



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج
Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.
كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de
l'Univers
قسم العلوم البيولوجية
Département des Sciences Biologiques

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : Biochimie

Intitulé

**Dosage des polyphénols et activité antioxydante du
Fenouil cultivé**

Présenté par : BEN CHEIKH Fatima
MOHAMADI Chaima

Devant le jury :

Président : M. Y .BELLIK MCA (Université de Bordj Bou Arréridj)
Encadrant : M^{me} F. FELLAH MCA (Université de Bordj Bou Arréridj)
Examineur : M^{me} W. FATMI MCB (Université de Bordj Bou Arréridj)

Année universitaire : 2020/2021

REMERCIEMENTS

Ce n'est pas parce que la tradition exige par habitude que cette page est présentée dans notre mémoire de fin d'étude, mais parce que les personnes à qui s'adressent nos remerciements les méritent vraiment.

Nous tenons avant tout à remercier Dieu, tout puissant de nous avoir accordé la force et la volonté pour accomplir ce modeste travail.

Nous exprimons nos remerciements et notre profonde gratitude à **M. Yuva BELLIK**, Maître de Conférences classe A, d'avoir accepté de présider le jury.

Nos remerciements et reconnaissances vont à notre encadrant **M^{me} Fahima FELLAH**, Maître de Conférences classe A, qui a accepté de nous encadrer et qui a fait preuve d'une grande patience. Ainsi, ses conseils, ses orientations, ses encouragements et son soutien moral et scientifique nous ont permis de mener ce projet. Qu'elle trouve ici l'expression de nos grands respects et nos vifs remerciements.

Un grand merci à **M^{me} Widad FATMI**, Maître de Conférences classe B, qui nous a fait l'honneur d'examiner et de discuter notre travail.

Nous remercions chaleureusement **M. Nasreddine MEKHOUKH** pour sa disponibilité et son esprit scientifique. Ainsi, nous adressons nos remerciements aux ingénieurs de laboratoire au niveau de notre faculté, pour leurs aides.

Nos remerciements s'adressent également à tous les enseignants de la faculté SNV.

Enfin, que toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouve ici l'expression de ma sincère gratitude.

DEDICACES

Souhaitant que le fruit de nos efforts fournis Jour et nuit, nous mènera vers le Bonheur fleuri. Nous prions dieu que nous serions enchantés Par notre travail honoré.

À mes parents

Pour leur patience, leur amour, leur sacrifice et leur soutien. Que Dieu les garde
Et les protège.

À mon très cher mari

Tes sacrifices, ton amour, ta présence à Mes côtés m'ont permis de réussir et de
donner toujours le meilleur de moi.

À ma fille Eline

Merci d'être là, toujours à mes côtés tu m'as toujours accompagné dans ce travail.
Merci Pour tout le bonheur et la joie que tu m'offert lorsque je te prends dans Mes
bras. Que dieu te protège mon petit ange.

À ma chère belle-mère et mon beau père

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé.

À ma sœur et mes frères

En témoignage de l'attachement, et de l'amour que je porte pour vous.

À mes beaux frères et mes belles sœurs

À ma très chère binôme CHAIMA

Pour tous ses efforts et son aide.

À tous mes chères amies

À mes adorables cousines

FATIMA BENCHEIKH

DEDICACES

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...

Je dédie ce modeste travail à qui son cœur m'a vue avant ses yeux et ces câlins m'ont embarrassé avant ses mains :

À mon très cher PAPA qui est présent malgré son absence, je lui dédie avec fierté ce mémoire qui reflète le fruit de l'éducation et de l'attention qu'il m'a tant réservé, je suis très reconnaissante et j'aurai tant aimé partager la joie de ma réussite avec lui malgré il est chez Allah.

Papa bien que je ne puisse pas voir ta joie d'obtenir mon diplôme, je peux la sentir puisque tu es présent dans ma mémoire, mon âme de même, dans mon cœur. Rien ne guérit mes blessures sauf que mes prières pour toi pour le pardon je te souhaite le paradis papa chéri.

À l'école de mon enfance, à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifié pour mon bonheur et ma réussite **MAMA**, tu m'as supporté et m'as aidé dans les pires moments, aucune dédicace ne saurait pour exprimer ce que tu mérites, Merci maman et que dieux te bénisse.

À ma très chère sœur NAZIHA, Son mari, Ses petits anges, vous êtes mon fort soutien surtout dans mes moments les plus difficiles, aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

À mes sœurs et mon frère, Merci d'être là, votre respect et amour, présence à mes côtés surtout à ce moment, m'ont permis de donner le meilleur.

À qui a été le soutien principal de ma vie, à qui a veillé à m'encourager, à me donner De l'aide, l'attention mon **très cher fiancé**.

Sans oublier **mon binôme FATIMA** et **mon amie HALA** merci les deux pour tous les moments et les souvenirs que nous avons passés ensemble.

CHAIMA MOHAMADI

TABLE DES MATIERES

Remerciements

Dédicaces

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I. MATÉRIEL ET MÉTHODES	2
I.1. Matériel végétal.....	2
I.2. Préparation de la poudre de <i>Foeniculum vulgare</i>	3
I.2.1. Séchage.....	5
I.2.2. Broyage.....	5
I.2.3. Tamisage.....	5
I.2.4. Analyses physicochimiques de la poudre de <i>Foeniculum vulgare</i>	5
I.2.4.1. Détermination du taux d'humidité	5
I.2.4.2. Détermination du taux de cendres.....	6
I.2.4.3. Teneur en matière grasse	6
I.2.5. Détermination de la concentration du solvant.....	7
I.2.6. Extraction.....	7
I.2.7. Calcul du rendement.....	7
I.2.8. Étude phytochimique.....	8
I.2.8.1. Teneur en polyphénols totaux.....	8
I.2.8.2. Teneur en flavonoïdes	8
I.2.8.3. Teneur en tanins condensés.....	8
I.2.8.4. Teneur en caroténoïdes.....	9
I.2.9. Activités antioxydantes.....	9

I.2.9.1. Activité antioxydante totale (TAC).....	9
I.2.9.2. Détermination du pouvoir réducteur de fer.....	10
I.2.9.3. Détermination du pouvoir chélateur.....	10
I.2.9.4. Piégeage du radical libre DPPH.....	10
I.2.10. Analyse statistique.....	11
CHAPITRE II. RÉSULTATS.....	12
II.1. Etude physicochimique de la poudre de <i>Foeniculum vulgare</i>	12
II.1.1. Taux d'humidité	12
II.1.2. Taux de cendres.....	12
II.1.3. Teneur en matière grasse	13
II.2. Détermination de la concentration du solvant.....	13
II.3. Rendement d'extraction	14
II.1.4. Etude phytochimique.....	14
II.4.1. Teneur en polyphénols totaux.....	14
II.4.2. Teneur en flavonoïdes	15
II.4.3. Teneur en tanins condensés.....	15
II.1.4. Teneur en caroténoïdes.....	16
II.5. Activités antioxydantes.....	16
II.5.1. Activité antioxydante totale (TAC).....	16
II.5.2. Pouvoir réducteur de fer.....	16
II.5.3. Pouvoir chélateur.....	17
II.5.4. Piégeage du radical libre DPPH.....	17
CHAPITRE III. DISCUSSION.....	19
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	22
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	23
ANNEXE	
RÉSUMÉS	

LISTE DES ABREVIATIONS

AA	: Acide Ascorbique
BHA	: Hydroxyanisole butylé
BHT	: Hydroxytoluène butylé
DPP	: 2,2- diphényle-1-picrylhydrazyl
EAG	: Equivalant Acide Gallique
EC	: Equivalant catéchine
EC₅₀	: Concentration efficace médiane
EDTA	: Acide éthylène diamine tétra-acétique
EQ	: Equivalant queritine
ES	: Extrait sec
FC	: Fenouil cultivé
Fe²⁺	: Fer ferreux
Fe³⁺	: Fer ferrique
Fecl₂	: Le chlorure de fer II ou chlorure ferreux
Fecl₃	: Chlorure de fer III
H	: Humidité
HCL	: Acide chlorhydrique
HPLC	: Chromatographie en phase liquide à haute performance
H₃PMO₁₂O₄₀	: Acide phosphomolybdique
H₃PW₁₂O₄₀	: Acide phosphotungstique
IC₅₀	: Concentration inhibitrice
K₃Fe (CN)₆	: Ferricyanure de potassium
MG	: Matière grasse

Mo₈O₂₃	: Molybdène
MoO₄²⁻	: Molybdate
MoO²⁺	: Dioxyde de molybdène
MS	: Matière sèche
Na₂CO₃	: Carbonate de sodium
R%	: Rendement
R²	: Coefficient de corrélation
T	: Taux
TAC	: Total Antioxidant Capacity
TCA	: Acide trichloroacétique
t-test	: Test de Student
VC	: Vitamine C
W₈O₂₃	: Oxydes bleus de tungstène

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Photographie du Fenouil cultivé	3
Figure 2.	Protocole expérimental au laboratoire.....	4
Figure 3.	Détermination du taux de cendres du fenouil cultivé.....	6
Figure 4.	Etapes de la détermination de la teneur en matière grasse.....	7
Figure 5.	Taux d'humidité de la poudre de <i>Foeniculum vulgare</i>	12
Figure 6.	Taux de cendres de la poudre de <i>Foeniculum vulgare</i>	13
Figure 7.	Taux des lipides dans la plante de <i>Foeniculum vulgare</i>	13
Figure 8.	Rendement d'extraction de <i>Foeniculum vulgare</i> pour les deux solvants acétone et éthanol.....	14
Figure 9.	Teneur en polyphénols totaux de <i>Foeniculum vulgare</i>	14
Figure 10.	Teneur en flavonoïdes dans les deux extraits acétoniques et éthanoliques du fenouil cultivé.....	15
Figure 11.	Teneur en tanins condensés dans deux extraits acétonique et éthanolique de <i>Foeniculum vulgare</i>	16
Figure 12.	Activité antioxydante totale de <i>Foeniculum vulgare</i> pour les deux extraits acétonique et éthanolique.....	16
Figure 13.	Pouvoir réducteur de <i>Foeniculum vulgare</i> en comparaison avec deux standarts.....	17
Figure 14.	Pouvoir chélateur <i>Foeniculum vulgare</i> en comparaison avec l'EDTA	17
Figure 15.	Activité de balayage du radical libre DPPH de <i>Foeniculum vulgare</i> en comparaison avec deux standarts.....	18

INTRODUCTION

Depuis l'antiquité, l'homme n'a cessé de chercher à subvenir à ses besoins en puisant dans la nature qui lui assure non seulement ses besoins nutritionnels en outre, médicamenteux **(Boutaghane, 2013)**.

La pathophysiologie humaine est due notamment au stress oxydant. Ce dernier est défini comme la conséquence d'un déséquilibre entre la production des radicaux libres et leur attaque par le système de défense antioxydant, soit endogène enzymatique, non enzymatique ou bien exogène par l'alimentation : polyphénols, caroténoïdes...etc.

Les polyphénols sont des métabolites secondaires les plus abondants dans les plantes **(Bouchouka, 2016)**. Ils possèdent des propriétés antioxydantes qui sont capables de piéger les radicaux libres générés par notre organisme ou formé en réponse des agressions de notre environnement : pollution, tabac, infection **(Belkhiri, 2009)**.

L'Algérie vu sa position biogéographique privilégiée est considérée parmi les pays connus par leur diversité floristique **(Messai, 2011)**. On compte environ 3000 espèces de plantes dont 15% sont endémiques. Ce potentiel de plantes constitue un axe de recherche scientifique particulier.

Dans ce contexte nous sommes intéressés à étudier le fenouil cultivé (*Foeniculum vulgare*), qui est une plante de la famille des Apiaceae originaire des régions méditerranéennes. Il est beaucoup utilisé en préparations culinaires et en médecine traditionnelle. Les effets bénéfiques possibles de la consommation de fenouil peuvent être liés à la présence des métabolites secondaires : les polyphénols, les tanins **(Haddar et al., 2014)**.

Ce travail se focalise donc sur le dosage des polyphénols totaux et l'évaluation de l'activité antioxydante, ce dernier est réparti en trois chapitres; le premier évoque la méthodologie appliquée qui comprend toutes les étapes de la préparation de la poudre, l'analyse physicochimique, l'étude phytochimique ainsi que l'évaluation de quelques propriétés reflétant l'activité antioxydante ; le deuxième chapitre présente les différents résultats obtenus suivi d'une discussion présentée comme étant un chapitre apart. Enfin, ce travail s'achève par une conclusion générale ainsi que quelques perspectives.

CHAPITRE I. MATERIEL ET METHODES

I.1. Matériel végétal

Cette étude a été réalisée sur le Fenouil cultivé *Foeniculum vulgare* (**figure 1**), qui est une grande herbe originaire du bassin méditerranéen. Elle est cultivée aujourd'hui, tant pour ses qualités médicinales que gustatives. ...

Classification :

Règne : Plantae
Classe : Magnoliopsida
Ordre : Apiales
Famille : Apiaceae
Genre : *Foeniculum*
Espèce : *Foeniculum vulgare*

- ✓ Plante vivace de 1 à 2 mètres, un peu glauque, très aromatique, à souche épaisse.
- ✓ Tiges robustes, striées, rameuses.
- ✓ Feuilles 3-4 fois pennatiséquées, à lanières nombreuses, filiformes, très allongées, les supérieures à gaine plus longue que le limbe.
- ✓ Ombelles grandes, longuement pédonculées, à 10-30 rayons très longs, presque égaux, glabres.
- ✓ Fruit long de 4 mm environ, glaucescent, à odeur d'anis., feuilles radicales presque distiques, plante moins élevée (**Julve, 2021**).



Figure 1. Photographie du Fenouil cultivé

I.2. Préparation de la poudre du *Foeniculum vulgare*

La préparation de la poudre du fenouil cultivé comprend différentes étapes en commençant par l'achat de ce légume jusqu'à l'obtention de la poudre sèche.

Les échantillons de ce dernier ont été achetés au niveau du marché de Boumezreg de la ville de la wilaya de Bordj Bou Arreridj au début de Mars 2021. Ils vont servir à la préparation des extraits secs selon les étapes détaillées ci-après (**figure 2**).

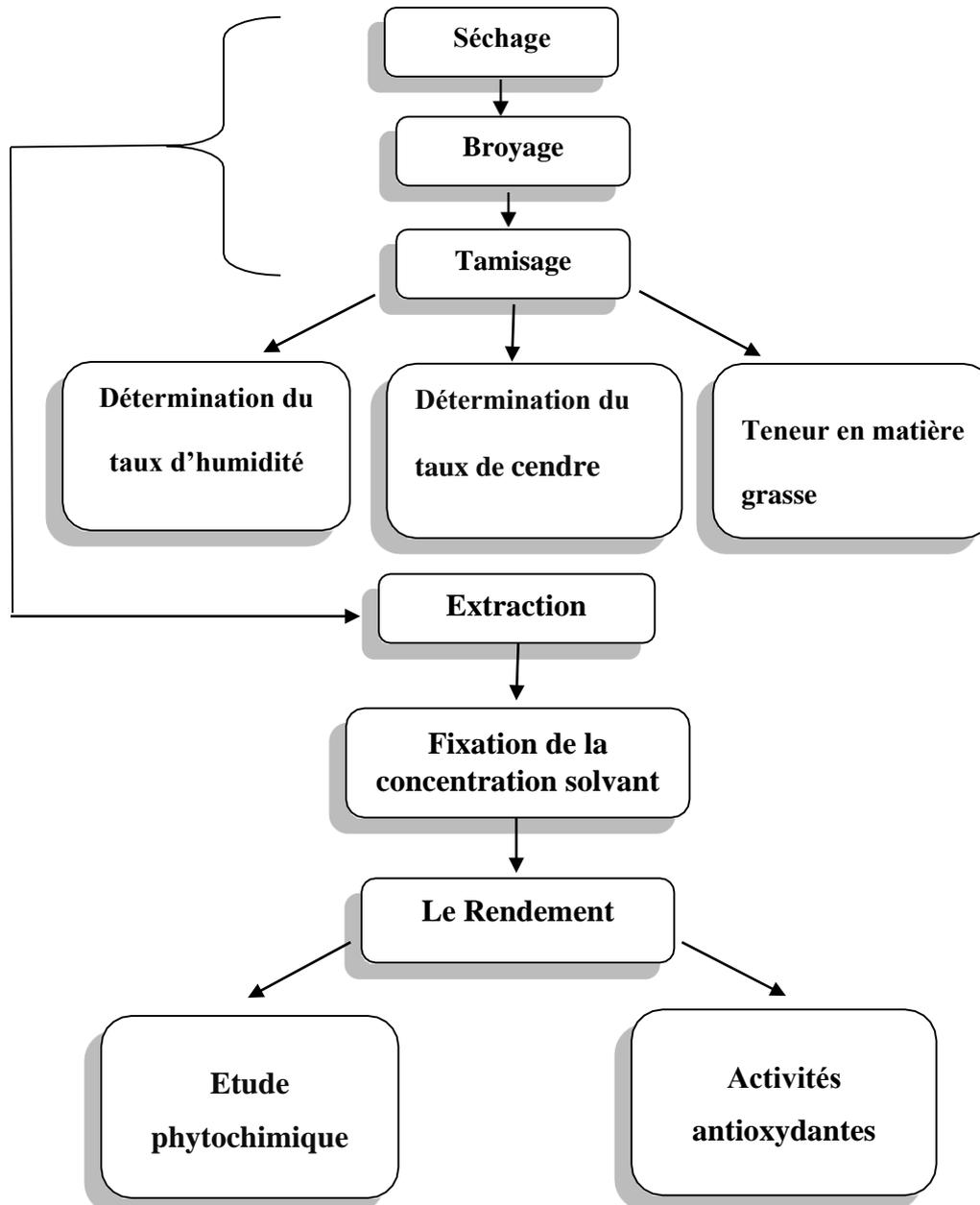


Figure 2. Protocole expérimental au laboratoire

I.2.1. Séchage

Après avoir bien nettoyé le fenouil, les deux parties (blanche et verte) ont été utilisées. Ces dernières sont coupées en petits morceaux et séchées à l'ombre pendant une semaine, puis à l'étuve sous une température de 40°C.

I.2.2. Broyage

Après le séchage, les échantillons secs obtenus ont été broyés à l'aide d'un broyeur électrique jusqu'à l'obtention d'une poudre très fine.

I.2.3. Tamisage

Le tamisage a été effectué afin d'obtenir une poudre de granulométrie de 200 µm. Cette dernière est conservée dans des flacons en verre, fermés hermétiquement, à l'abri pour que la poudre n'absorbe pas l'humidité, et aussi pour réduire le taux d'oxydation dû à la lumière (Kablan *et al.*, 2008).

I.2.4. Analyses physicochimiques de la poudre du *Foeniculum vulgare*

I.2.4.1. Détermination du taux d'humidité

La détermination du taux d'humidité des plantes médicinales a pour objet de vérifier la bonne conservation ainsi que le bon conditionnement de celles-ci. D'après les normes décrites AOAC (2000), cette teneur ne doit pas dépasser les 12%.

L'humidité de la poudre a été déterminée par la méthode de séchage à l'étuve ; une quantité de 2 g de poudre est placée dans une boîte pétrie préalablement taré ensuite, le tout est placé dans une étuve de type Memmert à 105 C° pendant 24 h. Après desséchage dans un dessiccateur renfermant le gel de silice enfin, la boîte de pétri est pesée.

$$H\% = (m - m' / m) \times 100\%.$$

Considérons :

m : Masse de l'échantillon avant le séchage .

m' : Masse de l'échantillon après le séchage = masse (boîte pétri + échantillon) – masse de la boîte vide.

I.2.4.2. Détermination du taux de cendres

Le taux de cendres est déterminé après minéralisation par voie sèche dans un creuset en porcelaine, préalablement taré. Selon AOAC (2000) on introduit une quantité 2 g de poudre végétale dans un four à moufle de type Memmert à une température de 800 C° pendant 10 heures jusqu'à l'obtention des cendres blanches (toute la matière organique brûle et on ne récupère que la partie inorganique de l'échantillon) (figure 3). On laisse les cendres se refroidir, après on fait la pesé puis on calcul :

$$T\% = (M - M' / E) \times 100 \%$$

M : Masse finale (creuset + cendres totales).

M' : Masse du creuset vide.

E : Prises d'essais de la matière (2g) .



Figure 3. Détermination du taux de cendres du fenouil cultivé.

I.2.4.3. Teneur en matière grasse

L'extraction de la matière grasse totale a été effectuée par un appareil de type Soxhlet (Bipea, 1976). Tout d'abord la cartouche contenant la prise d'essai broyée (10 g de la poudre) est placée dans le Soxhlet. Un volume de 250 ml d'éther de pétrole est versé dans le ballon, puis ce dernier est adapté à l'appareil d'extraction à chauffage électrique. Après 2h à 3h d'extraction, l'appareil est éteint et laissé refroidir. Le solvant est éliminé par évaporation dans un Evaporateur-Rotatif. Le taux de matière grasse brute est déterminé gravimétriquement après la pesée d'huile obtenue après évaporation du solvant organique (figure 4). Le taux de la matière grasse est calculé par la formule suivante :

$$MG \% = (P_1 - P_2 / ME) \times 100\%$$

P_2 : Poids du ballon vide.

P_1 : Poids du ballon après évaporation du solvant.

ME : Masse de la prise d'essai.



Figure 4. Etapes de la détermination de la teneur en matière grasse.

I.2.5. Détermination de la concentration du solvant

L'extraction a été faite en utilisant deux solvants à savoir l'acétone et l'éthanol avec trois concentrations différentes : 25%, 50% et 70%. Une quantité de 200 mg de poudre ont été mélangées avec 20 ml du solvant. Après agitation pendant 30 min, la solution a été centrifugée, puis filtrée.

Le choix de la meilleure concentration du solvant d'extraction en se basant sur le dosage des polyphénols totaux.

I.2.6. Extraction

Après avoir fixé la concentration du solvant, une quantité de 2,5 g ou 5 g de poudre a été mélangée avec 75 ml d'acétone 70% ou dans éthanol 70 %, après agitation pendant 2h, puis filtré, le processus se répète deux fois.

I.2.7. Calcul du rendement

Le rendement d'une extraction se calcule par le rapport entre la masse de l'extrait obtenu et la masse de la matière première végétale après séchage. Ce rendement est exprimé en pourcentage et calculé par la formule suivante :

$$R\% = (ME/ MMV) \times 100\%.$$

MMV : Masse de la matière végétale séchée (g).

MEX : Masse de l'extrait sec obtenu après évaporation du solvant (g).

I.2.8. Étude phytochimique

I.2.8.1. Teneur en Polyphénols totaux

Les polyphénols ont été déterminés par spectrophotométrie selon la méthode de Folin-Ciocalteu décrite par **Singleton et Rossi (1965)**. Le réactif de Folin-Ciocalteu, mélange de l'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$), a été réduit en présence de polyphénols en un mélange d'oxydes bleus de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}) (**Ribéreau-Gayon, 1968**).

Un volume de 200 μ l d'extrait sec à des différentes concentrations a été introduit dans des tubes à essais, puis 1ml du réactif de Folin-Ciocalteu (10%) est ajouté. Le mélange a été soigneusement mélangé par agitation, puis incubé à une température ambiante pendant 3 à 5 min, après on ajoute un volume de 800 μ l de carbonate de sodium Na_2CO_3 (7,5 %). Les tubes sont agités et incubés pendant 120 minutes.

L'absorbance a été mesurée à 760 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Une courbe d'étalonnage a été réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant l'acide gallique (**Annexe**). Les résultats ont été exprimés en milligramme équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait sec du fenouil cultivé.

I.2.8.2. Teneur en Flavonoïdes

Les teneurs en flavonoïdes des extraits ont été mesurées à l'aide d'une méthode colorimétrique selon le protocole de **Jain et al. (2011)** en utilisant la quercétine comme standard (**Annexe**). Un volume de 1 ml de chaque extrait à des différentes concentrations a été réagi avec 1 ml de chlorure d'aluminium (2%). Après incubation à température ambiante pendant 1 h, l'absorbance du mélange réactionnel a été mesurée à 430 nm. La teneur totale en flavonoïdes a été exprimée en milligramme équivalent de quercétine par gramme d'extrait sec.

I.2.8.3. Teneur en Tanins condensés

Les teneurs en tanins condensés des extraits ont été déterminés selon le protocole

d'**Oyedemi et Afolayan (2011)**. En utilisant la catéchine pour préparer la courbe d'étalonnage (**Annexe**). Un volume de 0.5 ml d'extrait a été réagi avec 3 ml de la solution de vanilline (4%) préparée dans le méthanol et 1.5 ml de HCL (37%). Une courbe d'étalonnage a été réalisée dans les mêmes conditions en utilisant la catéchine. Après une incubation à une température ambiante pendant 15 minutes, l'absorbance a été mesurée à 500 nm. La teneur totale en pro-anthocyanidines a été exprimée en milligramme équivalent de catéchine par gramme d'extrait sec.

I.2.8.4. Teneur en Caroténoïdes

L'extraction et le dosage des caroténoïdes a été déterminé par la méthode de **Sass-Kiss et al. (2005)** en utilisant la β -carotène pour la préparation de la courbe d'étalonnage (**Annexe**). Une quantité 50 mg de la poudre de fenouil est introduite dans des tubes de centrifugation, puis 10 ml d'un mélange de solvants (2v d'hexane + 1v d'acétone + 1v d'éthanol) a été additionné. Les tubes sont agités durant 15 minutes, après le mélange est centrifugé à 4500 tours/min pendant 15 minutes. Le culot a subi une deuxième extraction dans les mêmes conditions précédentes, les deux phases hexaniques ont été bien mélangées ; l'absorbance a été mesurée à 450 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-VIS.

La teneur totale en caroténoïdes a été exprimée en microgramme équivalent de β -carotène par gramme de poudre sèche.

I.2.9. Activités Antioxydantes

I.2.9.1. Activité antioxydante totale (TAC)

Cette technique est basée sur la réduction de molybdène Mo (VI) présent sous la forme d'ions molybdate MoO_4^{2-} à molybdène Mo (V) MoO_2^+ en présence de l'extrait pour former un complexe vert. Elle est réalisée selon la méthode de **Prieto et al. (1999)**.

Un volume de 0,3 ml d'extrait à différentes concentrations a été introduite dans les tubes à essais, puis 3 ml de solution à préparer ont été additionnés (solution contient de l'acide sulfurique 0,6 M ; phosphate de sodium 28 mM et molybdate d'ammonium 4 mM); les tubes ont été agités et incubés au bain-marie à 95°C pendant 90 minutes ; après refroidissement l'absorbance a été mesurée à 695 nm. Une courbe d'étalonnage est réalisée en parallèle dans les mêmes conditions opératoires en utilisant l'acide gallique comme contrôle positif (**Annexe**). Les résultats ont été exprimés en milligramme équivalent

d'acide gallique par gramme d'Extrait Sec.

I.2.9.2. Détermination du pouvoir réducteur de fer

Le pouvoir réducteur de fer est la capacité des antioxydants à réduire le fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}) (**Blasovics et al., 2003**). Les extraits qui possèdent un potentiel réducteur réagissent avec le ferricyanure de potassium (Fe^{3+}) pour former le ferricyanure de potassium, qui réagit à son tour avec le chlorure ferrique (FeCl_3) pour donner un complexe mesurable à 700 nm (**Jayanthi et Lalitha, 2011**).

Le test a été déterminé selon le protocole d'**Oyaizu (1986)**. Un volume de 200 μl d'extrait à différentes concentrations a été mélangé avec un volume de 500 μl de tampon phosphate et 2,5 ml de ferricyanure de potassium. Le mélange a été incubé à 50°C pendant 20 minutes, puis 2,5 ml d'acide trichloracétique (10%) a été ajouté. Ensuite, un volume de 500 μl de surnageant a été mélangé avec 2,5 ml d'eau distillée et 0,5 ml de FeCl_3 (0,1%).

I.2.9.3. Détermination du pouvoir chélateur

Le test est déterminé selon la méthode de **Le et al. (2006)**. Un volume de 500 μl d'extrait ou du chélateur standard du l'acide éthylène diamine tétra-acétique (EDTA) a différentes concentrations a été additionnées à 100 μl de FeCl_2 (0,6 mM) et 900 μl de méthanol. Après 15 min d'incubation, un volume de 100 μl de ferrozine (5 mM) ont été ajoutés. Le mélange a été agité et laissé pendant 10 min pour permettre la complexation du fer résiduel. L'absorbance a été mesurée à 562 nm.

I.2.9.4. Piégeage du radical libre DPPH

Le pouvoir antiradicalaire, par la neutralisation du radical DPPH \cdot de l'extrait est évalué selon la méthode décrite par **Blois (1958)**. Dans le test du DPPH, les antioxydants réduisent le radical DPPH (diphénylpicryl-hydrazyl) ayant une couleur violette en un composé jaune (diphénylpicryl-hydrazine) dont l'intensité de la couleur est inversement proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans le milieu à donner des protons **Sanchez-Moreno (2002)**. Un volume de 100 μl d'extrait à différentes concentrations a été mis avec 2,5 ml de la solution méthanolique de DPPH, le mélange a été agité puis incubé à l'obscurité pendant 30 min. L'absorbance de la solution a été mesurée à 517 nm. L'activité scavenger des extraits a été évaluée selon la formule :

$$\text{Activité scavenger \%} = 100 \times (\text{A}_{\text{control}} - \text{A}_{\text{échantillon}}) / \text{A}_{\text{control}}$$

Où :

A_{control} : représente l'absorbance de la réaction témoin (contenant tous les réactifs sauf l'extrait testé).

A_{échantillon} : représente l'absorbance du l'extrait testé.

I.2.10. Analyse statistique

Les résultats ont été exprimés en moyenne \pm écart type. La comparaison entre les deux solvants a été faite en appliquant **le test de Student** et **ANOVA** à l'aide du logiciel **GraphPad**. Les différences ont été jugées significatives à $p < 0,05$.

CHAPITRE II. RESULTATS

II.1. Etude physicochimique de la poudre du *Foeniculum vulgare*

II.1.1. Taux d'humidité

Le taux d'humidité due à une valeur de $9,72 \pm 0,01\%$, nous a permis de vérifier que la poudre de fenouil cultivé est conforme aux normes de **AOAC**, ce qui indique que la teneur d'eau de cette plante est très faible par rapport à la matière sèche (figure 5).

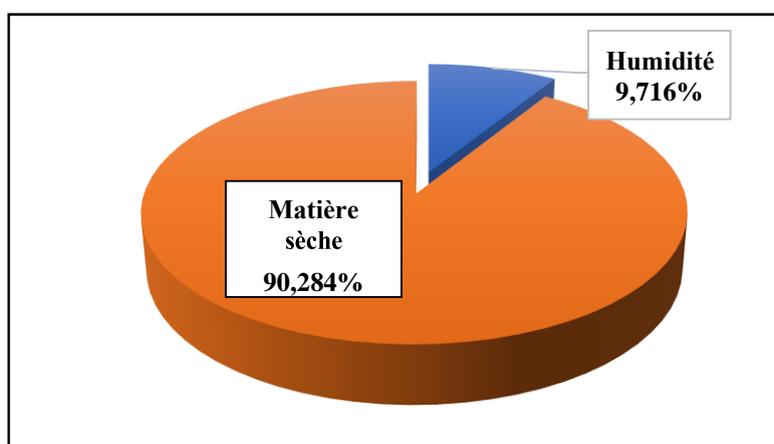


Figure 5. Taux d'humidité de la poudre de *Foeniculum vulgare*.

II.1.2. Taux de cendres

Les résultats enregistrés pour le taux de cendres ont montré un pourcentage de $14,24 \pm 0,04\%$. Cela signifie que le taux de la matière inorganique contenue dans le fenouil cultivé est dans les normes (figure 6).

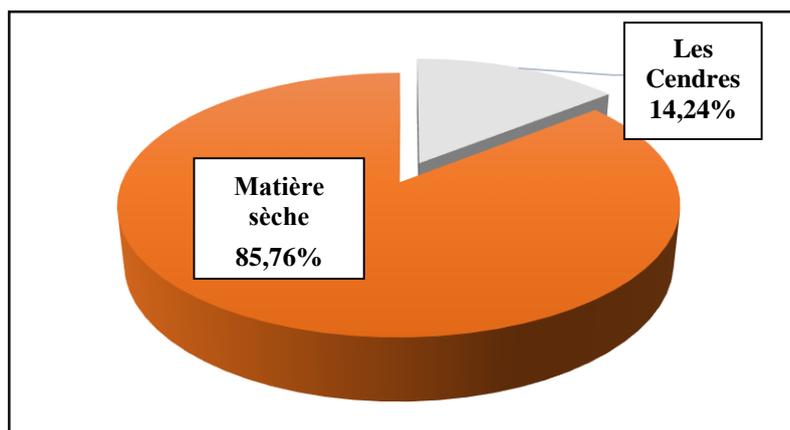


Figure 6. Taux de cendre de la poudre de *Foeniculum vulgare*.

II.1.3. Teneur en matière grasse

Dans la présente étude, le dosage de la fraction lipidique de fenouil cultivé nous a permis de dire que cette plante est pauvre en matière grasse avec une teneur moyenne $0,76 \pm 0,03\%$, une valeur négligeable par rapport au reste de la plante (figure 7).

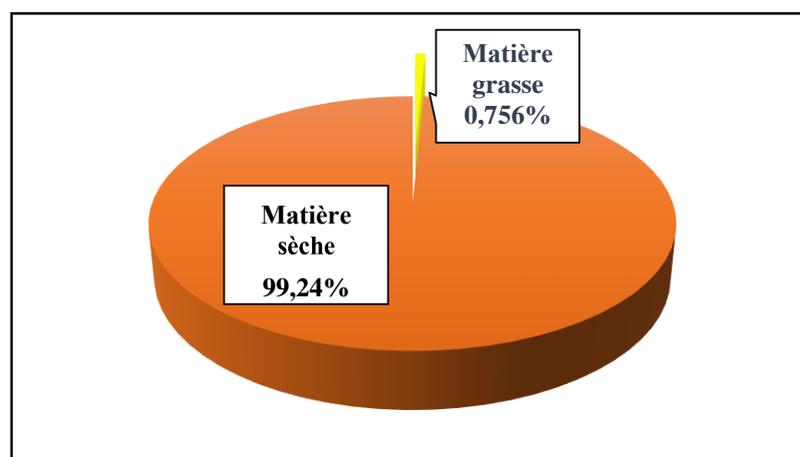


Figure 7. Taux des lipides dans la plante de *Foeniculum vulgare*.

II.2. Détermination de la concentration du solvant

D'après le dosage des polyphénols totaux en utilisant deux solvants d'extraction à savoir l'acétone et l'éthanol, avec trois concentrations différentes :25%,50%,70% les résultats obtenus ont montré que le taux le plus élevé a été enregistré avec la concentration 70% pour les deux solvants utilisés.

II.3. Rendement d'extraction

Le taux le plus élevé a été détecté dans l'extrait acétonique 2,5 g/150 ml avec un pourcentage de $41,73 \pm 1,61\%$, suivi de l'extrait éthanolique 2,5 g/150 ml avec $39,7 \pm 0,60\%$. Le taux le plus faible a été enregistré dans l'extrait éthanolique 5 g/150 ml avec $33,36 \pm 1,18\%$ ($a > b$)(figure 8).

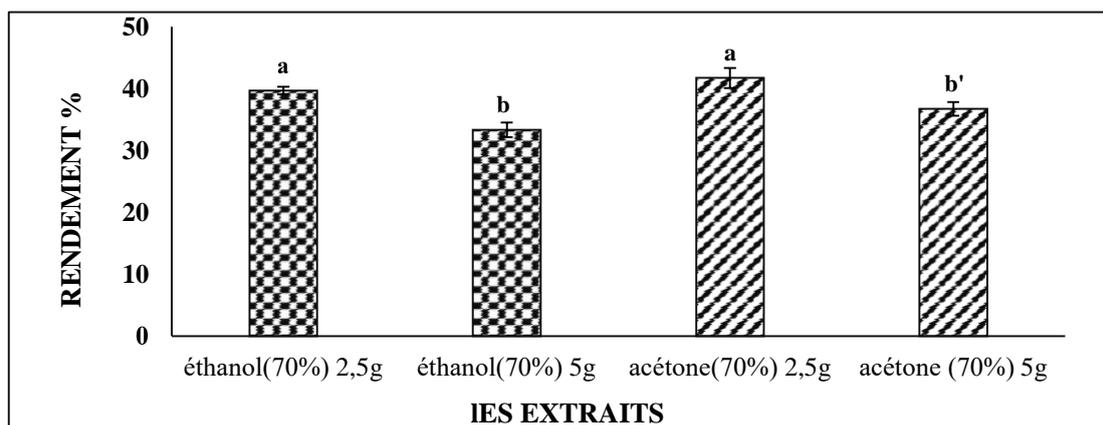


Figure 8. Rendement d'extraction de *Foeniculum vulgare* pour les deux solvants acétone et éthanol.

II.4. Etude phytochimique

II.4.1. Teneur en polyphénols totaux

Les résultats obtenus dans ce test ont montré une teneur en polyphénols de $36,59 \pm 1,37$ mg EAG/g ES pour l'extrait éthanolique et de $23,70 \pm 1,06$ mg EAG/g ES pour l'extrait acétonique (figure 9). L'analyse statistique a montré une différence significative entre les deux solvants à $p \leq 0,05$.

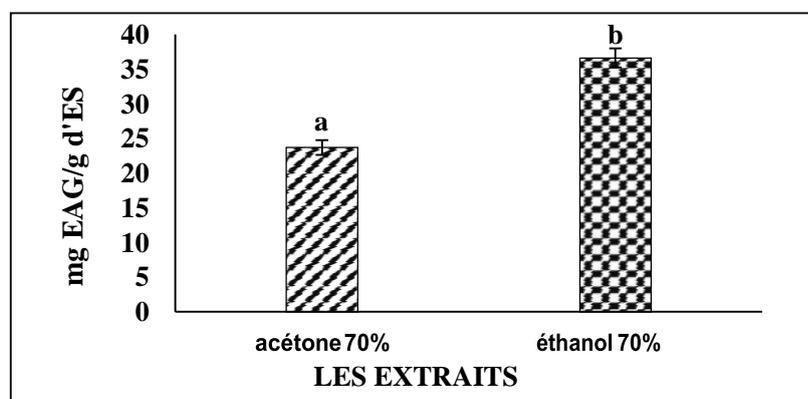


Figure 9. Teneur en polyphénols totaux de *Foeniculum vulgare*.

II.4.2. Teneur en flavonoïdes

Les résultats du dosage des composés flavonoïdes ont montrés que la teneur la plus élevée a été détectée dans l'extrait acétonique avec une moyenne de $9,89 \pm 0,18$ mg EQ /g d'ES (figure 10). D'après l'analyse statistique, une différence significative a été enregistré entre les deux extraits à $p \leq 0,05$.

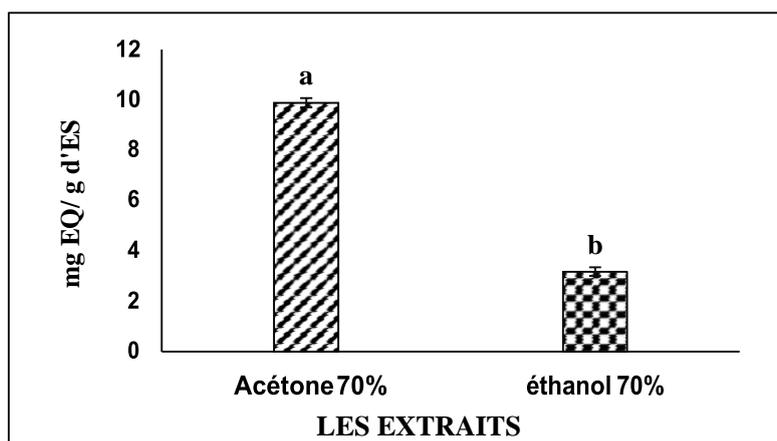


Figure 10. Teneur en flavonoïdes dans les deux extraits acétonique et éthanolique du fenouil cultivé.

II.4.3. Teneur en Tanins condensés

D'après les résultats illustrés dans (figure 11), l'extrait acétonique a enregistré une teneur la plus élevée avec une moyenne de $87,83 \pm 1,01$ mg EC/g d'extrait sec par rapport à l'extrait éthanolique $11,87 \pm 1,54$ mg EC/g d'extrait sec. Une différence significative a été enregistré entre les deux extraits à $p \leq 0,05$ suite à une analyse statistique.

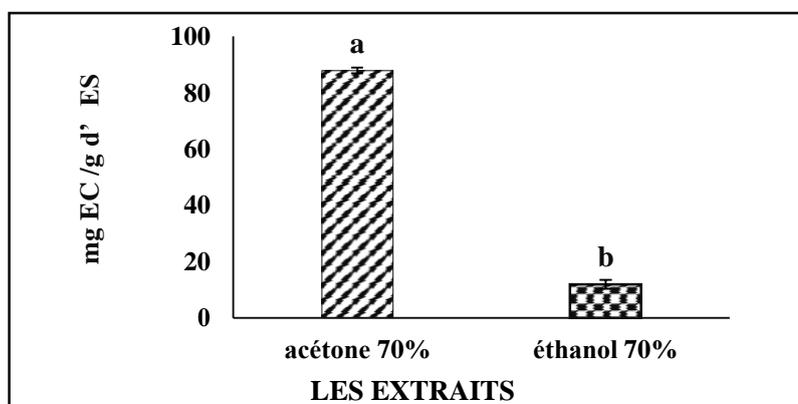


Figure 11. Teneur en Tanins condensés pour les deux extraits acétonique et éthanolique de *Foeniculum vulgare*.

II.4.4. Teneur en caroténoïdes

Les résultats obtenus ont montré que la poudre du fenouil sauvage a enregistré une valeur moyenne de $3,54 \pm 0,05 \mu\text{g E } \beta\text{-carotène / g}$ de poudre.

II.5. Activités antioxydantes

II.5.1. Activité antioxydante totale (TAC)

D'après les résultats présentés dans la **figure 12**, on a pu déterminer que l'extrait éthanolique du fenouil cultivé a présenté une activité antioxydante totale d'une valeur de $68,42 \pm 0,28 \text{ mg EAG/g ES}$ tandis que l'extrait acétonique a présenté une valeur de $32,55 \pm 0,28 \text{ mg EAG/ g ES}$. Le t-test a révélé une différence significative entre les deux extraits ($p \leq 0,05$).

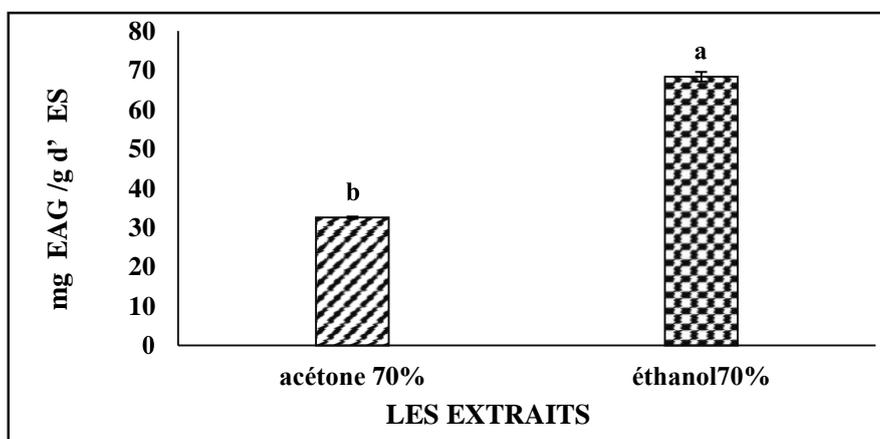


Figure 12. Activité antioxydante totale de *Foeniculum vulgare* pour les deux extraits acétonique et éthanolique

II.5.2. Pouvoir réducteur de fer

Afin de comparer l'efficacité des extraits utilisés, nous avons déterminé expérimentalement la concentration EC_{50} , ce paramètre a été présenté pour définir la concentration efficace du substrat qui cause la réduction de 50% de fer en solution. Plus la valeur EC_{50} est petite, plus l'activité de l'extrait testé est grande. Le fenouil cultivé a présenté une valeur égale à $21,66 \pm 0,31 \text{ mg/ml}$ pour l'extrait acétonique et une valeur de $24,91 \pm 0,66 \text{ mg/ml}$ pour éthanolique (**figure 13**). L'analyse statistique a montré une différence significative entre l'extrait acétonique et éthanolique à $p \leq 0,05$.

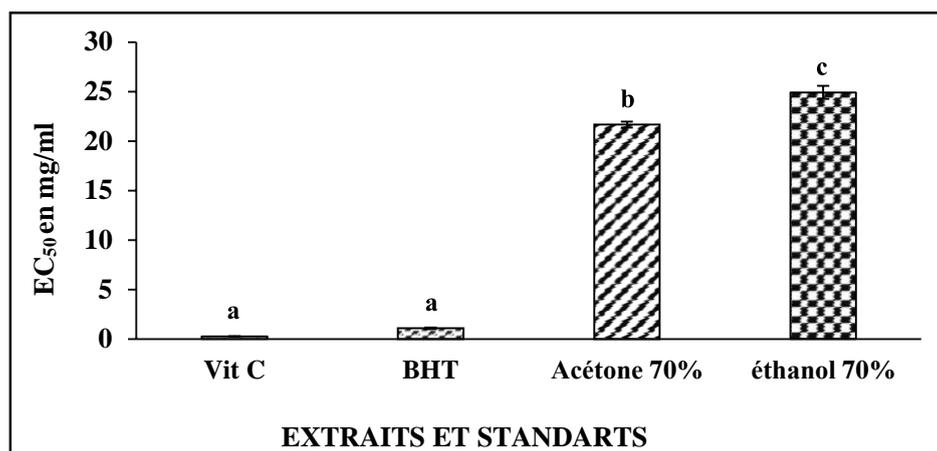


Figure 13. Pouvoir réducteur de *Foeniculum vulgare* en comparaison avec deux standards

II.5.3. Pouvoir chélateur

L'activité chélatrice du fer des différents extraits a été déterminée à partir des valeurs de l'IC₅₀ ; plus la valeur d'IC₅₀ est basse, plus l'activité antioxydante d'un composé est grande. Les résultats obtenus montrent que l'extrait éthanolique du fenouil cultivé a une valeur égale à $4,48 \pm 0,007$ mg/ml, tandis que l'extrait acétonique a présenté une valeur d'ordre de $1,48 \pm 0,027$ mg/ml (figure 14). Le test statistique a révélé une différence significative entre les deux extraits à $p \leq 0,05$.

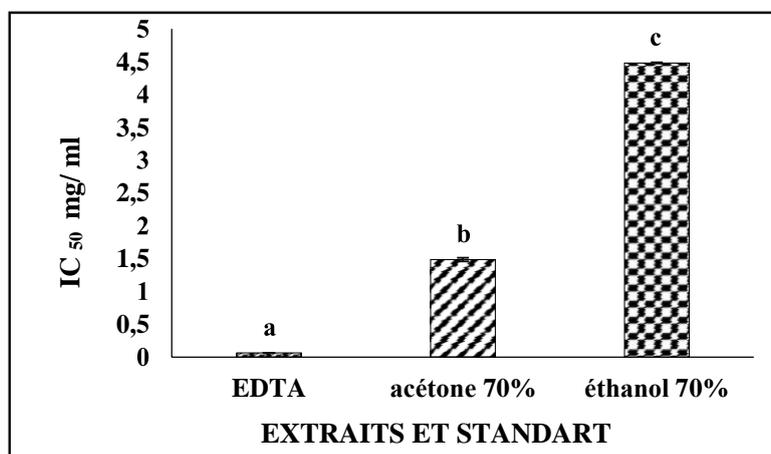


Figure 14. Pouvoir chélateur de *Foeniculum vulgare* en comparaison avec l'EDTA.

II.5.4. Piégeage du radical libre DPPH

L'activité scavenger du DPPH a été présentée par l'IC₅₀. L'extrait acétonique du fenouil cultivé a donné la plus faible valeur d'IC₅₀ qui est de $17,84 \pm 3,67$ mg/ml ce qui reflète une meilleure activité anti-radicalaire par rapport à l'extrait éthanolique avec IC₅₀ de l'ordre

de $36,61 \pm 0,74$ mg/ml (**figure 15**). D'après l'analyse statistique, une différence significative entre les deux solvants utilisés a été aperçue à $p \leq 0,05$.

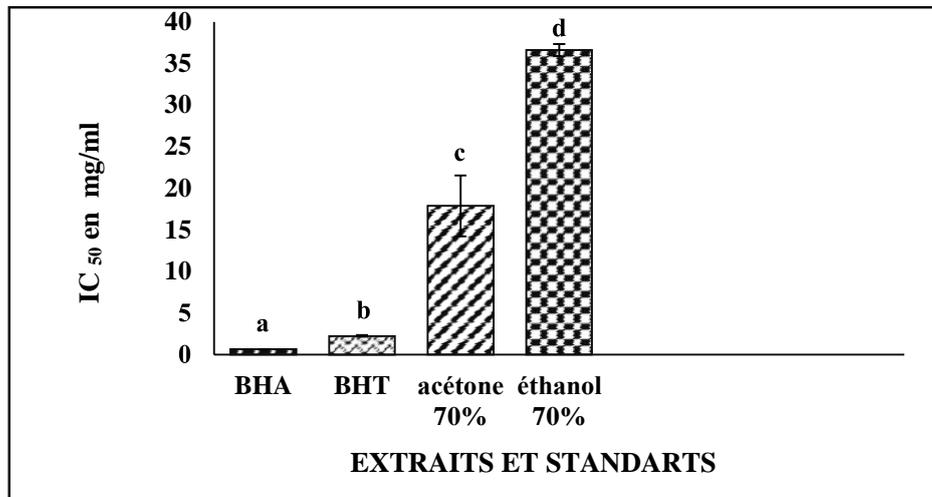


Figure 15. Piégeage du radical libre DPPH de *Foeniculum vulgare* en comparaison avec deux standards

CHAPITRE III. DISCUSSION

De nombreux auteurs attribuent diverses propriétés biologiques des plantes à leurs métabolites secondaires particulièrement les composés phénoliques. La mise en évidence de tels composés est devenue donc une étape préliminaire et primordiale pour une meilleure exploitation.

Dans la présente étude, l'évaluation de l'activité antioxydante et l'étude phytochimique du fenouil cultivé ont été effectués en utilisant deux solvants pour l'extraction à savoir l'acétone et l'éthanol. Au préalable, une analyse physicochimique a été accomplie.

Le taux d'humidité de la poudre du fenouil cultivé utilisé est de 9,72%. Ce taux est proche de celui retrouvé dans les graines de la même plante 10,8% (**Banoun et Boukerrou, 2020**) et un peu élevé par rapport de celui retrouvé dans la poudre du fenouil sauvage qui est de l'ordre de 4,98% (**Bouaïci et Haddad, 2021**). Cette teneur est inférieure à 12% alors elle est conforme aux normes de la pharmacopée européenne, ça va assurer une bonne conservation de sa matière végétale

Les cendres sont le résidu de composés minéraux qui reste après l'incinération d'un échantillon contenant des substances organiques d'origine animale, végétale ou synthétique.

Les résultats du taux de cendres du fenouil cultivé ont montré une teneur qui sont proches à ceux qui retrouvés par **Bouaïci et Haddad (2021)**, qui ont travaillé sur le fenouil sauvage avec les valeurs suivantes 13,11%. En revanche, **Cherifi et Nahdi (2020)** ont trouvé un pourcentage de 8,60%, alors que, **Chalabi (2017)** a trouvé une teneur en cendres de l'ordre de 11,5% pour la partie aérienne et de 10,25% pour les racines.

Les résultats obtenus dans ce travail ont montré une teneur en matière grasse qui est de l'ordre de 0,756%, tandis que la fraction lipidique du fenouil sauvage est de 2,96% (**Bouaïci et Haddad, 2021**). Il a été rapporté par **Anka et al. (2020)**, que les graines contiennent 10% de la matière grasse.

Le choix de la concentration du solvant est une étape primordiale qui permet une meilleure extraction. Dans cette étude, basé sur le dosage des polyphénols, il s'est avéré que l'acétone 70% et éthanol 70%, sont ceux qui ont donné un meilleur rendement d'extraction.

D'autres études ont montré que l'éthanol est un solvant adéquat pour l'extraction des composés phénoliques (**Taleb-Boudraa, 2016**), non polluant, moins cher et moins toxique par rapport aux autres solvants (**Guettouche et Issaad, 2020**). L'acétone, possède une faible viscosité et une meilleure sélectivité. L'addition de l'eau aux solvants organiques vas augmenter la solubilité des polyphénols (**Sripad et al., 1982**) par modulation de la polarité du solvants organiques (**Atik et Mohammedi, 2011**).

Le rendement d'extraction en utilisant deux rapports différents de « poudre- solvant », nous a permis de constater que le rapport 2,5g /150 ml a donné un meilleur rendement quel que soit pour l'acétone ou l'éthanol 41,73% et 39,7% respectivement. Ces résultats sont largement supérieurs à ceux rapporté par **Bouaici et Haddad (2021)** qui ont travaillé sur le fenouil sauvage dans les mêmes conditions 31,57% et 22,15%. Le rendement d'extraction dépend de la saison de récolte, de la partie de la plante utilisée, de la méthode d'extraction et ainsi du choix des solvants utilisés et de leurs caractéristiques physicochimiques, notamment leur polarité (**Henanou et Zaghez, 2019**).

Dans ce travail, la teneur en polyphénols totaux dans les deux extraits acétonique et éthanolique 23,70 mg EAG/g ES et 36,58 mg EAG/g ES, respectivement est moins importante par rapport à celle du fenouil sauvage 87,56 mg EAG/g ES et $49,52 \pm 1,84$ mg EAG/g ES pour l'extrait acétonique et éthanolique respectivement (**Bouaici et Haddad, 2021**). La teneur en composés phénoliques variant en fonction des conditions climatiques et environnementales, la maturité de la plante et la durée de conservation, ainsi que les méthodes d'extraction et de dosage différentes (**Bentahar et al., 2020**).

La teneur en flavonoïdes du fenouil cultivé obtenu lors de cette étude 9,89 mg EQ /g d'ES est beaucoup moins importante par rapport à celle du fenouil sauvage 31,37 mg EQ/g d'ES (**Bouaici et Haddad, 2021**).

Les tanins condensés sont déterminés par la méthode de la vanilline en milieu acide. Cette méthode est basée sur la capacité de cette dernière à réagir avec les unités des tanins condensés en présence d'acide pour produire un complexe coloré (**Taleb-Boudraa, 2016**).

En comparant nos résultats avec ceux de **Bouaici et Haddad (2021)**, le fenouil cultivé a présenté une teneur plus faible en tanins condensés par rapport au fenouil sauvage dont une valeur de 141,79 mg EC / g d'ES a été enregistrée.

Le taux des tanins condensés dans une plante dépend de deux facteurs principaux : le stade de développement végétatif et les conditions environnementales. Leur concentration varie considérablement entre les différentes espèces végétales et au sein de la même espèce où elle dépend du degré de maturité, de l'âge des feuilles, des fleurs et de la saison (**Skadhauge et al., 1997**).

Le fenouil cultivé a présenté une teneur faible en caroténoïdes qui est de l'ordre de 3,54 µg E β-carotène /g de poudre. De même, le fenouil sauvage a présenté aussi une faible teneur 6,31 ± 0,48 µg/g de poudre (**Bouaïci et Haddad, 2021**).

La mise en évidence de l'activité antioxydante du fenouil cultivé a été réalisée par quatre méthodes : la capacité antioxydante totale, le pouvoir réducteur, pouvoir chélateur et le piégeage du radical libre DPPH.

Les présents résultats montrent que l'extrait acétonique ayant une capacité antioxydante totale égale à 32,55 mg EAG/ g ES, est inférieur à celle de l'extrait éthanolique 68,42 mg EAG/g ES. Ces valeurs sont inférieures à ceux rapporté par **Bouaïci et Haddad (2021)** dans les extrais acétonique et éthanolique du fenouil sauvage 52,72 mg EAG/g d'ES et 85,21 mg EAG/g ES, respectivement. Cette distinction dans l'activité est due aux : type de climat, l'altitude, taux d'exposition au soleil, le type de sol, le stade de croissance de la plante en question, le moment de la récolte et la méthode d'extraction (**Besombes, 2008 ; Béjaoui et al., 2013**).

Selon les résultats obtenus, le pouvoir réducteur du fenouil cultivé est moins important que celui du fenouil sauvage EC₅₀ égale à 11,81 mg/ml pour l'éthanol et de 5,17 mg/ml pour l'acétone (**Bouaïci et Haddad, 2021**). Même résultat constaté pour l'activité anti-radicalaire. Néanmoins, la capacité chélatrice de fer est plus importante par rapport à celle du fenouil sauvage pour l'extrait acétonique.

D'après **Rice-Evans et al. (1997)**, l'augmentation de l'efficacité antioxydante dépend à la structure, la qualité et la concentration des composées phénoliques, et ses quantités dans les tissus des plantes.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les plantes sont considérées a longtemps comme source essentielle de substances naturelles bioactives tels les polyphénols. Ces molécules suscitent actuellement l'intérêt de plusieurs chercheurs en raison des bénéfices qu'ils pourraient procurer à la santé humaine.

L'intérêt de la présente étude est porté sur le fenouil cultivé (*Foeniculum vulgare*), cette dernière est constituée d'une évaluation des caractéristiques physicochimiques, phytochimiques et une étude de l'activité antioxydante.

Les premiers résultats obtenus concernant la partie physicochimique indiquent un taux d'humidité inférieure à la limite fixée par la pharmacopée européenne 12%, alors que le taux de cendres a montré une moyenne de 14,24%. De même cette plante a présenté une faible teneur en matière grasse qui est égale à 0,76%. En revanche, l'analyse quantitative des extraits étudiés révèle que le fenouil cultivé est riche en polyphénols ce qui explique une activité antioxydante considérable via les tests du pouvoir réducteur de fer, piégeage du radical libre DPPH et l'activité antioxydante totale. En contrepartie, les teneurs en flavonoïdes dans l'extrait éthanolique et les caroténoïdes sont très faibles par rapport à la fraction en pro-anthocyanidines.

Les résultats obtenus méritent donc d'être compléter en vue d'une éventuelle utilisation du *Foeniculum vulgare* dans d'autres domaines mis à part son utilisation dans le domaine alimentaire. Il serait intéressant pour une meilleure exploitation de cette plante, de développer les axes de recherche suivants ;

- L'estimation de la teneur en : alcaloïdes, terpénoïdes, coumarines, amidons...etc.
- L'étude vers d'autres activités biologiques telles que l'activité antifongique, anti-inflammatoire, anticancéreuse...et détermination des mécanismes d'action ces composés actifs.
- Une identification et isolement des composés de cette plante par des techniques d'analyse avancées (HPLC), et leur application in vivo pour une identification plus précise et détermination de leur toxicité

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Anka ZM, Gimba SN, Nanda A, Lawan Salisu L. 2020. Phytochemistry and Pharmacological Activities of *Foeniculum Vulgare*. *IOSR Journal Of Pharmacy*, 10(1) : 1-10.

AOAC. (2000). Official Methods of Analysis (13th edn). Association of Official Analytical Chemist : Washington, DC.

Atik F, Mohammedi Z. 2011. Impact of solvent extraction type on total polyphenols content and biological activity from *Tamarix aphylla L. karst*, *International Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 2 : 609-615.

Banoun L, Boukerrou N. 2020. Valorisation et optimisation de l'utilisation des extraits de *Foeniculum vulgare* pour la fabrication d'un fromage (Effet sur les paramètres organoleptiques, physico-chimiques et microbiologiques). *Mémoire de Master*, Université de Bouira.

Béjaoui A, Boulila A, Boussaid M. 2013. Chemical composition and biological activities of essential oils and solvent extracts of *Origanum vulgare subsp. glandulosum Desf* from Tunisia. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(32) : 2429-2435.

Belkhiri F. 2009. Activité antimicrobienne et antioxydante des extraits du *Tamus communis L.* et *Carthamus caeruleus L.* *Mémoire de Magister*, Université de Sétif.

Bentahar A, Khennouf S, Bouaziz A, Djidel S. 2020. Phenolic content and antioxidant activity of ethanolic extracts from *Citrus sinensis L.* and *Citrus reticulata L.* fruits. *Journal of Drug Delivery & Therapeutics*, 10(5) : 308-313.

Besombes C. 2008. Contribution à l'étude des phénomènes d'extraction hydrothermomécanique d'herbes aromatiques, Applications généralisées. *Thèse de Doctorat*. Université de La Rochelle, France.

Bipea. (1976). Recueil des Méthodes d'Analyse des Commautés Européennes. BIPEA : Genevilliers ; 51-52.

Blàsovics A, Lugasi A, Szentmihályi K, Kéry A. 2003. Reducing power of the natural polyphenols of *Sempervivum fectorum* in vitro and in vivo. *Acta biologica Szegediensis*, 47(1-4) : 99-102.

Blois MS. 1958. Antioxidant déterminations by the use of a stable free radical. *Nature*, 26 : 1199-1200.

Bouaici K, Haddad A. 2021. Dosage des polyphénols et activité anti oxydante du fenouil sauvage. *Mémoire de Master*. Université de Bordj Bou Arréridj.

- Bouchouka E. 2016.** Extraction des polyphénols et étude des activités antioxydante et antibactérienne de quelques plantes Sahariennes. *Thèse de doctorat*. Université de Annaba.
- Boutaghane N. 2013.** Etude phytochimique et pharmacologique de plantes médicinales Algériennes *Genista ulicina Spach (Fabaceae)* et *Chrysanthemum macrocarpum (Sch. Bip.) Coss. & Kralik ex Batt (Asteraceae)*. *Thèse de Doctorat*. Université de Constantine 1.
- Chalabi N. 2017.** Caractéristique phisico-chimiques de quelques extraits d'une plante : *Ferula communis L.* *Mémoire de Master*. Université de Tlemcen.
- Cherifi D, Nahdi K. 2020.** Extraction et caractérisation d'huile essentielle de *fenouil vulgare*. *Mémoire de Master*. Université de Oum El Bouaghi.
- Jain DP, Pancholi SS, Rakesh PR. 2011.** Synergistic antioxidant activity of *green tea* with some herbs. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology and Research*, 2(3) :177–183.
- Jayanthi P, Lalitha P. 2011.** Reducing power of the solvent extracts of *eichhornia crassipes (mart) Solms*, *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 3 :126-128.
- Henanou R, Zaghez N. 2019.** Étude de l'activité antibactérienne et antioxydante des extraits de la partie aérienne de *Pituranthos Scoparius* « *Guezzah* ». *Mémoire de Master*. Université de Biskra.
- Haddar H, Elksibi I, Meksi N, Mhenni MF. 2014.** Valorization of the leaves of fennel (*Foeniculum vulgare*) as natural dyes fixed on modified cotton: A dyeing process optimization based on a response surface methodology ,*Industrial crops and products* ,52 : 588-596.
- Gettouche R, Issaad G. 2020.** Dosage des composés phénoliques et activité antioxydante de la partie blanche de poireau cultivé. *Mémoire de Master*. Université de Bordj Bou Arréridj.
- Kablan BJ, Adiko M, Abrogoua A. 2008.** Evaluation in vitro de l'activité antimicrobienne de *Kalanchoe crenata* et de *Manotes longiflora* utilisées dans les ophtalmies en Côte d'Ivoire, *Phytothérapie*, 6 : 282-288.
- Le J, Koo N, Min DB. 2006.** Reactive oxygen species aging and antioxidative nutraceuticals, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* ,3(1) :21-33.
- Messai L. 2011.** Etude phytochimique d'une plante médicinale de l'est Algérien : (*artemisia Herba Alba*). *Thèse de Doctorat*. Université de Constantine 1.
- Oyaizu, M. 1986.** Studies on Products of Browning Reactions:Antioxidative Activities of Product of Browning Reaction Prepared from Glucosamine, *Japan Journal of Nutrition*, 44 :307-315.
- Oyedmi S O, Afolayan A J. 2011.** In vitro and in vivo Antioxidant Activity of Aqueous Leaves Extract of *Leonotis (L.) R.Br*,*International Journal of Pharmacology*, 7(2) :248-256.
- Prieto P, Pineda M, Aguilar M. 1999.** Spectrophotometric Quantitation of Antioxidant Capacity through the Formation of a Phosphomolybdenum Complex : Specific Application to

the Determination of Vitamin E, *Analytical Biochemistry*, 269(2) :337-341.

Ribéreau-Gayon P. 1968. Les composés phénoliques des végétaux. Ed. Dunod, Paris. 254p.

Rice-Evans C, Miller N, Paganga G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds, *Trends in Plant Science*, 2(4) :152-159.

Sanchez-Moreno C. 2002. Review: Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in food and biological systems, *Food Science and Technology International*, 8(3) : 121- 137.

Sass-Kiss A, Kiss J, Milotay P, Kerek MM, Toth-Makus M. 2005. Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables, *Food Research Internationa*, 20 : 1023-1029.

Singleton V.L, Rossi J.A. 1965. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents, *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3) : 144-158.

Skadhauge B, Gruber MY, Thomsen KK, Wettstein DV. 1997. Leucocyanidin reductase activity and accumulation of proanthocyanidins in developing legume tissues, *American Journal of Botany*, 84 : 494-503.

Sripad G, Prakash V, Narasinga Rao MS. 1982. Extractability of polyphenols of sunflower seed in various solvents. *Journal of Biosciences*, 4 : 145-152.

Taleb-Boudraa H. 2016. Optimisation des conditions d'extraction des polyphénols par micro-ondes et ultrasons des feuilles de *Foeniculum vulgare* par la méthodologie de surface de réponse. *Mémoire de Magister*. Université de Bejaia.

ANNEXE I. COURBES D'ETALONNAGE

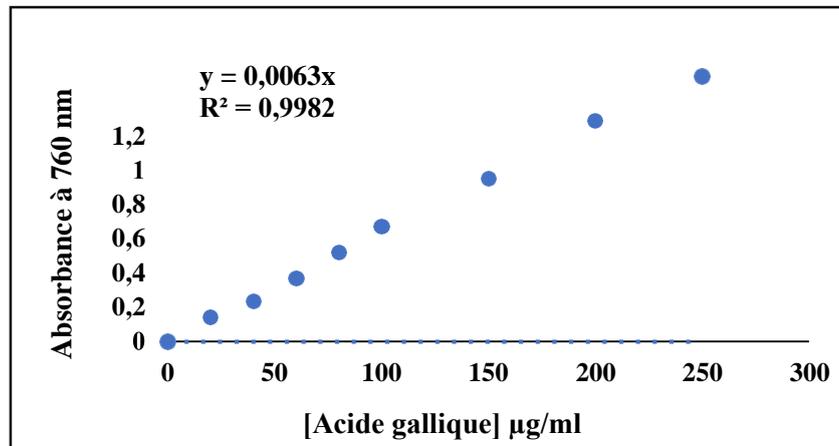


Figure 1. Courbe d'étalonnage pour le dosage des polyphénols.

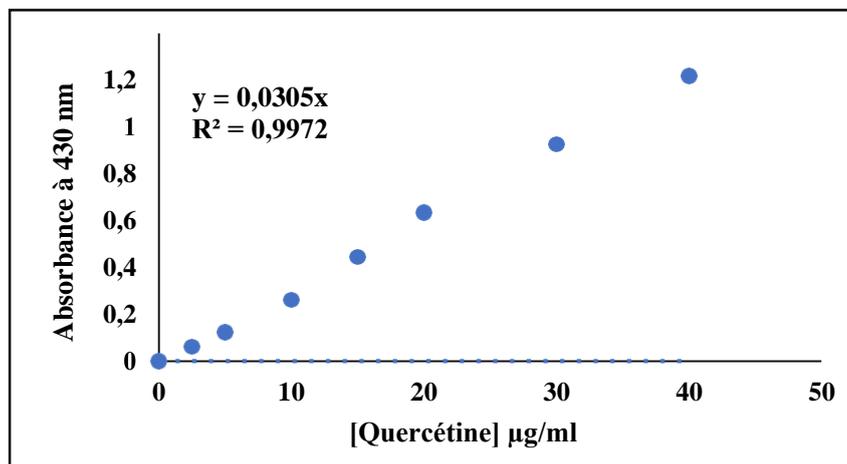


Figure 2. Courbe d'étalonnage pour le dosage des flavonoïdes.

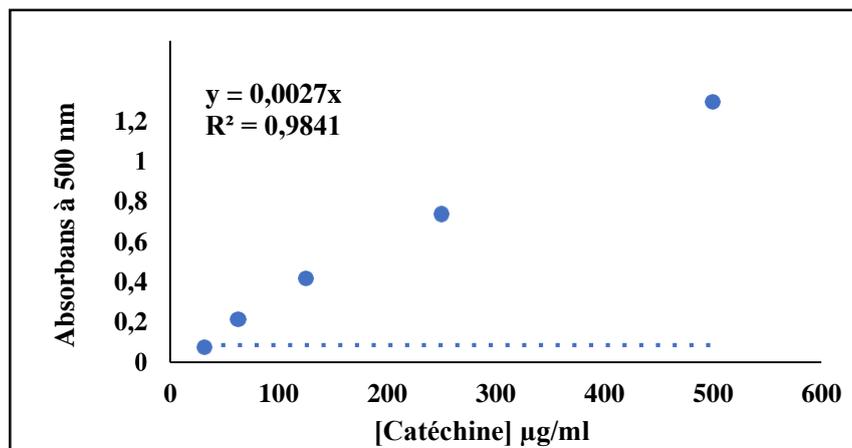


Figure 3. Courbe d'étalonnage pour le dosage des tanins condensés.

ANNEXE I. Suite

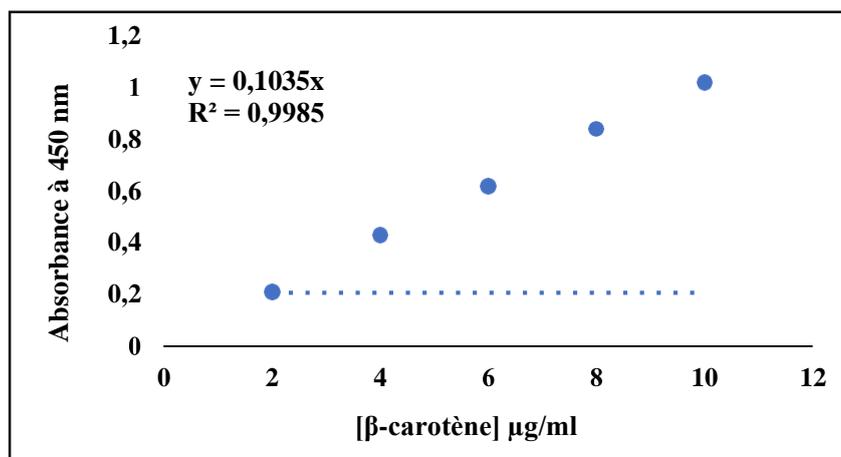


Figure 4. Courbe d'étalonnage pour le dosage des caroténoïdes.

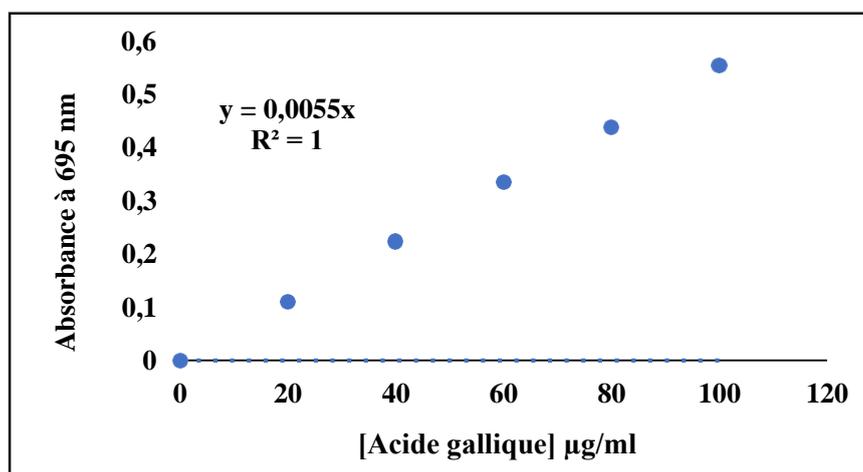


Figure 5. Courbe d'étalonnage de l'activité antioxydante totale.

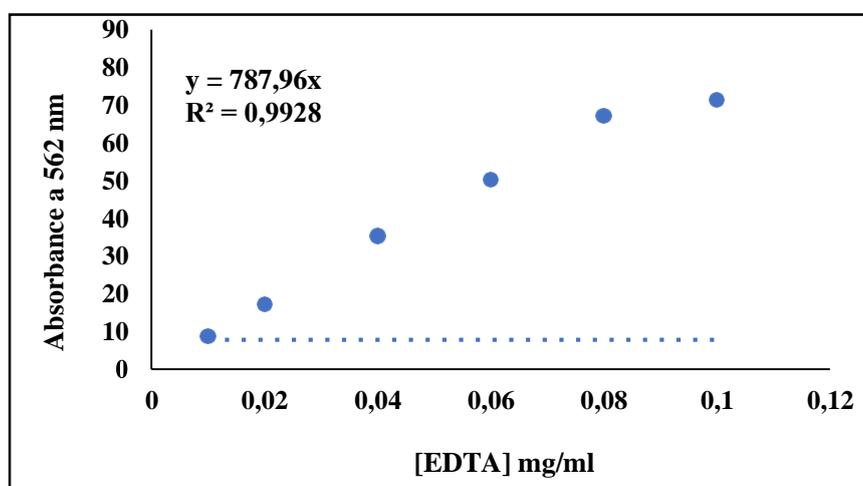


Figure 6. Courbe d'étalonnage pour le pouvoir chélateur.

Résumé

L'objectif de ce présent travail est l'évaluation des caractéristiques physicochimiques, phytochimiques ainsi que l'activité antioxydante du fenouil cultivé, une plante appartenant à la famille des *Apiaceae*, connue par sa large consommation dans la région méditerranéenne.

L'évaluation phytochimique de cette plante a été effectuée par un dosage des polyphénols totaux, des flavonoïdes, des caroténoïdes et des tanins condensés, dont l'extraction a été faite en utilisant l'acétone 70% et l'éthanol 70%. Quant à l'activité antioxydante, elle a été réalisée par quatre tests à savoir : l'activité antioxydante totale, le piégeage du radical DPPH, le pouvoir réducteur de fer et le pouvoir chélateur de fer.

L'analyse physicochimique a révélé un taux d'humidité égale à 9,72 % et un taux de cendre de 14,24 %. La matière grasse a été présentée par un taux très faible de l'ordre de 0,76 %. A l'égard de l'analyse phytochimique, la teneur la plus élevée en polyphénols a été enregistrée dans l'extrait éthanolique avec $36,59 \pm 1,38$ mg EAG/g ES, en flavonoïdes dans l'extrait acétonique avec $9,89 \pm 0,18$ mg EQ /g d'ES et en tanins condensés dans l'extrait acétonique toujours avec $87,83 \pm 1,01$ mg EC/g ES. Les caroténoïdes ont été présentés par une teneur de $3,54 \pm 0,045$ µg/g de poudre.

L'activité antioxydante totale a indiqué une valeur élevée dans l'extrait éthanolique $68,42 \pm 0,28$ mg EAG/g ES. En revanche, l'extrait acétonique a présenté une meilleure capacité réductrice de fer avec $EC_{50} = 21,663 \pm 0,31$ mg/ml et une meilleure capacité de piégeage du radical DPPH avec $IC_{50} = 17,87$ mg/ml. Le pouvoir chélateur est plus élevé dans l'extrait éthanolique $1,49 \pm 0,03$ mg /ml par rapport à l'extrait acétonique.

Mots clés : *Foeniculum vulgare*, polyphénols, activité antioxydante, extrait acétonique, extrait éthanolique.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية النباتية بالإضافة إلى النشاط المضاد للأوكسدة للشمر المزروع، وهو نبات ينتمي إلى عائلة *Apiaceae*، والمعروف باستهلاكه الواسع في منطقة البحر الأبيض المتوسط.

تم إجراء التقييم الكيميائي النباتي لهذا النبات من خلال تحديد إجمالي البوليفينول، الفلافونويد، الكاروتينات والعفص المكثف، الذي تم استخراجه باستخدام الأسيوتون 70 % والإيثانول 70%. أما بالنسبة للنشاط المضاد للأوكسدة، فقد تم تنفيذه من خلال أربع اختبارات وهي: النشاط الكلي المضاد للأوكسدة، ومحاصرة DPPH الراديكالية، قوة إرجاع الحديد وقوة مخلب الحديد.

كشف التحليل الفيزيائي الكيميائي عن محتوى رطوبة بنسبة 9.72 % ومحتوى رماد بنسبة 14.24%. أما محتوى الدهون فقد كان منخفضاً جداً بقيمة 0.76%. فيما يتعلق بالتحليل الكيميائي النباتي، تم تسجيل أعلى محتوى من البوليفينولات في المستخلص الإيثانولي 36.59 ± 1.38 ملغ تكافئ حمض الفالايك/غ من المستخلص الجاف، الفلافونويد في المستخلص الأسيوتوني مع 9.89 ± 0.18 ملغ تكافئ الكورسيتين / غ من المستخلص الجاف والعفص المكثف في مستخلص الأسيوتوني مرة أخرى مع 87.83 ± 1.01 ملغ تكافئ الكاتشين / غ من المستخلص الجاف. كما تم تقديم الكاروتينات بمحتوى 3.54 ± 0.045 ميكروغرام / غرام من المسحوق.

يشير إجمالي نشاط مضادات الأوكسدة إلى قيمة عالية في مستخلص الإيثانول 68.42 ± 0.28 ملغ تكافئ حمض الفالايك/ غ من المستخلص الجاف. من ناحية أخرى، أظهر مستخلص الأسيوتون أفضل قوة إرجاع الحديد مع $EC_{50} = 21.663 \pm 0.31$ ملغ / مل وقدرت أفضل محاصرة لجذر DPPH مع $IC_{50} = 17.87$ ملغ / مل. أعلى قوة في استخراج مخلب سجلت مع المستخلص الإيثانولي بقيمة 1.49 ± 0.03 ملغ / مل مقارنة مع استخراجه بالمستخلص الأسيوتوني.

الكلمات المفتاحية: *Foeniculum vulgare*، البوليفينول، النشاط المضاد للأوكسدة، مستخلص الأسيوتون، مستخلص الإيثانول.

Abstract

The objective of this work is the evaluation of the physicochemical, phytochemical characteristics as well as the antioxidant activity of cultivated fennel, a plant belonging to the family of *Apiaceae*, known by its wide consumption in the Mediterranean region.

The phytochemical evaluation of this plant was carried out by a determination of total polyphenols, flavonoids, carotenoids and condensed tannins, the extraction of which was made using acetone 70% and ethanol 70%. As for the antioxidant activity, it was carried out by four tests namely: the total antioxidant activity, the trapping of the DPPH radical, the ferric reducing power and the chelating power of iron.

Physicochemical analysis revealed a moisture content of 9.72 % and an ash content of 14.24 %. The fat was presented by a very low rate of the order of 0.76 %. With regard to phytochemical analysis, the highest polyphenols content was recorded in ethanolic extract with 36.59 ± 1.38 mg EAG/g dry Extract, flavonoids in acetonic extract with 9.89 ± 0.18 mg EQ /g dry Extract and pro-anthocyanidin in acetonic extract again with 87.83 ± 1.01 mg EC/g dry Extract. The carotenoids were presented with a content of 3.54 ± 0.045 µg/g of powder.

Total antioxidant activity indicated a high value in the ethanolic extract (68.42 ± 0.28 mg EAG/g DE). On the other hand, the acetone extract showed a better ferric reducing capacity $EC_{50} = 21.663 \pm 0.31$ mg/ml and a better trapping capacity of the DPPH radical $IC_{50} = 17.87$ mg/ml. The chelating power is higher in the ethanolic extract 1.49 ± 0.03 mg /ml compared to the acetonic extract.

Key Word : *Foeniculum vulgare*, polyphenols, antioxidant activity, acetone extract, ethanolic extract.