

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE CHIMIE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER EN CHIMIE

Spécialité : Chimie pharmaceutique

Par :

Mr SARI ALI Ali

Sur le thème

Etude chimique et biologique des extraits de fenouil (*Foeniculum vulgare*)

Soutenu publiquement le 7 juillet 2021 à Tlemcen devant le jury composé de :

Mme AINSEBA Nabila	MCA	Université de Tlemcen	Présidente
Mme AYACHI Amal née BENDIABDALLAH	MCB	Université de Tlemcen	Encadrante
Mme BOUAZZAOUI Naima	MCB	Université de Mostaganem	Examinatrice

Année Universitaire : 2020 ~ 2021
Laboratoire de Chimie Organique Substances Naturelles et

Analyse

Dédicaces

Avec de grands sentiments et émotions, Je dédie ce modeste travail :

Aux personnes les plus chères et proches de mon cœur : Mes très chers parents, qui m'ont encouragés et soutenus durant tout le cursus universitaire, que Dieu les protège.

À mes très chers sœurs : Batoul et Amina.

À ma très chère amie: Imène

À toutes ma familles et amis

À ma très cher encadrante Madame BENDIABDALLAH Amal

À notre très cher enseignante et responsable de formation : Madame KENICHE Assia

À mes enseignants de physique : Madame ZRROUKI et Monsieur KARA ZAITRI

Au doyen de la faculté des sciences : Monsieur ARRAR Zoheir

A toutes personnes ayant contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Remerciement

Je tiens tous d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force, patience et courage d'accomplir ce modeste travail.

Je tiens particulièrement à remercier mon encadreur, Madame BENDIABDALLAH Amal, MCB à l'université de Tlemcen, qui par son expérience et sa disponibilité a toujours su me conseiller, appris et me guider.

Pour la confiance qu'elle m'a accordée dans la réalisation de mes travaux.

Merci énormément à vous. Sans votre soutien permanent, ce travail n'aurait jamais vu le jour.

J'adresse également mes remerciements aux membres du jury:

-Madame AINSEBA Nabila, qui m'a fait l'honneur de présider mon jury de soutenance.

-Madame BOUAZZAOUI Naima, pour avoir accepté d'être examinatrice de ce travail. Je tiens à lui exprimer ma sincère reconnaissance pour cette marque d'intérêt.

Je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude à mes enseignants de Chimie, pour m'avoir aidé durant toutes ces années. Je les remercie.

Mes remerciements vont également aux enseignants, ainsi que le personnel administratif et technique de la Faculté des Sciences, pour leur bienveillance.

Je tiens à remercier le Pr **GHALEM** Saïd directeur du laboratoire des substances naturelles et bio-actives-LASNABIO de m'avoir accueilli pour la réalisation de mes travaux ainsi que toute l'équipe du laboratoire pour leurs soutiens et leurs disponibilités. Un grand merci. Je remercie aussi les doctorantes de chimie pharmaceutique pour leurs aides si précieuse et leurs orientations dans le laboratoire COSNA.

Résumé :

Les plantes médicinales et aromatiques sont connus pour être une source importante de composés bioactifs, d'agents antimicrobiens et antioxydants naturels qui jouent un rôle important en médecine traditionnelle. Ces dernières années leurs huiles essentielles ont été utilisées pour leurs vertus thérapeutiques contre diverses maladies. Notre travail porte sur l'étude d'une plante médicinale et aromatique le *Foeniculum vulgare* appartenant à la famille des *Apiaceae*, très longtemps utilisé par la médecine traditionnelle et caractérisé par des propriétés thérapeutiques.

Le but de notre travail vise à réaliser une étude phytochimique basée sur des extractions et des tests phytochimiques des différents organes de la plante récoltée dans la commune de Beni Snous et Hennaya, et une étude biologique basée sur l'activité antioxydante des extraits et des huiles essentielles préparés.

Les tests phytochimiques réalisés sur les différents échantillons ont révélé la présence de plusieurs métabolites secondaires. L'évaluation de l'activité antioxydante par la méthode de DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyle) et la méthode de réduction du fer FRAP ont révélé des résultats très satisfaisants avec comme référence l'acide ascorbique et le BHT.

Mots clés : *Foeniculum vulgare*, tests phytochimiques, activité antioxydante, DPPH, FRAP.

Abstract:

Medicinal and aromatic plants are known to be an important source of bioactive compounds, antimicrobial agents and natural antioxidants which play an important role in traditional medicine. In recent years their essential oils have been used for their therapeutic virtues against various diseases.

Our work focuses on the study of a medicinal and aromatic plant, *Foeniculum vulgare*, belonging to the *apiaceae* family, used for a very long time by traditional medicine and characterized by therapeutic properties.

The aim of our work is to carry out a phytochemical study based on extractions and phytochemical tests of the different organs of the plant collected in the municipality of BeniSnous and Hennaya, and a biological study based on the antioxidant activity of the extracts and prepared essential oils.

The phytochemical tests carried out on the various samples revealed the presence of several secondary metabolites. The evaluation of the antioxidant activity by the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) method and the FRAP iron reduction method showed very satisfactory results with benchmarks such as ascorbic acid and BHT.

Key words: *Foeniculum vulgare*, phytochemical tests, antioxidant activity, DPPH, FRAP.

ملخص:

تعتبر النباتات الطبية والعطرية مصدرًا مهمًا للمركبات النشطة بيولوجيًا والعوامل المضادة للميكروبات ومضادات الأكسدة الطبيعية التي تلعب دورًا مهمًا في الطب التقليدي. في السنوات الأخيرة، تم استخدام زيوتهم الأساسية لفوائدها العلاجية ضد الأمراض المختلفة. يركز عملنا على دراسة نبات طبي وعطري، *Foeniculum vulgare*، ينتمي إلى عائلة *apiaceae*، يستخدم لفترة طويلة جدًا في الطب التقليدي ويتميز بخصائصه العلاجية.

الهدف من عملنا هو إجراء دراسة كيميائية نباتية تعتمد على الاستخلاصات والاختبارات الكيميائية النباتية لأعضاء النبات المختلفة التي تم جمعها في بلدية بني سنوس حناية، ودراسة بيولوجية إضافية للزيوت العطرية المحضرة.

كشفت الاختبارات الكيميائية النباتية التي أجريت على العينات المختلفة عن وجود العديد من المستقبلات الثانوية. أظهر تقييم نشاط مضادات الأكسدة بواسطة طريقة DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) وطريقة إرجاع الحديد FRAP نتائج مرضية للغاية باستخدام حمض الأسكوربيك و BHT كمرجع.

الكلمات المفتاحية: *Foeniculum vulgare*، الاختبارات الكيميائية النباتية، نشاط مضادات الأكسدة، DPPH، FRAP.

Sommaire

Introduction :	1
CHAPITRE I : Description botanique chimique et biologique de la plante	3
1. La famille des <i>Apiacées</i>	3
I.2. Le genre <i>Foeniculum</i>	3
I.3. L'espèce <i>Foeniculum vulgare</i>	3
I.3.1. Classification de l'espèce :	3
I.3.2. Description botanique de la plante <i>Foeniculum vulgare</i>	4
I.3.3. Origine et habitat	5
I.3.4. Utilisation en médecine traditionnelle	5
I.4. Travaux scientifique réalisés sur l'espèce <i>Foeniculum vulgare</i>	5
I.4.1. Composition nutritionnelle du fenouil	5
I.4.2. Compositions chimiques des huiles essentielles des graines de <i>Foeniculum vulgare</i>	6
a) Huile essentielle de fenouil d'Algérie	6
* Sétif :	6
b) Huile essentielle de fenouil Espagne	7
c) Huile essentielle de fenouil Iran.....	7
d) Huile essentielle de fenouil d'Italie	7
e) Huile essentielle de fenouil du Brésil	7
I.4.3. Activité biologique de l'huile essentielle de fenouil (<i>Foeniculum vulgare</i>).....	7
I.4.3.1. Activité antibactérienne du (<i>Foeniculum vulgare</i>).....	7
I.4.3.2. Activité antifongique du <i>Foeniculum vulgare</i>	7
I.4.4. Activité antioxydante de l'huile essentielle des graines de fenouil	7
I.4.5. Etude comparative des activités antioxydantes des huiles essentielles et des extraits des graines de fenouil (<i>Foeniculumvulgare</i>) D'Egypte et de Chine	8
I.5. Les huiles essentielles, méthodes d'extraction et analyse chimique	9
I.5.1. Définition HE	9
I.5.2. Facteurs influençant la composition chimique des huiles essentielles	9
I.5.3. Méthode d'obtention des HE	9
I.5.4. Méthode d'analyse des HE	10

I.5.4.1. Chromatographie en phase gazeuse (GC).....	10
I.6. Les polyphénols.....	10
I.7. Les huiles fixes	11
I.8. Les antioxydants.....	11
I.9. L'activité antioxydante :	11
I.9.1. Le stress oxydatif :	11
I.9.2. Les radicaux libres :	11
I.9.3. Les antioxydants :.....	11
I.9.3.1. Source d'antioxydants :.....	11
I.9.3.1.1. Antioxydants enzymatiques :.....	11
CHAPITRE II : Matériels et méthodes :.....	13
II.1. Provenance de la plante	13
II.2. Extraction des huiles essentielles.....	13
II.3. Extraction des hydrolats.....	14
II.4. Préparation des extraits.....	14
II.4.1. Préparation des extraits aqueux et méthanoliques	14
Décoction.....	14
Soxhlet :	14
II.5. Détermination des rendements en huiles essentielles et des extraits	15
II.6. Tests phytochimiques :	15
1) Les alcaloïdes.....	16
2) Les composés polyphénoliques	16
a) Les tanins.....	16
b) Les flavonoïdes	16
c) Les coumarines : Fluorescence UV	17
d) Les saponines : test de mousse.....	17
e) Les terpenoïdes.....	17
f) Les anthraquinones.....	17
g) Les quinones libres	17
II.7. Piégeage du radical libre DPPH	17
Protocoles	18
II.8. Méthode de réduction du fer (FRAP)	19
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS :.....	20
III.1. Partie chimique.....	20

III.1.1. Lieu de récolte et rendement.....	20
III.1.2. Composition chimique de l'huile essentielle de graines de <i>Foeniculum vulgare</i> de Tlemcen :.....	21
III.1.3. Pourcentages des principaux composants de l'huile essentielle des graines de <i>Foeniculum vulgare</i> de la région de Tlemcen :	23
III.1.4. Rendements des extraits	23
III.1.5. Résultats du criblage phytochimique	25
III.2. Partie biologique	28
III.2.1.1. Piégeage du radical libre DPPH•.....	28
Calcul des IC ₅₀	34
III.2.1.2. Méthode de réduction des ions ferriques FRAP	35
CONCLUSION GENERALE	36
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	37

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : DESCRIPTION BOTANIQUE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DE LA PLANTE

Tableau I.1 : Activité antioxydante de l'huile essentielle des graines de fenouil

Tableau I.2 Analyses antioxydantes des huiles essentielles des graines de fenouil

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau III.1 : Rendement des extraits de la commune de Beni Snous exprimés en pourcentage

Tableau III.2 : Rendement des extraits de Hennaya exprimés en pourcentage

Tableau III.3 : Résultats des tests phytochimiques réalisés sur les extraits méthanoliques et aqueux des graines *Foeniculum vulgare* de la commune de Beni Snous

Tableau III.4 : Résultats des tests phytochimiques réalisés sur les extraits méthanoliques et aqueux des feuilles de *Foeniculum vulgare* de la commune de Beni Snous

Tableau III.5 : Résultats des tests phytochimiques réalisés sur les extraits méthanoliques et aqueux des graines *Foeniculum vulgare* de la commune de Hennaya

Tableau III.6 : Résultats des tests phytochimiques réalisés sur les extraits méthanoliques et aqueux des feuilles de *Foeniculum vulgare* de la commune de Hennaya

Tableau III.7 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH l'extrait méthanolique des graines du *Foeniculum vulgare*

Tableau III.8 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'extrait méthanolique des feuilles du *Foeniculum vulgare*

Tableau III.9 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'extrait aqueux des graines du *Foeniculum vulgare*

Tableau III.10 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'extrait aqueux des feuilles du *Foeniculum vulgare*

Tableau III.11 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'huile essentielle des feuilles du *Foeniculum vulgare*

Tableau III.12 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'huile essentielle des graines du *Foeniculum vulgare*

Tableau III.13 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH l'hydrolat du *Foeniculum vulgare*

Tableau III.14 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'acide ascorbique

Tableau III.15. Effet réducteur des huiles essentielles des graines et des feuilles du *Foeniculum vulgare* et de l'acide ascorbique et du BHT

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : DESCRIPTION BOTANIQUE ET CHIMIQUE DE LA PLANTE

Figure I.1 : Fleurs et feuilles du *Foeniculum vulgare*

Figure I.2 : Les structures moléculaires des composants bioactifs principaux d'huile essentielle du *Foeniculum vulgare*

Figure.I.3 : Montage d'hydrodistillation de type Clevenger

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

Figure II.1 : Montage d'hydrodistillation

Figure II.2 : Montage à reflux

Figure II.3 : Montage d'un extracteur de soxhlet

Figure II.4 : Résultats de quelques tests phytochimiques

Figure II.5 : Changement de couleur par le test DPPH

Figure II.6 : Changement de couleur par le test FRAP

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Figure III.1 : Lieux de récolte commune de Beni Snous et de Hennaya

Figure III.2 : Rendement des HE de la commune de Beni Snous du *Foeniculum vulgare* en fonction des organes

Figure III.3 : Rendement des HE de la commune de Hennaya du *Foeniculum vulgare* en fonction des organes

Figure III.4 : Composition chimique de l'huile essentielle des graines de *Foeniculum vulgare* de Tlemcen

Figure III.5 : Pourcentages des principaux composants de l'huile essentielle des graines de *Foeniculum vulgare* de la région de Tlemcen

Figure III.6: Variation de l'intensité de la couleur du DPPH en fonction de la concentration

Figure.III.7 : Capacité antioxydante de l'extrait méthanolique des graines du *Foeniculum vulgare*

Figure.III.8 : Capacité antioxydante de l'extrait méthanolique des feuilles du *Foeniculum vulgare*

Figure.III.9 : Capacité antioxydante de l'extrait aqueux des graines du *Foeniculum vulgare*

Figure.III.10 : Capacité antioxydante de l'extrait aqueux des feuilles du *Foeniculum vulgare*

Figure.III.11 : Capacité antioxydante de l'huile essentielle des feuilles du *Foeniculum vulgare*

Figure.III.12 : Capacité antioxydante de l'huile essentielle des graines du *Foeniculum vulgare*

Figure.III.13 : Capacité antioxydante de l'hydrolat du *Foeniculum vulgare*

Figure.III.14 : capacité antioxydante de l'acide ascorbique.

Figure.III.15 : Valeurs des CI50 en (mg/mL) des extraits aqueux, méthanolique et huiles essentielles des graines et des feuilles du *Foeniculum vulgare* et de la référence acide ascorbique et BHT.

Figure III.16: Variation de l'intensité de la couleur en fonction de la concentration.

Figure.III.17 : Courbe d'évaluation du pouvoir antioxydant des huiles essentielles par la méthode FRAP

LISTE DES ABREVIATIONS

- **H.E:** Huile essentielle
- **CPG:** Chromatographie en phase gazeuse
- **CPG/SM:** Chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse
- **P.I:** Pourcentage d'inhibition
- **DPPH:** Diphenylpicryl-hydrazyle
- **A.A:** Acide ascorbique
- **BHT:** Butylate hydroxy toluène
- **E:** Extrait
- **UV:** Ultraviolet
- **IC₅₀ :** Concentration inhibitrice à 50%
- **mL:** Millilitre
- **NaCl:** Chlorure de sodium
- **HCl:** Acide hydrochlorique
- **%:** Pourcentage

INTRODUCTION

Introduction :

L'histoire des plantes médicinales et aromatiques a joué un rôle très important dans la vie de nombreuses civilisations dans le monde, notamment dans les régions peu accessibles où elles sont utilisées comme médicaments. Ces derniers à base de plantes sont considérés comme peu toxiques et doux par rapport aux médicaments pharmaceutiques ce qui les a rendus une alternative de traitement et de soins naturels dans beaucoup de pays [1].

L'industrie pharmaceutique s'intéresse de plus près ces dernières années à l'utilisation des plantes médicinales pour l'extraction de principes actifs en trouvant dans cette démarche une base d'innovation pour la mise au point de médicaments nouveaux qui peut être source de gain de temps dans les processus de recherche et développement [2].

La définition de la Pharmacopée française la plus récente définit les plantes médicinales comme "*des drogues végétales qui peuvent être utilisées entières ou sous forme d'une partie de plante et qui possèdent des propriétés médicamenteuses*" [3].

Les effets thérapeutiques des plantes sur la santé sont dus au fait qu'elles **contiennent des substances appelées principes actifs, responsables de leurs effets thérapeutiques** [4].

Lorsque les principes actifs sont connus, il est souhaitable de **normaliser leur dosage par des méthodes approuvées**, comme cela est fait pour les médicaments qui sont à base des plantes. Cela leur permet d'avoir **un maximum d'effets thérapeutiques bénéfiques avec un minimum de risques**.

L'Algérie est connue par son climat méditerranéen et par la nature de ses sols dispose d'une grande diversité floristique susceptible de fournir des huiles essentielles à laquelle s'ajoute une utilisation traditionnelle des plantes aromatiques [5].

Pendant ces dernières années, les huiles essentielles ont suscité de plus en plus l'intérêt des chimistes, biologistes et médecins en raison de leurs utilisations dans le traitement dans beaucoup de maladies infectieuses ou dans la préservation des aliments contre l'oxydation comme alternatives aux produits chimiques de synthèse[6].

Dans cette étude on s'intéresse à une famille de plantes des *Apiacées (ombellifères)* du genre *Foeniculum*, il s'agit du fenouil (*Foeniculum vulgare*), une plante médicinale et aromatique vivace caractérisée par des grains amers, utilisées traditionnellement comme collyre ainsi que pour les troubles digestives [7].

Notre travail a été divisé en trois chapitres ; dans le **premier chapitre** nous allons aborder la recherche bibliographique portant sur :

INTRODUCTION

-Une description botanique de la plante en question ainsi que les travaux antérieurs effectués sur cette espèce.

-Les différentes méthodes d'extraction des HE et les facteurs influençant sur leurs compositions chimiques ainsi que les techniques d'analyse de ces derniers.

Dans le **deuxième chapitre** on décrira le matériel et les méthodes utilisées dans cette étude qui porte sur :

-L'obtention des HE et des extraits

-Les tests phytochimiques des différentes parties de la plante

-L'extraction des acides gras et des insaponifiables

-L'évaluation de l'activité antioxydante des différents extraits par la méthode de piégeage du radical libre DPPH et FRAP.

Dans le **troisième chapitre** nous allons présenter et discuter les différents résultats obtenus à travers les études chimiques et biologiques.

On terminera par une conclusion générale résumant l'ensemble du travail réalisé.

CHAPITRE I : DESCRIPTION BOTANIQUE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DE LA PLANTE

CHAPITRE I : Description botanique chimique et biologique de la plante

1. La famille des *Apiacées*

Elles sont appelés ombellifères en raison de leur inflorescence particulière et appartiennent à une grande famille de plantes dicotylédones. La famille est homogène, avec une répartition mondiale comprenant environ 3 500 espèces, réparties en 463 genres [8], ces derniers sont principalement des plantes herbacées, qui peuvent être des plantes annuelles, bisannuelles ou vivaces. Certaines plantes herbacées deviennent des plantes ligneuses, et en particulier, certaines sont des arbres ou des arbustes. Les canaux de sécrétion des huiles essentielles et des résines circulent dans les racines et les tiges, de sorte que la plupart des plantes aromatiques ombellifères dégagent une forte odeur lorsqu'elles sont écrasées ou froissées. Les feuilles sont alternes et sans stipules, les pétioles recouvrent les tiges, et le plus souvent des feuilles composées pennées et des folioles finement découpées. Certaines espèces rares ont des feuilles intactes. Cette famille est la première de la famille des Composées à développer deux nouveaux types d'insectifuges, les lactones sesquiterpéniques [9] et les polyacétylènes, qui sont cytotoxiques, antibactériens, anti-inflammatoires, neurotoxiques et phototoxiques [10].

I.2. Le genre *Foeniculum*

Le fenouil est un genre de plantes appartenant à la famille des ombellifères. il contient très peu d'espèces, et ils sont naturalisés sur le bord des routes, les prairies ou plusieurs autres endroits ouverts et divers domaines. Son nom vient du latin "*foenum*" (foin) ou "*funiculus*" (corde), ce qui implique que les feuilles sèches sont aussi fines que l'herbe sèche. Il est divisé en une sous-espèce et de nombreuses variétés, et il existe de nombreuses variétés. Y compris le fenouil cultivé (*Foeniculum vulgare* var. *Dulce*), le fenouil sauvage (*Foeniculum vulgare* var. *Vulgare*), le fenouil poivré (*Foeniculum vulgare* subspecies *piperitum*) ou le fenouil de Florence (*Foeniculum vulgare* var. *Azoricum*) [11].

I.3. L'espèce *Foeniculum vulgare*

I.3.1. Classification de l'espèce :

La classification du *Foeniculum vulgare* se fait principalement sur son utilisation. Il y existe une seule espèce du *Foeniculum* qui se divise en deux sous-espèces : *vulgare* et *piperitum* [12].

CHAPITRE I : DESCRIPTION BOTANIQUE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DE LA PLANTE

Règne : *Plantae*

Division : *Tracheophyta*

Subdivision : *Spermatophytina*

Classe : *Magnoliopsida*

Ordre : *Apiales*

Famille : *Apiaceae*

Genre : *Foeniculum* [12]

Espèce : *Vulgare*

Nom Botanique : *Foeniculum vulgare* Mill

I.3.2. Description botanique de la plante *Foeniculum vulgare*

Le fenouil fait partie des plantes bisannuelles ou vivaces, la hauteur de la plante peut atteindre 1,50~2,50m, la racine est grosse fusiforme, la tige est cannelée et brillante ; ses feuilles bleu-vert sont finement coupées, et les extrémités sont linéaires ; ses fleurs sont jaunes, composées de 5 pétales, à lobule rond, enroulé, sans sépales, ombelles uniformément plates de 7 à 10 cm. Avec un parfum très anisé ; son fruit se forme de 2 akènes [13].



Figure I.1 : Fleurs et feuilles du *Foeniculum vulgare*

CHAPITRE I : DESCRIPTION BOTANIQUE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DE LA PLANTE

I.3.3. Origine et habitat

Le fenouil est originaire du pourtour méditerranéen, puis s'est largement naturalisé dans les différentes parties du globe en Europe, Amérique du Nord, Asie de l'Est et Afrique du Sud [14].

On le cultive dans toutes les régions qui sont tempérées et tropicales du monde, et est employé comme une épice culinaire [15].

Il se trouve aujourd'hui au Pakistan, Inde, Indonésie, Iran Japon et en Chine. Il est cultivé dans une large échelle en Australie, Egypte, Inde, et en Europe en Allemagne, la Hongrie et la France [16].

I.3.4. Utilisation en médecine traditionnelle

Le fenouil commun est utilisé depuis l'Antiquité pour ses nombreuses vertus médicinales. Il est apprécié pour lutter contre beaucoup de symptômes dont l'aérophagie, les digestions difficiles ou les maux de ventre des nourrissons, mais c'est aussi un expectorant et un décontractant. Il est aussi utilisé pour soulager des douleurs menstruelles [17].

En médecine traditionnelle chinoise, c'est un grand produit de pharmacopée traditionnelle. En pharmacopée chinoise, ses principales indications sont nombreuses dont les hernies, les douleurs dans l'hypogastre, les gastralgies, les vomissements, les lombalgies par vide de rein, œdème des pieds, incontinences urinaire, diarrhées cholériformes, c'est-à-dire aqueuses, avec douleurs abdominales [18].

En Egypte antique il était utilisé pour soulager l'asthme et calculs rénaux [19].

I.4. Travaux scientifique réalisés sur l'espèce *Foeniculum vulgare*

Beaucoup de travaux ont été réalisés sur la composition chimique de HE de fenouil dans différents pays et selon différentes régions [20].

I.4.1. Composition nutritionnelle du fenouil

Les principaux éléments nutritifs qui constituent la composition de graines de fenouil présentent une grande variabilité avec des valeurs nutritives de la tige, de ses feuilles, des inflorescences et des pousses de fenouil sont également étudiées [21]. La teneur en cendres change de 1,62 dans les tiges à 3,43% dans les feuilles, la teneur en protéines est de 1,08% dans les tiges et elle est de 1,37% dans les inflorescences alors que la teneur totale en sucres est de 1,29 dans les feuilles à 6,57% dans les pousses, on trouve que les inflorescences et les tiges présentent les teneurs les plus élevées en carbohydrates (22,81 et 21,91% respectivement), ce contenu est le plus faible dans les feuilles (18,44%) [22]. La composition

CHAPITRE I : DESCRIPTION BOTANIQUE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DE LA PLANTE

chimique des graines de fenouil est de 10 à 14,41% d'huile végétale, l'acide pétrosélinique est l'acide gras majoritaire (70-80%) dans cette huile, d'autres acides gras sont également identifiés tels que l'acide palmitique, et l'acide oléique l'acide linoléique. D'autre part, les teneurs en tocophérol et stérol révèlent que les graines de fenouil contiennent 66mg / 100 g de phytostérols: le campestérol et le stigmastérol, le β -sitostérol sont les principaux composants ; tandis que la teneur totale en vitamine E est d'environ 20,1 mg / 100g, 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 grande teneur en tocophérol avec 55, 68 et 34,54 μ g / g de MS, α -tocophérol présente la plus grande concentration dans toutes les parties aériennes du fenouil [23].

I.4.2. Compositions chimiques des huiles essentielles des graines de *Foeniculum vulgare*

La composition de *Foeniculum vulgare* en huile essentielle fait l'objet d'une chimiodiversité considérable qui varie selon la méthode d'extraction et l'origine géographique [24]. Les huiles essentielles se composent de plusieurs monoterpènes et des phénylpropanoïdes, où l'estragole le fenchone le trans-anéthole et le limonène représentent les constituants prédominant [25].

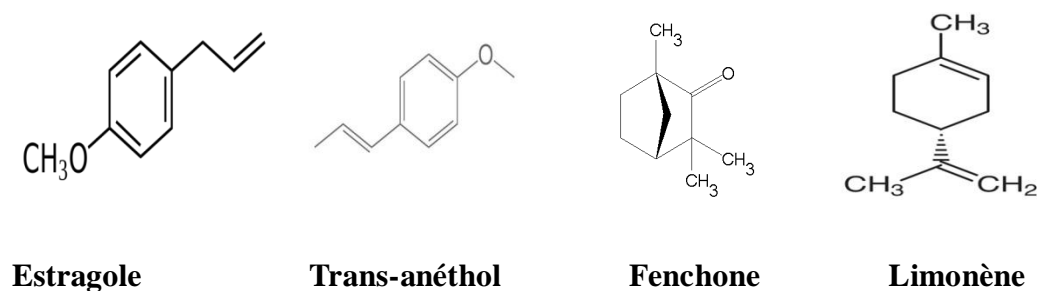


Figure I.2 : Les structures moléculaires des composants bioactifs principaux d'huile essentielle du *Foeniculum vulgare* [26]

a) Huile essentielle de fenouil d'Algérie

*** Mascara :**

L'huile essentielle des graines de fenouil de Mascara se compose essentiellement d'estragole (83.28%) limonène (8.65%), fenchone (5.37%), trans-anéthol (0.80%) [27].

*** Sétif :**

L'huile essentielle des graines de fenouil de Sétif se compose essentiellement de trans-anéthol (72.86%) fenchone (12.93%), limonène (6.37%) d'estragole (3.41%) [28].

CHAPITRE I : DESCRIPTION BOTANIQUE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DE LA PLANTE

b) Huile essentielle de fenouil Espagne

L'huile essentielle des graines de fenouil d'Espagne se compose essentiellement d'estragole (65.3%), fenchone (16.9%), limonène (0.7%), trans-anéthol (4.7%) [29].

c) Huile essentielle de fenouil Iran

L'huile essentielle des graines de fenouil d'Iran se compose essentiellement de trans-anéthol (69.41%), limonène (10%), fenchone (11%), estragole (4.45%) [30].

d) Huile essentielle de fenouil d'Italie

L'huile essentielle des graines de fenouil d'Italie se compose essentiellement de trans-anéthol (81.6%), estragole (8.2%), limonène (4.5%), Fenchone (2.3%) [31].

e) Huile essentielle de fenouil du Brésil

L'huile essentielle des graines de fenouil du Brésil se compose essentiellement de trans-anéthol (74.2%), fenchone (15%), limonène (5.4%), estragole (2.5%) [32].

I.4.3. Activité biologique de l'huile essentielle de fenouil (*Foeniculum vulgare*)

I.4.3.1. Activité antibactérienne du (*Foeniculum vulgare*)

L'extrait de la tige du *Foeniculum vulgare* montre une forte inhibition du *Bacillus subtilis*, *Aspergillus niger et cladosporioides* avec des valeurs du CMI 25, 250 et 125µg/mL [33].

L'huile extraite à partir des fruits du *Foeniculum vulgare* a montré un effet antibactérien avec un **diamètre d'inhibition** contre les agents pathogènes portés par les aliments comme *Escherichia coli* (14mm), *Bacillesmegaterium* (31mm) et *Staphylococcus aureus* (28mm)[34].

Une activité inhibitrice élevée est présentée par l'**huile essentielle du *Foeniculum vulgare*** les valeurs de CMI et de CMB sont de 1 et 2 % contre *Esherichia coli*, et de 2 et 4% contre *Staphylococcus aureus* [34].

I.4.3.2. Activité antifongique du *Foeniculum vulgare*

D'après l'étude de notre recherche bibliographique l'huile essentielle des graines de fenouil a montré une efficacité antifongique significative à une dose de 6 µl contre *Candida albicans* avec un diamètre d'inhibition de 19 mm, 15 mm contre *Aspergillus flavus*, et 15 mm contre *Aspergillus niger* [35] [36].

I.4.4. Activité antioxydante de l'huile essentielle des graines de fenouil

Pour l'évaluation de l'Activité antioxydante nous avons consulté 03 travaux :

CHAPITRE I : DESCRIPTION BOTANIQUE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DE LA PLANTE

L'activité antioxydante 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 [37].

Dosages antioxydants	H.E des graines de fenouil
DPPH, IC50 (mg/ml)	32.32 ± 0.77

Tableau I.1 : Activité antioxydante de l'huile essentielle des graines de fenouil [37]

D'après les résultats du tableau suivant les huiles essentielles des graines de fenouil ont montré une très bonne activité radicalaire, avec IC₅₀ de valeur de 32,32 mg/ml.

I.4.5. Etude comparative des activités antioxydantes des huiles essentielles et des extraits des graines de fenouil (Foeniculumvulgare) D'Egypte et de Chine

Pays	H.E des graines de fenouil IC50 (mg/g)
Egypte	141.82
Chine	15.66

Tableau I.2 : Analyses antioxydantes des huiles essentielles des graines de fenouil [38]

Les huiles essentielles des graines de fenouil de la Chine ont montré une activité très importante avec IC₅₀ (15.66 mg/g) contrairement à celle des HE de fenouil d'Egypte qui est d'ordre d'IC₅₀ (141,82 mg/g) [38].

D'après l'article de cette recherche ainsi que d'autres recherches bibliographiques, suggèrent que cette variation était probablement due à des différences dans la teneur en composé transanéthol [39].

Dans la troisième recherche l'activité antioxydante a été réalisée par la méthode de DPPH l'huile essentielle des graines du fenouil et la vitamine C ont pu réduire le radical DPPH• avec des valeurs d'IC₅₀ de 752,65±32, 5 µg.ml⁻¹ et de 4,61±0,070 µg.ml⁻¹. L'huile essentielle des

CHAPITRE I : DESCRIPTION BOTANIQUE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DE LA PLANTE

graines du fenouil a montré une activité de balayage du DPPH• plus faible par rapport à la vitamine C [38].

I.5. Les huiles essentielles, méthodes d'extraction et analyse chimique

I.5.1. Définition HE

Les huiles essentielles sont par définition des métabolites secondaires produits par les plantes comme moyen de défense contre les ravageurs phytophages. Ces extraits contiennent en moyenne 20 à 60 composés qui sont pour la plupart des molécules peu complexes, soit des monoterpènes avec leurs phénols reliés, et des terpènes plus complexes, dont les sesquiterpènes.⁸ Les huiles essentielles sont généralement liquides à température ambiante, non grasses et très volatiles, ce qui les différencie des huiles fixes. Leur densité est en général inférieure à celle de l'eau à quelques exceptions. Elles sont liposolubles et solubles dans quelques solvants organiques tel que les huiles végétales et l'éther diéthylique et, elles sont entraînaibles à la vapeur d'eau et très peu solubles dans l'eau [40].

I.5.2. Facteurs influençant la composition chimique des huiles essentielles

La composition chimique d'une même huile essentielle au sein d'une même espèce botanique peut varier elle dépend de différents paramètres :

1. Facteurs extrinsèques : comme l'influence de l'environnement, du climat et de la latitude ainsi que la nature du sol [41].
2. Facteurs intrinsèques : tel que les facteurs génétiques, la localisation et le degré de maturité.
3. Facteurs technologiques : le mode de récolte et le type de culture.
4. Les modes d'extraction ainsi que l'organe à extraire.

Pour cette raison le recours à des méthodes d'analyses s'avère nécessaire [42].

I.5.3. Méthode d'obtention des HE

Parmi les différentes méthodes d'obtention des HE : l'hydrodistillation ; c'est une méthode normée pour l'extraction et pour le contrôle de qualité. Le procédé consiste à faire immerger la matière végétale dans un ballon rempli d'eau puis l'ensemble est porté à ébullition.

La chaleur permet la libération de molécules odorantes qui sont contenues dans les cellules végétales, on obtient un mélange azéotropique à partir des molécules aromatiques et la vapeur d'eau. La distillation se réalise avec ou en l'absence du recyclage de la phase aqueuse obtenu. Lors de la décantation, le procédé de l'hydrodistillation peut atteindre plusieurs heures selon le matériel et la matière végétale utilisée [42].

CHAPITRE I : DESCRIPTION BOTANIQUE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DE LA PLANTE

L'hydrodistillation à pression réduite est une bonne alternative pour réaliser les extractions difficiles de l'HE des matières premières ou difficilement entraînables à la vapeur d'eau [42].



Figure.I.3 : Montage de l'hydrodistillation type Clevenger

I.5.4. Méthode d'analyse des HE

I.5.4.1. Chromatographie en phase gazeuse (GC)

Le rôle du chromatographe en phase gazeuse est de séparer les composants d'un mélange. Cette technique a pour but l'analyse de composés relativement volatils, elle est constituée de trois modules : une colonne capillaire dans un four, un injecteur, et un détecteur [42].

I.5.4.2. (GC/MS)

Il s'agit du chromatogramme en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse qui trouve des applications dans de vastes domaines [43].

I.6. Les polyphénols

La source principale des polyphénols est les métabolismes secondaires des végétaux caractérisés par l'existence d'au moins d'un site benzénique dans lequel un groupement hydroxyle est lié, ce dernier est soit libre ou associé à une autre fonction comme : ester, éther...etc[44] [45].

Les composés phénoliques sont classés en : acide phénolique, les flavonoïdes, les tanins et les coumarines se trouvant dans toutes les parties des végétaux supérieur : racine, tige, fruits, fleurs [46].

CHAPITRE I : DESCRIPTION BOTANIQUE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DE LA PLANTE

I.7. Les huiles fixes

Par définition ce sont des molécules organiques solubles dans plusieurs solvants organiques apolaires et montrent une insolubilité avec les milieux aqueux, contenant au moins une chaîne grasse ou un acide gras [47].

I.8. Les antioxydants

Les antioxydants ont la capacité de diminuer les rancissements et d'inhiber la réaction de la peroxydation lipidique sans provoquer d'effets secondaires néfastes sur les aliments. Ils sont par ailleurs considérés comme de bons conservateurs car ils prolongent la conservation des aliments [48] [49].

I.9. L'activité antioxydante :

I.9.1. Le stress oxydatif :

C'est un phénomène où la cellule ne contrôle plus la présence excessive de radicaux oxygénés toxiques impliquant la cause de plusieurs maladies. Ces radicaux libres sont produits par différents mécanismes physiologiques car ils sont utiles pour l'organisme à dose raisonnable [50].

I.9.2. Les radicaux libres :

Une espèce chimique dont la couche externe possède un ou une multitude d'électrons non appariés, en cherchant à atteindre un état de stabilité par la distribution des électrons de la molécule voisine qui deviennent instables par la suite [43].

I.9.3. Les antioxydants :

Par définition ce sont des substances chimiques d'origine naturelle ou de synthèse capable de piéger les radicaux libres en bloquant de manière significative l'oxydation du substrat lorsque la molécule est présente en faible concentration par rapport au substrat oxydable [52].

I.9.3.1. Source d'antioxydants :

I.9.3.1.1. Antioxydants enzymatiques :

L'organisme humain contient tout un système enzymatique, qui se constitue principalement par des enzymes comme :

***La Superoxydismutase (SOD) :** Le superoxyde dismutase (SOD), est une enzyme qui

élimine l'anion superoxyde par une réaction de dismutation, en produisant de l'oxygène et du peroxyde d'hydrogène elle existe sous deux formes : une cytoplasmique nécessite comme

CHAPITRE I : DESCRIPTION BOTANIQUE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DE LA PLANTE

cofacteur les ions de cuivre et de zinc (CuZnSOD) et l'autre mitochondriale utilise le manganèse comme cofacteur (MnSOD) [53].

I.9.3.1.2. Antioxydants non enzymatiques :

Issues de l'alimentation comme les vitamines : vitamine E (á-tocophérol), la vitamine C (acide ascorbique), nutriments, composés naturels (Les tanins (sont des donneurs de protons aux radicaux libres) , les flavonoïdes(régulation du stress oxydant : par capture directe des espèces réactives de l'oxygène) ect...[54].

CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

CHAPITRE II : Matériels et méthodes :

II.1. Provenance de la plante

Les échantillons de chaque partie de la plante (graines, feuilles, fruits) du *Foeniculum vulgare* ont été récoltés au mois de mars jusqu'à la fin avril, dans la commune de Hennaya [34° 57' 00" nord, 1° 22' 00" ouest] et la commune de Beni Snous [34° 39' 45" nord, 1° 32' 33" ouest].

II.2. Extraction des huiles essentielles

Pour notre travail, nous avons eu recours à la méthode la plus usuelle pour l'extraction des HE qui est l'hydrodistillation du type Clevenger.

Le principe de cette méthode se présente en trois étapes : l'hydro-diffusion, la Co-distillation et la coalescence. Pour cela, nous avons introduit 400 g de la matière végétale dans un ballon de 6L après avoir été soigneusement coupée en petits morceaux puis immergée dans une quantité suffisante d'eau. Le mélange est ensuite porté à une douce ébullition pendant 5 h : les substances odorantes qui contiennent l'extrait se vaporisent en se mélangeant avec la vapeur d'eau, elles se condensent et tombent dans le collecteur. Ainsi on récupère le distillat qui forme deux phases, une phase aqueuse légèrement parfumée (hydrolat), et une phase organique contenant l'extrait très parfumé (huile essentielle) qui est mise dans un pilulier en verre ambré puis stocké dans un réfrigérateur à une température de 4°C [55].



Figure II.1 : Montage d'hydrodistillation

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

II.3.Extraction des hydrolats

L'hydrolat de *Foeniculum vulgare* est obtenu en récupérant la phase aqueuse issue de l'hydrodistillation. L'eau aromatique est soumise à une extraction liquide/liquide à l'éther diéthylique. Puis un évaporateur rotatif est utilisé pour évaporer la phase organique (éter diéthylique) pour obtenir une huile de couleur jaune clair (extrait d'hydrolat), qui est conservée dans un pilulier en verre ambré pour éviter la dégradation à 4°C.

II.4. Préparation des extraits

II.4.1. Préparation des extraits aqueux et méthanoliques

Pour ce faire, les extraits (aqueux et méthanoliques) ont été préparés selon deux méthodes différentes, afin de comparer le rendement pour chaque extraction :

Décoction : Dans un ballon surmonté d'un réfrigérant, 20 g de matière végétale ont été mises dans 200 mL de solvant (méthanol ou eau) à reflux pendant 1h. L'extrait est ensuite récupéré par filtration suivis de l'évaporation du solvant.

Soxhlet : On introduit 10 g de la plante finement coupée à l'intérieur d'une cartouche de papier filtre, le tout sera introduit dans un soxhlet de 100 mL qui sera placé sur un ballon qui contient 200 mL de méthanol et quelques pierres ponce, une fois l'ébullition du solvant les vapeurs se condensent dans le réfrigérant et retombent dans le siphon qui fera macérer la matière végétal dans le solvant, ce condensat va s'accumuler dans l'extracteur jusqu'à ce que le solvant atteigne un certain niveau et retourne au ballon, on appelle cette opération un cycle qui peut se répéter plusieurs fois jusqu'à l'épuisement de la matière végétal, puis l'extrait sera évaporé grâce à un évaporateur rotatif.



Figure II.2 : Montage à reflux



Figure II.3 : Montage d'un extracteur de Soxhlet

II.5. Détermination des rendements en huiles essentielles et des extraits

Le rendement est défini comme étant le rapport entre la masse de l'HE obtenue avec la masse de la matière végétale que nous avons utilisé. Il est exprimé en pourcentage (%) et calculé par la formule :

$$\mathbf{Rn\% = (m_n / m_{n'}) \times 100}$$

Tel que :

Rn ; rendement en HE (ou d'extrait) en %

m_n ; masse de l'HE (ou extrait) récupérée en gramme

m_{n'} ; masse de la matière végétale en gramme

II.6. Tests phytochimiques :

Les différents extraits que nous avons obtenus ont été soumis à plusieurs tests phytochimiques afin de mettre en évidence les différents métabolites secondaires qui sont présents.

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

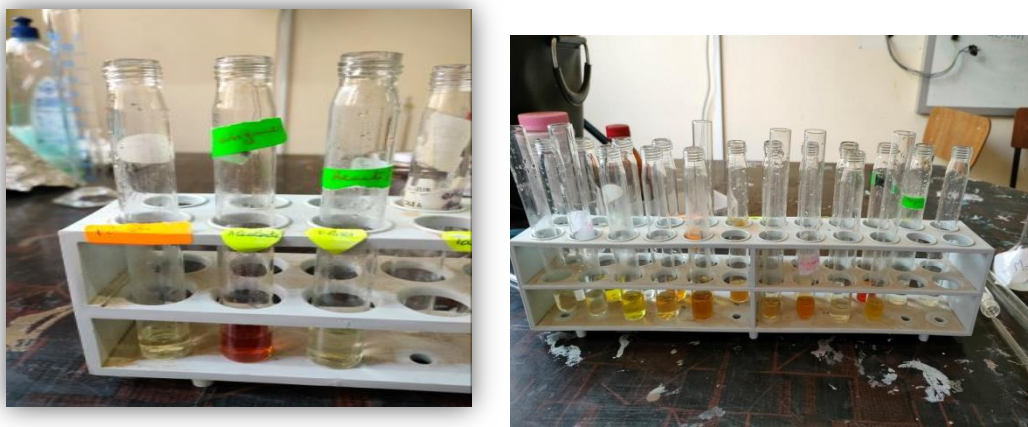


Figure II.5 : Résultats de quelques tests phytochimiques

1) Les alcaloïdes

On introduit dans deux tubes à essai 0.5 mL de l'extrait à analyser. Le milieu est acidifié par quelques gouttes de HCl (1%) et 0.5 mL du réactif de Mayer est ajouté dans le premier tube et 0.5 mL du réactif de Wagner dans le second tube. Un test positif est révélé par la présence de précipité ou turbidité.

Réactif de Mayer : On dissout une masse de 1.35 g de HgCl_2 dans un 60 mL d'eau avec 5 g de KI dans 10 mL d'eau. On procède à un mélange des deux solutions et on ajuste le volume total à 100 mL d'eau. Les alcaloïdes nous donnent avec ce réactif un trouble plus un précipité blanc.

Réactif de Wagner : On dissout une masse de 2 g de KI et 1.27 g de I_2 dans 75 mL d'eau, la solution obtenue est ajoutée à 100 mL d'eau. Les alcaloïdes donnent avec ce réactif un précipité brun.

2) Les composés polyphénoliques

a) Les tanins

On introduit dans un tube à essai 1 mL d'extrait à analyser et on ajoute 2 à 3 gouttes d'une solution aqueuse de FeCl_3 (1%). Une coloration verte ou bleu-noire indiquera la présence des tanins.

b) Les flavonoïdes

On introduit dans un tube à essai 1 mL d'extrait à analyser puis on ajoute 1 mL de HCl concentré et quelques copeaux de magnésium. La présence des flavonoïdes est indiquée par une coloration rose, rouge ou jaune.

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

c) Les coumarines : Fluorescence UV

Dans deux tubes à essai on introduits 1 mL de l'extrait à analyser. Le premier tube est pris comme témoin, on ajoute 0.1 mL de NH₄OH (10%) au second tube. Ensuite deux taches sont mises sur un papier filtre et on examine sous la lumière UV à 366 nm. Une intense fluorescence indique la présence des coumarines.

d) Les saponines : test de mousse

Dans un tube à essai on introduit 10 mL de l'extrait à analyser puis on agite pendant 15 secondes et on laisse le mélange au repos pendant 15 minutes. Une hauteur supérieure à 1 cm de la mousse indique la présence de saponines.

e) Les terpenoides

Dans un tube à essais on met 5 mL de chaque extraits (aqueux et méthanolique) puis on ajoute 2 mL de chloroforme + 3 mL de H₂SO₄ concentré avec un témoin pour le comparer. La présence des terpenoides est révélée par l'apparition de deux phases et une couleur marron en interphase.

f) Les anthraquinones

Dans un tube à essais on met 10 mL de chaque extraits (aqueux et méthanolique) puis on ajoute 5 mL de NaOH 10% et on agite pendant quelques secondes sans oublier le témoin pour comparer. La couleur violette indique un test positif.

g) Les quinones libres

Dans un tube à essais on met 5 mL de chaque extraits (aqueux et méthanolique) puis on ajoute quelques gouttes de NaOH 1% sans oublier le témoin pour comparer pour chaque extrait. L'apparition des couleurs jaune, rouge, ou violettes indique la présence des quinones libres.

II.7. Piégeage du radical libre DPPH

Pour étudier la relation de la structure de l'activité antioxydante des composés phénoliques, le composé chimique 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH) fut l'un des premiers radicaux libres à être utilisés [51].

La réduction du radical DPPH par un antioxydant peut être suivie par spectrophotométrie UV visible, en mesurant la diminution de l'absorbance à une longueur d'onde de 517nm provoquée par la présence des extraits phénoliques. La couleur du DPPH est violette initialement puis se décolore lorsque l'électron célibataire s'apparie. Sa couleur qui est violette foncée sera transformé en jaune lors de sa réduction par une substance donneuse de

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

proton. L'intensité de la couleur est proportionnelle à la capacité des antioxydants présents à donner des protons [52].



Figure II.6 : Changement de couleur par le test DPPH

Protocoles

La solution de DPPH a été préparée à partir d'une masse de 0.006 mg de DPPH qui est solubilisé dans 100 mL de méthanol. Les différents échantillons du *Foeniculum vulgare* (huile essentielle, extraits...) ont été préparés par dissolution dans le méthanol, à 1 mL de chaque extrait des différentes concentrations, on ajoute 1mL de la solution méthanoïque du DPPH préparé. Le mélange est ensuite conservé au frigo à l'abri de toutes lumières pendant 30 minutes. Les absorbances sont mesurées à une longueur d'onde de 517nm par un spectrophotomètre (UV/VIS spectrophotometer, Optozen POP), un blanc contenant du méthanol avec le contrôle négatif contenant 1 mL de méthanol et 1 mL de DPPH.

Le contrôle positif représente un antioxydant de référence caractérisé par une solution d'acide ascorbique dont l'absorbance est mesurée dans les mêmes conditions [53].

Les valeurs des absorbances obtenues sont transformées en pourcentage (%) selon la formule :

$$I \% = \frac{(AC - AT)}{AC} \times 100$$

AC: Absorbance du contrôle.

AT : Absorbance du test effectué.

Les différentes valeurs d'IC50 sont calculées graphiquement par la formule de la régression linéaire des pourcentages (%) d'inhibition en fonction des concentrations des échantillons testés.

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

II.8. Méthode de réduction du fer (FRAP)

On détermine l'activité réductrice du fer des différents extraits préparés selon la méthode basée sur la réduction de l'ion ferrique Fe^{3+} de couleur jaune présent dans le complexe ferricyanure de potassium ($\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) aux ions ferreux Fe^{2+} de couleurs bleu par un antioxydant. On mesure ce changement par spectrométrie avec une longueur d'onde de 700nm.

Protocole

1 mL de l'extrait à différentes concentrations est mélangé avec 2.5 mL d'une solution tampon phosphate 0.2 M (pH 6.6) ainsi que 2.5 mL de la solution de ferricyanure de potassium ($\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) à 1%. Le tout est incubé au bain marie à une température de 50°C pendant une durée de 20 minutes. Après l'incubation on ajoute 2.5 mL d'acide trichloro acétique (TCA) à 10% afin d'arrêter la réaction. Par la suite les tubes seront centrifugés à 3000 rpm pendant 10 minutes ; 2.5 mL de surnageant sont mélangés à 2.5 mL d'eau distillée et 0.5 mL de FeCl_3 à 0.1%. La lecture de l'absorbance se fait à une longueur d'onde de 700 nm contre un blanc préparé de la même façon en remplaçant l'extrait par le solvant dans lequel nous avons fait les différentes dilutions pour permettre le calibrage de l'appareil (UV-VIS spectrophotomètre). [54]

Le contrôle positif représente une solution d'un antioxydant standard ; l'acide ascorbique dont l'absorbance est mesuré avec les mêmes conditions que les échantillons.

Quand l'absorbance augmente cela nous indique une augmentation du pouvoir réducteur des échantillons testés.



Figure II.7 : Changement de couleur par le test FRAP

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS :

III.1. Partie chimique

III.1.1. Lieu de récolte et rendement

Les différentes huiles essentielles des différentes parties de la plante (Bulbe, Graines, Feuilles) ont été obtenues grâce à l'hydrodistillation dans un appareil du type Clevenger durant 4 à 5 heures. Le *Foeniculum vulgare* a été récolté pendant les mois de mars et avril dans la commune de Hennaya et dans la commune de Beni Snous.



Figure III.1 : Lieux de récolte commune de Beni Snous et de Hennaya

L'huile essentielle de la commune de Beni Snous et de Hennaya obtenue des différentes parties de la plante est de couleurs jaune pâle avec une bonne odeur aromatique anisée et des rendements qui varient entre 0.731 et 1.216 % et 0.815 et 2.154 % respectivement.

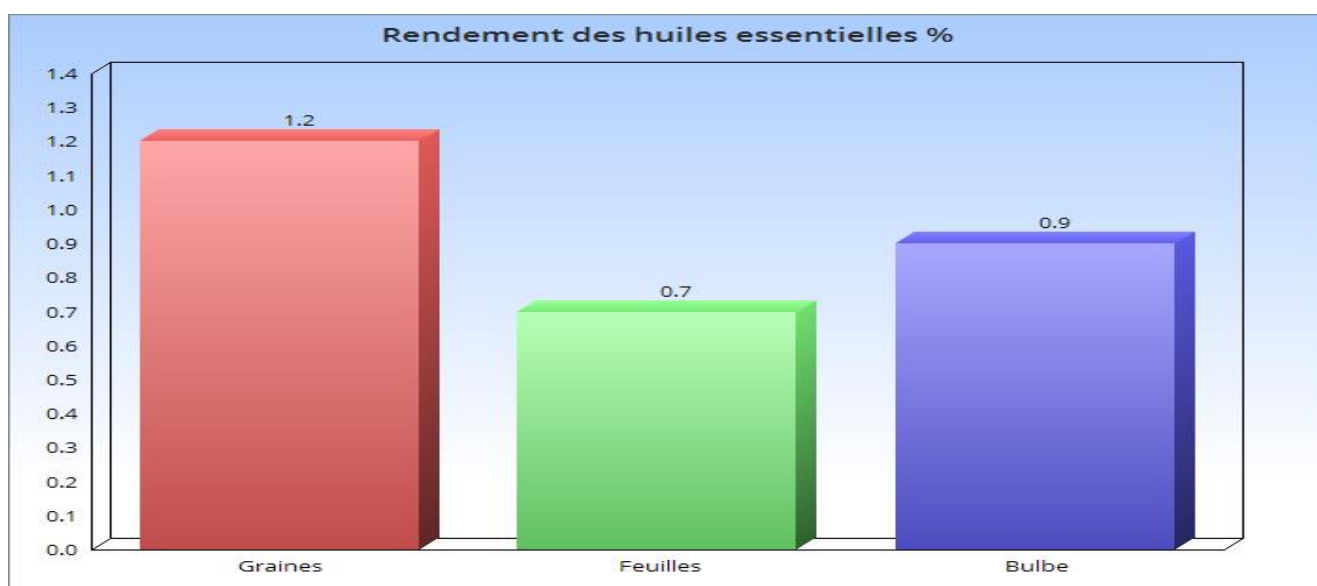


Figure III.2 : Rendement des HE de la commune de Beni Snous du *Foeniculum vulgare* en fonction des organes

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

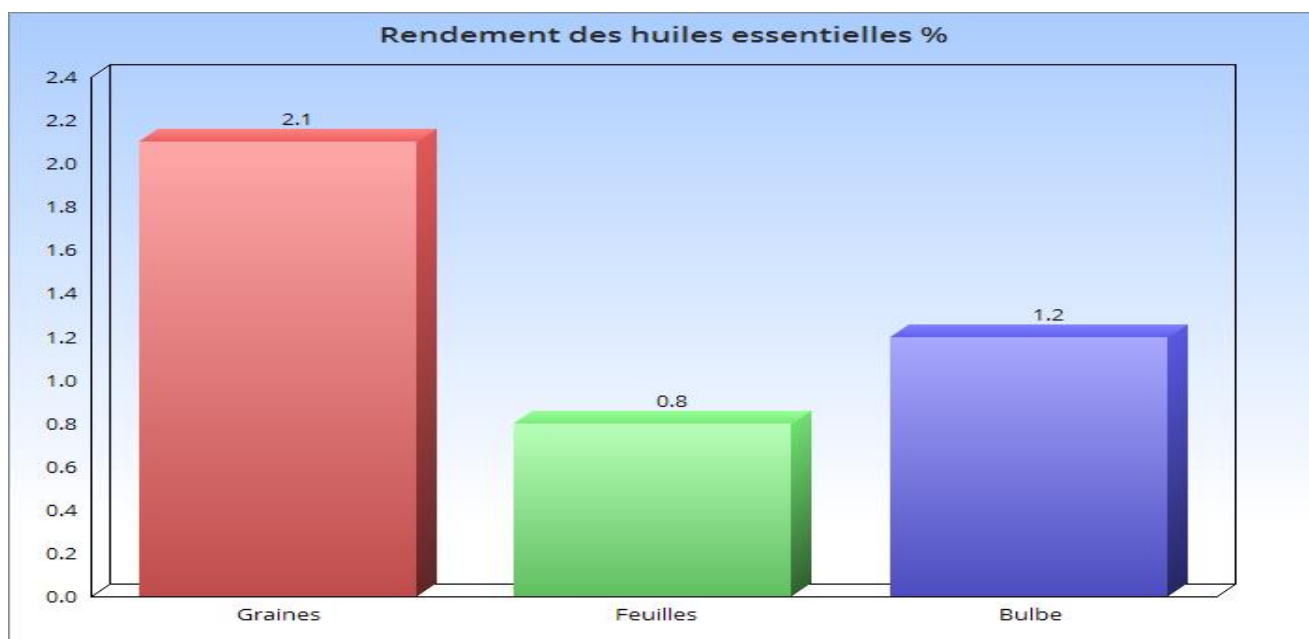


Figure III.3 : Rendement des HE de la commune Hennaya du *Foeniculum vulgare* en fonction des organes

D'après les résultats obtenus on constate que le rendement de l'huile essentielle des graines du *Foeniculum vulgare* de la commune de béni Snous et la commune de Hennaya (1.2%) (2.1 %) respectivement est plus élevé que celui des huiles essentielles extraites des feuilles (0.7 %) (0.8%) et le bulbe (base de la tige du fenouil que l'on consomme) (0.9%) (1.2%).

D'après notre recherche bibliographique le rendement obtenu dans différents pays avec les huiles essentielles des graines du *Foeniculum vulgare* varient entre 0.1% et 6%, ce rendement varie selon la période de cueillette, la région, la nature des sols, les conditions d'extraction [55].

III.1.2. Composition chimique de l'huile essentielle de graines de *Foeniculum vulgare* de Tlemcen :

L'identification des composés a été faite par CPG et CPG/SM, en comparant leurs indices de rétention polaire et apolaire et leurs spectres de masse avec ceux de la bibliothèque "Arômes" de Corse.

D'après les résultats obtenus, on remarque que l'huile essentielle des graines de *Foeniculum vulgare* est dominée par les composés oxygénés (70.31%) particulièrement les phenylpropanoïdes avec un pourcentage de (47.25%) de la composition chimique de l'huile essentielle, suivis des monoterpènes oxygénés (23.06%). Les composés hydrocarbonés quant à eux présentaient un pourcentage plus faible de 19.73%.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

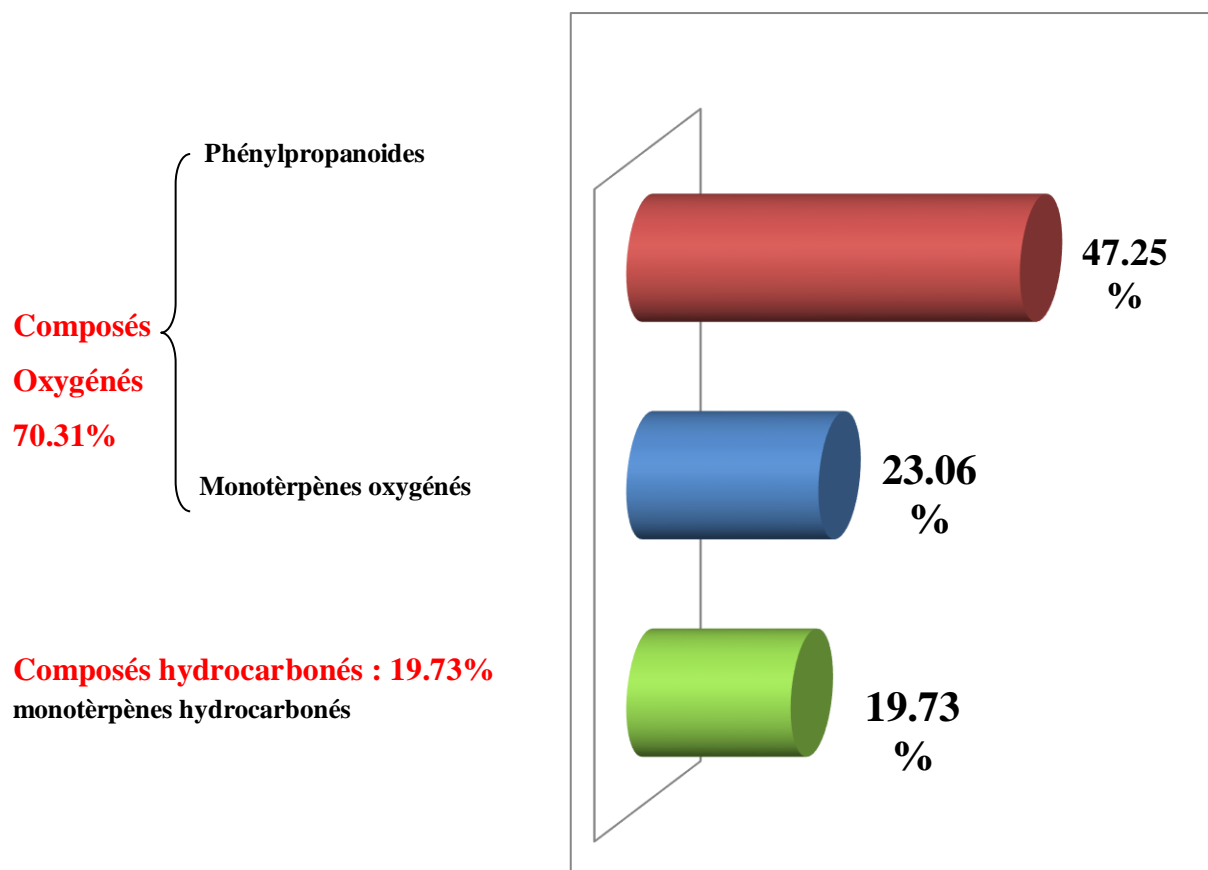


Figure III.4 : Composition chimique de l'huile essentielle des graines de *Foeniculum vulgare* de Tlemcen

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1.3. Pourcentages des principaux composants de l'huile essentielle des graines de *Foeniculum vulgare* de la région de Tlemcen :

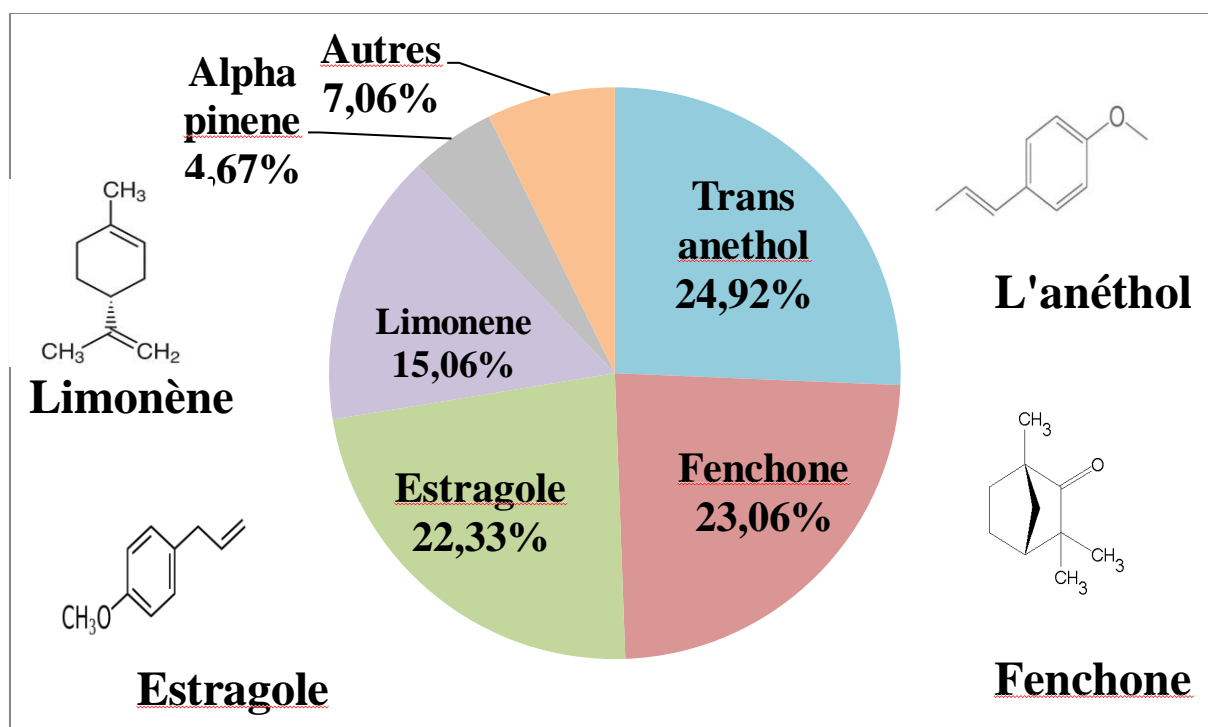


Figure III.5 : Pourcentages des principaux composants de l'huile essentielle des graines de *Foeniculum vulgare* de la région de Tlemcen

L'huile essentielle des graines de fenouil de notre étude est constituée principalement par cinq composés : trans anéthol (24.92) , le fenchone (23.06%), l'estragnol (22.33%) ,le limonene (15.06%) et l'alpha pinene (4.67%), présentant 90.04 % de la composition totale de l'huile.

III.1.4. Rendements des extraits

Dans notre étude la préparation des différents extraits à partir de chaque partie (feuilles, graines) a été effectuée par trois solvants ; il s'agit de l'éther de pétrole pour l'obtention de l'huile fixe (lipides), l'eau et le méthanol pour obtenir l'extrait méthanolique et aqueux de la plante préalablement séché et mise en poudre. Les extraits sont obtenus (de couleur verte et foncé) par différentes méthodes : décoction et soxhelt.

Les extraits aqueux sont sous forme de poudre et les extrais méthanoliques sont quant à eux pâteux pour les différentes parties de la plante étudiée.

Le rendement est exprimé en pourcentage de la masse du résidu d'extrait par rapport à la masse de la plante sèche exprimé dans les tableaux suivant :

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau III.1. Rendement des extraits du *Foeniculum vulgare* de Beni Snous exprimés en pourcentage %

Extrait	Soxhlet	Décoction
Extrait méthanolique graines	19 %	16 %
Extrait aqueux graines	31 %	38 %
Extrait méthanolique feuilles	12 %	14 %
Extrait aqueux feuilles	24 %	20 %

Tableau III.2. Rendement des extraits du *Foeniculum vulgare* de Hennaya exprimés en pourcentage %

Extrait	Soxhlet	Décoction
Extrait méthanolique graines	15 %	17%
Extrait aqueux graines	38 %	39 %
Extrait méthanolique feuilles	14 %	10 %
Extrait aqueux feuilles	25 %	22 %

D'après les résultats dans les **Tableaux III.1, 2** le rendement des extraits aqueux des graines est supérieur à celui des extraits méthanoliques. Par ailleurs, les rendements obtenus à partir des extraits Aq et Mth des graines sont les plus élevés comparés à ceux des extraits des feuilles dans les deux régions de la récolte. Le rendement d'extraction obtenus dépendent à la fois de la plante et du solvant d'extraction (plus la polarité des solvants est importante plus le rendement augmente) [56], d'une manière générale, les teneurs en extraits secs varient d'une plante à une autre et également à de nombreux paramètres tel que le pH, la température, le temps d'extraction et la composition chimique de l'échantillon [57].

Il a été démontré que l'extraction par les solvants à haute température permettra d'obtenir des rendements plus élevés en extraits secs que lorsqu'ils sont obtenus à température ambiante et

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

qu'ils sont plus élevés pour l'extrait aqueux que méthanoliques [58] ce qui est en accord avec nos résultats.

III.1.5. Résultats du criblage phytochimique

Les résultats phytochimiques réalisés sur les extraits des feuilles et des graines de la région de Beni Snous sont consignés dans les **Tableaux III.3, III.4** et ceux de la commune de Hennaya dans les **Tableaux III.5, III.6**. Au cours de ce criblage, deux solvants de polarités différentes (eau, méthanol) ont été utilisés avec différentes méthodes d'extraction (soxhlet, décoction).

Tableau III.3 Résultats des tests phytochimiques réalisés sur les extraits méthanoliques et aqueux des graines de *Foeniculum vulgare* de la commune de Beni Snous

Tests phytochimique		Les résultats	
Métabolites secondaires	Réactifs	Extrait aqueux des graines (décoction)	Extrait méthanolique des graines (Soxhlet)
Flavonoïdes	HCl + Mg ²⁺	+	+
Saponines	Test de mousse	+	+
Alcaloïdes	Mayer	-	-
	Wagner	-	-
Tanins	FeCl ₃ 1%	+	+
Anthraquinones	NaOH 10%	+	+
Coumarines	NaOH + NH ₄ OH	+	+
Quinones libres	NaOH 1%	+	+
Terpenoïdes	Chloroforme + H ₂ SO ₄	+	+

+ : Positif ; - : Négatif

Tableau III.4. Résultats des tests phytochimiques réalisés sur les extraits méthanoliques et aqueux des feuilles de *Foeniculum vulgare* de la commune de Beni Snous

Tests phytochimique		Les résultats	
Métabolites secondaires	Réactifs	Extrait aqueux des feuilles (décoction)	Extrait méthanolique des feuilles (Soxhlet)

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Flavonoïdes	HCl + Mg ²⁺	+	+
Saponines	Test de mousse	+	+
Alcaloïdes	Mayer	-	-
	Wagner	-	-
Tanins	FeCl ₃ 1%	+	+
Anthraquinones	NaOH 10%	+	+
Coumarines	NaOH + NH ₄ OH	+	+
Quinones libres	NaOH 1%	+	+
Terpenoïdes	Chloroforme + H ₂ SO ₄	-	-

+ : Positif ; - : Négatif

Tableau III.5 Résultats des tests phytochimiques réalisés sur les extraits méthanoliques et aqueux des graines *Foeniculum vulgare* de la commune de Hennaya

Tests phytochimique		Les résultats	
Métabolites secondaires	Réactifs	Extrait aqueux des graines (décoction)	Extrait méthanolique des graines (Soxhlet)
Flavonoïdes	HCl + Mg ²⁺	+	+
Saponines	Test de mousse	+	+
Alcaloïdes	Mayer	-	-
	Wagner	-	-
Tanins	FeCl ₃ 1%	+	+
Anthraquinones	NaOH 10%	+	+
Coumarines	NaOH + NH ₄ OH	+	+
Quinones libres	NaOH 1%	+	+
Terpenoïdes	Chloroforme + H ₂ SO ₄	+	+

+ : Positif ; - : Négatif

Tableau III.6 Résultats des tests phytochimiques réalisés sur les extraits méthanoliques et aqueux des feuilles de *Foeniculum vulgare* de la commune de Hennaya

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tests phytochimique		Les résultats	
Métabolites secondaires	Réactifs	Extrait aqueux des feuilles (décoction)	Extrait méthanolique des feuilles (Soxhlet)
Flavonoïdes	HCl + Mg ²⁺	+	+
Saponines	Test de mousse	+	+
Alcaloïdes	Mayer	-	-
	Wagner	-	-
Tanins	FeCl ₃ 1%	+	+
Anthraquinones	NaOH 10%	+	+
Coumarines	NaOH + NH ₄ OH	+	+
Quinones libres	NaOH 1%	+	+
Terpenoïdes	Chloroforme + H ₂ SO ₄	-	-

+ : Positif ; - : Négatif

Le screening phytochimique a permis de révéler la présence **des métabolites secondaires** présents dans les différents extraits, la détection de ces derniers (les métabolites secondaires) est basée sur des essais de solubilité, de turbidité et de changement de couleurs.

Les résultats obtenus dans les (Tableaux III.3, III.4) et les (Tableaux III.5, III.6) ont révélé la présence des **Flavonoïdes** et des **tanins** qui confèrent à cette plante des propriétés biologique très importante car ces derniers possèdent une très forte activité antioxydante en piégeant des radicaux libres [59], **des coumarines** qui présentent des activités cytotoxique, antivirales, immunostimulantes [60] , **des saponines, des anthraquinones, des quinones libres**, avec cependant la présence **des terpenoïdes** dans les extraits des graines et son absence dans les extraits des feuilles, ainsi que l'absence **des alcaloïdes** dans les extraits des feuilles et des graines des deux région.

Les résultats des tests phytochimiques obtenus du *Foeniculum vulgare* des différentes parties de la plante et différents extraits nous ont permis de déceler les familles de composés chimiques par de simples réactions de coloration et de précipitation ceux-ci montrent que la plante est d'une grande importance car elle est riche en composés phénoliques tels que les tanins, les flavonoïdes qui sont connu pour leurs pouvoir antioxydants [59].

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.2. Partie biologique

III.2.1. Activités anti-oxydantes des huiles essentielles et des extraits

III.2.1.1. Piégeage du radical libre DPPH•

L'activité anti oxydantes des extraits et des huiles essentielles du *Foeniculum vulgare* a été mesurée spectrophotométriquement en suivant la réduction de ce radical qui s'accompagne par son changement de couleur du violet a la couleur jaune mesurable à 517 nm.



Figure III.4: Variation de l'intensité de la couleur du DPPH en fonction de la concentration

Dans les tableaux ci-dessous les résultats du test DPPH sont exprimés et traduit par le pourcentage d'inhibition en fonctions des concentrations des différents extraits et huiles essentielles du *Foeniculum vulgar* de la commune de Hennaya de chaque organe. On calcule les CI₅₀ graphiquement par la formule de la régression linéaire des pourcentages % d'inhibition en fonction des différentes concentrations des extraits et des huiles essentielles testés.

Tableau III.7 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'extrait méthanolique des graines du *Foeniculum vulgar*

Concentrations g/mL	0,002	0,001	0,0006	0,0005	0,00033
IC ₅₀ mg/mL	86	54	40	34	32

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

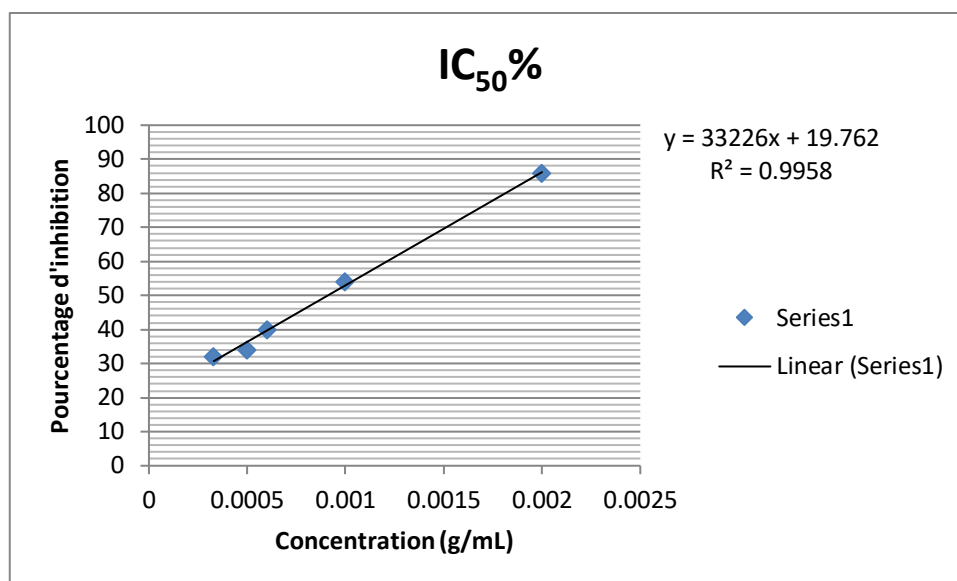


Figure.III.5 : Capacité antioxydante de l'extrait méthanolique des graines du *Foeniculum vulgare*

Tableau III.8. Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'extrait méthanolique des feuilles du *Foeniculum vulgare*

Concentration g/mL	0,002	0,001	0,0006	0,0005	0,00033
IC ₅₀ mg/mL	85	50	38	30	24

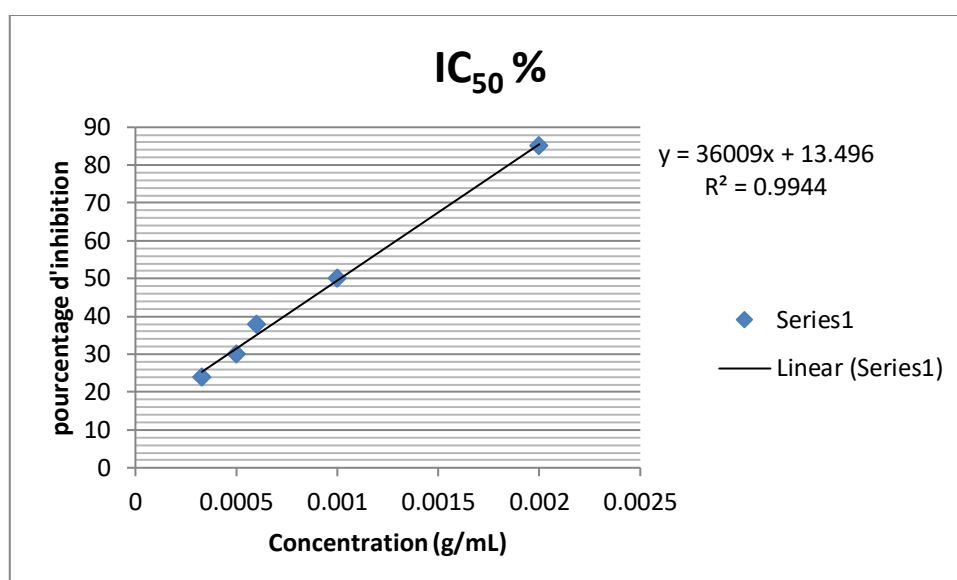


Figure.III.6 : Capacité antioxydante de l'extrait méthanolique des feuilles du *Foeniculum vulgare*

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau III.9. Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'extrait aqueux des graines du *foeniculum vulgare*

Concentration g/mL	0,002	0,001	0,0006	0,0005	0,00033
IC ₅₀ mg/mL	89,84	65	50	45	35

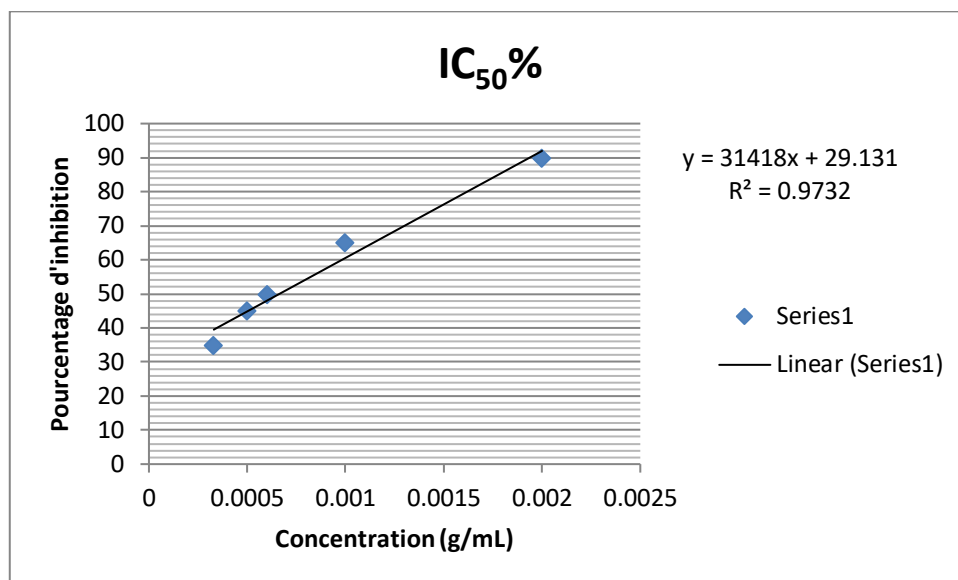


Figure.III.7 : Capacité antioxydante de l'extrait aqueux des graines du *Foeniculum vulgare*

Tableau III.8. Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'extrait aqueux des feuilles du *Foeniculum vulgare*

Concentration g/mL	0,002	0,001	0,0006	0,0005	0,00033
IC ₅₀ mg/mL	90	59	45	35	30

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

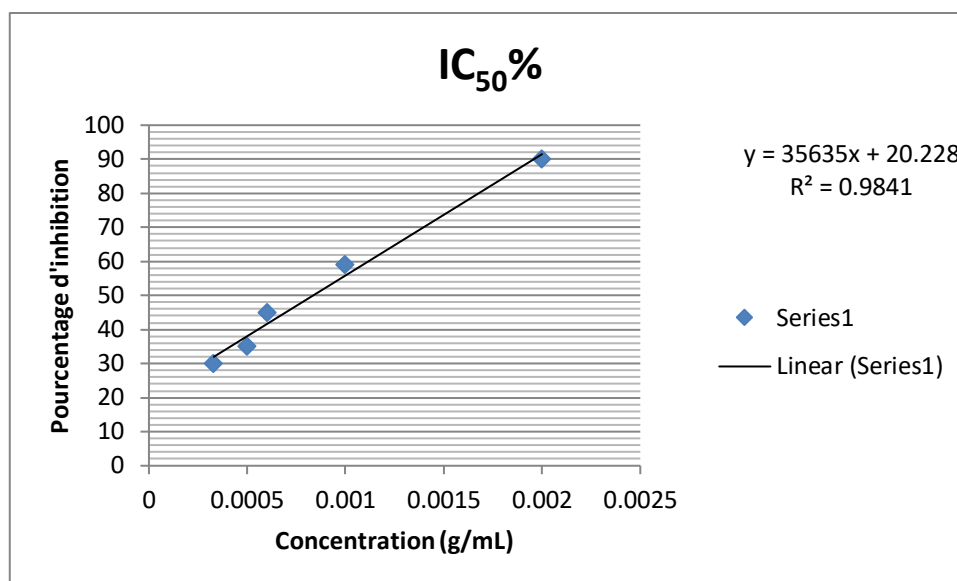


Figure.III.8 : Capacité antioxydante de l'extrait aqueux des feuilles du *Foeniculum vulgare*

Tableau III.11. Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'huile essentielle des graines du *Foeniculum vulgare*

Concentration mg/mL	6	12	15	20	30	60
IC50 mg/mL	17.12	23.32	26.34	31.41	42.2	74

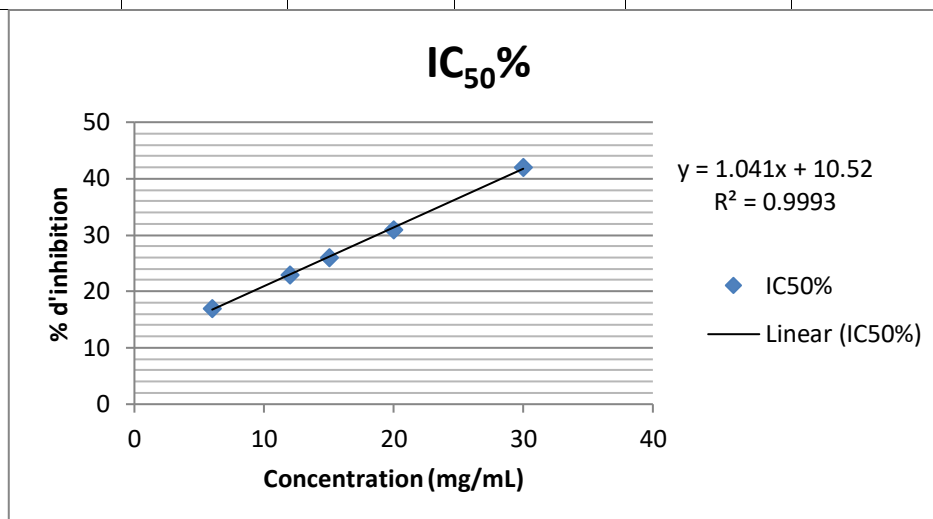


Figure.III.9 : Capacité antioxydante de l'huile essentielle des graines du *Foeniculum vulgare*

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau III.12. Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'huile essentielle des feuilles du *Foeniculum vulgare*

Concentration mg/mL	6	12	15	20	30	60
IC₅₀ mg/mL	19	27.97	34.93	37.1	41.94	69

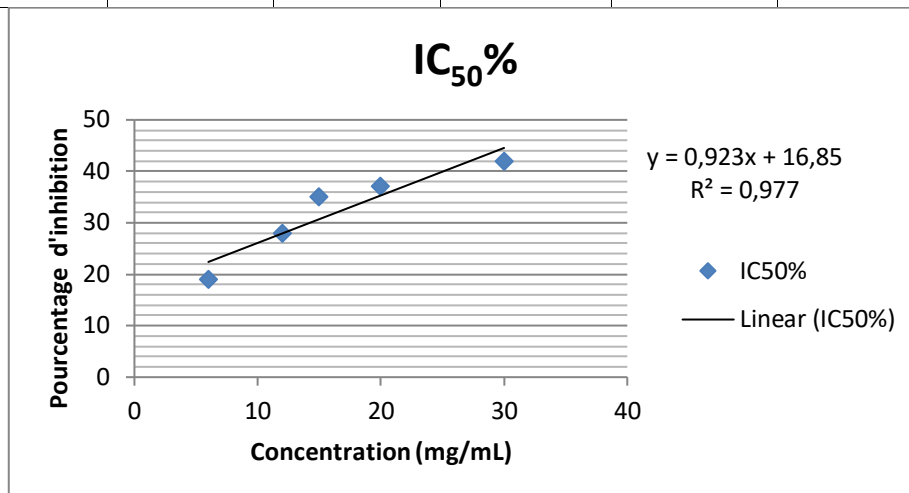


Figure.III.10 : Capacité antioxydante de l'huile essentielle des feuilles du *Foeniculum vulgare*.

Tableau III.13. Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'hydrolat du *Foeniculum vulgare*.

Concentration g/mL	0,001	0,0005	0,00033	0,00025	0,00016
IC₅₀ mg/mL	93	65	51.12	45.98	40

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

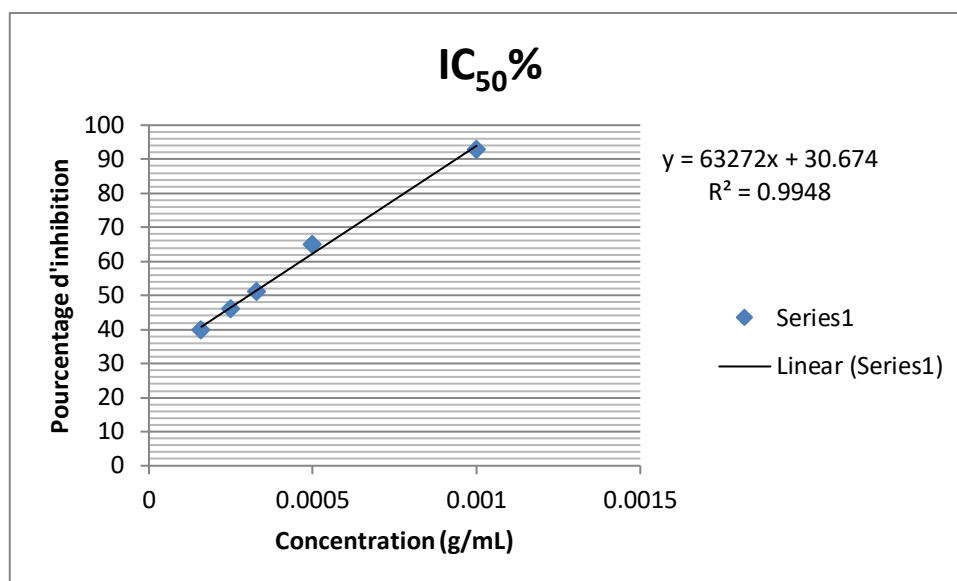


Figure.III.11 : Capacité antioxydante de l'hydrolat du *Foeniculum vulgare*.

Tableau III.14. Pourcentage de DPPH de l'acide ascorbique

Concentration mg/mL	0.080	0.06	0.05	0.04
IC50 mg/mL	97.84	68.57	51.03	39.04

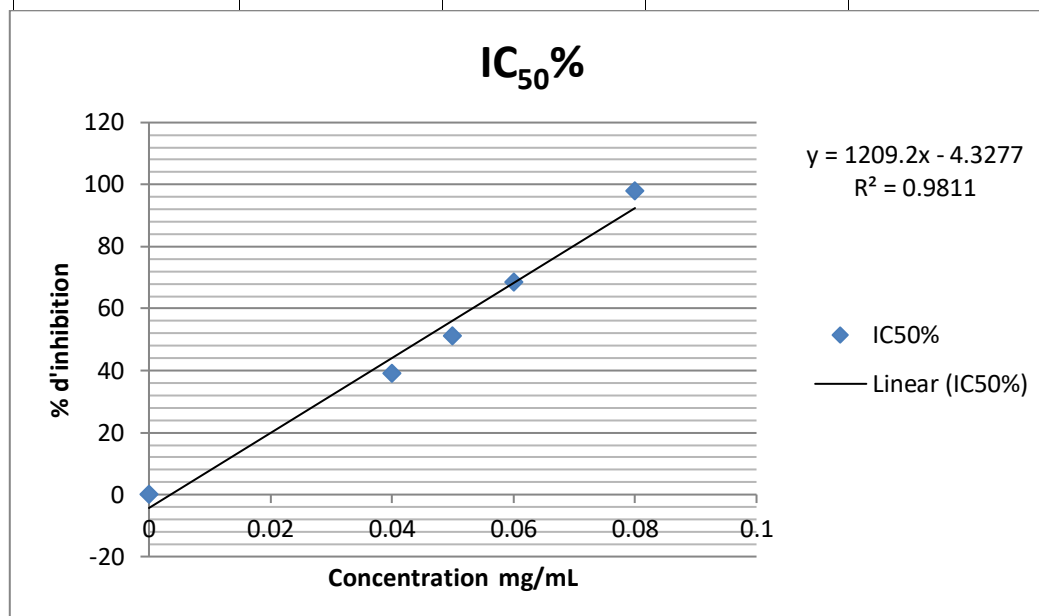


Figure.III.12 : capacité antioxydante de l'acide ascorbique

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Calcul des IC₅₀

La quantité d'antioxydants nécessaire pour neutraliser 50% de la concentration initiale du radical libre DPPH• s'exprime par la valeur de la IC₅₀.

La IC₅₀ et l'activité antioxydante sont inversement proportionnels, plus la valeur de la IC₅₀ est faible plus l'activité antioxydante est forte.

Les valeurs des IC₅₀ des extraits ainsi que celle de l'acide ascorbique ont été déterminé graphiquement à partir des équations logarithmiques des courbes tracées [56]

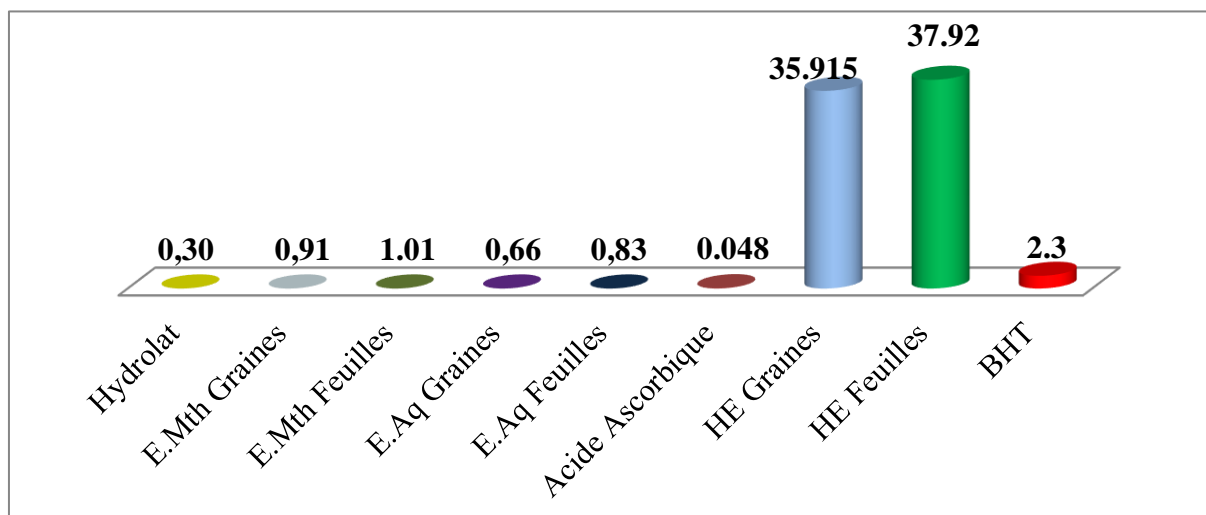


Figure.III.13 : Valeurs des IC₅₀ en (mg/mL) des extraits aqueux, méthanoliques et des huiles essentielles des graines et des feuilles du *Foeniculum vulgare* et de la référence acide ascorbique et BHT

D'après les résultats de la **Figure.III.13** que nous avons obtenus, les extraits et les huiles essentielles des différents organes du *Foeniculum vulgare* possèdent un pouvoir anti-radicalaire remarquable avec une IC₅₀ qui varie entre (0.30 mg/mL et 37.92 mg/mL). Les activités antioxydantes des extraits testés sont supérieures à celle du BHT (2.3mg/mL) et inférieures à celle de l'acide ascorbique (0.048mg/mL) pour tous les échantillons testés par contre l'activité des huiles essentielles est inférieure au BHT.

Parmi tous les échantillons testés l'hydrolat présente la meilleure activité antioxydante avec une valeur de (IC₅₀= 0.30 mg/mL).

Les différents extraits aqueux testés présentent une activité anti-radicalaire supérieure par rapport à celles des extraits méthanoliques des graines et des feuilles. L'extrait aqueux des graines présente la plus grande activité antioxydante avec une valeur de (IC₅₀ = 0.66 mg/mL,) suivi de l'extrait aqueux des feuilles (IC₅₀ = 0.83 mg/mL) puis l'extrait méthanolique des

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

graines avec une valeur de ($IC_{50} = 0.91 \text{ mg/mL}$) et en dernier, l'extrait méthanolique des feuilles avec une valeur de ($IC_{50} = 1.01 \text{ mg/mL}$).

L'activité antioxydante des huiles essentielles est la plus faible comparée aux extraits avec une activité meilleure pour l'huile essentielle des graines par rapport à celle des feuilles avec des valeurs de ($IC_{50} = 35.915 \text{ mg/mL}$; $IC_{50} = 37.92 \text{ mg/mL}$).

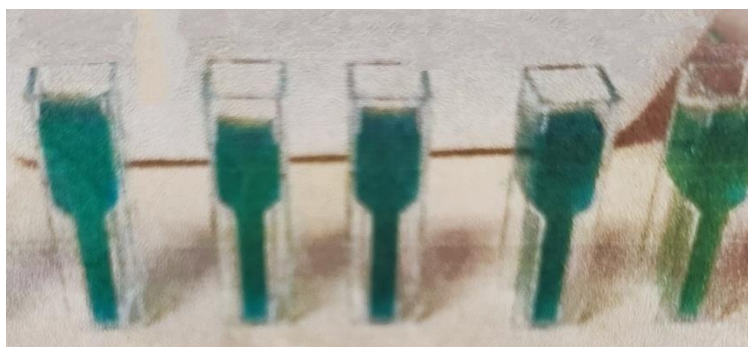
D'après les résultats obtenus on remarque que l'activité anti-radicalaire des graines est supérieure à celle des feuilles pour tous les échantillons testés.

Ces résultats sont expliqués par les fortes teneurs en phénols totaux et en flavonoïdes considérés comme d'excellents antioxydants présents avec une quantité supérieur dans les graines par rapport aux feuilles, dont les propriétés oxydo-réducteurs leurs permettant d'agir comme des agents réducteurs donateurs d'hydrogène et inhibiteur de l'oxygène singulet et triplet [61].

La recherche bibliographique montre que le fenouil possède une activité anti-radicalaire très intéressante [62]. Nos résultats sur l'activité antioxydante de l'huile essentielle des graines concorde avec ceux de la littérature, dans une étude comparative avec les différentes huiles essentielles des graines de fenouil de Chine et d'Egypte [38] ainsi que dans l'étude scientifique qui a été réalisé sur les extraits, les concentrations obtenues pour une inhibition de 50% du radical DPPH sont de 0.31 mg/mL pour l'extrait aqueux et 0.48 mg/mL pour l'extrait méthanolique [62].

L'étude de Yoo et al. [63] a révélé que le *Foeniculum vulgare* possède une activité antioxydante de 70% pour une concentration de 0.0001 g/mL . Cette variation d'activité par rapport à celle de nos extraits est due à la différence dans les solvants utilisés, la méthode d'extraction et l'origine géographique.

III.2.1.2. Méthode de réduction des ions ferriques FRAP



CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Figure III.13: Variation de l'intensité de la couleur en fonction de la concentration par la méthode FRAP

Pour la méthode FRAP les antioxydants présents dans les échantillons auraient pour résultats la réduction de Fe^{3+} en Fe^{2+} en donnant un électron, la quantité du complexe peut être contrôlée par la mesure de la formation du bleu de Perl à 700 nm, l'augmentation de la capacité réductrice est indiquée par l'augmentation de l'absorbance (DO) [64].

L'évaluation de l'activité antioxydante des extraits est déterminée par rapport à l'acide ascorbique. Les résultats de l'activité réductrice des échantillons ainsi que les références sont regroupé dans le **Tableau.III.14** et la **Figure.III.14**.

Nous avons pris comme échantillon deux huiles essentielles, celle des graines et des feuilles de la région de Hennaya et l'acide ascorbique comme référence.

Tableau III.15. Effet réducteur des huiles essentielles des graines et des feuilles du *Foeniculum vulgare* et de l'acide ascorbique

Huile essentielle graines	Concentration (mg/mL)	6	12	15	20	30	60
	Effet du balayage	0.90	0.97	0.98	1.01	1.06	1.8
Huiles essentielle feuilles	Concentration (mg/mL)	6	12	15	20	30	60
	Effet du balayage	0.8	0.86	0.92	1	1.02	1.2
Acide ascorbique	Concentration (mg/mL)	0.001	0.06	0.125	0.25	0.5	1
	Effet du balayage	0.048	0.290	0.680	1.292	2.5	3

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

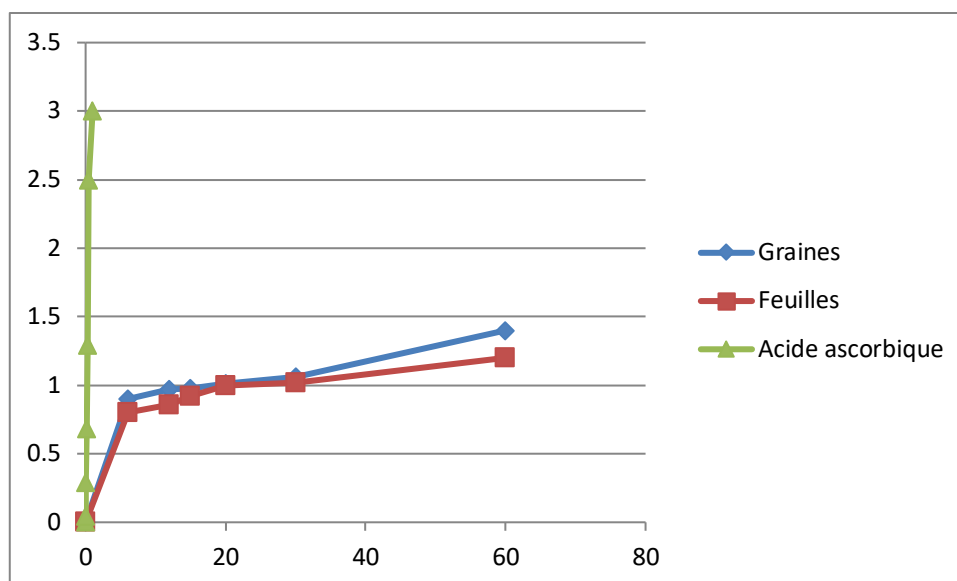


Figure.III.14 : Courbe d'évaluation du pouvoir réducteur des huiles essentielles par la méthode FRAP

Les résultats obtenus par la méthode FRAP confirment les résultats obtenus dans la méthode DPPH, en effet, l'huile essentielle des graines possède une meilleure activité par rapport à celle des feuilles. Cependant, l'activité réductrice des huiles essentielles reste très faible en comparant avec celle de la référence : l'acide ascorbique.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Les plantes médicinales et aromatiques sont connues pour être une source importante de composés bioactifs, d'agents antimicrobiens et antioxydants naturels qui jouent un rôle important en médecine traditionnelle. Ces dernières années leurs huiles essentielles ont été utilisées pour leurs vertus thérapeutiques contre diverses maladies.

L'étude faite dans ce mémoire vise à étudier les huiles essentielles et extraits des différents organes du *Foeniculum vulgare*. Il s'agit d'une plante aromatique et médicinale appartenant à la famille des *Apiaceae*, récolté dans la région de Hennaya et de Beni Snous utilisée par la population locale pour ses vertus thérapeutique et culinaire.

L'extraction réalisée par hydrodistillation des huiles essentielles de la plante étudiée donne de bons rendements qui varient selon l'organe de la plante étudiée et la situation géographique.

D'après les résultats du screening phytochimique des extraits aqueux et méthanoliques de la plante, on trouve que la plante est riche en composés phénoliques tels que les flavonoïdes les coumarines et les tanins connus pour leur activité anti-radicalaire.

L'évaluation de l'activité antioxydante des extraits et des huiles essentielles a été réalisée par deux méthodes différentes (DPPH et FRAP) pour les extraits et les huiles essentielles de la région de Hennaya. Les résultats obtenus montrent que le pouvoir anti-radicalaire des extraits et était très intéressant. L'hydrolat donne la meilleure activité suivie des extraits aqueux et méthanolique des graines puis des feuilles, leurs activités étaient inférieures à celle de l'acide ascorbique (IC50 de 0.048 mg/mL), l'activité la plus faible est celle des huiles essentielles. Les résultats obtenus par la méthode FRAP confirme ceux obtenus par la méthode DPPH, en effet, l'huile essentielle des graines donne une meilleure activité anti-radicalaire que celle de l'huile essentielle des feuilles.

À partir de notre recherche bibliographique sur les études qui ont été réalisés et les résultats que nous avons obtenus, nous pouvons conclure que le *Foeniculum vulgare* possède une très bonne activité anti-radicalaire très prometteuse qui peut être exploitée dans le domaine thérapeutique et comme agent conservateur très prometteur pour l'industrie alimentaire capable d'empêcher l'oxydation des aliments et de réduire la croissance des micro-organismes responsable de l'altération des aliments.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Chanda S.**, « Importance of pharmacognostic study of medicinal plants », *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, vol.2, n°5, 2014, p. 69-73.
- [2] **Albert C.**, « Valorisation des plantes médicinales par l'industrie pharmaceutique », *Courrier de l'environnement de l'INRA*, n°39, 2000, p. 20-24.
- [3] **Didier D.**, « Huiles Essentielles », *Monographie Relative Aux huiles essentielles Pharmacopée Européenne*, 3ème édition, Tome1, 1997, p. 57-62.
- [4] **Zoubiri S., et al.**, « Chemical composition and activity of Algerian *Foeniculum vulgare* seed essential oil », *Arabian Journal Of Chemistry*, vol.7, n°4, 2014, p. 480-485.
- [5] **Messai L.**, « Etude phytochimique d'une plante medicinale de l'est algerien », *Thèse Pour l'obtention de Doctorat des sciences*, Université Mentouri Constantine, 2011 ; 2.
- [6] **Ouis N.**, « Etude Chimique et Biologique Des Huiles Essentielles de Coriandre, de Fenouil et de Persil », *Thèse Pour l'obtention de Doctorat des sciences*, Université d'Oran 1, 2014 ; 2.
- [7] **Consuelo Díaz-Maroto M. et al.**, « Environmental chemistry », *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol.53, n°13, 2005, p. 549-586.
- [8] **Anthony R., Magee & al.**, « New Tribal Delimitations for the Early Diverging Lineages of Apiaceae Subfamily Apioideae », *Tribal delimitations in early diverging Apioideae*, vol.59, n°2, 2010, p. 567-580.
- [9] **Dupont F., Guignard J.**, « Les Familles de Plantes », *Elsevier Masson*, 2012, p. 266-267.
- [10] **Nouioua W.**, « Biodiversite Et Ressources Phytogenetiques D'un Ecosysteme Forestier », *Diplôme de MAGISTER Option : Biodiversité et gestion des écosystèmes*. Université Ferhat Abbas -Setif. 2012 ; 20.
- [11] **Gaertner S.**, « Botanique FRITSCH Robert »- *Le Fenouil Commun Capillacé, Foeniculum Vulgare (Millersp. Capillaceum Gilib, 2005, p.14-32.*

- [12] **Muckensturm B.**, « Phytochemical and Chemotaxonomic Studies of *Foeniculumvulgare*», *Biochemical Systematics and Ecology*, vol.24, n°4, 1997, p. 353- 358.
- [13] **Robert B.**, « Le Fenouil Commun Capillacé, *FoeniculumVulgare* »*Gaertner Ssp. CapillaceumGilib.*
- [14] **Zoubiri S et al.**« Chemical composition and larvicidal activity of Algerian*Foeniculum vulgare* seed essential oil » . *Arabian Journal of Chemistry*, vol.7, n°4, 2014, p. 480-485.
- [15] **Vienna C., Bauer R., Carle R., Tedesco D., Tubaro A., and Zitterl-Eglseer K.**, Assessment of plants/herbs, plant/herb extracts and their naturally or synthetically produced components as “additives” for use in animal production, 2005; pp 297.
- [16] **Garnéro J.**, « Huiles essentielles. Techniques de l’Ingénieur », *traité Constantes physicochimiques*, vol.1, 1996, p. 39.
- [17] **Rather M et al.**« *Foeniculum vulgare*: A comprehensive review of its traditional use », phyto-chemistry, pharmacology, and safety.*Arabian Journal of Chemistry*. vol.9, n°2, 2012, p. 3-4
- [18]**Weiping H &al.**« A review of chemistry and bioactivities of a medicinal spice: *Foeniculum vulgare* », *Academic journal*, vol.5, n°16, 2011, p.3595-3600
- [19] **Vanier P, Cyr J.** « Le fenouil au fil du temps, Usage culinaires conservation jardinage biologique », *écologique et environnement*, 2010
- [20]**Lazouni, H.A. Benmansour, A Taleb-Bendiab, S.A.; Chabane Sari.**«Composition des constituants de huile essentielle et valeur nutritive du *Foeniculumvulgare* », *Sciences &Technologie C-N° 25*, 2007, p. 7-12.
- [21] **Choi E., and Hwang J.**« Anti inflammatory, analgesic and antioxydant activities of the fruit of *Foeniculumn vulgare*», vol.6, 2004, p.557– 565.
- [22] **Barros L., Sandrina A., Carvalho M., and Ferreira I.** « Systematic evaluation of the antioxidant potential of different parts of *Foeniculum vulgare* Mill from Portugal », *food chem.toxicol*,vol.10,2009,p2458–2464.

- [23] **Díaz-Maroto M., Díaz-Maroto H., Sánchez-Palomo E., and Pérez-Coello M.** «Volatile components and key odorants of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.)» *Agric food chem*, vol.13, 2005, p. 53.
- [24] **Rather M., Dar B., Sofi S., Bhat B., and Qurishi M.** «*Foeniculum vulgare*: A comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology, and safety», *Arabian journal of chemistry*, 2012.
- [25] **Choi&Hwang, Senatore et al.** «Chemical composition, rich oil from leaves of selected varieties of fennel» *Foeniculum vulgare* Mill. ssp. vulgare var. azoricum (Mill.), p 214–219.
- [26] **Rahami R and Ardekani M.** «Medicinal properties of *Foeniculum vulgare* Mill.» *IntraditionallIranianmedicine and modern phytotherapy*, vol.1, 2013, p 73-79.
- [27] **Lazouni, H.A.; Benmansour, A; Taleb-Bendiab, S.A.; Chabane Sari D.** «Composition des constituants de huile essentielle et valeur nutritive du *Foeniculum vulgare* », *Sciences & Technologie C-N° 25*, 2007, p. 7-12.
- [28] **Zoubiri, S.; Baaliouamer, A.; Seba, N.; Chamouni, N.** *Arabian Journal of chemistry*, vol.7, 2010, p.480-485.
- [29] **Guillen, M.D., Manzanos, M.J.** « A study of several parts of the plant *foeniculum vulgare* as a source of compounds with industrial interest», *Food Research International*, vol.29, 1996, p. 85-88.
- [30] **Yamini, Y.; Sefidkon et Pourmortazavi S.M.** « Comparison of essential oil composition of Iranian fennel (*Foeniculum vulgare*) obtained by supercritical carbondioxide extraction and hydrodistillation methods», *Flavour and Fragrance Journal*, 2002; p17, 345-348.
- [31] **Miraldi, E.** «Comparison of the essential oils from ten *Foeniculum vulgare* Miller samples of fruits of different origin» *Flavour and Fragrance Journal*, vol.14, 2009, p. 379-382
- [32] **Moura, L.S. ; Sefidkom, et Pourmortazavi, S.M.** *Flavour and Fragrance Journal*, vol.17, 2002, p.345-348.

- [33] **Anwar F., Abdullah I., Sherazi S., and Bhangar M.** Changes in Composition and Antioxidant and Antimicrobial Activities of Essential oil of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) Fruit at Different Stages of Maturity», 2009, p 197-201.
- [34] **Mohsenzadeh, M.** «Evaluation of antibacterial activity of selected Iranian essential oils against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* in nutrient broth medium», 2007 p 3693–3697.
- [35] **Mimica-Dukić N, Kujundzić S, Soković M, Couladis M,** «Essential Oil Composition and Antifungal Activity of *Foeniculum*».
- [36] **Garzoli S, Bozovic M, Baldisserotto A, Sabatino M, Cesa S, Pepi F, Vicentini CB, Manfredini S, Ragno R.** «Essential oil extraction, chemical analysis and anti-candida activity of *Foeniculum vulgare* Miller-new approaches». *Nat Prod Res.* vol.11, p 1254–1259
- [37] **Anwar F., Abdullah I., Sherazi S, and Bhangar M.** «Changes in Composition and Antioxidant and Antimicrobial Activities of Essential oil of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.)» Fruit at Different Stages of Maturity, 2009, p 197-201.
- [38] **Ahmed A., Shi M., Liu C ., and Kang W.** (2019), «comparative analysis of antioxidant activities of essential oils and extracts of fennel seeds from Egypt and China», 2019, p 67-72.
- [39] **Senatore F., Oliviero F., Scandolera E., Tagliatela-Scafati O., Roscigno G., Zaccardelli M. and Falco E.** «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], 2013, p 214–219.
- [40] **AFSSAPS** (Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé), Recommandations relatives aux critères de qualité des huiles essentielles. 2008
- [41] **Touahri, A.M and S.Kboughari,** «action des poudres et des huiles essentielles de quelques plantes médicinales sur *Staphylococcus aureus*». 2014
- [42] **BENOUALI D.** Extraction et identification des huiles essentielles 2015-2016
- [43] **Okezie I.,** «Free Radicals, Oxidative Stress, and Antioxidants in Human Health and Disease», *Journal of the American Oil Chemists Society*, 1998, p 199-207

- [44] **Boizotn., Charpetier J.P.** «Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre foustier». *Le cahier des techniques de l'Inra*. 2006, p. 79-82.
- [45] **Alvarez L., Winjgrrad H., Arendt E.K. and Gallagher E.** «Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking», *Food Chemistry*, vol.119, 2010, p. 770-778.
- [46] **King A., Young G.**, «characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals», *J of the american dietetic association*, 1999, p 213-218
- [47] **Touitou Y.** Université Pierre et Marie Curie, Biochimie : structure des glucides et lipides, Niveau PAES, 2005-2006,.
- [48] **Bendiabdellah A.**, «Etudes chimique et biologique des extraits de trois *Daucus* (*D. crinitus*, *D. muricatus* et *D. carota*.ssp. *hispanicus*) de la région de Tlemcen», UABT, 2014, p70
- [49] **Chekroun N.**, «Détermination de la capacité antioxydant des huiles végétales : Huiles Afi» UABT, 2013, p10-13
- [50] **Baudin B.** «Stress oxydant et pathologies cardiovasculaires». *Mt cardio*, 2006, p. 43-52.
- [51] **Molyneux P.** «The uses of stable free radical diphenyl picrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity». *Songklanakarin*, vol.26, 2004, p211-219
- [52] **Boudjouref M.** «Etude de l'activité antioxydante et antimicrobienne d'extraits d'*Artemisia campestris L.*». *Mémoire Pour l'obtention du diplôme de Magister En Biochimie*. Université Ferhat Abbas, Setif. 2011.9_28
- [53] **Oktay M et al.** «Determination of in vitro antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extracts». *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* vol.36, 2003, p. 263–27

- [54] **Singleton V.L et al.**, «Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents», *American journal of technology and Viticulture*, 1965, p. 144-153
- [55] **Lazouni, H.A.; Benmansour, A; Taleb-Bendiab, S.A.; Chabane Sari D.** «Composition des constituants de huile essentielle et valeur nutritive du *Foeniculum vulgare* », *Sciences & Technologie C-N° 25*, 2007, p. 7-12.
- [56] **Bahrun T.**, «Substances Naturelles Actives : *La Flore Mauricienne*, Une Source D’approvisionnement Potentielle» .*Amas .Food and Agricultural Research Council. Réduit. Mauritius*. 1997.
- [57] **Albano S.M, Miguel M.G.** Biological activities of extracts of plants grown in Portugal. *IndCroProd.*, 2010, p. 1-6.
- [58] **Majhenic L., Kerget M.S., Knez Z.** «Antioxidant and antimicrobial activity of guarana seed extracts. *Food Chemistry*», 2007, p. 104, 1258–1268.
- [59] **Bediaga M.**, «Étude ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de *Nauclea Latifolia* (Smith) une plante médicinale africaine récoltée au Mali.» *Thèse de doctorat*. Université de Bamako, Mali. 2011, p. 10.
- [60] **González-Gallego J., Sánchez-Campos. S. et Tuñón M.J.**, «Anti-inflammatory properties of dietary flavonoids.» *Nutrición Hospitalaria*, 2007, p. 287-293.
- [61] **Singh G., Maurya S., de Lampasona M.P. and Catalan C.**, «Chemical constituents, antifungal and antioxidative potential of *Foeniculum vulgare* volatile oil and its acetone extract». *Food Control*, vol.17, 2006, p. 745–752.
- [62] **Conforti F., Statti G., Uzunov D. et Menichini F.** 2006. «Comparative chemical composition and antioxidant activities of wild and cultivated *Laurus nobilis* L. leaves and *Foeniculum vulgare* subsp.» *piperitum (Ucria) coutinho seeds. Biological and Pharmaceutical Bulletin*. vol.10, 2006, p. 2056-2064

[63] **Yoo K. M., Lee C. H., Lee H., Moon B. et Lee. C Y.** 2008.«Relative antioxidant and cytoprotective activities of common herbs». *Food Chemistry*, vol.106, 2008, p. 929-936.

[64] **Paul S. ,Emmanuel E. ,Essien ,Samuel J. , Ntuk and Mohammad I. Choudhary.** «Eryngium foetidum L. Essential Oils: Chemical Composition and Antioxidant Capacity», *medicines*, vol.2, 2017, p. 24.