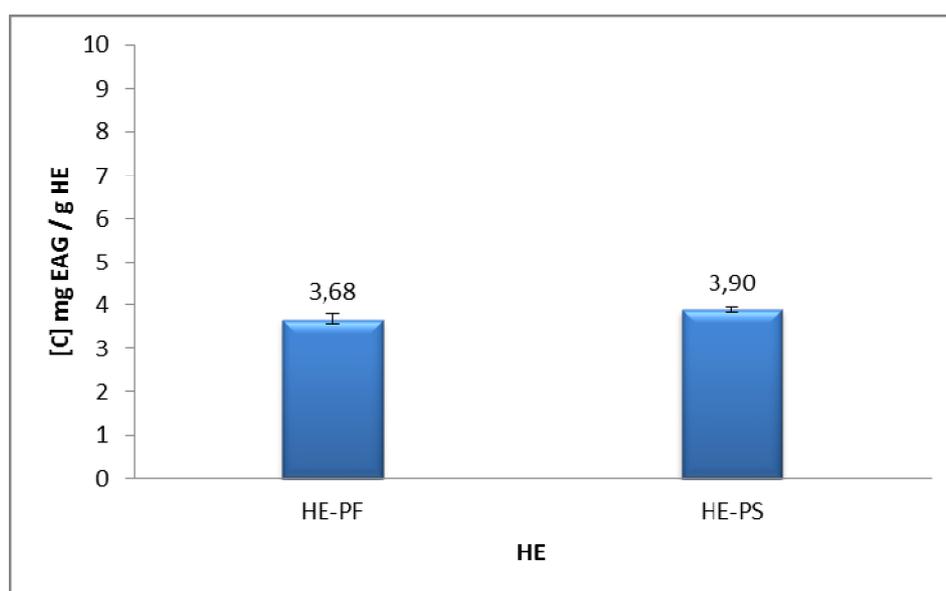


Figure n° 15 : Représentation graphique du taux de composés phénoliques de l'huile essentielle de *Foeniculum vulgare*.

D'après la figure n°16, on constate que la teneur en polyphénols totaux de la plante sèche est de **3,90 ± 0,06 mg EAG/g HE** soit une valeur de **34,96 mg EAG/L HE** est légèrement supérieure à celle de la plante fraîche qui est de **3,68 ± 0,11 mg EAG/g HE** ou **32,96 mg EAG/L HE**).

Vinda-Martos *et al.*, 2011 ont réalisé un dosage des composés phénoliques dans l'huile essentielle de *Foeniculum Vulgare* leur étude a révélé un taux de **146,51 ± 5.61 mg EAG/L HE**, ce résultat est largement supérieur a celui obtenu lors de notre étude.

Des teneurs variables en polyphénols sont observées avec des espèces appartenant à la même famille des Apiacées. Alves-Silva *et al.*, (2013) ont révélé que la coriandre (*Coriandrum sativum.L*) et le céleri (*Apium graveolens*) présentent des teneurs de **52,3 ±19,0(mg EAG/L HE)** et de **225,5± 15,3 (mg EAG/L HE)** respectivement.

❖ Flavonoïdes

La détermination de la teneur en flavonoïdes est obtenue en utilisant la courbe d'étalonnage réalisée avec la quercétine (annexe 2).

Les valeurs moyennes de la concentration en flavonoïdes des huiles essentielles de *Foeniculum Vulgare* sèche et fraîche sont représentées dans la figure n°16 est de l'ordre de **0,18 ±0,02 mg EQ /g HE**, **0,081 ± 0,004 mg EQ /g HE** respectivement, calculé à partir des valeurs des absorbances à une longueur d'onde de 430 nm.

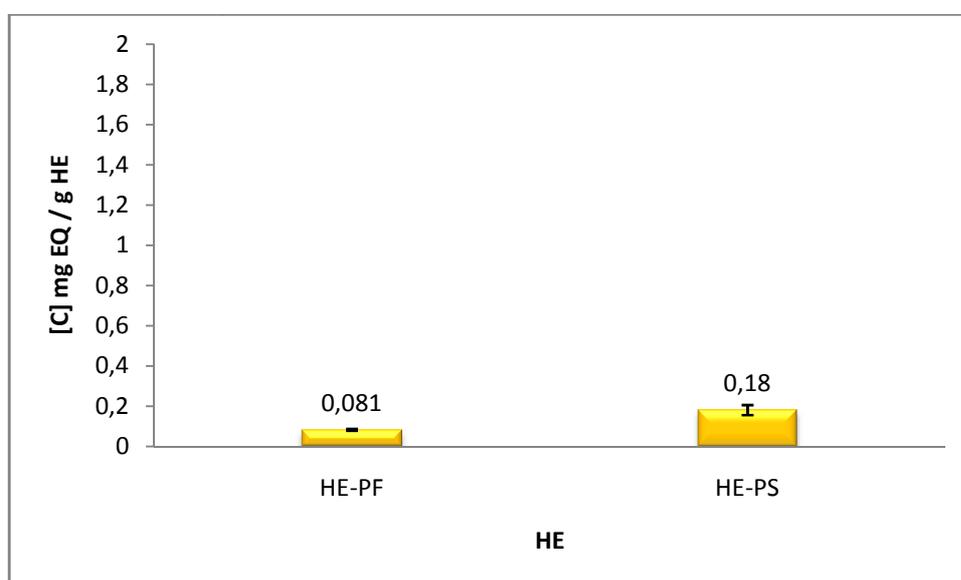


Figure n° 16: Représentation graphique du taux de flavonoïdes de l'huile essentielle de *Foeniculum vulgare*.

Le taux faible en flavonoïdes indique que les composés phénoliques de cette huile ne sont pas en majorité des flavonoïdes.

IV-Activités antioxydants

L'activité antioxydant des huiles essentielles ont été évaluée par trois méthodes : piégeage du radical (DPPH[•]), la mesure du pouvoir réducteur et inhibition du radical (ABTS ^{•+}).

Ces méthodes se basent exclusivement sur la capacité réductrice ou de piégeage des radicaux comme étant un indicateur de son potentiel antioxydant (Javanmardi *et al.*, 2003 ; Marc *et al.*, 2004).

IV-1-Activité Scavenger du radical DPPH[•]

L'essai au DPPH est l'une des méthodes les plus connues et la plus utilisée, pour la détermination de l'activité antioxydant de plusieurs substances et extraits (Szabo *et al.*, 2006).

Le radical DPPH[•] possède un électron non apparié sur un atome du pont d'azote (Popovici *et al.*, 2009), de ce fait en présence d'antioxydant, le radical DPPH[•] se réduit par transfert de protons (Siddhuraju, 2006 ; Erkan *et al.*, 2008), Ceci est visible par le changement de couleur du pourpre au jaune, le maximum d'absorption du DPPH est de 517 nm (Elmastas *et al.*, 2006).

Les histogrammes des figures n° 17 et 18 illustrent le pourcentage de l'activité Scavenger du radical DPPH des antioxydants standards et de l'huile essentielle de *Foeniculum vulgare* respectivement.

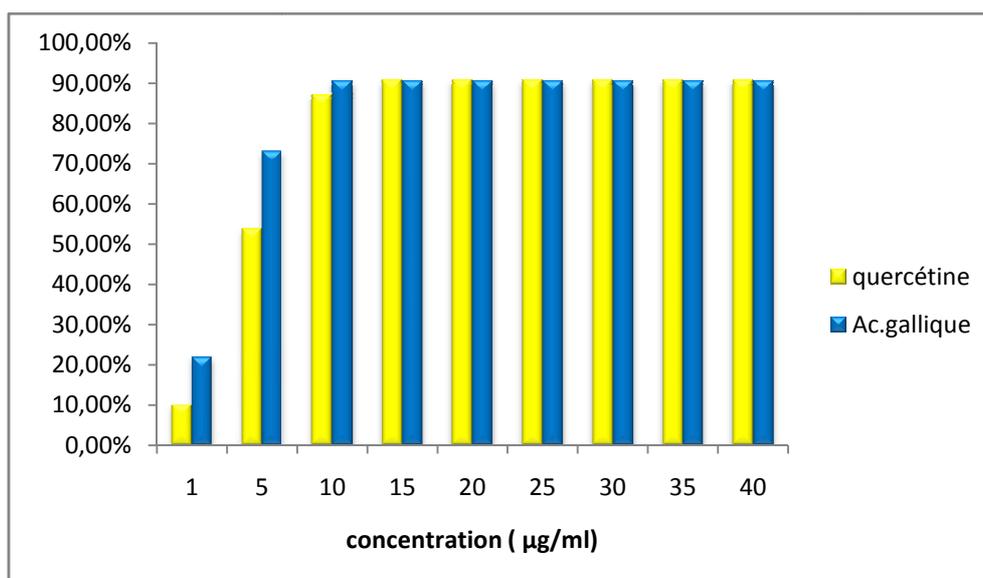


Figure n°17 : Activité Scavenger du radical DPPH des antioxydants standards.

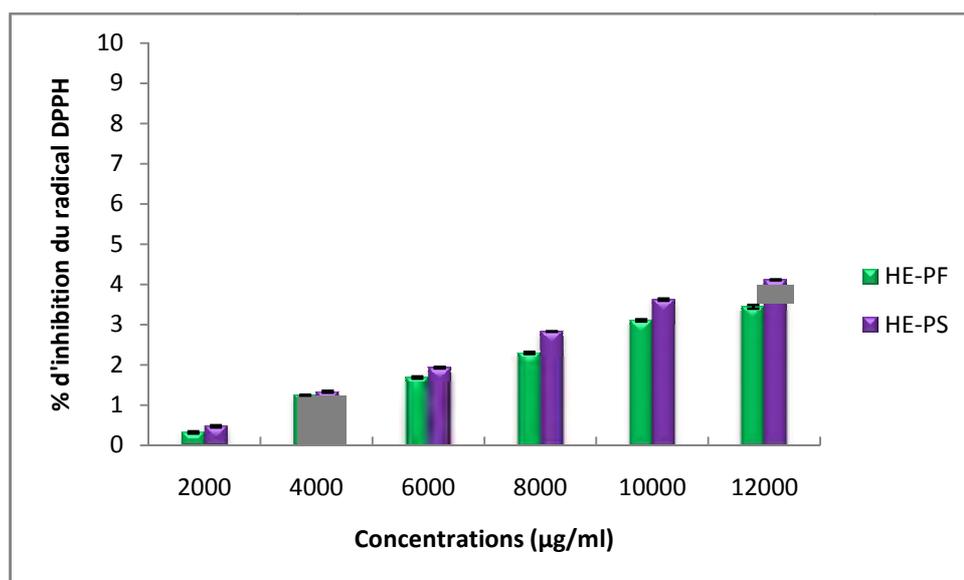


Figure n°18: Activité scavenging du radical DPPH de l'huile essentielle de *Foeniculum vulgare*.

Selon les résultats obtenus, l'effet scavenger augmente avec l'augmentation des concentrations. Le pourcentage d'inhibition diffère légèrement entre la plante sèche et fraîche, en faveur de la première.

Les standards utilisés (figure n°17), possèdent des pourcentages Scavenging largement supérieurs à ceux obtenus avec l'huile essentielle. par exemple la quercétine, à une concentration de 40µg/ml présente un effet scavenger maximal de 90%, alors qu'à une concentration de 4000µg/ml l'huile essentielle de *Foeniculum vulgare* a montré un effet Scavenger de 1,33 % pour la plante sèche et de 1,24% pour fraîche.

D'après la figure n°18 l'huile a manifesté une faible activité anti-radicalaire dans une gamme de concentration allant de 2000 à 12000 µg/ml avec des pourcentages allant de 0,32 % à 3,44% pour la plante fraîche et de 0,47 % à 4,11 % pour la plante sèche. Les résultats ne nous ont pas permis de déterminer la concentration inhibitrice à 50% (IC₅₀).

Cette faible activité anti-radicalaire a été constatée avec d'autres auteurs concernant cette huile, d'après **Viuda-Martos et al., (2011)**, le pourcentage d'inhibition du radical DPPH, à une concentration égale à 10 mg/ml, est de 4,79 ± 0,97 % qui reste comparable à celle de notre échantillon dans la même concentration.

IV- Pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur mesure la capacité qu'a un antioxydant à donner un électron (Balasundram *et al.*, 2005). Dans cet essai, le potentiel de la réduction de l'ion ferrique (Fe^{3+}) en ion ferreux (Fe^{2+}) est mesurée, qui se traduit par une coloration bleue (Kranl *et al.*, 2005).

Les figures n°19 et 20 illustrent le pouvoir réducteur des standards, et de l'huile essentielle respectivement.

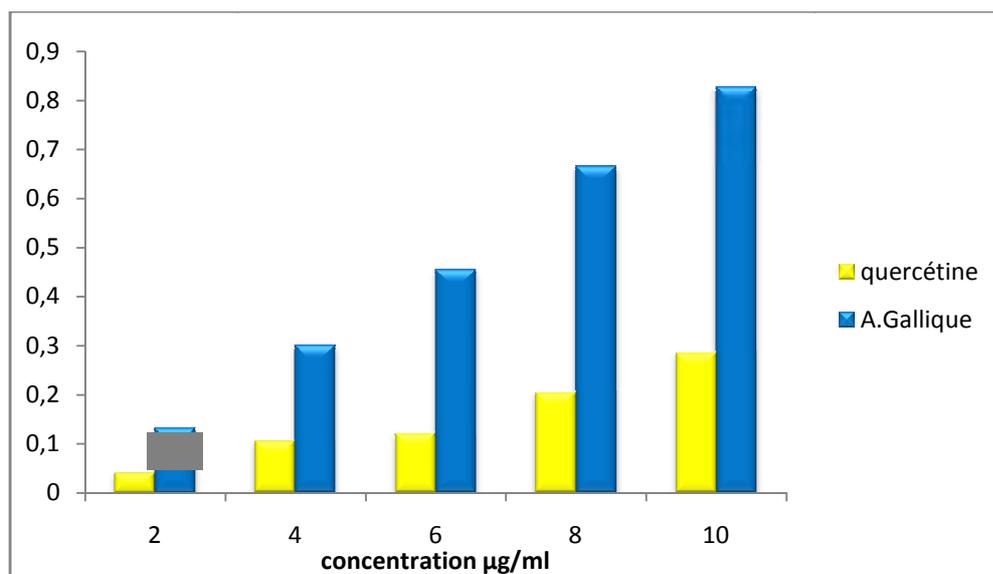


Figure n°19 : Pouvoir réducteur des antioxydants de synthèse.

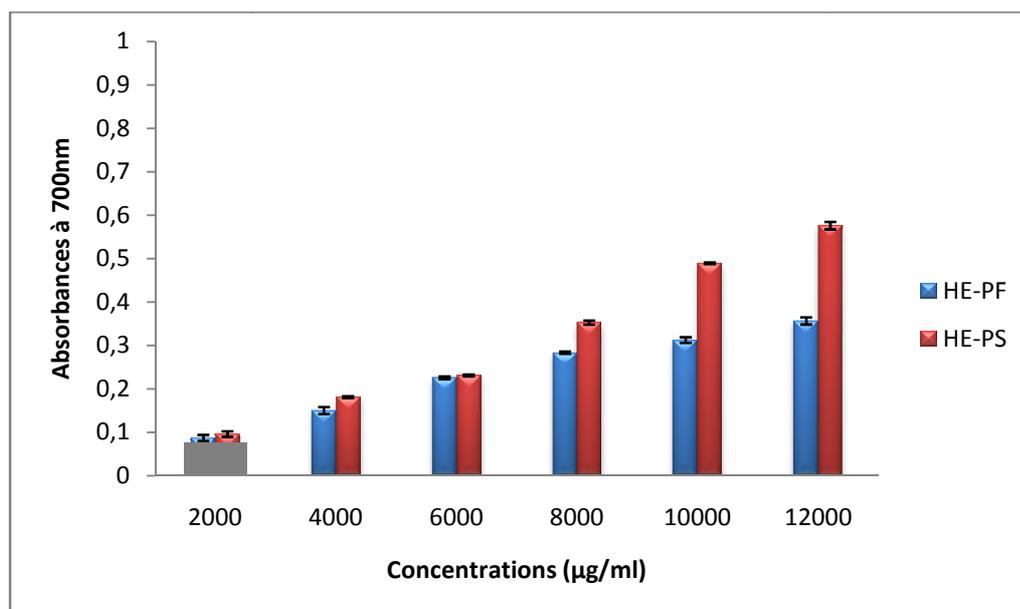


Figure n°20 : Pouvoir réducteur de l'huile essentielle de *Foeniculum vulgare*.

D'après les deux figures, on constate que le pouvoir réducteur est proportionnel à la concentration.

En comparant les activités réductrices des huiles essentielles à celles des antioxydants de synthèse, on peut conclure que ces derniers ont une plus grande activité réductrice que les échantillons testés. En effet, pour une concentration de 10 μ g/ml, l'absorbance est de 0,828 pour l'acide gallique et de 0,285 pour la quercétine, alors que l'huile essentielle, à une concentration de 2000 μ g/ml, présente une absorbance de 0,08 et 0,09 pour fraîche et sèche respectivement.

Cette différence d'activité, est probablement due au degré de pureté des échantillons utilisés, les standards étant des composés de synthèse purs et les échantillons des extraits bruts non purifiés. Selon **Dawidowicz *et al.*, (2006)**, il est difficile d'établir une corrélation et d'obtenir un même résultat entre des composés purifiés et des extraits bruts, puisqu'il est possible d'avoir des interactions entre les différents composés de l'extrait.

V- Activité scavenger du radical ABTS^{•+}

Le principe de la méthode est basé sur la génération du radical ABTS^{•+} qui implique la production directe d'une coloration bleu/vert lors de la réaction entre l'ABTS^{•+} et le persulfate de potassium.

La figure n° 21 illustre le pourcentage d'inhibition du radical ABTS de l'huile essentielle et du trolox.

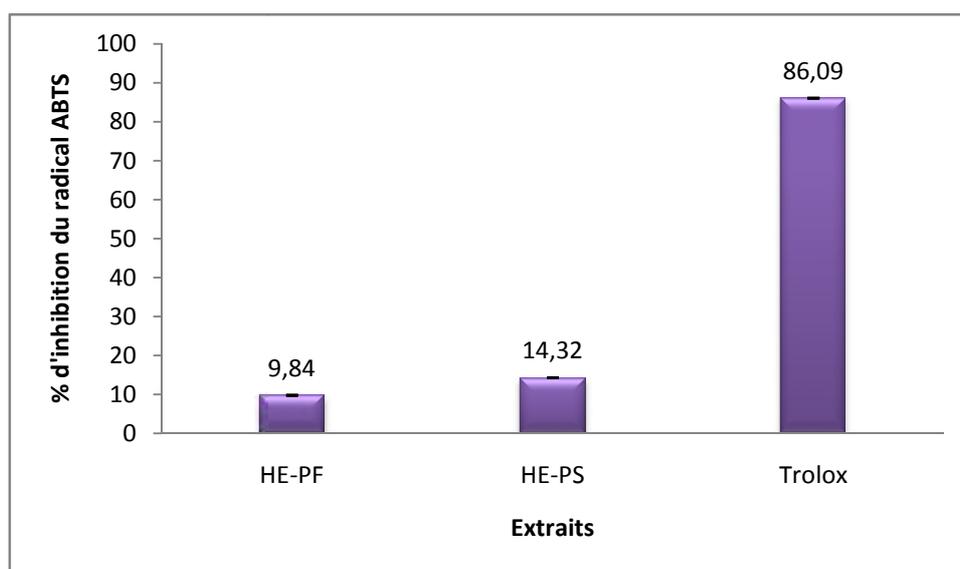


Figure n° 21 : Effet scavenger contre le radical ABTS de l'huile essentielle et du trolox.

Selon les résultats obtenus, on remarque que le trolox, à une concentration de 1 mg/ml, présente un pourcentage d'inhibition du radical ABTS de 86,09 %, qui est supérieur à celui obtenue avec l'huile essentielle de la plante sèche et fraîche, à concentration égale, avec des pourcentages de 14,32 et 9.84 respectivement. De ces derniers résultats, on constate que le taux d'inhibition est légèrement supérieur chez la l'huile obtenue de la plante sèche.

Ce présent travail, a eu pour but l'étude d'une plante médicinale aromatique *Foeniculum vulgare* et l'évaluation de son activité antioxydant.

Les résultats du test d'humidité, après séchage de la plante, indiquent un taux de 81.30 %, cela indique que plus de la moitié du poids de la plante fraîche est constitué d'eau.

L'extraction des huiles essentielles a montré un rendement de 0.43 % pour la plante sèche, et de 0,10% pour la plante fraîche. Le séchage de la plante a permis de donner un meilleur rendement en huile essentielle.

Le dosage des composés phénoliques contenus dans l'huile issue des plantes sèche et fraîche sont appréciables et sont respectivement de $3,90 \pm 0,06$ mg / EAG/g HE et de $3,68 \pm 0,11$ mg / EAG/g HE. Alors que la teneur en flavonoïde est faible, avec une légère différence entre plante sèche et fraîche avec des teneurs de $0,18 \pm 0,02$ mg EQ /g HE et $0,081 \pm 0,004$ mg EQ /g HE respectivement.

L'évaluation de l'activité antioxydant *in vitro*, par les trois tests a révélé que l'activité anti radicalaire DPPH, pouvoir réducteur et l'ABTS de l'huile essentielle de la plante sèche est supérieur à celle qui est fraîche et que l'activité est proportionnelle à la concentration.

Ces données ont permis de constater que le séchage n'influence pas négativement sur l'activité antioxydant de l'huile essentielle, au contraire, il a permis d'obtenir de meilleurs résultats pour l'ensemble des activités testées.

Cette étude peut être considérée comme une première source d'informations sur les propriétés antioxydants des huiles essentielles de *Foeniculum vulgare*.

A présent, il serait plus intéressant en perspectives de procéder à :

- L'élargissement de l'étude sur d'autres parties ;
- L'évaluation d'autres activités de l'huile essentielle comme anti-inflammatoire, antimicrobienne, toxicité aigue et subaigue ;
- L'identification des molécules par GC/MS ;
- L'évaluation de l'activité antioxydant des extraits phénolique.

A

Abou El-Soud¹ N., El-Laithy N., El-Saeed G., Wahby M.S., Khalil M., Morsy F. et Shaffie N. (2011). Antidiabetic Activities of *Foeniculum Vulgare* Mill. Essential Oil in Streptozotocin-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.

Alves-Silva J.M. et Dias dos Santos S.M. (2013). Chemical composition and in vitro antimicrobial, antifungal and antioxidant properties of essential oils obtained from some herbs widely used in Portugal.

Amarti F., El Ajjouri M., Ghanmi M., Satrani B., Aafi A., Farah A., Khia A., Guedira A., Rahouti M., et Chaouch A. (2011). Composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydante de l'huile essentielle de *Thymus zygis* du Maroc.

Amarti F., Satrani B., Ghanmi M., Farah A., Aafi A., Arab L., El Ajjouri M. et Chaouch A. (2010). Composition chimique et activité antimicrobienne des huiles essentielles de *Thymus algeriensis* Boiss. & Reut. et *Thymus ciliatus* (Dest.) Benth. Du Maroc. *Biotechnol. Agron. Environ.*, 14(1) : 141 - 148.

Anwar F., Ali M., Hussain A.I., et Shahid M. (2009). Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seeds from Pakistan. *Flavour Fragr. J.* 24: 170–176.

Arnal schnebelen B., Goetz P., Grassart E., Iserin P., Jacquemin M., Lejeune R. et al., (2008). Plante médicinales : Phytothérapie. ISBN : 978-7098-2021-9. Paris : Sélection du Reader's Digest.

Athamena S., Chalghem I., Kassah-laouar A., Laroui S. et Khebri S. (2010). Activité antioxydante et antimicrobienne d'extraits de *Cuminum cyminum* L. lebanese. *Science journal*, 11 : 69 - 81.

B

Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D. et Idaomar M. (2008). Biological effects of essential oils. *Food and Chemical Toxicology*, 46: 446 - 475.

Balasundram N., Ai T. Y., Sambanthamurthi R., Sundram K. et Samman S. (2005). Antioxidant properties of palm fruit extracts. *Asia Pac J Clin Nutr*; 4 (4):319- 324.

Barros L., Sandrina A. S.A., Carvalho M.A. et Ferreira I.C.F.R. (2009). Systematic evaluation of the antioxidant potential of different parts of *Foeniculum vulgare Mill.* from Portugal. *Food and Chemical Toxicology* 47 :2458–2464.

Bekhechi C. et Abdelouahid D. (2010). Les huiles essentielles. Edition : 1.04.5145. ISBN : 978. 9961. 0. 1394. 6.

Bijoy M., Jayati S. et Prabir K.S. (2008).Antioxidant activities of soybean asaffected by Bacillus-fermentation to kinema. *Food Research International*, 41: 586 - 593.

Boizot N. et Charpentier J.P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. INRA - Amélioration,Génétique et Physiologie Forestières, Laboratoire d'Analyses Biochimiques.

Botrel A. (2007). LAROUSSE des plantes médicinales. Identifications, préparation, soins. Ed : Larousse-Bordas.

Bruneton J. (1987). Éléments de phytochimie et de pharmacoghosie. Ed : Tec & Doc. Lavoisier. P : 259-420.

Bruneton J. (1999). Pharmacognosie Phytochimie plantes médicinales. Ed :Tec & Toc. Paris. 1120 p.

Bruneton J. (2009). Composés phénoliques, shikimates, acétates. In : « Pharmacognosie Phytochimie Plantes médicinales ». Ed. Tec & Doc, Lavoisier Paris. pp. 259-448.

Burt S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review, *International Journal of Food Microbiology*, 94: 223– 253.

C

Catier O. et Roux D. (2007). Botanique Pharmacognosie Phytothérapie. Collection: Porphyre. ISBN : 978-2-915585-52-0.

Ćavar S., Maksimović M., Vidić D. et Parić A. (2012). Chemical composition and antioxidant and antimicrobial activity of essential oil of *Artemisia annua* L. from Bosnia. *Industrial Crops and Products*, 37: 479 - 485.

Chen D. et Ping Dou Q. (2008). Tea polyphenols and Their Roles in Cancer Prevention and Chemotherapy. *International Journal of Molecular Sciences*. 9: 1196-1206.

Chira K., Suh J.H., Sausier C. et Teissedre P.L. (2008). Les polyphenols du raisin Phytothérapie 6 : 75-82.

Choi E.M. et Hwang J.K. (2004). Antiinflammatory, analgesic and antioxidant activities of the fruit of *Foeniculum vulgare*. *Fitoterapia* 75: 557– 565.

Couic-Marinier F. et Lobstein A. (2013). Composition chimique des huiles essentielles.

Custódio L., Fernandes E., Escapa A.L., López-Avilés S., Fajardo A., Aligué R., Albericio F. et Romano A. (2009). Antioxidant activity and *in vitro* inhibition of tumor cell growth by leaf extracts from the carob tree (*ceratonia siliqua*). *Pharmaceutical Biology*. 47.8: 721-728.

D

Dawidowicz A.L., Wianowska, D. et Baraniak, B. (2006). The antioxidant properties of alcoholic extracts from *Sambucus nigra* L. (antioxidant properties of extracts). *LWT*, 39: 308 -315.

De Billerbeck V.G. (2007). Huiles essentielles et bactéries résistantes aux antibiotiques. *Phytothérapie* 5 : 249–253.

Debuigne G. et Couplan F. (2009). Petit Larousse des Plante Médicinales. Ed. Paris : Larousse.

Diao W-R. Hu Q-P. Zhang H. et Xu J-G. (2014). Chemical composition, antibacterial activity and mechanism of action of essential oil from seeds of fennel (*Foeniculum vulgare, Mill*). *Food Control* 35: 109-116.

Djeridane A., Yousfi M., Nadjemi B., Boutassouna D., Stocker P. et Vidal N. (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chemistry*, 97: 654 - 660.

Duraffourd C & Lapraz J.L. (2002). Traité de phytothérapie clinique : Médecine et endobiologie. Ed : Masson, Paris.

E

Edeas M. (2007). Les polyphénols et les polyphénols de thé. *Phytothérapie* 5 : 264-270.

El-Haci I.A. Atik-Bekkara F. Didi A Gherib M. Didi M.A.(2012). Teneurs en polyphénols et pouvoir antioxydant d'une plante médicinale endémique du Sahara algérien. *Phytothérapie*, 10:280–285.

Elmastas M., Isildak O., Turkecul I. & Temur N. (2007). Determination of antioxidant activity and antioxidant compounds in wild edible mushrooms. *Journal of Food Composition and Analysis*, 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.

Erkan N., Ayranci G., Ayranci E. (2008). Antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus Officinalis L.*) extract, blackseed (*Nigella sativa L.*) essential oil, carnosic acid, rosmarinic acid and sesamol. *Food Chemistry*, 110 76–82.

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). Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité chimique*, 108 - 115.

Favier, A. (2006). Stress oxydant et pathologies humaines. *Annales pharmaceutiques Françaises*, 64(6): 390 - 396.

G

Ghedira K. (2005). Les flavonoïdes : Structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie*, 4 : 162-169.

Ghestem A., Seguin E., Paris M. & Orecchioni A.M. (2001). Le préparateur en pharmacie. Botanique-pharmacognosie , phytothérapie homéopathie. Ed : Tec & Doc.

Goudable J. & Favier A. (1997). Radicaux libres oxygénés et antioxydants. *Nutr. Clin. Métabol.*, 11: 115 - 120.

Gulçin I., Ailci H.A., & Cesur M. (2005). Determination of *in Vitro* Antioxidant and Radical Scavenging Activities of Propofol. *Chemical & Pharmaceutique Bulltin.* 53.

Gulfraz M., Mehmood S., Minhas N., Jabeen N., Kausar R., Jabeen K. & Arshad G. (2008). Composition and antimicrobial properties of essentialoil of *Foeniculum vulgare*. *African Journal of Biotechnology*. Vol. 7 (24), pp. 4364-4368.

H

Hamdy Roby M.H., Sarhan M.A., Selim K.A-H & Khalel K.I.(2013). Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) and chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Industrial Crops and Products* 44: 437– 445.

Hassane S.S.O., Satrani B., Ghanmi M., Mansouri N., Mohamed H. & Chaouch A. (2011). Activité antimicrobienne et composition chimique de l'huile essentielle de *Plectranthus aromaticus* Roxb. De l'Ile de la Grande Comore. Vol 15, Num 2.

Hennebelle T. (2006). Investigation chimique, chimiotaxnomique et pharmacologique de Lamiales productrices d'antioxdants : *Marrubiumperegrinum*, *Ballota larendana*, *Ballota pseudodictamnus* (Lamiacée) et *Lippia alba* (Verbénacées). Thèse de doctorat, Universié des sciences et technologies de Lille-Lille1, Paris : 29.

Hennebelle T. Sahpaz S. & Bailleul F. (2004). Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. *Phytothérapie*. Numéro 1: 3-6

J

Javanmardi J., Stushnoff C., Loke E. & Vivanco J.M. (2003). Antioxydant activity and total phenolic content of Iranian Ocimum accessions. *Food Chemistry*. 83: 547-550.

K

Karou D., Dicko M. H., Simpore J., and Traore A. S., (2005). Antioxidant and antibacterial activities of polyphenols from ethno medicinal plants of Burkina Faso. *African Journal of Biotechnology*, Vol. 4 (8), pp. 823-828.

Kebieche M. (2009). Activité biochimique des extraits des flavonoidiques de la plante *Ranunculus repens L*: effet sur le diabète expérimental et l'hépatotoxicité induite par l'Epirubicine, thèse de doctorat, université Mentouri Constantine. 143p.

Koechlin-Ramonatxo C. (2006). Oxygène, stress oxydant et suppléments antioxydants ou un aspect différent de la nutrition dans les maladies respiratoires. *Nutrition clinique et métabolisme* 20 (2006) 165–177.

Kouamé J., Gnoula C., Palé E., Bassolé H., Guissou I.P., Simporé J. & Nikiéma J.B. (2009). Etude des propriétés cytotoxiques et anti-radicalaires d'extraits de feuilles et de galles de *Guiera senegalensis* J. F. Gmel (Combretaceae). *Science et technique, Sciences de la santé*, 32 : 9 - 23.

Kranl K., Schlesier K., Bitsch R., Hermann H., Rohe M. & Bohm V. (2005). Comparing antioxidative food additives and secondary plant product – use of different assays. *Food Chemistry*. 93: 171-175. Paris.

Križmana M., Baricevic D. & Prosek M. (2007). Determination of phenolic compounds in fennel by HPLC and HPLC–MS using a monolithic reversed-phase column. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 43 : 481–485.

Kumar S.V., Saritha G. & Fareedullah M.D. (2010). Role of antioxidants and oxidative stress in cardiovascular diseases. *Annals of Biological Research*, 1 (3) : 158-173.

L

- Lazouni H.A Benmansour. A. Taleb-bendiab S.A Chabane sari D. (2007).** Composition Des Constituants Des Huiles essentielles et Valeurs Nutritives Du *Foeniculum vulgare Mill.* Sciences & Technologie C – N°25 p p .7-12.
- Lim T.K. (2013).** Edible Medicinaland Non-Medicinal Plants. Springer Dordrecht Heidelberg New York London.Library of Congress Control Number: 2011932982. Volume 5, Fruits.
- Lubinic E. (2003).** Manuel pratique d’Aromathérapie. Les huiles essentielles et leur utilisation. Ed : Vigot. P.7.9.

M

- Mahmoudi Z., Soleimani M., Abbas saidi A., Khamisipour G., Azizoltani A. (2012).** Effects of *Foeniculum vulgare* ethanol extract on osteogenesis in human meenchymal stem cells. *Avicenna Journal of Phytomedicine.* Vol. 3, No. 2, 135-142.
- Marc F., Davin A., Benbrahim L., Ferrand C. & Fritch P. (2004).** Méthodes d’évaluation du potential antioxidant dans les aliments, *Médecine Science.* 20 :458-463.
- Marfak A. (2003).** Radiolyse gamma des flavonoïdes, Etude de leur reactive avec les radicaux issus des alcools : formation de depsides. Thèse pour obtenir le gradede docteur de l'université de Limoges. Spécialité :biphysique. Pp : 5-187.
- Marino, S.D., Gala, F., Borbone, N., Zollo, F.,Vitalini S.,Visioli, F., Iorizzi, M. (2007).** Phenolic glycosides from *Foeniculumvulgare* fruit and evaluation of antioxidative activity. *Phytochemistry* 68, 1805–1812.
- Middleton EJ., Kandaswami C & Theoharides TC. (2000).** The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease and cancer. *Pharmacologu Review* (52) : 673-751.
- Miguel M.G., (2010).** Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Essential Oils: A Short Review. *Molecules,* 15 : 9252-9287.

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.

Molyneux P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarinn J. Sci. Technol.*, 26(2): 211 - 219.

Muckensturm B., Foechterlen D., Reduron J.P., Dantont P. & Hildenbrand M. (1997). Phytochemical and Chemotaxonomic Studies of *Foeniculum vulgare*. *Biochemical Systematics and Ecology*. Vol. 25, No. 4, pp. 353-358.

N

N'Guessan A.H.O. Déliko C.E.D. Mamyrbékova-Békro J.A, Békro Y.A. (2011). Teneurs en composés phénoliques de 10 plantes médicinales employées dans la tradithérapie de l'hypertension artérielle, une pathologie émergente en Côte d'Ivoire. *Revue de génie industriel* 6 : 55-61.

Napoli E.M., Curcuruto G. & Ruberto G. (2010). Screening the essential oil composition of wild Sicilian fennel. *Biochemical Systematics and Ecology* 38 : 213–223.

Narayana K.R., Reddy M.S., Chaluvadi M.R. & Krishna K.D.R. (2001). Bioflavonoids classification, pharmacological, biochemical effects and therapeutic potential. *Indian Journal of Pharmacology*. (33): 2-16.

Nijveldt R.J., Van Nood E., Van Hoorn D. E.C., Boelens P. G., Van Norren K., & Van Leeuwen P.A.M (2001). Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *Am J Clin Nutr*;74:418–25.

O

Oktay M., Gulcin I. & Kufrevioglu O.I. (2003). Determination of in vitro antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extracts. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* 36 : 263–271.

Olle M & Bender I. (2010). The content of oils in umbelliferous crops and its formation. *Agronomy Research* 8 (Special Issue III), 687–696.

Oussou K.R., Yolou S.F., Tue Bi B., Kanko C., Boti J.B., Ahibo C., et Casanova J. (2010). Etude Chimique Bio-Guidée de L'huile Essentielle de *Ocimum Gratissimum*.

Ozbek H., Ugras, S., Dulger, H., Bayram, I., Tuncer, I., Ozturk, G., Ozturk, A., (2003). Hepatoprotective effect of *Foeniculum vulgare* essential oil. *Fitoterapia* 74, 317–319.

Ozkan A. & Erdoğan A. (2011). A comparative evaluation of antioxidant and anticancer activity of essential oil from *Origanum onites* (Lamiaceae) and its two major phenolic components. *Turk. J. Biol.*, 35: 735 - 742.

P

Padda M.S. (2009). Phenolic composition and antioxidant activity of sweetpotatoes [ipomeabatatas] (I.)Lam]. Dissertation soumise à la faculté des études supérieures de « Louisiana state University » et « Agricultural and Mechanical College » en vue d'obtention du grade de docteur en Philophosie dand le département d'horticulture. 1-109.

Paris M. & Hurabielle M. (1980). Abrégé de matière végétale pharmacognosie. Tome 1. Généralités-monographies. Ed : Masson.

Pincemail J., Meurisse M., Limet R. & Defraigne J.O. (1999). L'évaluation du stress oxydatif d'un individu : une réalité pour le médecin. *Vaisseaux, Coeur, Poumons*. Vol 4. N°5.

Popovici C., Saykova, I. & Bartosz, T. (2009). Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de génie industriel*, 4 : 1313 - 8871.

R

Rahami R. & Ardekani M.R.S. (2013). Medicinal properties of *Foeniculum vulgare* Mill. In traditional Iranian medicine and modern phytotherapy. *Chin J integr Med*, 19(1): 73-79

Rather M.A., Dar B.A., Sofi S.N., Bhat B.A. Qurishi M.A. (2012). *Foeniculum vulgare*: A comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology, and safety. *Arabian Journal of Chemistry*.

Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., & Rice Evans C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology*, (26): 1231-1237.

Ribereau-Gayon P. (1968). Notions générales sur les composés phénoliques, méthodes générales d'études des composés phénoliques. In *composés phénoliques des végétaux*. Ed. Dunod, Paris, P: 173-201.

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.

S

Sarni-Manchado P. & Cheynier V. (2006). Les polyphénols en agrolimentation. Ed : Tec et Doc. Lavoisier.

Scalbert A., Manach C., Morand C. & Rémésy C. (2005). Dietary Polyphenols and the Prevention of Diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.45:287–306.

Senatore F., Oliviero F., Scandolera E., Taglialatela-Scafati O., Roscigno G., Zaccardelli M. & De Falco E. (2013). Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of anethole-rich oil from leaves of selected varieties of fennel [*Foeniculum vulgare* Mill. ssp. *vulgare* var. *azoricum* (Mill.)Thell]. *Fitoterapia* 90: 214–219.

Seyoum A., Asres K., El-Fiky & FK. (2006). Structure radical Scavenging activity relationships of flavonoids. *Journal of phytochemistry*, (67): 2058-2070.

Shirwaikar A., Rajendran K. & Punitha I.S.R. (2006). In Vitro Antioxidant Studies on the Benzyl Tetra Isoquinoline Alkaloid Berberine. *Biol. Pharm. Bull.*,29(9): 1906 -1910.

Siddhuraju, P. (2006). Antioxidant activity of polyphenolic compounds extracted from defatted raw and dry heated *Tamarindus indica* seed coat. *LWT*.40: 982-990.

Singh B. & Kale R.K. (2008). Chemomodulatory action of *Foeniculum vulgare* (Fennel) on skin and forestomach papillomagenesis, enzymes associated with xenobiotic metabolism and antioxidant status in murine model system. *Food and Chemical Toxicology* 46 : 3842–3850.

Soares A.F. (2005). Effet du stress oxydant sur le fonctionnement des adipocyte Adiponectine et Prostaglandibes. Thèse soutenue en vue d'obtention du grade de docteur devant l'Institut National de Lyon. p: 18-133.

Stefanini M.B., Ming L.C., Marques M.O.M., Facanali R., Meireles M.A.A., Moura L.S., Marchese J.A. & Sousa L.A. (2006). Essential oil constituents of different organs of fennel (*Foeniculum vulgare var.vulgare*). Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu, v.8, n. esp., p.193-198.

Szabo M. Chambre D., Iditoiu C., 2006. New method for the calculus of the antioxidant activity in the DPPH spectrophotometric assay. Scien. And Techn. Bull. Of Univ. A. Vlaicu Arad Volume 11 (XII).

T

Telci I. Demirtas I. Sahin A. (2009). Variation in plant properties and essential oil composition of sweet fennel (*Foeniculum vulgare Mill.*) fruits during stages of maturity. *Industrial Crops and Products* 30: 126–130.

Tessier F. & Marconnet. P. (1995). Radicaux libres, systèmes antioxydants et exercice. *Science & Sports*.10 :1-13.

Teucher E., Anton R. & Lobstein A. (2003). Plantes aromatiques : épices, aromates, condiments et huiles essentielles. Ed. : Lavoisier. P3.

Teucher E., Anton R. & Lobstein A. (2005). Plantes aromatiques (Epices, aromates, condiments et huiles essentielles). Ed : Tec et Doc. Lavoisier.

V

Valko M., Leibfritz D., Moncola J., Cronin M.T.D., Mazura M. & Telser J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and humandisease. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 39: 44 - 84.

Viuda-Martos M., Mohamady M.A., Fernández J.L., Abdelrazik K.A., Omer E.A., Pérez-Alvarez J.A. & Sendra E. (2011). In vitro antioxidant and antibacterial activities of essentials oils obtained from Egyptian aromatic plants. *Food Contro*,l 22: 1715-1722.

W

Références bibliographie

Wichtl M. & Anton R. (2003). Plantes thérapeutiques. Tradition, pratique officinale, science et thérapeutique. Ed : Tec et Doc. Lavoisier. Paris.

Williams Lyall R. & Lusunzi I. (1994). Essential oil from *Melaleuca dissitiflora*: a potential source of high quality tea tree oil. *Industrial Crops and Products* 2. 211-217.

Winkel-Shirley B. (2001). Flavonoid Biosynthesis. A Colorful Model for Genetics, Biochemistry, Cell Biology, and Biotechnology. *Plant Physiology*. Vol. 126, pp. 485–493.

Z

Zoubiri S, Baaliouamer A., Seba N. & Chamouni N. (2010). Chemical composition and larvicidal activity of Algerian *Foeniculum vulgare* seed essential oil. *Arabian Journal of Chemistry*.

Zoubiri S. & Baaliouamer A. (2011). Chemical composition and insecticidal properties of some aromatic herbs essential oils from Algeria. *Food Chemistry*, 129: 179–182.

Glossaire

Alterne : Les organes d'une plante sont dits alternes lorsqu'ils sont insérés isolément et à des niveaux différents sur une tige ou un rameau.

Annuelle : plante vivant une seule année, celle de son semis. Elle grandit, fleurit, fructifie et meurt en l'espace d'un an.

Antiallergique : Substance qui s'oppose à la réaction excessive de l'organisme à un agent étranger.

Antifongique : Se dit d'une substance qui agit contre les mycoses.

Anti-inflammatoire : Qui fait dégonfler, et diminuer l'irritation. La plupart des anti-inflammatoires sont aussi des antidouleurs.

Antiseptique: (grec : anti, contre ; sepein, pourrir) : Prévient les infections en détruisant les microbes.

Antispasmodique: Substance qui permet de lutter contre les spasmes, agit généralement en empêchant la contraction des fibres musculaires de l'intestin et des voies urinaires.

Bisannuelle : Qualifie une plante qui accomplit son cycle de vie en deux années. La première année, la plante développe un appareil végétatif : racines, tiges et feuilles.

Carminatif : Qui résorbe les gaz intestinaux.

Cytotoxique : Se dit des substances nocives pour les cellules, ayant donc la propriété de les détruire.

Eructation : Est l'expulsion de gaz du tube digestif (principalement de l'œsophage et de l'estomac) par la bouche. Elle s'accompagne souvent d'un son et parfois d'une odeur caractéristique.

Gaine : Unit le limbe ou le pétiole à la tige.

Flatulence : Est la production de gaz intestinaux, accumulés dans l'intestin ou l'estomac et provoquant des ballonnements, qui peuvent être expulsés hors du corps de façon volontaire ou involontaire par l'anus ou la bouche.

Maladie d'Alzheimer : Maladie neurodégénérative du tissu cérébral qui entraîne la perte progressive et irréversible des fonctions mentales et notamment de la mémoire.

Glossaire

Maladie de Parkinson : Maladie neurologique chronique affectant le système nerveux central responsable de troubles essentiellement moteurs d'évolution progressive.

Œdème : Il correspond au gonflement d'un organe ou d'un tissu dû à une accumulation ou un excès intratissulaire de liquides dans le milieu interstitiel.

Œstrogènes : Constituent un groupe de stéroïdes, dont la fonction, à l'état naturel, est d'être une hormone sexuelle femelle primaire. Ils sont produits en premier lieu par le développement des follicules, des ovaires, le corps jaune et le placenta.

Ombellifères : Umbelle : (latin : umbella, parasol) : inflorescence dont les pédoncules floraux, égaux entre eux, naissent tous du même point et portent des fleurs, ou des ombellules, sur un même plan.

Palmée : Les folioles sont disposées comme les doigts de la main.

Pennée : Les folioles sont disposées comme les barbes d'une plume.

Pédoncule : terme désignant la tige (ou queue) d'une fleur, distincte de la tige de la plante.

Pétale : Pièce colorée constituant la corolle, appareil d'affichage de la fleur.

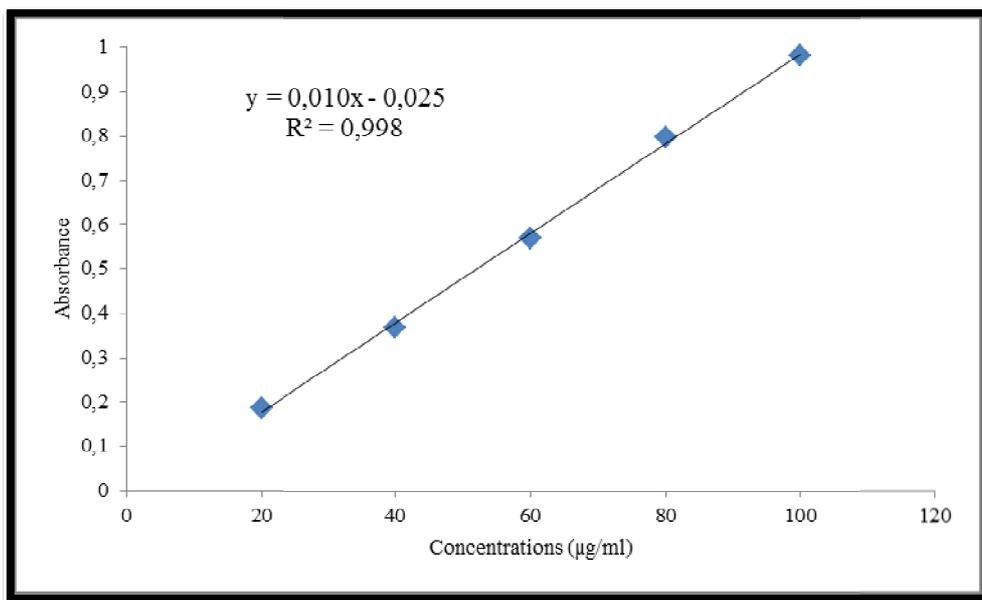
Pétiole : (du latin petiolus : petit pied) désigne la pièce foliaire, reliant le limbe à la tige. Le pétiole a la structure interne d'une tige. C'est l'équivalent du pédoncule pour le fruit.

Résine végétales : Substances naturelles secrétées par certains végétaux. Elles ont l'aspect d'un liquide poisseux qui sèche plus ou moins rapidement au contact de l'air. Elles sont souvent fortement odorantes.

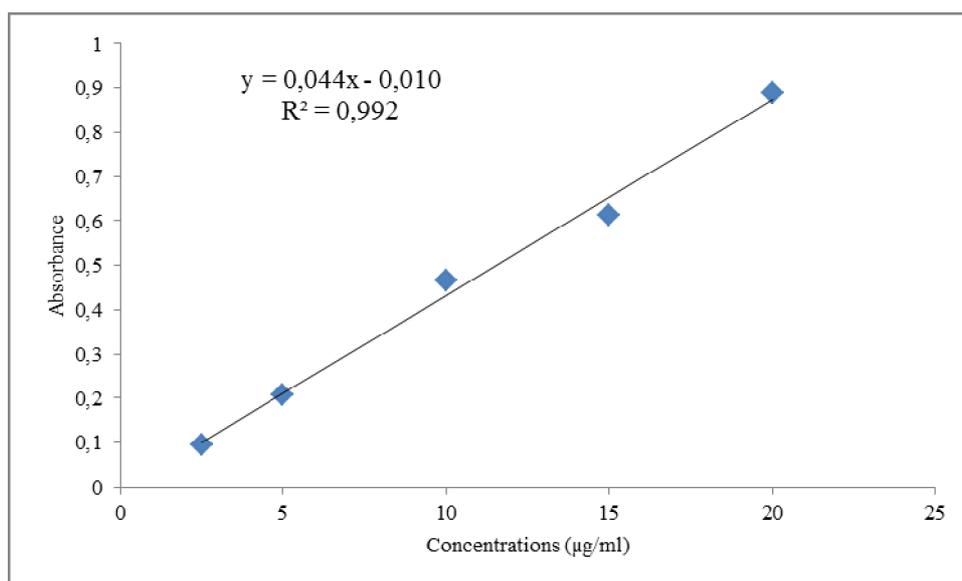
Sépale : chacune des pièces formant le calice d'une fleur. Moins apparents que les pétales, les sépales sont généralement de couleur verte ou brune. On les remarque surtout quand la fleur est en bouton.

Styles : filament reliant l'ovaire au stigmate, au centre de la fleur.

Vivace : Se dit d'une plante qui vit plusieurs années et fructifie plusieurs fois.



Annexe1 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique



Annexe 2 : Courbe d'étalonnage de la quercétine.

Résumé :

Foeniculum vulgare fait partie de la famille des Apiacées largement répandues dans le bassin méditerranéen. C'est une plante aromatique médicinale largement connue par ses multiples propriétés biologiques qui sont principalement dues à sa richesse en métabolites secondaires comme des polyphénols et des huiles essentielles.

La partie aérienne de *Foeniculum vulgare*, en provenance de la région d'El Kseur (Bejaïa), a été utilisée pour l'extraction des huiles essentielles,

L'huile essentielle obtenue à partir de plante sèche et fraîche a fourni un rendement de 0,43% et 0,10% respectivement,

Les teneurs en polyphénols de la plante sèche qui est de $3,90 \pm 0,06$ mg EAG/g HE est légèrement supérieur à la plante fraîche qui est de $3,68 \pm 0,11$ mg EAG/g HE, ainsi pour les flavonoïdes.

Les résultats de l'activité antioxydant, pour les trois tests, DPPH, pouvoir réducteur ainsi que l'ABTS ont montré que l'huile essentielle de fenouil présente des résultats considérables, et une activité de la plante sèche supérieur a fraîche. Constatant que le séchage a permis d'obtenir une meilleure activité.

Mots clés : *Foeniculum vulgare*, Huile essentielle, Composés phénoliques, Activité antioxydant.

Abstract

Foeniculum vulgare belongs of the family of the Apiaceae, widespread in the Mediterranean. It is a medicinal aromatic plant largely known by its multiple biological properties that are mainly due to his wealth of secondary metabolites like polyphenols and essential oils.

The areal part of *Foeniculum vulgare* cutted in the region of El Kseur (Bejaia), was used for the extraction of essential oil.

The essential oil obtained starting from dry and fresh plant provided an output of 0.43% and 0.10% respectively. The contents polyphenols of the plant dries which is of $3.90 \pm 0,06$ Mg EAG/g HE is slightly higher than the fresh plant which is of 3.68 ± 0.11 Mg EAG/g HE thus for the flavonoïds.

The results of the antioxydant activity, for the three tests, DPPH, reduction as well as the ABTS showed that the essential fennel oil has considerable results, and an activity of the plant dries higher has fresh. Noting that drying made it possible to obtain better an activity.

Keywords: *Foeniculum vulgare*, Essential oil, Phenolic compounds, Antioxydant activity.