

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE



Réf :/UAMOB/F.SNV.ST/DEP. /20

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV **Filière :** Sciences Alimentaires.
Spécialité : Agroalimentaire et contrôle de qualité.

Présenté par :

BAFFI Bouchra & OMARI Asmaa

Thème

**Etude bibliographique des huiles essentielles des graines de
fenouil (*Foeniculum vulgare*)**

Soutenu le : 29 / 09 / 2020

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom

Grade

Mr BELKACEM Mohamed

MCB

Univ. de Bouira

Président

Mme IAZOURENE Ghania

MCB

Univ. de Bouira

Examinatrice

Mme FERHOUM FATIHA

MAA.

Univ. de Bouira

Promotrice

Année Universitaire : 2019/2020

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions Dieu de nous avoir donné la force, le courage et la persistance pour accomplir ce modeste travail.

Nous exprimons nos remerciements et notre profonde gratitude :

A notre promotrice M^{me} FERHOUM Fatîha, 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 Mr BELKACEM Mohamed pour nous avoir consacré de son temps en nous faisant l'honneur d'accepter de présider le jury.

Nous remercions également l'examinatrice, M^{me} IAZZOUREN Ghanîa pour nous avoir fait l'honneur d'examiner ce travail.

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.

BAFFI Bouchra

OMARI Asmaa

Dédicaces

Merci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire et la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.

*À celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, **ma mère.***

*À l'école de mon enfance, qui a été mon ombre durant Toutes les années de mes études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner de l'aide et à me protéger, **mon père.***

À mes adorables sœurs qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.

À mes très chères nièces :Alaa Errahmane, Eline, Anaïs.

À toute ma famille

À Ma binôme Asmaa ainsi à toute sa famille

À tout(es) mes amis(es).

À tous ceux qui m'aiment.

*À tous ceux que j'aime, **Je** dédie ce modeste travail.*



Bouchra

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

À mes chers parents ma mère et mon père pour leur patience, leur amour, leur soutien et leur encouragements.

À mes chères sœurs, Fella et Manel ; et ma belle-sœur souhila,

À mes chères frères Fouad, Houssam et Zakaria ; et mon beau frère Mourad

À mes très chères nièces :Nour El Houda ,Malak et mon cher neveu Marwan

À celle qui m'a partagé les moments les plus beaux et les plus difficiles durant la réalisation de ce travail Bouchra ainsi que sa famille ;

À mes chères amies et tous mes proches

À toute ma famille Omari



Asmaa

Liste des figures

Figure 01: Fenouil (<i>Foeniculum vulgare</i>).....	04
Figure 02 : Schéma du principe de la technique d'hydro distillation.	16
Figure 03 : Schéma de la technique d'extraction par le CO2 supercritique.	19
Figure 04: Les structures moléculaires des composants bioactifs principaux d'huile essentielle du <i>Foeniculum vulgare</i>	24
Figure 05: Cinétique de blanchiment du β -carotène pour l'huile essentielle des graines du fenouil la vitamine C et le contrôle négatif.	34

Liste des tableaux

Tableau 01 : Principales caractéristiques des différentes parties du <i>Foeniculum vulgare</i> ..	05
Tableau 02 : Classification taxonomique de <i>Foeniculum vulgare</i>	06
Tableau 03 : Composition nutritionnelle, et composition chimique des huiles végétales des graines de fenouil.....	08
Tableau 04 : Principales souches bactériennes sensibles aux extraits de fenouil.....	10
Tableau 05 : Caractéristiques physico-chimiques de l'huile essentielle de <i>Foeniculum vulgare</i> Mill.....	23
Tableau 06 : Teneurs en huile essentielle en fonction des périodes de cueillette.	27
Tableau 07 : Rendements obtenus dans différents pays.....	27
Tableau 08 : le rendement des huiles essentielles de graine de fenouil (%).	28
Tableau 09 : Rendement en huile essentielle de graines de fenouil.	29
Tableau 10 : Exemple de rendements obtenus en huile essentielle extraite des graines du fenouil dans différents pays.	30
Tableau 11 : Activités antioxydantes d'huile essentielle des graines de fenouil.....	31
Tableau 12 : Variation de l'activité antioxydante des huiles essentielles des graines de fenouil selon le stade de maturité.....	31
Tableau 13 : Analyses antioxydantes des huiles essentielles des graines de fenouil.	32
Tableau 14 : Le rendement et les principaux constituants (%) dans les huiles essentielles de fenouil.	33
Tableau 15 : L'activité antimicrobienne des huiles essentielles de <i>F. vulgare</i>	36
Tableau 16 : Activité antimicrobienne en termes de zones d'inhibition d'huile essentielle de fenouil	37
Tableau 17 : Diamètre d'inhibition en mm provoqués par l'huile essentielle des graines de <i>F. vulgare</i>	39
Tableau18 : Teneur phénolique totale (EAG/g) dans les huiles essentielles de fenouil...	40

Liste des abréviations

ABTS : Acide 2,2'-azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique)

AFNOR : Association Française de Normalisation - Norme Française.

BHA : Hydroxyanisole butylé

BHT : Hydroxytoluène butylé

CI50 : Concentration inhibitrice 50.

CIM : Concentration minimale inhibitrice

CMB : Concentration minimale bactéricide

CMI: Concentration minimum d'inhibition.

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

H.Es : Huiles essentielles.

ISO : Organisation internationale de normalisation

KOH : Hydroxyde de potassium

MS : Matière Sèche

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction 01

Chapitre I: Généralités sur le fenouil

I. Aspect botanique de <i>Foeniculum vulgare</i>	03
I.1. Présentation de la famille des Apiécées (ombellifère).....	03
I.2. Présentation de l'espèce <i>Foeniculum vulgare</i>	04
I.2.1. Description de la plante.....	04
I.2.2. Description morphologique.....	04
I.2.3. Origine et répartition géographique.....	05
I.2.4. Classification botanique.....	06
II. Composition nutritionnelle du fenouil.....	07
III. Activités biologiques du fenouil.....	09
IV. Toxicité.....	11

Chapitre II : Les huiles essentielles des graines de fenouil

I. Généralités sur les huiles essentielles.....	12
I.1. Historique.....	12
I.2. Définition.....	13
I.3. Localisation des huiles essentielles.....	13
I.4. Rôle des huiles essentielles.....	14
I.5. Composition des huiles essentielles.....	14
I.5.1. Les terpénoïdes.....	14
I.5.2. Les composés aromatiques.....	14
I.5.3. Les composés d'origines diverses.....	15
I.6. Procédés d'extraction des huiles essentielles.....	15
I.6.1. Hydro distillation.....	15
I.6.2. Entraînement à la vapeur d'eau.....	16
I.6.3. Extraction par solvants volatils.....	17
I.6.4. Hydro-diffusion.....	17

Sommaire

I.6.5. Extraction assistée par micro-onde	18
I.6.6. Extraction par fluide supercritique.....	18
I.7. Caractérisations des huiles essentielles.....	19
I.7.1. Caractéristiques organoleptiques.....	19
a) L'odeur.....	19
b) La couleur	19
c) L'aspect	20
I.7.2. Propriétés physico-chimiques.....	20
a) Densité	20
b) Indice de réfraction	20
c) Indice d'acide	20
I.8. Domaines d'utilisation des huiles essentielles.....	21
I.8.1. Dans l'industrie agroalimentaire	21
I.8.2. En parfumerie et cosmétique.....	21
I.8.3. En pharmacie	22
II. Huile essentielle des graines de fenouil.....	22
II.1. Localisation	22
II.2. Extraction et rendement	22
II. 3. Caractéristiques physico-chimiques	23
II.4. Composition chimique	23
III. Intérêt pharmacologique de <i>Foeniculum vulgare</i>	24
III.1. Médecine traditionnelle.....	24
III.2. Médecine moderne	25
III.2.1. Activité antibactérienne.....	25
III.2.2. Activité antifongique	25
III.2.3. Activité anti-inflammatoire	25
III.2.4. Activité oestrogénique.....	25
III.2.5. Activité de Hepatoprotective	26
III.2.6. Activité antidiabétique.....	26
III.2.7. Activité antioxydant	26

Sommaire

Chapitre III : Les travaux de recherche réalisés sur les huiles essentielles des graines de fenouil

I. Travaux réalisés sur la détermination de rendement d'extraction des huiles essentielles de graine de fenouil	27
I.1. Composition des constituants des huiles essentielles et valeurs nutritives du <i>Foeniculum Vulgare Mill</i>	27
I.2. Etude comparative des activités antioxydantes des huiles essentielles et des extraits des graines de fenouil d'Egypte et de Chine.....	28
I.3. Activités antioxydantes et antimicrobiennes des huiles essentielles et des extraits des graines du fenouil du Pakistan.....	29
I.4. Etude des activités biologiques de l'huile essentielle extraite des graines de <i>Foeniculum vulgare Mill</i>	29
II. travaux réalisés sur l'évaluation de l'activité antioxydante des huiles essentielles des graines de fenouil	30
II.1. Activités antioxydantes et antimicrobiennes des huiles essentielles et des extraits des graines du fenouil du Pakistan.....	30
II.2. L'influence des différents stades de maturation sur la composition, l'Activités antioxydante et antimicrobiennes des huiles essentielles de Fenouil	31
II.3. Etude comparative des activités antioxydantes des huiles essentielles et des extraits des graines de fenouil d'Egypte et de Chine.....	32
II.4. Etude des activités biologiques de l'huile essentielle extraite des graines de <i>Foeniculum vulgare Mill</i> . En vue de son utilisation comme conservateur alimentaire.....	33
III. travaux réalisés sur l'évaluation de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles des graines de fenouil	35
III.1. Composition et propriétés antimicrobiennes d'huile essentielle de <i>Foeniculum vulgare</i>	35
III.2. Activités antioxydantes et antimicrobiennes des huiles essentielles et des extraits des graines du fenouil du Pakistan	36
III.3. L'influence des différents stades de maturation sur la composition, l'Activités antioxydante et antimicrobiennes des huiles essentielles de Fenouil.....	38

Sommaire

III.4.Evaluation des activités : antioxydante et antibactérienne des huiles essentielles des graines de <i>Foeniculum Vulgare</i>	38
IV. Travaux réalisés sur les composés phénoliques totaux des huiles essentielles des graines de fenouil	39
IV.1.Composition chimique, l'activité antioxydante et antimicrobienne des huiles essentielles de fenouil, d'Espagne	39
IV.2. Variation de la composition des huiles essentielles et des activités biologiques de <i>Foeniculum vulgare Mill</i> , populations en forte croissance en Tunisie	40
Conclusion	41
Référence bibliographiques	
Résumé	

Introduction

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 (**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 en tant que conservateur, cosmétique, pharmaceutique et comme agents antimicrobiens en médecine (**Oussou et al., 2010**).

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

En effet, les plantes représentent une source inépuisable de remèdes traditionnels et efficaces grâce aux principes actifs qu'elles contiennent : alcaloïdes, flavonoïdes, hétérosides, saponosides, quinones, vitamines,...et les huiles essentielles (**Ouis, 2014**).

De nos jours, les huiles essentielles suscitent de plus en plus l'intérêt des chimistes, biologistes... et médecins en raison de leurs utilisations dans le traitement de certaines maladies infectieuses pour les antibiotiques de synthèse deviennent de moins en moins actifs ou dans la préservation des aliments contre l'oxydation comme alternatives aux produits chimiques de synthèse (**Ouis, 2014**).

Le fenouil appartenant au genre *Foeniculum* et à l'espèce *Foeniculum vulgare mill*, est une plante originaire de l'est du bassin méditerranéen et de Caucasic. Très utilisé pour ses vertus médicinales, il est de nos jours cultivé pour des usages industriels. C'est une plante à tige dressée (80à 200 cm), ramifiée et à forte odeur d'anis (**Lazouni et al., 2007**).

Il est également reconnu comme étant une plante aromatique, spontanée, abondante dans l'ouest algérien et s'adapatant bien aux sols argileux (**Lazouni et al., 2007**).

Introduction

"Fenouil" en français, il est communément appelé "BESBES" par les populations locales. Ses huiles essentielles (HEs) sont très utilisées par les industries pharmaceutique, cosmétique et également alimentaire (**Lazouni et al., 2007**).

L'objectif du présent travail consiste à :

- Faire une synthèse bibliographique sur les huiles essentielles des graines de fenouil.
- Déterminer le Rendement en huile essentielle de graines de fenouil
- Vérifier l'activité antioxydante des huiles essentielles extraites des graines de fenouil (*Foeniculum vulgare*).
- Vérifier l'efficacité antibactérienne vis-à-vis de plusieurs souches bactériennes.
- Effectuer le dosage des composés phénoliques totaux et des flavonoïdes à partir des huiles essentielles.

Le développement de cette étude à travers nos travaux s'échelonne sur trois chapitres : le premier englobe des généralités sur la plante médicinale sélectionnée dans notre travail. Le deuxième chapitre illustre les huiles essentielles des graines de fenouil. Le troisième chapitre est consacré à des recherches sur Les résultats des quelques travaux scientifiques. Enfin, notre manuscrit est ponctué d'une conclusion générale.

Chapitre I-Généralités sur le fenouil

Le fenouil est une herbe avec une grande histoire d'utilisations médicinale et culinaire (**Hendawy et al., 2010**). Le nom de *Foeniculum* a été donné à cette plante par les Romains, il dérivé du mot latin *foenum*, c'est-à-dire herbe (**Kaur et al., 2010**). Il était bien connu aux anciens et a été cultivé par les Romains antiques pour ses graines aromatiques (**Vienna et al., 2005**). Le fenouil est communément appelé "*besbes*" par les populations locales. Ses huiles essentielles sont très utilisées par les industries pharmaceutique, cosmétique et également alimentaire (**Lazouni et al., 2007**)

Ce premier chapitre est une synthèse bibliographique sur la plante médicinale du fenouil à savoir, son Aspect botanique, Composition nutritionnelle, Activités biologiques, Toxicité.

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 les constituants des huiles. Les huiles essentielles peuvent être trouvées dans plus de trente familles botaniques, inclus ombellifères (**Olle & Bender, 2010**).

Chapitre I-Généralités sur le fenouil

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. Description morphologique

Foeniculum vulgare, généralement connu sous le nom de fenouil, est un petit genre des herbes annuelles, bisannuelles ou éternelles figure 01 (Gulfraz *et al.*, 2008).

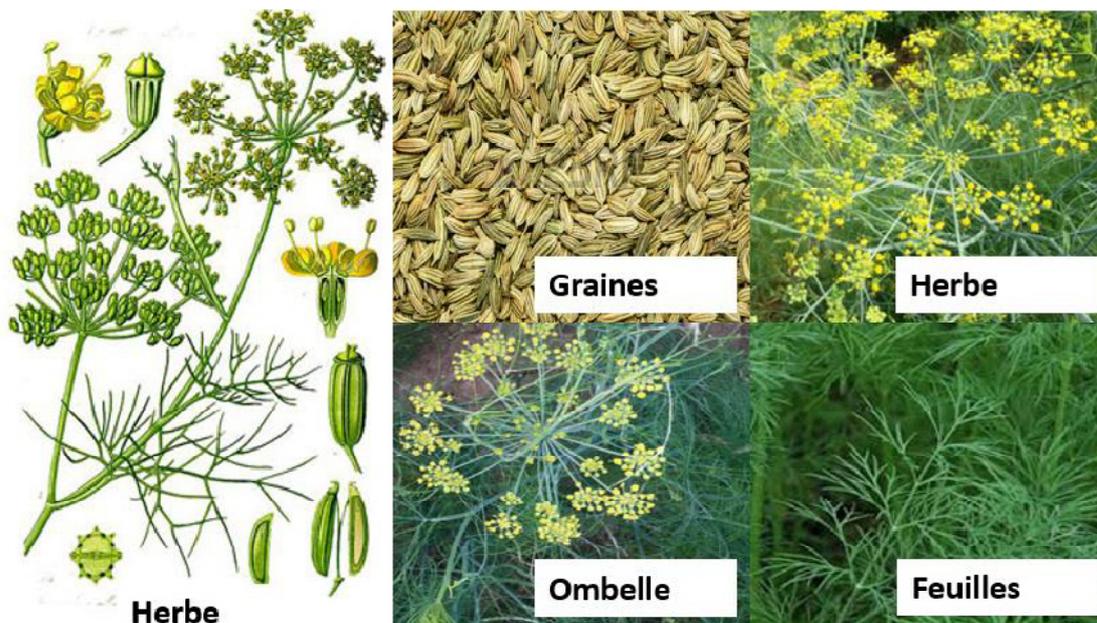


Figure 01: Fenouil (*Foeniculum vulgare*) (Gulfraz *et al.*, 2008).

Chapitre I-Généralités sur le fenouil

Le tableau 01 résume les caractéristiques propres à chaque organe de la plante.

Tableau 01: 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.	(Debuigne & Couplan, 2009). (Rather <i>et al.</i> , 2012).

I.2.3. Origine et répartition géographique

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

Le fenouil est également trouvé aujourd'hui en Iran, Inde, Indonésie, Pakistan, Japon et en Chine. Il est cultivé à large échelle en Egypte, Inde, Chine, Australie et en Europe en France, l'Allemagne, la Hongrie et la Pologne (Garnéro, 1996; Vienna *et al.*, 2005; Zahid *et al.*, 2009).

Chapitre I-Généralités sur le fenouil

I.2.4. Classification botanique

La classification botanique de *Foeniculum vulgare* est illustrée dans le tableau 02

Tableau 02 : Classification taxonomique de *Foeniculum vulgare* (Abou El-Soud *et al.*, 2011).

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

Foeniculum vulgare Mill. (Syn. *Anethum foeniculum* L., *Anethum foeniculum* L. et *Foeniculum officinale*) appartient à la famille *Apiaceae* (ou *Ombellifères*), cette dernière est considérée l'une des familles riche en huiles essentielles (Amimar *et al.*, 2001; Olle et Bender, 2010), le genre *Foeniculum* est très polymorphe et représenté seulement par cette espèce qui se divise en deux sous-espèces ssp. *piperitum* et ssp. *vulgare* (Badoc *et al.*, 1995; Vienna *et al.*, 2005; EFSA, 2009). *Foeniculum vulgare* Mill. subsp. *vulgare* est formée de trois variétés : var. *vulgare* (fenouil amer, commun, sauvage ou médicinal), var. *dulce* (fenouil doux) et var. *azoricum* (fenouil bulbeux) (Amimar *et al.*, 2001; Vienna *et al.*, 2005; Kothe, 2008). Le fruit de cette dernière variété mesure plus de 10cm et pèse jusqu'à 400g, formé par les feuilles basales qui ont grandi les uns avec les autres. En revanche, le fenouil doux développe des graines très aromatiques et légèrement sucrées.

Tandis que les deux variétés de fenouil présentées précédemment sont des plantes de jardin appréciées, le fenouil commun pousse également à l'état sauvage. On n'utilise en général que les graines de cette variété (Kothe, 2008).

Chapitre I-Généralités sur le fenouil

II. Composition nutritionnelle du fenouil

Les principaux éléments nutritifs qui entrent dans la composition de graines de fenouil présentent une grande variabilité ; ils sont mentionnés au tableau 03. Les valeurs nutritives de la tige, des feuilles, des inflorescences et des pousses de fenouil sont également étudiées. La teneur en cendres varie de 1,62 dans les tiges à 3,43% dans les feuilles, la teneur en protéines est de 1,08% dans les tiges et 1,37% dans les inflorescences tandis que la teneur totale en sucres varie de 1,29 dans les feuilles à 6,57% dans les pousses, les inflorescences et les tiges présentent les teneurs les plus élevées en carbohydrates (22,81 et 21,91% respectivement), ce contenu est le plus bas dans les feuilles (18,44%) (**Barros *et al.*, 2010 ; Anubhuti *et al.*, 2011**).

Les graines de fenouil se composent de 10 à 14,41% d'huile végétale, l'acide pétrosélinique est l'acide gras majeur (70-80%) dans cette huile, d'autres acides gras sont également identifiés tels que l'acide linoléique, l'acide palmitique et l'acide oléique. D'autre part, les teneurs en stérol et en tocophérol révèlent que les graines de fenouil contiennent 66 mg / 100 g de phytostérols: le stigmastérol, le β -sitostérol et le campestérol sont les principaux composants ; alors que la teneur totale en vitamine E est d'environ 20,1 mg / 100 g, le tocophérol prédominant est le γ -tocotriénol avec 18,2 mg / 100 g. En ce qui concerne les parties aériennes, les feuilles et les pousses présentent la plus haute teneur en tocophérol avec 55,68 et 34,54 $\mu\text{g} / \text{g}$ de MS, α -tocophérol présente la concentration la plus élevée dans toutes les parties aériennes du fenouil (**Coşge, *et al* 2008 ; Nassar *et al.*, 2010**).

Les huiles essentielles peuvent être extraites du fenouil par différentes méthodes, y compris l'hydrodistillation, la distillation à vapeur, l'extraction par solvants classiques, l'extraction par fluide supercritique, la microextraction en phase solide. Cependant, les méthodes de distillation, l'origine du fenouil et les parties (racines, tige, pousses, fleurs et fruits) sont des facteurs qui influent significativement le rendement et la composition chimique des huiles. En général, le contenu d'huile essentielle est de 3 à 6% dans les graines, de 0,62 à 0,92% dans les boutons floraux et de 0,18 à 0,3% dans les tiges et les feuilles. L'huile essentielle est responsable de l'odeur d'anis qui en fait du fenouil un agent aromatisant dans les aliments et les boissons. Plus de 87 composés volatils ont été identifiés dans l'huile de fenouil, le trans-anéthole est le composant principal. Le fenchone, l'estragole et le d-limonène se retrouvent également dans les huiles essentielles de fenouil à fortes concentrations (**Díaz-Maroto *et al.*, 2005 ; Díaz-Maroto *et al.*, 2006 ; Nassar *et al.*, 2010**).

Chapitre I-Généralités sur le fenouil

Tableau 03 : Composition nutritionnelle, et composition chimique des huiles végétales des graines de fenouil (Coşge *et al.*, 2008 ; Barros *et al.* , 2010 ; Nassar *et al.*, 2010 ; Matthäus *et al.*, 2015).

Composition	Taux (%)
Teneur en humidité	6.3
Matières minérales	8,2-13,4
Protéines	9,5-15,8
Carbohydrates	42,3-52,2
Fibres	18,5-39,8
Sucres solubles	1,09
Huile végétale	10-14,41
Acide pétroselinique	70-80
Stérols	0,66
Stérol principale	Stigmasterol
Tocophérol principale	γ-tocotrienol

Chapitre I-Généralités sur le fenouil

III. Activités biologiques du fenouil

Les extraits de fenouil sont considérés comme une riche source en composés phénoliques tels que les flavonoïdes, les acides phénoliques, les coumarines et les tannins; l'acide rosmarinique et l'acide chlorogénique sont les principaux composés phénoliques présents dans les extraits méthanoliques de graines de fenouil alors que la quercétine et l'apigénine sont les principaux flavonoïdes. Les teneurs en phénol et en flavonoïdes dans les extraits méthanoliques des graines de *F. vulgare* sont respectivement de 1017,29 mg EAG / 100g MS et de 695,52 mg EQ / 100g MS. En outre, les extraits méthanoliques des parties aériennes du fenouil ont été étudiés pour leurs contenus en phénols et en flavonoïdes, les résultats montrent une forte teneur en phénol dans les tiges, les plantules, les feuilles et les inflorescences, mais les flavonoïdes ne sont détectés que dans les plantules (**Barros et al., 2009 ; Rahimi et al., 2013 ; Roby et al., 2013**).

Les extraits huileux, aqueux, méthanoliques, éthanoliques et acétoniques de graines de fenouil ont été étudiés pour leur activité antioxydante en utilisant plusieurs méthodes telles que l'activité du piégeage du radical DPPH, le pouvoir réducteur du fer, le pouvoir réducteur du radical- ABTS. Les extraits de fenouil ont montré une capacité antioxydant élevée et dose-dépendante par rapport aux antioxydants standards tels que le BHA, le BHT et l'alpha-tocophérol ; 100 mg d'éthanol et d'extrait aqueux présentent 99,1% et 77,5% de peroxydation d'acide linoléique, cette capacité est plus élevée que celle de l'alpha-tocophérol (36,1%) avec la même dose. L'huile essentielle des graines du fenouil a montré une activité antioxydante plus forte en comparaison avec les extraits aqueux et éthanoliques, une telle activité antioxydante est due à la teneur élevée en polyphénols et flavonoïdes tels que l'acide 3-caffeoylquinique, l'acide 4-caffeoylquinique, l'acide 1,5-O-dicaffeoylquinique, l'acide rosmarinique, l'eriodictyol-7-rutinoside, le quercétine-3-O-galactoside, le kaempférol-3-O-rutinoside et le kaempférol- O-glucoside (**Oktay et al., 2003 ; Shahat et al., 2011**).

Plusieurs études de l'activité antibactérienne de *F. vulgare* sont rapportées dans la littérature (tableau 4). L'extrait de la tige du fenouil montre une forte inhibition du *Bacillus subtilis*, *Aspergillus niger* et *cladosporioides* avec des valeurs du CMI 25, 250 et 125 µg/mL respectivement.

De plus, une activité inhibitrice élevée est présentée par l'huile essentielle de fenouil: les valeurs de CMI et de CMB sont de 1 et 2% contre *Esherichia coli*, et de 2 et 4% contre *Staphylococcus aureus*, respectivement.

Chapitre I-Généralités sur le fenouil

De même, l'huile essentielle de *F. vulgare* présente une forte activité antifongique à une dose de 6 µl. L'extrait aqueux des graines de fenouil montre une activité antifongique significative contre certaines souches de champignons par rapport à la griséofulvine (Singh *et al.*, 2006 ; Taie *et al.*, 2013).

Tableau 04 : Principales souches bactériennes sensibles aux extraits de fenouil (Singh *et al.*, 2006 ; Taie *et al.*, 2013).

Partie de la plante	Souche bactérienne
Partie aérienne	<i>Agrobacterium radiobacter</i> pv. <i>Tumefaciens</i> , <i>Erwinia carotovora</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Pseudomonas glycinea</i>
Tiges	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Cladosporium cladosporioides</i>
Huile essentielle	<i>Bacillus megaterium</i> , <i>Bacillus pumilus</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella pneumonia</i> , <i>Micrococcus luteus</i> , <i>Pseudomonas putida</i> , <i>Pseudomonas syringae</i> , <i>Candida albicans</i> .

Chapitre I-Généralités sur le fenouil

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**).

Chapitre II-Les huiles essentielles des graines de fenouil

Depuis les temps les plus reculés, le monde végétal offre les éléments nécessaires à la survie de l'espèce humaine. En effet, les plantes demeurent la principale source de principes actifs, les huiles essentielles, isolées à partir de plantes, constituent l'un de ces principes actifs les plus importants en raison de leurs multiples et diverses applications. Il existe plusieurs techniques d'extraction des huiles essentielles, dont le choix de la méthode reste limité par l'aspect qualitatif et quantitatif des huiles à extraire (**Ouis, 2014**).

Ce chapitre est une synthèse bibliographique sous forme de deux grandes parties : Premièrement, nous donnons un aperçu général sur les huiles essentielles. Ensuite nous présentons les huiles essentielles des graines de fenouil en détail comme l'un des meilleurs éléments actifs de plante de fenouil à savoir, leur localisation, rendement, Caractéristiques physico-chimiques, compositions chimiques, Intérêt pharmacologique.

I. Généralités sur les huiles essentielles

I.1. Historique

Les premières preuves de fabrication et d'utilisation des huiles essentielles datent de l'an 3000 avant J.C. (**Baser & Buchbaue, 2010**). Les huiles essentielles semblent donc avoir accompagné la civilisation humaine depuis ses premières genèses. Les égyptiens puis les grecs et les romains ont employé 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'étape byzantine de la civilisation a permis l'instauration des bases de la distillation et, avec l'ère arabe de la civilisation, l'huile essentielle devient un des principaux produits de commercialisation internationale. Ainsi, vers l'an mille, Avicenne, médecin et scientifique persan, a défini précisément le procédé d'entraînement à la vapeur. L'Iran et la Syrie deviennent les principaux centres de production de divers types d'extraits aromatiques (**Boutamani, 2013**).

Par la suite, les huiles essentielles ont bénéficié des avancées scientifiques, au niveau des techniques d'obtention et de l'analyse de leur composition chimique. Parallèlement, leur utilisation a aussi tiré profit de l'avènement de l'aromathérapie. René-Maurice GATTEFOSSE a créé, en 1928, le terme de l'aromathérapie et il a mené de nombreux travaux concernant les huiles essentielles, notamment leurs propriétés ; ces résultats seront à l'origine de nombreuses autres recherches (**Besombes, 2008**).

Chapitre II-Les huiles essentielles des graines de fenouil

I.2. Définition

Le terme « huile essentielle » a été inventé au 16^{ème} siècle par le médecin Suisse Paracelsus Von HOHENHEIM pour désigner le composé actif d'un remède naturel (**Burt, 2004**). De très nombreux auteurs ont tenté de donner une définition des huiles essentielles.

D'après William Naves [1874-1936], aucune des définitions des huiles essentielles n'a le mérite de la clarté, ni celui de la précision. Cet auteur définit les huiles essentielles comme « des mélanges de divers produits issus d'une espèce végétale, ces mélanges passent avec une certaine proportion d'eau lors d'une distillation effectuée dans un courant de vapeur d'eau » (**Garnéro, 1996**).

Cette définition a été reprise à peu de choses près par AFNOR et ISO : « l'huile essentielle est le produit obtenu à partir d'une matière première d'origine végétale, soit par entraînement à la vapeur, soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe frais de certains agrumes, soit par distillation. L'huile essentielle est ensuite séparée de la phase aqueuse par des procédés physiques » (**ISO, 1997; AFNOR, 2000**).

Les huiles essentielles n'ont pas une présence générale chez les végétaux. Parmi les 1 500 000 espèces végétales, 10% seulement sont dites « aromatiques », c'est-à-dire qu'elles synthétisent et sécrètent des infimes quantités d'essence aromatique (**Bruneton, 1999; Degryse et al., 2008**). Certaines familles se caractérisent par le grand nombre d'espèces à essences qu'elles groupent, en particulier les Labiés, les Ombellifères, les Myrtacées et les Lauracées (**Benayad, 2008**).

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. Ensuite, elles sont stockées dans des cellules dites cellules à huiles essentielles, dans des poils sécréteurs, dans des poches sécrétrices ou dans des canaux sécréteurs (**Bruneton, 1999; Hazzit, 2002; Bozet et al., 2009**). Elles peuvent être stockées dans tous les organes végétaux : les fleurs, les feuilles, les racines, les rhizomes, les fruits, le bois et/ou les graines (**Bruneton, 1993; Anton & Lobstein, 2005**).

I.3. Localisation des huiles essentielles

Les huiles essentielles se rencontrent dans tout le règne végétal. Cependant elles sont particulièrement abondantes chez certaines familles (**Ntezurubanza, 2000**): Conifères, Rutacées, Ombellifères, Myrtacées, Lamiacées, Poacées. Tous les organes peuvent en renfermer, surtout les sommités fleuries (lavande, menthe...), mais on en trouve dans les

Chapitre II-Les huiles essentielles des graines de fenouil

racines ou rhizomes (vétiver, gingembre), dans les écorces (cannelles), le bois (camphrier), les fruits (poivres), les graines (Muscade).

I.4. Rôle des huiles essentielles

Les plantes les utilisent pour se protéger contre les virus et tous pensent qu'il s'agit d'hormones végétales. D'autres considèrent que les huiles sont des messagers entre sorte de parasites et de microbes (**Small & Catling 2000**), des travaux ont montré que les monoterpènes et les sesquiterpènes peuvent jouer des rôles importants dans la relation des plantes avec leur environnement. Par exemple, le 1,8-cinéole et le camphre inhibent la germination des organes infectés ou la croissance des agents pathogènes issus de ces organes (**Mann, 1987**).

I.5. Composition des huiles essentielles

L'étude de la composition chimique des huiles essentielles montre qu'il s'agit de mélanges complexes et variables de constituants est due exclusivement à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques sont : les terpénoïdes et les composés aromatiques dérivés du phénylpropane (**Amarti, 2011**).

I.5.1. Les terpénoïdes

Le terme terpène rappelle la toute première extraction de ce type de composé dans l'essence de térébenthine. Les terpénoïdes Dans les huiles essentielles, sont celles qui ont la masse moléculaire n'est pas élevée c'est à dire, ceux dont les molécules les plus volatils. Ils portent dans la plupart des cas la formule générale $(C_5H_8)_n$. Suivant les valeurs de n, on a les hémiterpènes (n =1), les monoterpènes (n=2), les sesquiterpènes (n=3), les triterpènes (n=6), les tétraterpènes (n=8) et les polyterpènes. Les constituants des huiles essentielles sont très variés .On y trouve en plus de terpènes, des hydrocarbures, des esters, des lactones, des aldéhydes, des alcools, des acides, des cétones, des phénols, des oxydes et autres (**Neffati, 2010**).

I.5.2. Les composés aromatiques

Contrairement aux dérivés terpéniques, les composés aromatiques sont moins de présence dans les huiles essentielles. Mais il est considéré comme un ensemble important car ils sont généralement responsables des caractères organoleptiques des huiles essentielles. Très souvent, il s'agit d'allyle et de propénylphénol. Nous pouvons citer comme exemple l'eugénol qu'est responsable de l'odeur du clou du girofle (**Koul, 2008**).

Chapitre II-Les huiles essentielles des graines de fenouil

I.5.3. Les composés d'origines diverses

Compte tenu de leur mode d'extraction, les huiles essentielles peuvent renfermer divers composés aliphatiques, généralement de faible masse moléculaire, entraînés lors de l'hydro distillation. Ces produits peuvent être azotés, soufrés, des carotènes ou des acides gras (**Ozcan, 2006**).

- ❖ Alcools : Menthol, géraniol, linalol,...
- ❖ Aldéhydes : Géraniol, citronellal,...
- ❖ Cétones : Camphre, pipéritone
- ❖ Phénols: Thymol, carvacrol ...
- ❖ Esters : Acétate de géranyle,...
- ❖ Acides : Acide gérannique,...
- ❖ Oxydes : 1,8-cinéole,...
- ❖ Phénylpropanoïdes ; Eugénol.
- ❖ Terpènes : Limonène, para-cymène,...
- ❖ Autres : Ethers, composés soufrés, composés azotés, sesquiterpène,...

I.6. Procédés d'extraction des huiles essentielles

Le choix d'une technique d'exploitation des plantes aromatiques doit être adapté aux composés spécifiquement recherchés ; en principe cela ne dépend pas du type d'organe utilisé (feuille, fleur, bois, graine ou fruit, racine ou rhizome), à l'état frais ou à l'état sec.

La méthode dépend du type de produit souhaité, ou de la nature chimique des molécules recherchées (**Boutekedjiret, 1999**) le rendement en l'huile et la fragilité de certains constituants des huiles aux températures élevées (**Hellal, 2011**). Elles sont obtenues par hydrodistillation, expression à froid, comme les agrumes (**Burt, 2004**). De nouvelles techniques permettant d'augmenter le rendement de production, ont été développées, comme l'extraction au moyen de dioxyde de carbone liquide à basse température et sous haute pression (**Santoyo et al., 2005**) ou l'extraction assistée par ultrasons ou micro-ondes (**Kimbaris et al., 2006**).

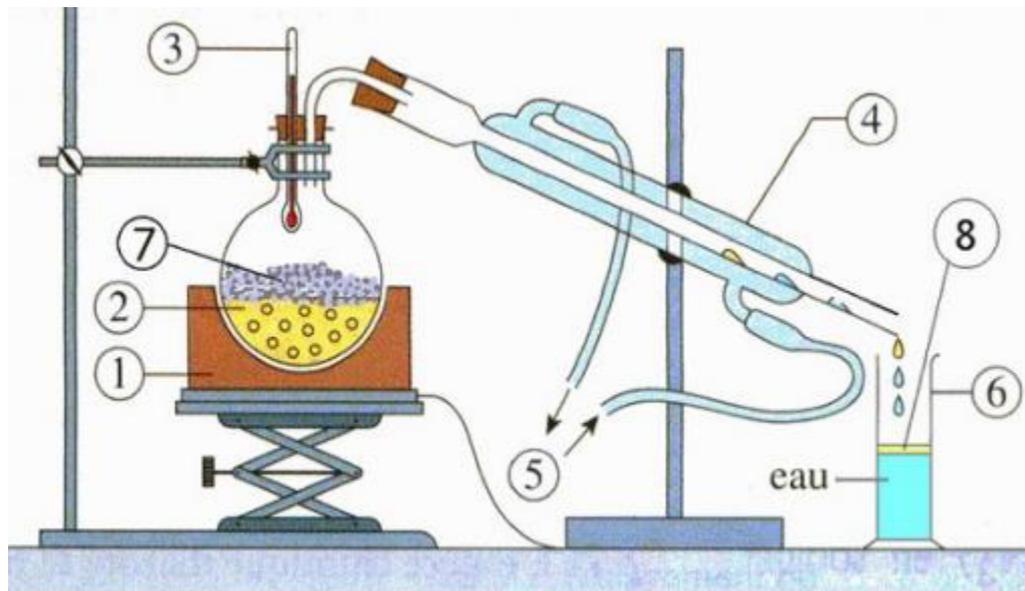
I.6.1. Hydrodistillation

Il s'agit de la méthode la plus simple et la plus anciennement employée pour extraire les huiles essentielles. Le procédé consiste à immerger le matériel végétal dans un récipient rempli d'une quantité adéquate d'eau. Le tout est ensuite porté à l'ébullition. La chaleur

Chapitre II-Les huiles essentielles des graines de fenouil

permet l'éclatement des cellules végétales et la libération des molécules odorantes qui y sont contenues. L'HE forme avec la vapeur d'eau, un mélange azéotropique.

Puis, les vapeurs sont condensées au moyen d'un réfrigérant. Dans un autre récipient de collecte, l'huile essentielle se sépare de l'eau par différence de densité. L'HE étant plus légère que l'eau, elle surnage au-dessus de l'hydrolysât. Cependant, l'hydro distillation possède des limites. En effet, un chauffage prolongé et trop puissant engendre la dégradation de certaines molécules aromatiques (Lucchesi, 2005). Au laboratoire, le système équipé d'une cohobe généralement utiliser pour l'extraction des huiles essentielles est le Clevenger.



- | | |
|-------------------|--|
| 1- Chauffe ballon | 5- Entrer et sortie d'eau de refroidissement |
| 2- Ballon | 6- Eprouvette graduée |
| 3- Thermomètre | 7- Matière à extraire l'essence |
| 4- Réfrigérant | 8- La couche d'HES |

Figure 02 : Schéma du principe de la technique d'hydro distillation (Lucchesi, 2005)

I.6.2. Entraînement à la vapeur d'eau

La distillation par entraînement à la vapeur d'eau, cette technique ne met pas en contact direct l'eau et la matière végétale à traiter. Le principe de la distillation à la vapeur d'eau consiste à faire passer la vapeur d'eau à travers la plante à une température adéquate pour détruire les cellules végétales, libérer les molécules aromatiques et les entraîner dans un serpentin de refroidissement. Là, les vapeurs refroidies retournent à l'état liquide formant un mélange « eau + huile essentielle ». Recueillies dans un essencier, l'huile essentielle et l'eau

Chapitre II-Les huiles essentielles des graines de fenouil

florale se séparent par simple différence de densité. L'absence de contact direct entre l'eau et la matière végétale, puis entre l'eau et les molécules aromatiques évite certains phénomènes d'hydrolyse ou de dégradation pouvant nuire à la qualité de l'huile (Neffati, 2010).

I.6.3. Extraction par solvants volatils

La technique d'extraction « classique » par solvant, consiste à placer dans un extracteur un solvant volatil et la matière végétale à traiter. Grâce à des lavages successifs, le solvant va se charger en molécules aromatiques, avant d'être envoyé au concentrateur pour y être distillé à pression atmosphérique.

L'extraction par solvant organique volatil reste la méthode la plus pratiquée. Les solvants les plus utilisés à l'heure actuelle sont l'hexane, le cyclohexane, l'éthanol, le méthanol, le dichlorométhane et l'acétone (Kim *et al.*, 2002).

Le solvant choisi, en plus d'être autorisé devra posséder une certaine stabilité face à la chaleur, la lumière ou l'oxygène, sa température d'ébullition sera de préférence basse afin de faciliter son élimination, et il ne devra pas réagir chimiquement avec l'extrait.

L'extraction est réalisée avec un appareil de Soxhlet ou un appareil de Lickens-Nickerson.

Ces solvants ont un pouvoir d'extraction plus élevé que l'eau si bien que les extraits ne contiennent pas uniquement des composés volatils mais également bon nombre de composés non volatils tels que des cires, des pigments, des acides gras et bien d'autres substances (Boutekedjiret, 1999).

L'emploi restrictif de l'extraction par solvants organiques volatils se justifie par son coût, les problèmes de sécurité et de toxicité, ainsi que la réglementation liée à la protection de l'environnement. Cependant, les rendements sont généralement plus importants par rapport à la distillation et cette technique évite l'action hydrolysant de l'eau ou de la vapeur d'eau.

I.6.4 Hydro-diffusion

Cette technique est relativement récente. Elle consiste à faire passer, du haut vers le bas (perdescendum) et à pression réduite, la vapeur d'eau au travers de la matrice végétale.

L'avantage de cette méthode est d'être plus rapide donc moins dommageable pour les composés volatils. Cependant, l'huile essentielle obtenue avec ce procédé contient des composés non volatils ce qui lui vaut une appellation spéciale : « essence de percolation » (Franchomme & Penoel, 1990 ; Richard, 1992).

Chapitre II-Les huiles essentielles des graines de fenouil

De plus, l'hydro diffusion permet une économie d'énergie due à la réduction de la durée de la distillation et donc à la réduction de la consommation de vapeur.

I.6.5. Extraction assistée par micro-onde

Extraction assistée par micro-ondes est une nouvelle technique qui combine l'utilisation des micro-ondes et d'autres méthodes traditionnelles. Dans ce procédé, la matière végétale est chauffée par micro-ondes dans une enceinte close dans laquelle la pression est réduite de manière séquentielle. Les composés volatils sont entraînés par la vapeur d'eau formée à partir de l'eau propre à la plante. Ils sont ensuite récupérés à l'aide des procédés classiques condensation, refroidissement, et décantation. Des études démontrent que cette technique possède plusieurs avantages tels que le gain de temps d'extraction, utilisation de petites quantités de solvant, et un rendement d'extraction élevé (**Hemwimon *et al.*, 2007**).

I.6.6. Extraction par fluide supercritique

Extraction par fluides supercritiques a pris ces dernières années, beaucoup d'essor concernant l'extraction des extraits végétaux. Le principal avantage de cette technique est celui de combiner les caractéristiques des gaz et des liquides pendant le processus d'extraction (figure 03).

En outre tous les processus de dégradation possibles tels que l'oxydation ou isomérisation sont réduits au minimum du fait que le temps d'extraction y'est réduit.

Toutefois, cette technique d'extraction présente un inconvénient la basse polarité du dioxyde de carbone supercritique qui le solvant d'extraction le plus employé. Au-delà du point critique ($P= 73,8$ bars, $T^{\circ}= 31,1^{\circ}\text{C}$), le CO_2 possède les propriétés intermédiaires entre celles des liquides et celles des gaz, ce qui lui confère un bon pouvoir d'extraction (**Piochon, 2008**).

Chapitre II-Les huiles essentielles des graines de fenouil

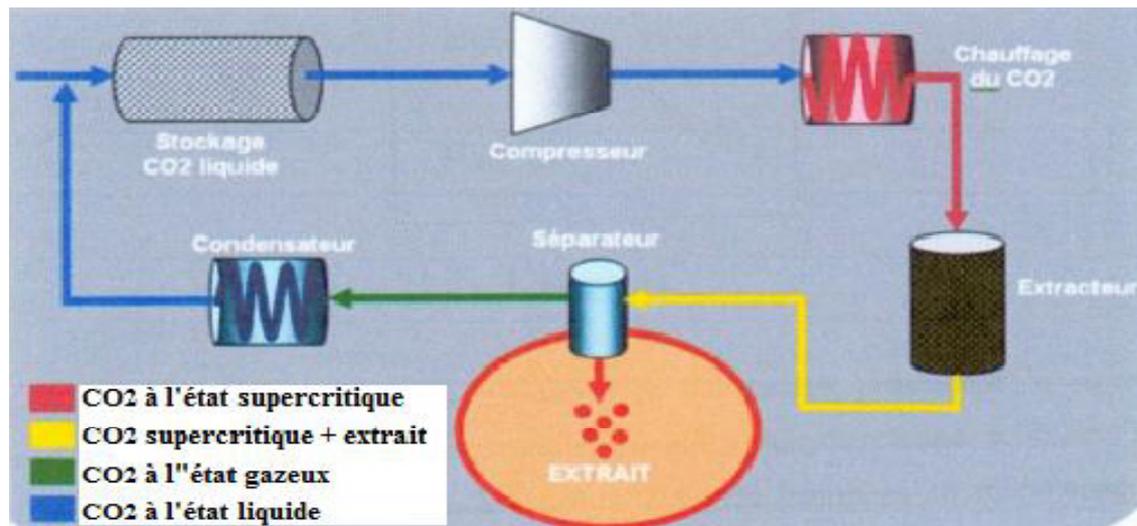


Figure 03 : Schéma de la technique d'extraction par le CO2 supercritique (Pourmortazavi & Hajimirsadeghi, 2007).

I.7. Caractérisations des huiles essentielles

L'importance des huiles essentielles dans divers domaines (pharmacie, cosmétique, parfumerie...) nous amène à vérifier leur qualité. La caractérisation d'une huile consiste à :

- Vérifier ses caractéristiques organoleptiques (Aspect, couleur, odeur) ;
- Déterminer ses indices physico-chimiques (densité, indice de réfraction, et indice d'acide) ;
- Obtenir son profil chromatographique et une quantification relative a des différents constituants.

I.7.1. Caractéristiques organoleptiques

Chaque extrait est caractérisé par ces propriétés organoleptiques telles que l'odeur, l'aspect et la couleur (AFNOR, 1989).

a) L'odeur

L'odorat est un sens chimique très sensible et l'habilité des parfumeurs à classer et caractériser des substances chimiques parviennent à doser les produits naturels et leur perception peut aller jusqu'au dix millièmes de grammes par litre d'air (Mazouz & Hahdaoui, 2010)

b) La couleur

La coloration d'une huile essentielle dépend des produits qui la constituent. Certains solvants ont le pouvoir d'extraire beaucoup de pigments, ce qui intensifie la couleur d'une huile donnée (Mazouz & Hahdaoui, 2010).

Chapitre II-Les huiles essentielles des graines de fenouil

c) L'aspect

L'aspect d'un extrait dépend des produits qui la constituent, qui peuvent nous apparaître sous forme solide, liquide ou bien semi- liquide (**Mazouz & Hahdaoui., 2010**).

1.7.2. Propriétés physico-chimiques

Les caractéristiques organoleptiques (aspect, couleur, odeur) étaient autre fois les seules indications permettant d'évaluer la qualité d'une huile essentielle, mais comme ces propriétés ne donnent que des informations très limitées sur ces essences, il est nécessaire de faire appel à d'autres techniques de caractérisation plus précises. La qualité d'une huile essentielle et sa valeur sont définies par des normes admises et portant sur les indices physicochimiques (**Clarke, 2008**).

a) Densité

La densité ou la masse volumique est une grandeur physique qui caractérise la masse d'un matériau par unité de volume, donc c'est le rapport du poids d'un certain volume d'un corps et le poids du même volume d'un corps de référence (eau) (**Lazouni, 2007**).

b) Indice de réfraction

L'indice de réfraction d'une huile essentielle est le rapport entre le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction d'un rayon lumineux de longueur d'onde déterminée, passant de l'air dans l'huile essentielle maintenue à une température constante (**Roby, 2013**).

L'indice de réfraction n'a pas d'unité car c'est le rapport de deux vitesses. Plus la lumière est ralentie, plus la matière a un indice de réfraction élevé. L'indice de réfraction des huiles essentielles est généralement élevé. Il est supérieur à ceux de l'eau à 20°C = 1.3356, et de l'huile d'olive à 20°C= 1.4684. Ceci montre leur richesse en composants qui dévient la lumière polarisée (**Senatore, 2013**).

c) Indice d'acide

C'est le nombre de milligrammes de KOH nécessaire pour la neutralisation des acides libres contenus dans 1g d'huile essentielle. La teneur en acides libres des corps gras augmente avec le temps, l'indice d'acide permet donc de juger de leur état de détérioration (**Mohamdi, 2005**).

Chapitre II-Les huiles essentielles des graines de fenouil

I.8. Domaines d'utilisation des huiles essentielles

En raison de leurs diverses propriétés, les huiles essentielles sont devenues une matière d'importance économique considérable avec un marché en constante croissance. En effet, elles sont commercialisées et présentent un grand intérêt dans divers secteurs industriels comme en pharmacie par leurs pouvoirs, antispasmodique, antidiabétique, analgésique, apéritif, antiseptique....., en alimentation par leur activité antioxydant et leur effet aromatisant, en parfumerie et en cosmétique par leur propriété odoriférante(**Porter, 2001**).

I.8.1. Dans l'industrie agroalimentaire

Les huiles essentielles jouent un rôle capital dans l'aromatisation des aliments. En effet, elles donnent la saveur aux condiments (poivre, gingembre) et aux aromatisants (menthe, anis, oranger, thym, laurier). A faible dose, certaines substances ont un effet favorable sur la digestion, ce qui explique leur utilisation en liquoristerie (essence d'anis ou de badiane). Les huiles essentielles entrent donc, pour leurs diverses propriétés, dans la composition des arômes employés de manière fréquente aujourd'hui dans tous les produits alimentaires comme les plats cuisinés ou prêts à l'emploi (**Marín, 2016**).

Maintenant, l'industrie agroalimentaire utilise les huiles essentielles dans les préparations surgelées non seulement pour rehausser le goût mais aussi pour empêcher les contaminations alimentaires qui se développent (effet antimicrobien) (**Anton, 2005**).

I.8.2 En parfumerie et cosmétique

Les propriétés odoriférantes des huiles essentielles confèrent à ces dernières une consommation importante en parfumerie et en cosmétique. Elles présentent environ 60% des matières premières de l'industrie des parfums synthétiques, du par fumage, des savons et des cosmétiques.

A la cosmétologie et le secteur des produits d'hygiène on notera la présence des huiles essentielles dans les préparations dermo- pharmacologique, baies « calmant » ou « relaxant », et leur emploi dans les rouges à lèvres, les shampoings, les dentifrices, se sont surtout les huiles essentielles de lavande, de citron, de citronnelle, qui sont utilisées. On notera qu'il y a une possibilité d'adsorption percutanée des constituants terpéniques. (**Bouamer et al, 2004**)

Chapitre II-Les huiles essentielles des graines de fenouil

Actuellement, on préfère utiliser des produits naturels qui sont censés ne pas avoir d'effets secondaires graves par rapport aux produits de synthèse. En effet, il ne faut pas oublier que « naturel » ne signifie pas non toxique.

1.8.3. En pharmacie

L'industrie pharmaceutique utilise les huiles essentielles dans le domaine des antiseptiques externes ; elle tire parti des propriétés bactériostatiques, bactéricides, antifongiques, protectrices, etc., des essences naturelles.

Les huiles essentielles constituent le support d'une pratique de soins particulière l'aromathérapie. Elles ont grande intérêt en pharmacie, elles s'utilisent sous la forme de préparations galéniques, et dans la préparation d'infusion (verveine, thym, menthe, mélisse, fleurs d'orange...etc.). Tout fois, il faut souligner que la majorité des constituants de ces derniers sont lipophiles, et de ce fait, rapidement absorbés que ce soit par voie pulmonaire, par voie cutanée ou par voie digestive.

Elles sont également utilisées pour l'obtention des huiles essentielles dans un intérêt médicamenteux (en particulier dans le domaine des antiseptiques externes). Plus de 40% du médicament sont à base de composants actifs de plants. De nombreuses huiles essentielles se trouvent dans la formule d'un très grand nombre de spécialités pharmaceutiques : sirop, goutte, gélules pommade ...etc. (**Wichtl, 2003**).

II. Huile essentielle des graines de fenouil

II.1. Localisation

Les huiles essentielles de fenouil sont principalement concentrées dans les méricarpes des graines (**Stefanini et al., 2006**). Elles 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. Ensuite, elles sont stockées dans des canaux sécréteurs (**Bruneton, 1993**), et sont présentes sous forme de vésicules minuscules localisées entre les cellules, où elles agissent en tant qu'hormones, régulateurs et catalyseurs dans le métabolisme végétal (**Mohamed & Abdu, 2004**).

II.2. Extraction et rendement

Les huiles essentielles des graines sèches et mûrs de fenouil sont obtenues par hydro-distillation (**Vienna et al., 2005**) et par entraînement à la vapeur (**Clarke, 2008 ; Garnéro, 1996**). L'huile essentielle obtenue par cette dernière méthode est référée en tant que « huile de fenouil », utilisée dans les pays occidentaux pour l'assaisonnement (**Singh et al., 2006**).

Chapitre II-Les huiles essentielles des graines de fenouil

Selon le matériel, la variété, l'origine, le lieu de production et d'autres facteurs extrinsèques et intrinsèques, le rendement en huile essentielle des graines de fenouil varie de 2,5 à 6 % avec une moyenne de 3,5 % (Garnéro, 1996; Kaur & Arora, 2010). Selon (Olle & Bender, 2010), les huiles essentielles aident la plante à s'adapter à son environnement, par conséquent, les plantes les produisent en quantité plus élevée quand elles sont cultivées dans des conditions extrêmes.

II.3. Caractéristiques physico-chimiques :

Le tableau 05 récapitule les principales caractéristiques physico-chimiques de l'huile essentielle des graines de *Foeniculum vulgare* Mill.

Tableau 05 : Caractéristiques physico-chimiques de l'huile essentielle de *Foeniculum vulgare* Mill (Garnéro, 1996).

	Caractère
Aspect	Liquide mobile, limbile, couleur jaune pale odeur aromatique anisée, épicée, légèrement camphrée
Densité d	0.889 à 0.921
Indice de Réfraction n ²⁰	1.484 à 1.508
Pouvoir Rotatoire α ²⁰	+20 ⁰ à 68 ⁰

II.4. Composition chimique :

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 fenchone fournit l'amertume, et l'estragole (methylchavicol) la douceur (Choi & Hwang, 2004).

Chapitre II-Les huiles essentielles des graines de fenouil

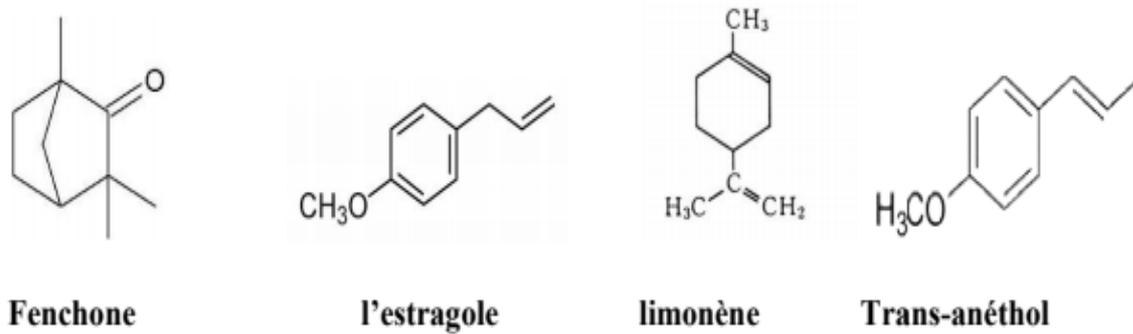


Figure 04: Les structures moléculaires des composants bioactifs principaux d'huile essentielle du *Foeniculum vulgare* (Rather *et al.*, 2012 ; Couic-marinié & Lobstein, 2013).

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, lactogène 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).

Chapitre II-Les huiles essentielles des graines de fenouil

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 intestinal des déchets de l'organisme (**Arnal-schnebelen et al., 2008**).

Le fruit du fenouil est traditionnellement utilisé pour stimuler la digestion, traiter le symptôme 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 hepatoprotective (**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 ; 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

Chapitre II-Les huiles essentielles des graines de fenouil

pharmacologiquement actifs sont des polymères d'anethole, comme le dianethole et le photoanethole (Albert-puleo, 1980 ; 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 ; 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 hypoglycémiante. 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 ; 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 ; 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 malondialdehyde dans le groupe d'extrait de méthanol de comparé au groupe témoin (Ruberto *et al.*, 2000 ; 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 ; 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).

Chapitre III -Travaux de recherche réalisée sur les huiles essentielles des graines de fenouil

Ce chapitre sera consacré aux travaux effectués sur les vertus thérapeutiques des huiles essentielles des graines de fenouil, ainsi que les méthodes de leurs extractions et leurs utilisations.

I. Travaux réalisés sur la détermination de rendement d'extraction

Pour la détermination de rendement d'extraction on a consulté 4 travaux :

I.1.Composition des constituants des huiles essentielles et valeurs nutritives du *Foeniculum Vulgare Mill* réaliser par **Lazouni et al. (2007)**.

Dans ce travail, les valeurs de rendement obtenues en fonction des périodes de cueillette sont regroupées dans le tableau 06:

Tableau 06: Teneurs en huile essentielle en fonction des périodes de cueillette (**Lazouni et al., 2007**).

Période de cueillette	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Rendement (%)	0.98	1.53	1.82	2.15

Les valeurs obtenues sont en relation avec celles citées par la littérature (Tableau07).

Tableau 07: Rendements obtenus dans différents pays (**Lazouni et al., 2007**).

Origine	France	Inde	Japon
Rendement	2.1	0.72	2.7

Le tableau 07 présente le rendement en huiles essentielles de *Foeniculum vulgare* des différentes pays (France, Inde et Japon) .Le rendement dans la France et le japon est largement supérieur au rendement obtenu avec la plante étudiée par **Lazouni et al. (2007)**.On constate aussi d'après ce dernier que ce rendement varient aussi selon la période 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.

Chapitre III -Travaux de recherche réalisée sur les huiles essentielles des graines de fenouil

I.2. Etude comparative des activités antioxydantes des huiles essentielles et des extraits des graines de fenouil (*Foeniculum vulgare Mill*) D'Egypte et de Chine réaliser par **Ahmed et al. (2019)** (Comparative analysis of antioxidant activities of essential oils and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare Mill.*) seeds from Egypt and China).

Dans ce travail, le rendement des huiles essentielles de graines de fenouil d'Egypte et de Chine variait de 1,6% et 1,1%, respectivement (tableau 08).

Tableau 08 : le rendement des huiles essentielles de graine de fenouil (%) (**Ahmed et al., 2019**).

Le rendement %	Egypte	Chine
Huiles	1.6	1.1

Selon **Ahmed et al. (2019)**, d'autres recherches bibliographiques ont révélés que la teneur en huiles essentielles des populations des graines de fenouil iranien variait de 2,7 à 4% (**Pouryousef et al., 2014**), par contre le rendement en huile essentielle de graines de fenouil du Pakistan était de 2,81% (**Anwar et al., 2009**). D'autre part, **Mimica-Dukic et al. (2003)** ont également rapporté un rendement en huile essentielle compris entre 2,82 et 3,38% pour les graines de *F. vulgare* de Yougoslavie. **Bernath et al. (1996)** ont trouvé que le rendement de l'huile essentielle de fenouil de Hongrie, d'Italie, de France et de Corée varient entre 2,27 et 5,94%. **Khammassi et al. (2018)**, ont observé les rendements d'huile essentielle de 16 variétés de graine de fenouil, ces dernières ont présentés un rendement allant de 1,2 à 5,06%. **Viuda-Martos et al. (2011)** ont rapporté que le rendement de l'huile essentielle de fenouil égyptien était de 2,5%.

Concernant les recherches de **Piccaglia et al. (2001)**, la teneur en huile essentielle peut être principalement affectée par des facteurs environnementaux et génétiques. **Bagheri et al., (2014)**, ont ajouté que le rendement peut être influencée par la méthode et les conditions d'extraction.

Chapitre III -Travaux de recherche réalisée sur les huiles essentielles des graines de fenouil

I.3. Activités antioxydantes et antibactériennes des huiles essentielles et des extraits des graines du fenouil (*Foeniculum vulgare Mill*) du Pakistan réaliser par **Anwar et al. (2009)** (Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare Mill*) seeds from Pakistan).

Selon **Anwar et al. (2009)**, le pourcentage du rendement des huiles essentielles des graines de fenouil sont donnés dans le tableau 09. Le rendement des huiles essentielles des graines de fenouil obtenu par l'hydro-distillation était de $2,81\% \pm 0.14$. **Mata et al. (2007)**, ont trouvé le rendement en huile essentielle des graines de fenouil du Portugal à 0,1%.

Tableau 09 : Rendement en huile essentielle de graines de fenouil (**Anwar et al., 2009**).

Échantillons	Rendement (g / 100 g)
Huile essentielle	2.81 ± 0.14

I.4. Etude des activités biologiques de l'huile essentielle extraite des graines de *Foeniculum vulgare Mill*. En vue de son utilisation comme conservateur alimentaire réaliser par **Bouguerra (2011)**.

Dans ce travail, l'huile essentielle a été extraite des graines sèches du fenouil par un hydro distillateur de type Clevenger (1928). Ce qui a donné une huile de couleur jaune pâle avec une odeur aromatique. Le rendement obtenu était voisin de $0.79 \pm 0.02\%$. Il était très faible par rapport aux rendements cités dans d'autres littératures (Tableau 10). En générale, le rendement en huile essentielle des graines du fenouil varie de 2,5 à 6 % avec une moyenne de 3,5 % (**Garnéro, 1996**).

Chapitre III -Travaux de recherche réalisée sur les huiles essentielles des graines de fenouil

Tableau 10: Exemple de rendements obtenus en huile essentielle extraite des graines du fenouil dans différents pays (**Bouguerra, 2011**).

Origine	Algérie	Pakistan	Brasille	Turquie	Inde
Méthode d'extraction	Entrainement à la vapeur	Hydro-distillateur de type Clevenger (1928)	Hydro-distillateur	Hydro-distillateur de type Clevenger (1928)	Hydro-distillateur de type Clevenger (1928)
Rendement	2.7%	3.8 %	2.4%	6.01%	1.2%

A la lumière des résultats discuté par ces 4 travaux on peut conclure que :
Le rendement des huiles essentielles varie entre 0.1% et 6.01%, cette variation dépend de plusieurs facteurs : les régions, la période de cueillette, la méthode et les conditions d'extraction, les facteurs environnementaux et génétiques.

II. travaux réalisés sur l'évaluation de l'activité antioxydante

Pour l'évaluation de l'Activité antioxydante on a consulté 04 travaux :

II.1. Activités antioxydantes et antibactériennes des huiles essentielles et des extraits des graines du fenouil (*Foeniculum vulgare Mill.*) du Pakistan réaliser par **Anwar et al. (2009)** (Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare Mill*) seeds from Pakistan).

Selon **Anwar et al ., 2009**, l'activité antiradicalaire de l'huile essentielle de fenouil a été mesurée par la méthode de DPPH. La capacité de piégeage des radicaux libres augmente avec l'augmentation de la concentration d'huile essentielle (tableau 11).

Chapitre III -Travaux de recherche réalisée sur les huiles essentielles des graines de fenouil

Tableau 11 : L'activité antioxydante d'huile essentielle des graines de fenouil (Anwar *et al.*, 2009).

Dosages antioxydants	Huile essentielle
DPPH, IC ₅₀ (µg/ml)	32.32 ± 0.77

D'après leurs résultats les huiles essentielles des graines de fenouil ont montré une excellente activité radicale, avec IC₅₀ de valeur de 32,32 µg/ml.

II.2. l'influence des différentes stade de maturation sur la composition, l'Activités antioxydante et antibactériennes des huiles essentielles de Fenouil (*Foeniculum vulgare Mill.*) réalisé par Anwar *et al.* (2009) (Changes in Composition and Antioxidant and Antimicrobial Activities of Essential Oil of Fennel (*Foeniculum vulgare Mill*) Fruit at Different Stages of Maturity).

Selon Anwar *et al.*, 2009 , Toutes les huiles essentielles évaluées ont pu réduire le radical DPPH violet en DPPH-H jaune.

D'après ce travail, les valeurs IC₅₀ de l'huile essentielle de fenouil des différents stades (matures, intermédiaires et immatures) était de 20,6 ; 21.1 et 21,2 µg mL⁻¹, respectivement (tableau 12).

Tableau 12 : Variation de l'activité antioxydante des huiles essentielles des graines de fenouil selon le stade de maturité (Anwer *et al.*, 2009).

essai Antioxydant <i>in vitro</i>	Huile essentielle Immature	Huile essentielle Intermédiaire	Huile essentielle Mature
DPPH (IC ₅₀) (µg/ml)	21.2 ± 0.4	21.1 ± 0.5	20.6 ± 0.6

Chapitre III -Travaux de recherche réalisée sur les huiles essentielles des graines de fenouil

Les résultats d'**Anwar et al. (2009)**, montrent que Les huiles essentielles des graines du fenouil matures ont montré une activité relativement plus importante que celle de graines récoltées à des stades immatures et intermédiaires. Sur la base de ces résultats, l'ordre de l'activité antioxydante des huiles essentielles de fenouil était comme suit; mature > intermédiaire > immature.

I.3. Etude comparative des activités antioxydantes des huiles essentielles et des extraits des graines de fenouil (*Foeniculum vulgare Mill.*) D'Egypte et de Chine réaliser par **Ahmed et al. (2019)** (Comparative analysis of antioxidant activities of essential oils and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare Mill*) seeds from Egypt and China).

Selon les résultats observés par **Ahmed et al. (2019)**, Dans le tableau 13, il y avait une différence significative dans les activités de piégeage des radicaux libres des huiles essentielles.

Tableau 13 : Analyses antioxydantes des huiles essentielles des graines de fenouil (**Ahmed et al., 2019**)

Pays	Huiles essentielles IC ₅₀ (mg/g)
L'Egypte	141.82 ± 2.212
La Chine	15.66 ± 1.135

Dans ce travail, les huiles essentielles des graines de fenouil de la Chine ont montré une activité très importante avec IC₅₀ (15.66 mg/g). Contrairement a celle des huiles essentielles de fenouil de l'Egypte qui est d'ordre de IC₅₀ (141,82 mg/g).

D'après **Ahmed et al. (2019)**, d'autres recherches bibliographiques, indiquent que cette variation était probablement due à des différences dans la teneur en composés trans-anéthol, (**Senatore et al., 2013**) , voir le tableau 14.

Chapitre III -Travaux de recherche réalisée sur les huiles essentielles des graines de fenouil

Tableau 14 : Le rendement et les principaux constituants (%) dans les huiles essentielles de fenouil (Ahmed *et al.*, 2019).

Rendement d'huile et leurs composés	Egypte	Chine
Huile	1.6	1.1
Trans-anéthole	3.62	54.26
Estragole	51.04	20.25
Fenchone	8.19	7.36
Limonène	11.45	2.41

Selon Ahmed *et al.* (2019), l'activité antioxydante peut être affecté par l'origine géographique ainsi que la teneur en composés phénoliques (Aissi *et al.*., 2019). D'autres recherches ont rapporté que l'huile essentielle extraite de la plante entière de fenouil égyptien présentait la plus faible activité antiradicalaire ($IC_{50} = 179,56$ g/L) et cette faible activité était corrélée avec la teneur faible en phénolique (Viuda-Martos *et al.*, 2011).

II.4. Etude des activités biologiques de l'huile essentielle extraite des graines de *Foeniculum vulgare* Mill. en vue de son utilisation comme conservateur alimentaire réaliser par Bouguerra (2011).

Dans ce travail Bouguarra (2011), a étudié l'influence de la méthode d'extraction sur l'activité antioxydantes des huiles essentielles des graines de fenouil (la méthode de DPPH et la méthode de blanchiment de β -carotène).

Pour la première méthode (DPPH), l'huile essentielle des graines du fenouil et la vitamine C ont pu réduire le radical DPPH• avec des valeurs de IC_{50} de $752,65 \pm 32,5 \mu\text{g.ml}^{-1}$ et de $4,61 \pm 0,070 \mu\text{g.ml}^{-1}$, respectivement. L'huile essentielle des graine du fenouil a montré une activité de balayage du DPPH• moins élevée par rapport à la vitamine C.

Chapitre III -Travaux de recherche réalisée sur les huiles essentielles des graines de fenouil

Concernant L'étude de l'activité antioxydante de l'huile essentielle des graines du fenouil réalisée par la méthode de blanchiment du β -carotène. **Bouguarra (2011)**, a suivi La cinétique de blanchiment du β -carotène pour l'huile essentielle des graines du fenouil, la vitamine C et le contrôle négatif (absence de l'HE). Ces résultats sont illustrés dans la figure 4. Ces dernières indiquent que les valeurs de l'absorbance de l'émulsion du contrôle négatif et de celles de la vitamine C diminuent avec le temps d'incubation, par contre, l'émulsion contenant l'huile essentielle des graines du fenouil n'a pas montré une diminution importante de l'absorbance.

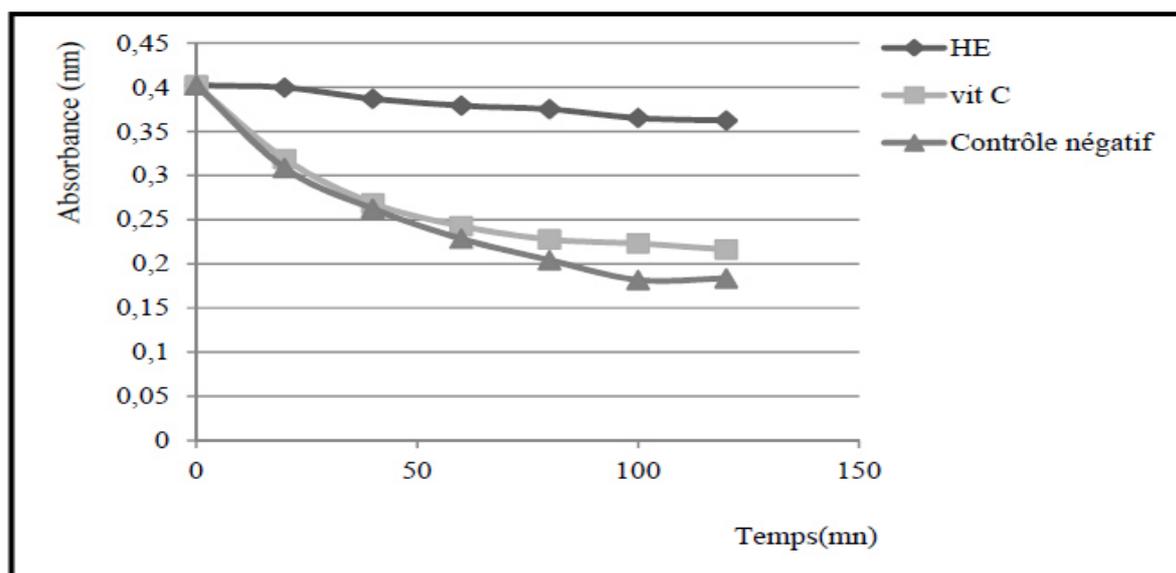


Figure 05: Cinétique de blanchiment du β -carotène pour l'huile essentielle des graines du fenouil la vitamine C et le contrôle négatif (**Bouguarra, 2011**).

D'après les résultats observés par ces 4 travaux on a conclu :

Les huiles essentielles des graines de fenouil ont montre une excellente activité radicalaire, cette activité dépend de plusieurs facteurs :

Stade de maturation .l'origine géographique, la teneur en quelques composés telle que le trans-anéthole et les méthodes d'extraction.

Chapitre III -Travaux de recherche réalisée sur les huiles essentielles des graines de fenouil

III. travaux réalisés sur l'évaluation de l'activité antibactérienne

Pour l'évaluation de l'activité antibactérienne on a consulté 04 travaux :

III.1. Composition et propriétés antibactériennes d'huile essentielle de *Foeniculum vulgare* réaliser par **Gulfraz et al. (2008)**. (Composition and antimicrobial properties of essential oil of *Foeniculum vulgare*).

Selon les résultats des tableaux 15 observé par **Gulfraz et al. (2008)** l'huile essentielle de *F. vulgare* a eu des activités antibactériennes significatives contre certains micro-organismes. L'huile essentielle a montré une activité sur les bactéries Gram positives, Gram négatives et *C. albicans* avec une concentration de 100 µg/disque par rapport à l'ofloxacin (6 µg/disque) et au nitrate de miconazole (50 µg/disque) utilisées comme contrôles positifs.

D'après **Gulfraz et al. (2008)**, **Muckenstrum et al. (1997)** ont observé une concentration plus élevée de trans-anethole (70,1%) dans l'huile essentielle de fenouil. La présence de trans-anethole influence les activités antioxydantes et antibactériennes. Tandis que **Patra et al. (2002)**, ont signalé que l'anéthole et ses isomères sont responsables des activités antibactériennes de l'huile de fenouil. Les huiles essentielles et leurs composants sont largement utilisés en médecine, dans l'industrie alimentaire et dans les cosmétiques.

D'après **Corner (1993)**, l'activité antibactérienne des huiles essentielles a été attribué à un certain nombre des composés phénoliques, qui, également sous forme pure, démontrent une forte activité antibactérienne. Les huiles essentielles et leurs composants ont été connus pour être actifs contre une grande variété des micro-organismes, y compris les bactéries Gram négatives et Gram positives.

D'après les résultats de **Gulfraz et al. (2008)**, les huiles essentielles ont été riches en d'autres composés efficaces contre *C.albican*, *E. coli* et *P. putida* .ce qui le rend précieux non seulement pour augmenter la durée de conservation des denrées alimentaires, mais il pourrait être une cible future pour remplacer les agents antibactériens synthétiques.

Chapitre III -Travaux de recherche réalisée sur les huiles essentielles des graines de fenouil

Tableau 15 : L'activité antibactérienne des huiles essentielles de *F. vulgar* (Gulfraz *et al.*, 2008).

Micro-organismes	Huiles (diamètre d'inhibition en mm)
<i>B. cereus</i>	26 ± 0.4
<i>B. magaterium</i>	31 ± 1.1
<i>B. pumilus</i>	28 ± 0.5
<i>B. substilis</i>	29 ± 0.45
<i>E. coli</i>	-
<i>K. pneumonie</i>	16 ± 0.4
<i>M. lutus</i>	14 ± 0.5
<i>P. putida</i>	14 ± 0.4
<i>P. syringae</i>	17 ± 0.2
<i>S. aureus</i>	28 ± 0.5
<i>S. épiderme</i>	-
<i>S. pneumonie</i>	-
<i>S. pyogènes</i>	-
<i>C. albicans</i>	13 ± 0.3

III.2. Activités antioxydantes et antibactériennes des huiles essentielles et des extraits des graines du fenouil (*Foeniculum vulgare Mill*) du Pakistan réaliser par Anwar *et al.* (2009). (Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare Mill*) seeds from Pakistan).

Dans ce travail, l'activité antibactérienne de l'huile essentielle des graines de fenouil contre des micro-organismes d'origine alimentaire et pathogènes ont été évalués. Les résultats sont présentés en Tableau 16.

Chapitre III -Travaux de recherche réalisée sur les huiles essentielles des graines de fenouil

Tableau 16 : Activité antibactérienne en termes de zones d'inhibition d'huile essentielle de fenouil (Anwar *et al.*, 2009).

Diamètre de la zone d'inhibition	Huile essentielle	Amoxicilline	Flumequine
<i>Escherichia coli</i>	14 ±1	28 ±2	—
<i>Bacillus subtilis</i>	29 ±1	32 ±2	—
<i>Aspergillus niger</i>	28 ±2	—	31 ± 2
<i>Fusarium solani</i>	26 ±1	—	29 ± 1
<i>Rhizopus solani</i>	19 ±1	—	28 ± 2

Les huiles essentielles des graines de fenouil ont montré une activité antibactérienne considérable contre toutes les souches testées, particulièrement contre les bactéries Gram positives. Les résultats de la méthode de diffusion du disque, suivie de la mesure de la concentration inhibitrice minimale (CIM), a indiqué que *B. subtilis* et *A. niger* étaient les micro-organismes les plus sensibles avec des zones d'inhibition (29 et 28 mm), respectivement. La moindre activité a été exposée contre *E. coli*, avec les zones d'inhibition les plus petites (14 mm) .En général, l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de fenouil est comparable aux médicaments standard, à l'amoxicilline et à la flumequine.

Selon d'autres recherches, **Cantore *et al.* (2004)**, ont signalé que les souches Gram négatives des bactéries, en particulier *E. coli*, ont moins de sensibilité aux huiles essentielles de fenouil. **Ozcan *et al.* (2006)**, ont constaté que les huiles essentielles de fenouil présentent un effet inhibiteur contre un large éventail d'espèces de *Bacillus*. **Mimica-Dukic *et al.* (2003)** ont également signalé que les huiles essentielles de fenouil sont actives contre les espèces d'*Aspergillus*.

Chapitre III -Travaux de recherche réalisée sur les huiles essentielles des graines de fenouil

III.3. L'influence des différents stades de maturation sur la composition, l'Activités antioxydante et antibactériennes des huiles essentielles de Fenouil (*Foeniculum vulgare Mill*) réalisé par **Anwar et al. (2009)**. (Changes in Composition and Antioxidant and Antimicrobial Activities of Essential Oil of Fennel (*Foeniculum vulgare Mill.*) Fruit at Different Stages of Maturity).

Dans ce travail, Les huiles essentielles de fenouil présentaient une activité considérable contre les souches bactériennes testées, en particulier contre les bactéries Gram-positives. Les tests d'activité antibactérienne à l'aide de la méthode de diffusion du disque, suivis de la mesure du CIM, ont indiqué que *S. aureus* et *B. subtilis* étaient les plus sensibles, avec des zones d'inhibition de 22,3 à 28,3 mm et 23,5 à 28,2 mm, respectivement. Seule une activité antibactérienne minimale a été observée contre *E. coli*, avec une zone d'inhibition de 8,3 à 11,1. Le trans-anethole a démontré une activité antibactérienne équivalente aux huiles essentielles, avec une zone d'inhibition de 11,3 à 30,3 mg mL⁻¹.

Selon **Anwar et al. (2009)**, **Ruberto et al. (2000)**, ont signalé que les huiles essentielles des parties aériennes du fenouil sont efficaces contre une gamme de bactéries, et **Ozcan et al. (2006)** ont rapporté que les huiles essentielles de fenouil présenter une activité inhibitrice contre les espèces de *Bacillus*. **Cantore et al. (2004)**, ont indiqué que les souches Gram négatives des bactéries, *E. coli*, sont moins sensibles aux huiles essentielles de fenouil que les bactéries Gram-positives.

III.4. Evaluation des activités : antioxydante et antibactérienne des huiles essentielles des graines de *Foeniculum Vulgare* réaliser par **Menasria & Mellikeche (2016)**.

Dans ce travail, la sensibilité des deux bactéries (*E. coli*, *S. aureus*) à été mise en évidence par la technique de diffusion des disques vis-à-vis de l'huile essentielle des graines de *F.vulgare*.

D'après les résultats de ce travail, le classement de la sensibilité des bactéries est mentionné sur le tableau 17.

Chapitre III -Travaux de recherche réalisée sur les huiles essentielles des graines de fenouil

Tableau 17: Diamètre d'inhibition en mm provoqués par l'huile essentielle des graines de *F. vulgare* (Menasria & Mellikeche 2016).

Bactéries	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>
Diamètre d'inhibition (mm)	15.3	11.14
Sensibilité	Très sensible (++)	Sensible (+)

D'après Menasria & Mellikeche (2016), les deux bactéries testées ont été sensibles vis-à-vis de l'huile essentielle des graines de fenouil. En revanche, *S. aureus* a présenté un potentielle de résistance un peu élevée par rapport à *E. coli*. Donc la sensibilité plus marquée chez les Gram (-) par rapport aux Gram (+) vis-à-vis de l'huile essentielle des graines de fenouil. Ces résultats sont confirmés par de nombreuses études (Lopez *et al.*, 2005 ; Bozin *et al.*, 2006 ; Bouzouita *et al.*, 2008).

A partir des résultats étudié sur l'évaluation de l'activité antibactérienne on a conclu :

Les huiles essentielles des graines de fenouil présentaient une activité antibactériennes considérable contre plusieurs souches bactériennes grâce a ces composé phénolique.

Les bactéries Gram négative sont plus sensibles aux huiles essentielles de fenouil que les bactéries Gram positive.

IV. Travaux réalisés sur les composés phénoliques totaux.

Pour l'évaluation des composés phénoliques totaux on a consulté 02 travaux :

IV.1. Composition chimique, l'activité antioxydante et antibactérienne des huiles essentielles de fenouil, d'Espagne réaliser par Marín *et al.* (2016). (Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activity of Essential Oils from Organic Fennel, Parsley, and Lavender from Spain).

Dans le tableau 18, Marín *et al.* (2016), ont présenté la teneur en poly-phénols totale des huiles essentielles de fenouil.

Chapitre III -Travaux de recherche réalisée sur les huiles essentielles des graines de fenouil

Tableau18 : Teneur phénolique totale (EAG/g) dans les huiles essentielles de fenouil (Marín *et al.*, 2016).

Huile essentielle	les composés phénoliques
<i>Foeniculum vulgare</i>	388.35 ± 21.7

Les huiles essentielles des graines de fenouil ont présenté une teneur en poly-phénols totale élevée.

IV.2. Variation de la composition des huiles essentielles et des activités biologiques de *Foeniculum vulgare* Mill, populations en forte croissance en Tunisie réaliser par **Khammassi *et al.* (2018)**. (Variation in essential oil composition and biological activities of *Foeniculum vulgare* Mill, populations growing widely in Tunisia).

D'après les résultats de cette recherches **Khammassi *et al.* (2018)**, ont présenté La teneur totale en phénolique dans les huiles essentielles de fenouil provenant de différents endroit , les quantités de phénoliques totaux en *F. vulgare* Mill variaient considérablement d'une population à l'autre. Les huiles essentielles des populations « Mjaless » et « Tvorsek » présentaient la plus grande quantité de composés phénoliques (62,10 mg GAE/g et 62,04 mg GAE/g, respectivement). Cependant, la teneur la plus faible a été observée dans l'échantillon « ous » (24,95 mg GAE/g)

A partir des résultats étudié sur l'évaluation des composés phénoliques on a conclu :

La teneur en composés phénolique des huiles essentielles des graines de fenouil varient d'une région à l'autre et d'une population à l'autre.

Conclusion

Le fenouil est l'une des plantes aromatiques et médicinales, cette plante fait partie de la famille des apiaceae, connues pour ses activités biologiques et pharmaceutiques. Dans cette étude, la composition chimique, l'activité antioxydante, et l'activité antibactérienne de l'huile essentielle de fenouil ont été analysées en vue de leurs applications industrielles.

Les huiles essentielles sont des substances aromatiques, d'une composition chimique complexe, ce qui leur confère les propriétés antibactériennes et antioxydantes très intéressantes à mettre à profil dans la préservation des produits alimentaires.

Plusieurs travaux de recherche ont été focalisés sur les huiles essentielles extraites des plantes aromatiques. Les différents résultats publiés indiquent qu'elles sont douées de plusieurs propriétés biologiques.

Plusieurs résultats sont recueillis au cours de cette étude, parmi eux les principales informations sont résumées comme suit :

- Le rendement en huile essentielle des graines du fenouil varie de 2,5% à 6%. Il diffère d'une région à l'autre, ce rendement varie aussi selon la période de cueillette, la méthode et les conditions d'extraction, les facteurs environnementaux et génétiques.
- L'étude de l'activité antioxydante des huiles essentielle des graines de fenouil par l'évaluation de leurs pouvoirs anti-radicalaires, pouvoir réducteur et la quantification de leurs composées phénoliques (polyphénols et flavonoïdes), déterminer dans des différente article analysés ont confirmé les propriétés puissantes qui possèdent ces huiles essentielle à piéger les radicaux libres. Suivant les résultats obtenus expérimentalement obtenus par les travaux scientifiques étudier, nous pouvons en déduire :
 1. Les travaux analyser montre une excellente activité radicale et cette activité augmente avec l'augmentation de la concentration d'huile essentielle des graines de fenouil.
 2. Les huiles essentielles des graines du fenouil matures ont montré une activité antioxydante relativement plus importante que celle de graines récoltées à des stades immatures et intermédiaires.

Conclusion

3. L'activité antioxydante peut être affectée par l'origine géographique ainsi que la teneur en composés phénoliques, telle que le trans-anéthole.

4. Les quantités de phénoliques totaux des huiles essentielles des graines de fenouil variaient considérablement d'une région à l'autre et d'une population à l'autre.

- Les huiles essentielles de fenouil ont montré une activité antibactérienne considérable contre plusieurs souches. *S. aureus* a présenté un potentielle de résistance un peu élevée par rapport à *E. coli*. Donc la sensibilité est plus marquée chez les Gram (-) par rapport aux Gram (+) vis-à-vis de l'huile essentielle des graines de fenouil.

En fin, nous pouvons conclure que l'huile essentielle des graines du fenouil peut être considérée comme un agent conservateur très prometteur pour l'industrie alimentaire capable d'empêcher l'oxydation des aliments et de réduire la croissance micro-organismes responsable d'altération des aliments.

Les résultats obtenus fournissent des informations utiles pour les industriels qui seraient intéressés par l'extraction d'huile essentielle des graines de fenouil.

Dans le but de compléter cette étude, Il serait intéressant :

- D'évaluer les activités antifongiques des composés phénoliques des graines de fenouil ;
- De doser d'autres constituants tels que les protéines, les lipides et les fibres ;
- Etendre l'étude sur d'autres activités biologiques telles que l'activité anti-inflammatoire.

Difficultés rencontrées

Toute recherche scientifique présente des difficultés qu'il faut surmonter pour pouvoir continuer. Nous n'entrons pas dans les détails. Mais les difficultés majeures qui méritent d'être soulignées sont celles relatives au choix du thème et au manque des sources documentaires. Parmi les difficultés majeures rencontrées cette année (2019/2020) c'est l'épidémie de covid-19. Cette dernière nous a empêchés de réaliser la thématique proposée au part avant, qui est intitulé : **L'effet d'incorporation des graines de fenouil dans les viandes hachées.**

Référence Bibliographique

Abou El-Soud¹ N., El-Laithy N., El-Saeed G., Wahby M., Khalil M., Morsy F., and Shaffie N. (2011). Antidiabetic Activities of *Foeniculum Vulgare Mill.* Essential Oil in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats, pp 139-146.

AFNOR., (2000). Huiles essentielles. Monographies relatives aux huiles essentielles. AFNOR, Paris, pp 23- 26.

Ahmed A., Shi M., Liu C ., and Kang W. (2019), comparative analyse of antioxidant activities of essential oils and extracts of fennel seeds from Egypte and Chine, pp 67-72.

Albert-Puleo M. (1980). Fennel and anise as estrogen agents. J. Ethno pharmacol, pp 337–344.

Amarti F., El Ajjouri M., Ghanmi M., Satrani B., Aafi A., Farah A., Khia A., Guedira A., Rahouti M., and Chaouch A. (2011). Composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydante de l’huile essentielle de *Thymus zygis* du Maroc, pp 44-48

Amimar Z., Lamarti A., Badoc A., Reduron J., Ouahabi S., and Muckensturm B., (2001). Clonage du fenouil doux par culture d’apex. Bull. Soc. Pharm. Bordeaux, pp 43-58.

Amin I., and Tan S, (2002). Antioxidant activity of selected seaweeds, pp 167-177.

Anton R., and Lobstein A, (2005). Plantes aromatiques. Epices, aromates, condiments et huiles essentielles, Paris, pp 522.

Anubhuti P., Rahul S., and Kant C. (2011), Standardisation of Fennel (*Foeniculum vulgare*), its oleo resin and marketed ayurvedic dosage forms, pp 265–269.

Anwar F., Abdullah I., Sherazi S ., and Bhanger M. (2009). Changes in Composition and Antioxydant and Antimicrobial Activities of Essential oil of Fennel (*Foeniculum vulgare Mill.*) Fruit at Different Stages of Maturity, pp 197-201.

Anwar F., Muhammad A., Abdullah I., and Shahida M. (2009). Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare Mill.*) seeds from Pakistan, pp 170-176.

Aprotosoie A., Spac A., Hancianu M., Miron A., Tanasescu V., Dorneanu V. and Stanescu U. (2010). The chemical profile of essential oils obtained from fennel fruits (*Foeniculum vulgare Mill.*), pp 46-54.

Référence Bibliographique

Arnalschnebelen B., Goetz P., Grassart E., Iserin P., Jacquemin M., Lejeune R. et al., (2008). Plante médicinales : Phytothérapie. Paris, pp 971-980.

Badoc A., Amimar Z., Lamarti A., and Deffieux G. (1995). Action de la colchicine lors de la micropropagation du fenouil (*Foeniculum vulgare Mill.*) sur l'huile essentielle des fruits. Bull, pp. 25-36

Bagheri H., Manap M ., and Solati, Z. (2014). Antioxidant activity of Piper nigrum L.essential oil extracted by supercritical CO2 extraction and hydro-distillation. Talanta, pp 121, 220–228.

Barros L., Sandrina A., Carvalho M., and Ferreira I. (2009). Systematic evaluation of the antioxidant potential of different parts of *Foeniculum vulgare Mill.* from Portugal, pp 2458–2464.

Baser K., and Buchbauer G. (2010). Handbook of essential oils: Science, Technology, and Applications. United States of America, pp 994.

Benayad N., (2008). Les huiles essentielles extraites des plantes médicinales marocaines : moyen efficace de lutte contre les ravageurs des denrées alimentaires stockées, pp 63.

Bernath, J., Nemeth, E., Kattaa, A., and Hethelyi, E. (1996). Morphological and chemical evaluation of fennel (*Foeniculum vulgare Mill.*) populations of different origin, pp 247–253.

Besombes C., (2008) Contribution à l'étude des phénomènes d'extraction hydrothermomécanique d'herbes aromatiques. Applications généralisées, pp 289.

Botrel A., (2007). LAROUSSE des plantes médicinales. Identifications, préparation, soins. Larousse-Bordas, pp 18.

Bouamer A., Bellaghit M., and Mollay A. (2004) Etude comparative entre l'huile essentielle de la menthe vert et la menthe poivrée de la région de Ouargla, pp 2-5, 10, 19 ,21-22.

Bouguerra A., (2011).Etude des activités biologiques de l'huile essentielle extraite des graines de *Foeniculum vulgare Mill.* en vue de son utilisation comme conservateur alimentaire, pp 48-49.

Référence Bibliographique

Boutekedjire C., (1999). Etude des procédés d'extraction des essences de romarin. Transfert de matière et Modélisation. Thèse de doctorat d'état en chimie, pp 16.

Bouzouita N., Kachouri F., Ben Halima M., and Chaabouni M. (2008). Composition chimique et activités antioxydante, antimicrobienne et insecticide de l'huile essentielle de *Juniperus phoenicea*. Tunis, pp 119-25.

Boz I., Burzo I., Zamfirache M., Toma C. and Padurariu C. (2009). Glandular trichomes and essential oil composition of *Thymus pannonicus* All. (Lamiaceae), pp.36-39

Bozin B., Mimica-Dukic N., Simin N., and Anackov G. (2006). Characterization of the volatile composition of essential oils of some Lamiaceae spices and the antimicrobial and antioxydant activities of the entire oils, pp 18-22- 8.

Bruneton J., (1999). Pharmacognosie. Phytochimie, plantes médicinales Paris, pp 30

Bruneton J., (1993). Pharmacognosie. Phytochimie, plantes médicinales Paris, pp 915.

Burt S., (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potentiel applications in foods: areview, pp 223-253.

Cantore P., Iacobellis N., Marco A., Capasso F., and Senatore F., (2004). Antibacterial activity of *Coriandrum sativum* L. and *Foeniculum vulgare* Miller Var. *vulgare*(Miller) essential oils, pp 7862–7866.

Choi E., and Hwang J., (2004). Antiinflammatory, analgesic and antioxydant activities of the fruit of *Foeniculumn vulgare*, pp 557– 565.

Clarke S., (2008). Chemistry of essential oil. British, pp 302.

Conner D., (1993). Naturally occurring compounds. In: Antimicrobials in Foods Davidson P, Branen AL, Marcel Dekker publishing company New York, pp 15-20.

Coşge B., Kiralan M., and Gürbüz B., (2008). Characteristics of fattyacids and essential oil from sweet fennel (*Foeniculum vulgare* Mill. var. *dulce*) and bitter fennel fruits (*F. vulgare* Mill. var.*vulgare*), pp 1011–1016.

Couic-Marinier F., and Lobstein A., (2013). Composition chimique des huiles essentielles, pp 48.

Référence Bibliographique

Debuigne G., and Couplan F., (2009). Petit Larousse des Plante Médicinales. Ed. Paris Larousse, pp 79.

Degryse A.C., Delpla I. and Voinier M.A., (2008) Risques et bénéfices possibles des huiles essentielles, pp 87.

Díaz-Maroto M., Pérez-Coello M., Esteban J., and Sanz J. (2006) Comparison of the volatile composition of wild fennel samples (*Foeniculum vulgare Mill.*), pp 6814–6818.

Díaz-Maroto M., Díaz-Maroto H., Sánchez-Palomo E., and Pérez-Coello M. (2005), Volatile components and key odorants of fennel (*Foeniculum vulgare Mill.*) and thyme (*Thymus vulgaris L.*) oil extracts obtained by simultaneous distillation–extraction and supercritical fluid extraction, pp 5385–5389.

EFSA., (2009) EFSA Scientific cooperation (ESCO) working group on botanicals and botanical preparations; Advice on the EFSA guidance document for the safety assessment of botanicals and botanical preparations intended for use as food supplements, based on real case studies on request of EFSA, pp280 – 104.

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

Faudale M., Viladomat, F., Bastida, J., Poli, F., and Codina, C. (2008). Antioxidant activity and phenolic composition of wild, edible, and medicinal fennel from different mediterranean countries, pp 1912–1920.

Franchomme P., and Penoel d., (1990), Matière médicale aromatique fondamentale (317-406), livre quatrième, l'aromathérapie exactement, encyclopédie de l'utilisaton thérapeutique des huiles essentielles, pp 446.

Garnéro J., (1996) Huiles essentielles. Techniques de l'Ingénieur, traité Constantes physicochimiques, pp 16.

Gulfraz M., Mehmood S., Minhas N., Jabeen N., Kausar R., Jabeen K., and Arshad G. (2008). Composition and antimicrobial properties of essential oil of *Foeniculum vulgare*, pp 4364-4368.

Référence Bibliographique

Hajimisadeghi L ., and Chabane Sari D.,(2007).Composition des constituants des huiles essentielles et valeurs nutritives du *Foeniculum vulgare Mill*, pp.7-12.

Hazzit M., (2002). Arômes alimentaires, Alger, pp 96

Hemwimon S., Pavasant P., and Shtiprux A., (2007), Micronareassisted extraction of antioxidative anthroquinones from roots of *Morinda Citrofolia*. Separation and purification Technology, pp 54,44-50.

Hendawy S., and Ezz El-Din A. (2010). Growth and yield of *Foeniculum vulgare* var. *azoricum* as influenced by some vitamins and amino acids, pp.113-122.

ISO, (1997). Norme ISO 9235 : Matières premières d'origine naturelle, pp 42

Karou D., Dicko M., Simpore J., and Traore A., (2005). Antioxidant and antibacterial activities of polyphenols from ethno medicinal plants of Burkina Faso. pp. 823-828.

Kaur G., and Arora D. (2010). Bioactive potential of *Anethum graveolens*, *Foeniculum vulgare* and *Trachyspermum ammi* belonging to the family Umbelliferae Current status, pp 87-94.

Khammassi M., Ioupassaki S., Tazarki H., Mezni F., Slama A., Tlili N., Zaouadi Y., Migh H., Jamoussi B., Khaldi A. (2018) variation in essential oil composition and biological activite of *Foeniculum vulgar Mill*. population grouing Widly in Tunisia, pp 127-133.

Kim N., Lee J., and Chrom A. (2002), Bioactive potential of *Anethum graveolens*, *Foeniculum vulgare*, pp 31.

Kimbaris A., Siatis N., Daferera D., Tarantilis P., Pappas C., and Polissiou M. (2006) Comparison of distillation and ultrasound-assisted extraction methods for the isolation of sensitive aroma compound from garlic (*Allium sativum*), pp 54-60.

Kothe H., (2008) 1000 plantes aromatiques et médicinales. Terre éditions. Toulouse, pp 328.

Koul O., Walia S., and Dhaliwal G.(2008). Essential oils as green pesticides: potential and constraints. Biopestic, pp 63–84.

Križmana M., Baricevic D., and Prosek M. (2007). Determination of phenolic compounds in fennel by HPLC and HPLC–MS using a monolith icreversed-phase column, pp 481–485.

Référence Bibliographique

Lazouni H., Benmansour A., Taleb-Bendiab S., and Chabane D. (2007). Composition des constituants des huiles essentielles et valeurs nutritives du *Foeniculum vulgare* Mill, pp 7-12.

Lim T., (2013). Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants. Springer Dordrecht Heidelberg New York London, pp 29.

Lopez P., Sanchez C., Batlle R., and Nerin C., (2005). Solid-and vapor-phase antimicrobial activities of six essential oils: susceptibility of selected foodborne bacterial and fungal strains, pp 6939-6946.

Lucchesi M., (2005), Extraction Sans Solvant Assistée par Micro-ondes Conception et Application à l'extraction des huiles essentielles, pp 25.

Mahmoudi Z., Soleimani M., Abbas saidi A., Khamisipour G., and Azizoltani A. (2012). Effects of *Foeniculum vulgare* ethanol extract on osteogenesis in human mesenchymal stem cells, pp 135-142.

Mann J., (1987) Secondary metabolism, pp 78.

Marín I., Sayas-Barberá E., Viuda-Martos M., Navarro C., and Esther S. (2016), Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activity of Essential Oils from Organic Fennel, Parsley, and Lavender from Spain, pp 05.

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

Mata T., Proenca C., Ferreira A., Serralheiro M., Nogueira J., Araujo M. (2007) Food Chem, pp 103-778.

Matthäus B., and MusazcanÖzcan M. (2015). Oil content, fatty acid composition and distributions of vitamin-e-active compounds of some fruit seed oils, pp. 124–33.

Menasrai W., Mellikeche T. (2016). Evaluation des activités : antioxydante et antibactérienne des huiles essentielles des graines de *Foeniculum Vulgare*, pp 33-35.

Référence Bibliographique

Mimica-Dukic N., Kujundzic M., Sokovic., and Couladis M. (2003). Essential oil composition and antifungal activity of *Foeniculum Vulgare Mill.* obtained by different distillation conditions, pp 368–371.

Mohamdi. Z., (2005) Etude du pouvoir et antioxydant des huiles essentielles et flavonoïdes de quelques plantes de la région de Tlemcen, pp 89-92.

Mohammedi Z., (2006). Etude du pouvoir antimicrobien et antioxydant des huiles essentielles et des flavonoïdes de quelques plantes de la région de Tlemcen. Thèse magistère, Tlemcen, pp 155.

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

Muckensturm B., Foechterlen D., Reduron J., Dantont P., and Hildenbrand M. (1997). Phytochemical and Chemotaxonomic Studies of *Foeniculum vulgare*. *Biochemical Systematics and Ecology*, pp. 353-358.

Nassar M ., Aboutabl E ., Makled Y., El-Khrisy E ., and Osman A. (2010). Secondary metabolites and pharmacology of *Foeniculum vulgare Mill.*, pp 103–112.

Neffati A., (2010). Etude de la composition chimique et évaluation d'activités biologiques de l'huile essentielle d'une Apiaceae de Tunisie, pp 215.

Ntezurubanza L., (2000), Essential oils of Rwanda, Canada, pp 24.

Oktay M., Gulcin I., and Kufrevioglu O.I., (2003). Determination of in vitro antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extracts, pp 263– 270.

Olle M., and Bender I. (2010). The content of oils in **umbelliferous crops** and its formation, pp 687–696.

Ouis N., (2014), Etude chimique et biologique des huiles essentielles de coriandre, de fenouil et de persil, pp 02.

Oussou K., Yolou S., TueBi B., Kanko C., Boti J., Ahibo C., and Casanova J. (2010). Etude Chimique Bio-Guidée de L'huile Essentielle de *Ocimum Gratissimum*, pp 63.

Référence Bibliographique

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

Ozcan M., Chalchat J., Arslan D., Ates A, and Unver A. (2006). Comparative essential oil composition and antifungal effect of bitter fennel (*Foeniculum vulgare* ssp. piperitum) fruit oils obtained during different vegetation, pp 552–561.

Patra M., Shahi S., Midgely G., and Dikshit A. (2002). Utilization of essential oil as natural antifungal against nail infective fungi, Flavour Fragr, pp 91-94.

Piccaglia, R., and Marotti M. (2001). Characterization of some Italian type of wild fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.), pp 239–244.

Piochon., (2008). Étude des huiles essentielles d'espèces végétales de la flore laurentienne, composition chimique, activités pharmacologiques, pp 33.

Porter N., (2001). Essential oils and their production, pp 39.

Pouryousef, M., (2014). Variation in the essential oil constituents in indigenous populations of *Foeniculum vulgare* var. *vulgare* from different locations of Iran, pp 441–445.

Rahami R and Ardekani M. (2013). Medicinal properties of *Foeniculum vulgare* Mill. In traditional Iranian medicine and modern phytotherapy, pp 73-79.

Rather M., Dar B., Sofi S., Bhat B., and Qurishi M. (2012). *Foeniculum vulgare*: A comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology, and safety, pp 18-22.

Richard, J., (1999) Toxicology Brief, pp 15.

Richerd H., (1992), Epices et Aromates Technologie et documentation lavoisier, Paris, pp 339.

Roby M ., Sarhan M., Selim K., and Khalel K. (2013.) Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) and chamomile (*Matricaria chamomilla* L.), pp. 437–445

Ruberto G., Baratta M., Deans S., and Dorman H. (2000). Antioxidant and antimicrobial activity of *Foeniculum vulgare* and *Crithmum maritimum* essential oils, pp 687–693.

Référence Bibliographique

Santoyo S., Cavero S., Jaime L., Ibanez E., Senorans F.J. and Reglero G., (2005). Chemical composition activity of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil obtained via supercritical fluid extraction, pp 790-795.

Senatore F., Oliviero F., Scandolera E., Tagliatela-Scafati O., Roscigno G., Zaccardelli M. and 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], pp 214–219.

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

Singh B., and Kale R. (2008). Chemo modulatory 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*, pp 3842–3850.

Singh G., Maurya S., and Catalan C. (2006). Chemical constituents, antifungal and antioxidative potential of *Foeniculum vulgare* volatile oil and its acetone extract, pp 745–752

Small E., and Catling P. (2000), Les cultures médicinales canadiennes, pp 36.

Stefanini M., Ming L., Marques M., Facanali R., Meireles M., Moura L., Marchese J., and Sousa L. (2006). Essential oil constituents of different organs of fennel (*Foeniculum vulgare* var. *vulgare*), pp 193-198.

Taie H., Helal M., Helmy W., and Amer H. (2013) Chemical composition and biological potentials of aqueous extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* L), pp. 1759– 1766.

Teisseire P., (1991), Chimie des substances odorantes. Paris, France, pp 480.

Teuscher E., Anton R. and Lobstein A. (2005). Plantes aromatiques (Epices, aromates, condiments et huiles essentielles), pp 60.

Vienna C., Bauer R., Carle R., Tedesco D., Tubaro A., and Zitterl-Eglseer K., (2005). Assessment of plants/herbs, plant/herb extracts and their naturally or synthetically produced components as “additives” for use in animal production, pp 297.

Référence Bibliographique

Viuda-Martos M., Mohamady M., Fernández-López, J., ElRazik K., Omer, E., Pérez-Alvarez J., Sendra E. (2011) In vitro antioxidant and antibacterial activities of essential oils obtained from Egyptian aromatic plants. *Food Control*, pp 35.

Wichtl M., and Anton R. (2003). *Plantes thérapeutiques. Tradition, pratique officinale, science et thérapeutique.* Paris, pp 28.

Zahid N., Abbasi N., Hafiz I. and Ahmad Z., (2009). Genetic diversity of indigenous fennel (*Foeniculum vulgare Mill*), pp.1759-1767.

Résumé :

Foeniculum vulgare fait partie de la famille des apiaceae 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. Les huiles essentielles sont très répandues dans les plantes médicinales. Ils sont utilisés pour leurs vertus médicinales. le but de cette étude est : premièrement, présenter les huiles essentielles des graines de fenouil et leurs procédés d'extraction ainsi, que l'identification de leur composition nutritionnels. Deuxièmement, l'étude des propriétés physico-chimique et le rendement d'huile essentielle extraite, l'évaluation d'activité antioxydante, l'activité antimicrobienne et les composés polyphénols des huiles essentielles des graines de fenouil grâce aux quelques travaux scientifiques, leurs résultats montrent que les huiles essentielles des graines de fenouil ayant des activités antioxydantes et antibactériennes intéressantes.

Mots Clés : Les huiles essentielles, l'activité antioxydante, l'activité antibactérienne, *Foeniculum vulgare*.

ملخص:

Foeniculum vulgare هو جزء من عائلة apiaceae الموزعة على نطاق واسع في حوض البحر الأبيض المتوسط. إنه نبات طبي عطري معروف على نطاق واسع بخصائصه البيولوجية المتعددة والتي ترجع بشكل أساسي إلى ثرائه في المستقبلات الثانوية مثل البوليفينول والزيوت الأساسية. تستخدم الزيوت الأساسية على نطاق واسع في النباتات الطبية. يتم استخدامها لفوائدها الطبية ، والهدف من هذه الدراسة هو: أولاً ، عرض الزيوت الأساسية لبذور الشمر وعمليات استخلاصها وكذلك التعرف على تركيبها الغذائية. ثانياً: دراسة الخواص الفيزيائية والكيميائية وحاصل الزيت العطري المستخلص ، وتقويم نشاط مضادات الأكسدة ، والنشاط المضاد للميكروبات ومركبات البوليفينول للزيوت الأساسية لبذور الشمر بفضل بعض الأعمال العلمية ، التي تظهر نتائجها أن الزيوت الأساسية لبذور الشمر لها أنشطة مثيرة للاهتمام كمضادات الأكسدة والبكتيريا.

الكلمات المفتاحية: زيوت عطرية، نشاط مضاد للأكسدة، نشاط مضاد للميكروبات، *Foeniculum vulgare*

Abstract :

Foeniculum vulgare is part of the apiaceae family widely distributed in the Mediterranean basin. It is a medicinal aromatic plant widely known for its multiple biological properties which are mainly due to its richness in secondary metabolites such as polyphenols and essential oils. Essential oils are widely used in medicinal plants. They are used for their medicinal properties. The aim of this study is: first, to present the essential oils of fennel seeds and their extraction processes as well as the identification of their nutritional composition. Secondly, the study of the physico-chemical properties and the yield of essential oil extracted, the evaluation of antioxidant activity, the antimicrobial activity and the poly-phenol compounds of the essential oils of fennel seeds thanks to some scientific work, their results show that the essential oils of the fennel seeds have interesting antioxidant and antibacterial activities.

Keywords: Essential oils, antioxidant activity, antimicrobial activity, *Foeniculum vulgare*