الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جـامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج
Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A.
كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers
قسم علوم التغذية
Département des Sciences Alimentaires

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité : Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

Intitulé

Essai d'élaboration d'un complément alimentaire à base de fenouil et de germandrée pour le bien-être digestif

Soutenu le 12/06/2025

Présenté par :

- **Beghoura Loubna**
- **Bouaissi Aya**

Devant le jury :

Président : Mme Hamma Amel — MCA (Université de Bordj Bou Arreridj)

Encadrant : Mme Benbouguerra Nawel — MCB (Université de Bordj Bou Arreridj)

Examinateur : Mr Touati Noureddine — MCA (Université de Bordj Bou Arreridj)

Année universitaire : 2024 /2025

Remerciements

On dit souvent que le trajet est aussi important que la destination. Les cinq années de notre parcours universitaire nous ont permis de bien comprendre la signification de cette phrase toute simple. Ce parcours, en effet, n'est pas réalisé sans défis et sans de longues heures de travail.

Nous remercions ***ALLAH*** *le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire*

*Nos remerciements vont aux membres de jury :****Monsieur Touati Noureddine et Madame Hamma Amel*** *pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadrante, Madame ***Benbouguerra Nawel****, pour la confiance qu'elle nous a témoignée. Sa précieuse contribution tout au long de la réalisation de ce travail restera gravée dans nos mémoires. Son sens de l'analyse scientifique, sa rigueur, la pertinence de ses suggestions et surtout sa disponibilité nous ont, à de nombreuses reprises, permis de clarifier nos idées.*

Merci de nous avoir soutenus tout au long de ce parcours, parfois semé d'embûches.

Dédicaces

Grâce à l'aide d' ***ALLAH*** *qu'on a achevé ce modeste travail que je dédie*

À mes très chers parents ***(Mohamed et Nabila)****, sans votre affection, vos sacrifices, vos prières et vos efforts que vous avez déployés durant toute ma vie, ce travail n'aurait jamais pu être réalisé. J'espère qu'ALLAH vous accorde une longue vie pleine de santé et de bonheur*

À mon grand-père ***Abdallah***

À mon adorables sœur ***KHaoula*** *et à mes frères bien aimés* ***Youcef et kais***

À tout ma famille

À tous mes amis proches

À mon amie et binôme ***Beghoura Loubna*** *avec qui j'ai partagé tous les moments de stress de fatigue mais, aussi de fous rires, sans toi ce travail n'aurait jamais pu être réalisé ;*

À mes enseignants ;

À ma promotion de ***QPSA 2024/2025*** *;*

À toute personne qui m'a connue ;

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Aya

Dédicaces

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

À mon premier repère, mon exemple de courage, de sagesse et de persévérance, ***mon père.***

*À **ma mère,** ton absence me blesse, mais ton souvenir me pousse à aller plus loin. Que Dieu t'accorde sa paix éternelle.*

*À mon frère **Tarek** et ma sœur **Asma**, votre présence, vos encouragements et votre affection ont été ma source de motivation.*

À mes tantes et mes oncles,

À ceux qui ont été mon pilier après le départ de ma mère,

À ceux qui ont su apaiser ma douleur par leur présence, leur tendresse.

***À** toute ma famille*

***À** tous mes amis proches.*

*À toi, ma chère amie et binôme **Bouaissi Aya**, ton soutien et ta force ont été ma lumière dans cette aventure.*

Merci d'avoir été là à chaque étape, de rendre ce parcours plus facile et plus beau. Je suis fière de ce que nous avons accompli ensemble.

À tous ceux qui ont contribué à ce parcours, que ce soit par un mot de soutien, un sourire ou une aide à chaque étape.

Loubna

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Résumé

Introduction générale **1**

Chapitre I : Recherche bibliographique

I.1. *Teucrium polium* L **3**

I.1.1. Description botanique **3**

I.1.2. Classification taxonomique **3**

I.1.3. Origine et répartition géographique **4**

I.1.4. Composition chimique **4**

I.1.5. Utilisation traditionnel et médicale **5**

I.2. *Foeniculum vulgare* Mill **6**

I.2.1. Description botanique **6**

I.2.2. Origine et répartition géographique **7**

I.2.3. Composition chimique **7**

I.2.4. Usages traditionnels et médicinaux **7**

Chapitre II : Matériel et Méthodes

II.1. Préparation des échantillons **9**

II.1.1. Nettoyage 9

II.1.2. Broyage et tamisage 10

II.2. Analyses Physico-chimiques **10**

II.2.1. Détermination du taux d'humidité 10

II.2.2. Détermination du taux de cendres 10

II.2.3. Détermination des sucres totaux 11

II.3. Extraction et dosage des composés phytochimiques **11**

II.3.1. Extraction des polyphénols 11

II.3.2. Détermination des fibres totales 11

II.4. Préparation des formulations **12**

II.5. Dosage des polyphénols totaux **12**

II.6. Dosage des flavonoïdes **13**

II.7. Dosage des tanins **13**
II.8. Détermination de l'Activité Antioxydante **13**
II.8.1. Test DPPH 13
II.8.2. Pouvoir Réducteur (FRAP) 14
II.9. Traitement statistique des données **14**

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. Analyses physicochimiques **15**
III.1.1. Taux d'humidité 15
III.1.2. Taux de cendres 16
III.1.3. Sucres totaux 16
III.1.4. Taux de fibres 17
III.2. Rendement d'extraction et teneur en composés phytochimiques… **19**
III.2.1. Rendements d'extraction 19
III.2.2. Teneur en polyphénols totaux 20
III.2.3. Teneur en flavonoïdes 21
III.2.4. Teneur en tanins condensés 23
III.3. Activité antioxydante 24
III.3.1. Réduction du radical libre (DPPH) 24
III.3.2. Réduction du fer (FRAP) 25
III.4. Corrélation entre les composés phytochimiques et l'activité antioxydante **26**
III.5. Formulation du complément alimentaire **27**
Conclusion générale et perspectives **28**
Références bibliographiques
Annexes
Résumé

Liste des figures

Figure 01 : Aspect morphologique de Teucrium polium L 3

Figure 02 : Aspect morphologique de Foeniculum vulgare 6

Figure 03 : Résultats des analyses physico-chimique de Teucrium polium (a) et de Foeniculum vulgare (b) 15

Figure 04 : Rendement d'extraction de Foeniculum vulgare et Teucrium polium 19

Figure 05 : Teneur en polyphénols totaux des différentes formulations 20

Figure 06 : Teneur en flavonoïdes des différentes formulations 22

Figure 07 : Teneur en tanins des différentes formulations 23

Figure 08 : Capacité antioxydante des différentes formulations 24

Figure 09 : Pouvoir réducteur des différentes formulations 26

Liste des tableaux

Tableau I : Classification taxonomique de *Teucrium polium* L.....3

Tableau II : Matrice de corrélation entre les composés phytochimiques et l'activité antioxydante.....26

.

Liste des abréviations

ANOVA : Analyse de la Variance

DPPH : 2,2- diphényle-1-picrylhydrazyl.

EAG/: Equivalent acide gallique

EQ : Équivalent quercitrine

ES : Extrait sec

F : Fenouil

FRAP : Ferric reducing antioxydant power

G : Germandrée

IC50 : Concentration inhibitrice à 50%

UV : Ultraviolet

Summary

This study explores the synergistic potential of fennel (*Foeniculum vulgare*) and wall germander (*Teucrium polium*) to develop a functional food supplement exploiting their digestive and antioxidant properties. Hydroethanolic extracts (80%) obtained by maceration yielded 22.9% for fennel and 8.7% for germander. Physicochemical analysis reveals similar moisture and ash contents (approximately 4.87% and 15%), but fennel stands out for its exceptional richness in dietary fiber (43% versus 12.35%) and water-soluble sugars (3.20% versus 1%). At the phytochemical level, pure germander dominates significantly with 733 mg/g of polyphenols, 27.71 mg/g of flavonoids, and 88.88 mg/g of condensed tannins, compared to significantly lower values for fennel (111.61, 9.03, and 38.33 mg/g respectively). DPPH and FRAP antioxidant activity tests confirm the effectiveness of germander, revealing maximum activity in G75% and G100% extracts. This research highlights a promising therapeutic complementarity where fennel provides nutritional and functional intestinal support through its fibers, while germander provides antioxidant protection via its bioactive secondary metabolites.
Keywords: *Foeniculum vulgare*, *Teucrium polium*, extraction, polyphenols, flavonoids, condensed tannins, antioxidant activity

Résumé

Cette étude explore le potentiel synergique du fenouil (*Foeniculum vulgare*) et de la germandrée (*Teucrium polium*) pour développer un complément alimentaire fonctionnel exploitant leurs propriétés digestives et antioxydantes. Les extraits hydro-éthanoliques (80%) obtenus par macération ont donné des rendements de 22,9% pour le fenouil et 8,7% pour la germandrée. L'analyse physico-chimique révèle des taux d'humidité et de cendres similaires (environ 4,87% et 15%), mais le fenouil se distingue par sa richesse exceptionnelle en fibres alimentaires (43% contre 12,35%) et en sucres hydrosolubles (3,20% contre 1 %). Au niveau phytochimique, la germandrée pure domine largement avec 733 mg/g de polyphénols, 27,71 mg/g de flavonoïdes et 88,88 mg/g de tanins condensés, comparativement aux valeurs nettement inférieures du fenouil (111,61, 9,03 et 38,33 mg/g respectivement). Les tests d'activité antioxydante DPPH et FRAP confirment l'efficacité de la germandrée, révélant une activité maximale dans les extraits G75% et G100%. Cette recherche met en évidence une complémentarité thérapeutique prometteuse où le fenouil apporte un soutien nutritionnel et fonctionnel intestinal grâce à ses fibres, tandis que la germandrée fournit une protection antioxydante via ses métabolites secondaires bioactifs.

Mots clés : *Foeniculum vulgare*, *Teucrium polium*, extraction, polyphénols, flavonoïdes, tanins condensés, activité antioxydante.

ملخص

تستكشف هذه الدراسة الإمكانات التآزرية لكل من الشمر والجعدة لتطوير مكمل غذائي وظيفي يستفيد من خصائصهما الهضمية، ومضادات الأكسدة، والخصائص المضادة للالتهابات. أُنتجت مستخلصات كحولية مائية (بنسبة 80%) باستخدام طريقة النقع، حيث بلغت نسبة الاستخلاص 22.9% للشمر و8.7% للجعدة. كشفت التحاليل الفيزيائية والكيميائية عن محتوى متقارب من الرطوبة والرماد (حوالي 4.87% و15% على التوالي)، غير أن الشمر تميز بغناه الاستثنائي بالألياف الغذائية (43% مقابل 12.35%) والسكريات القابلة للذوبان في الماء (3.20% مقابل 1%). أما على المستوى الكيميائي النباتي، فقد تفوقت الجعدة بشكل واضح بمحتواها العالي من البوليفينولات (733 ملغ/غ)، والفلافونويدات (27.71 ملغ/غ)، والعفصات المكثفة (88.88 ملغ/غ)، مقارنة بقيم أقل بكثير لدى الشمر (111.61، 9.03، و38.33 ملغ/غ على التوالي). أكدت اختبارات .G100%و G75% فعالية الجعدة، حيث أظهرت أعلى نشاط في مستخلصي (FRAPو DPPH) النشاط المضاد للأكسدة وتسلط هذه الدراسة الضوء على تكامل علاجي واعد، حيث يوفر الشمر دعماً غذائياً ووظيفياً للأمعاء بفضل أليافه، بينما تؤمن الجعدة حماية مضادة للأكسدة ومضادة للالتهابات من خلال مركباتها الثانوية النشطة بيولوجياً

الكلمات المفتاحية: الاستخلاص، البوليفينولات، الفلافونويدات، النشاط المضاد للأكسدة، الشمر، الجعدة

Introduction générale

Dans un contexte mondial où la prévention de la santé occupe une place de plus en plus centrale **(Pandey et Rizvi, 2009)**, les compléments alimentaires naturels connaissent un essor significatif en tant que solutions alternatives et complémentaires pour soutenir les fonctions physiologiques, notamment celles du système digestif **(Del Rio *et al.*, 2013).**

Les compléments alimentaires naturels se définissent comme des substances d'origine végétale ou naturelle, consommées pour améliorer la santé, prévenir certaines pathologies ou renforcer l'équilibre biologique .

Parallèlement, le stress oxydatif est reconnu comme un facteur clé dans la dégradation progressive de la santé digestive. La surproduction de radicaux libres entraîne des dommages cellulaires, des déséquilibres de la flore intestinale, ainsi qu'une inflammation chronique, aggravant ainsi divers troubles gastro-intestinaux **(Lobo *et al.*, 2010)**.

Face à ce constat, la recherche scientifique s'oriente vers l'exploration de plantes médicinales riches en antioxydants naturels pour atténuer ces effets délétères. Parmi ces plantes, Teucrium polium et Foeniculum vulgare, occupent une place de choix dans la pharmacopée traditionnelle. Utilisées depuis des siècles pour soulager les troubles digestifs, apaiser les spasmes intestinaux et réduire les inflammations, ces deux plantes suscitent aujourd'hui un intérêt très important pour leur potentiel thérapeutique validé par des études modernes, notamment leur capacité à neutraliser les radicaux libres et à améliorer les fonctions digestives **(Bouaziz *et al.*, 2010 ; Rather *et al.*, 2012)**.

Face à une population de plus en plus touchée par des troubles digestifs conséquence du mode de vie moderne, du stress chronique et des déséquilibres alimentaires nous avons envisagé la formulation d'un complément alimentaire innovant, combinant les bienfaits du Teucrium polium et Foeniculum vulgare.

Ce travail repose sur la synergie entre le savoir traditionnel et la validation scientifique, dans l'objectif est de proposer une solution naturelle, efficace et adaptée aux besoins actuels en santé digestive.

Le document est structuré comme suit :

- La première partie présente une recherche bibliographique portant sur *Teucrium polium* et *Foeniculum vulgare.* Cette partie constitue une base théorique qui permet de mieux comprendre les caractéristiques de ces deux plantes.
- La deuxième partie est consacrée à la présentation du matériel et des méthodes employées au cours de cette étude.
- La troisième partie présente et discute les résultats obtenus.

- Enfin, une conclusion générale résume les principaux résultats de ce travail et propose des perspectives pour de futures recherches.

Chapitre I :
Recherche bibliographique

I.1. *Teucrium polium* L.

I.1.1. Description botanique

Le genre *Teucrium* (Lamiaceae, Lamiales), communément appelé germandrée, comprend environ 260 espèces d'angiospermes, principalement des plantes herbacées vivaces ou des sous-arbrisseaux **(Krishnaiah *et al*., 2011)**.

Teucrium polium se caractérise par un port buissonnant et une hauteur modeste, variant de 10 à 35 cm. Son système caulinaire, ligneux à la base, présente des tiges robustes, érigées ou ascendantes, ramifiées et densément pubescentes (poils cotonneux) **(Figure 01)**. La plante émet une odeur aromatique prononcée, typique des espèces de sa famille **(Hammoudi, 2015 ; Dridi, 2018)**.

Sur le plan ethnobotanique, l'espèce est désignée par divers vernaculaires : « jaada » ou « khayata » en arabe, « mountain germander » en anglais, et « pouliot de montagne » en français.

Figure 01 : Aspect morphologique de *Teucrium polium* L

I.1.2. Classification taxonomique

Selon la classification botanique établie par **Quézel et Santa (1963)**, *Teucrium polium* L. est classé selon le tableau suivant :

Tableau I : Classification taxonomique de *Teucrium polium* L

Règne	Plantae
Classe	(Magnoliopsida)
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae
Genre	Teucrium
Espèce	Teucrium polium L.
Nom scientifique	Teucrium polium
Nom vernaculaire (arabe)	خياطة,الجراح,قطابة,جعدة

I.1.3. Origine et répartition géographique

Teucrium polium L. est une espèce originaire des régions arides et semi-arides du sud-ouest asiatique, de l'Europe méridionale et de l'Afrique du Nord. Elle colonise préférentiellement les écosystèmes xériques, notamment les steppes rocailleuses, les pelouses sèches, les versants montagneux de basse altitude et les marges désertiques **(Abdollahi *et al.*, 2003)**.

En Algérie, *T. polium* est une espèce caractéristique de la zone méditerranéo-saharienne, avec une présence marquée dans le Sahara septentrional et le massif du Tassili **(Ozenda, 2004)**. Elle se développe préférentiellement sur des substrats sablo-caillouteux, des affleurements rocheux et dans les lits d'oueds asséchés, reflétant son adaptation aux contraintes hydriques et édaphiques **(Lemoine, 2005)**.

I.1.4. Composition chimique

La composition chimique de *Teucrium polium* a fait l'objet de nombreuses recherches menées dans différents contextes géographiques. Les analyses basées principalement sur la chromatographie en phase gazeuse, ont mis en évidence une richesse notable en métabolites secondaires.

Parmi les composés les plus fréquemment identifiés, on trouve les flavonoïdes et les polyphénols, notamment la lutéoline, l'apigénine, la diosmétine, la cirsimaritine, ainsi que la catéchine et l'épicatéchine, généralement présentes à des concentrations allant de 0,1 à 1,5 % dans les extraits méthanoliques **(Kadifkova Panovska *et al.*, 2005 ; Hasani *et al.*, 2007 ; Bahramikia et Yazdanparast, 2012)**.

Les iridoïdes, tanins et alcaloïdes ont également été détectés par des méthodes colorimétriques ou chromatographiques, bien que leurs teneurs exactes soient rarement quantifiées **(Shakhanbeh et Atrousse, 2000 ; Parsace et Shafiee-Nick, 2006)**.

Les huiles essentielles, quant à elles, sont majoritairement constituées de monoterpènes et de sesquiterpènes, tels que l'α-pinène, le β-pinène (3–28 %), le germacrène D (jusqu'à 15 %), le spathulénol (1–10 %) ou encore le carvacrol (1–8 %) **(Skouti *et al.*, 2012 ; Belmekki *et al.*, 2013)**.

Par ailleurs, *T. polium* se distingue par une grande diversité de diterpénoïdes néoclérodanes, avec plus de 220 structures recensées à ce jour. Certains comme les teupolins VI à XII, poliumoside ou encore teucardoside, sont considérés comme des marqueurs chimiques de l'espèce **(Ramnathan *et al.*, 2005 ; Fiorentino *et al.*, 2011 ; Mahmoudi et Nosratpour, 2013)**.

I.1.5. Utilisation traditionnel et médicale

Teucrium polium (Lamiaceae) est une plante médicinale utilisée dans diverses traditions médicales, notamment en Méditerranée, au Moyen-Orient et en Afrique du Nord. Sa richesse en métabolites bioactifs lui confère un large spectre d'activités pharmacologiques, confirmées par plusieurs études expérimentales et cliniques.

❖ **Applications en médecine traditionnelle**

Dans la médecine populaire, *T. polium* est couramment utilisé pour soulager divers troubles fonctionnels : -

- **Troubles digestifs** : Les infusions des parties aériennes (feuilles, fleurs) sont traditionnellement employées pour soulager les douleurs abdominales, les coliques, les flatulences, la diarrhée et la colite. Elle est aussi utilisée comme vermifuge et dépuratif **(Bendif ,2017)**.
- **Affections hépatiques et biliaires** : Reconnue pour son effet hépatoprotecteur, la plante est utilisée dans le traitement des troubles du foie.
- **Appareil urinaire** : Elle est employée pour dissoudre les calculs rénaux et agir comme diurétique, favorisant l'élimination rénale.
- **Système cardiovasculaire** : En médecine traditionnelle, *T. polium* est utilisé pour réduire la tension artérielle et stimuler la circulation sanguine.
- **Effet tonique et apéritif** : La plante est également consommée comme stimulant général et apéritif, notamment sous forme de tisane pour les enfants **(Bendif, 2018)**.
- **Autres usages populaires** : Elle est appliquée pour le traitement des hémorroïdes (**Özer *et al*., 2018**), des maux de tête, et comme cicatrisant local pour les plaies.

❖ **Activités pharmacologiques démontrées**

Plusieurs propriétés pharmacologiques de *T. polium* ont été validées expérimentalement, en corrélation avec ses usages traditionnels :

- **Effets sur le système cardiovasculaire** : Des études ont démontré ses propriétés inotropes et chronotropes positives, ainsi que ses effets diurétiques, ce qui appuie son usage dans l'insuffisance cardiaque légère **(Niazmand *et al*., 2008)**.
- **Activité anti-inflammatoire et analgésique** : L'extrait méthanolique de *T. polium* montre des effets analgésiques significatifs in vivo, probablement liés à la modulation de médiateurs pro-inflammatoires comme la prostaglandine E2 **(Khoshnood-Mansoorkhani *et al*., 2010 ; Krishnaiah *et al*., 2011)**.
- **Activité antipyrétique et antiulcéreuse** : L'effet antipyrétique a été observé chez de modèles animaux fébriles, tandis que les extraits protègent la muqueuse gastrique contre les

ulcères induits expérimentalement **(Khleifat *et al*., 2001)**.

- **Activité antibactérienne** : Les extraits de la plante présentent une activité contre plusieurs souches bactériennes pathogènes, ce qui confirme ses usages traditionnels dans les infections **(Khoshnood-Mansoorkhani *et al*., 2010)**.
- **Activité antidiabétique** : *T. polium* est largement reconnu pour son potentiel hypoglycémiant. Des études cliniques et expérimentales ont montré qu'une décoction des parties aériennes réduisait significativement la glycémie chez les sujets diabétiques **(Gharaibeh *et al*., 1988 ; Sabet *et al*., 2013)**.
- **Activité anticonvulsivante et neuroprotectrice** : Certains composants de la plante, notamment les flavonoïdes, exercent un effet modulateur sur l'activité neuronale, ce qui justifie son utilisation dans les convulsions légères **(Khoshnood-Mansoorkhani *et al*., 2010)**.

I.2. *Foeniculum vulgare* Mill.

I.2.1. Description botanique

Le fenouil (*Foeniculum vulgare* Mill.) appartient à la famille des Apiaceae un groupe taxonomique comprenant environ 434 genres et près de 3 700 espèces, majoritairement des plantes herbacées aromatiques des zones tempérées **(Lim, 2013)**.

Foeniculum vulgare, plante herbacée, peut atteindre jusqu'à 2,5 mètres de hauteur. Elle se distingue par ses tiges cylindriques et cannelées, ses feuilles très divisées en segments filiformes d'environ 0,5 mm de largeur, et ses inflorescences terminales composées de fleurs jaunes en ombelles. Les fruits, souvent appelés "graines", sont en réalité des diakènes oblongs mesurant entre 4 et 10 mm de longueur **(Piccaglia et Marotti, 2001)**. L'espèce est également connue sous son nom vernaculaire de "besbes" dans certaines régions du Maghreb **(Figure 02)**.
Largement valorisé pour ses composés volatils au parfum anisé, F. vulgare suscite un intérêt en phytothérapie et en agroalimentaire, notamment dans le contexte actuel de substitution des agents synthétiques par des alternatives naturelles **(Abou El-Soud *et al*., 2011)**.

Figure 02 : Aspect morphologique de *Foeniculum vulgare* **(Kaur et Arora, 2010)**

I.2.2. Origine et répartition géographique

Le fenouil est originaire de la région orientale du bassin méditerranéen, notamment des zones côtières de la Grèce et de la Turquie actuelles. Il est aujourd'hui naturalisé et cultivé dans de nombreuses régions tempérées et tropicales à travers le monde, notamment en Europe, en Asie du Sud et de l'Est, ainsi qu'en Afrique du Nord **(Vienna *et al*., 2005 ; Zahid *et al*., 2009 ; Aprotosoaie *et al*., 2010)**.

La plante est largement cultivée en Égypte, en Inde, en Chine, en Australie, ainsi qu'en Europe, notamment en France, en Allemagne, en Hongrie et en Pologne **(Garnéro, 1996 ; Singh *et al*., 2006 ; EFSA, 2009)**. Des populations sauvages ou naturalisées existent également en Iran, au Japon, en Indonésie et au Pakistan.

I.2.3. Composition chimique

F. vulgare est une plante riche en constituants nutritionnels et phytoconstituants. Elle constitue d'environ 6,3 % d'eau, 9,5 % de protéines, 10 % de lipides, 13,4 % de minéraux et fibres, et une teneur en glucides variant de 18,5 à 42,3 % selon les conditions de culture **(Rather *et al*., 2012)**.

Elle contient des macro-éléments essentiels tels que le calcium, le potassium, le sodium, le phosphore, et le fer, ainsi que des vitamines du complexe B (thiamine, riboflavine, niacine) et de la vitamine C. Les fibres alimentaires présentes jouent un rôle important dans la régulation digestive **(Duke, 2002)**.

Les extraits de *F. vulgare* sont également une source notable de métabolites secondaires, notamment des composés phénoliques tels que les flavonoïdes (quercétine, rutine), les acides phénoliques (acide caféique, acide férulique), les coumarines, et les tanins **(Barros *et al*., 2009)**. L'huile essentielle extraite de ses fruits contient principalement l'anéthol, le fenchone et l'estragole, responsables de ses propriétés biologiques et de son arôme caractéristique.

I.2.4. Usages traditionnels et médicinaux

Foeniculum vulgare est utilisé depuis l'Antiquité pour ses nombreuses propriétés thérapeutiques et culinaires. En phytothérapie traditionnelle, il est reconnu pour ses effets carminatifs, galactogènes, digestifs, expectorants et diurétiques (**Rather *et al*., 2012)**,. Il est couramment employé pour soulager les coliques infantiles, les ballonnements, les troubles gastro-intestinaux, ainsi que les infections des voies respiratoires **(Badgujar *et al*., 2014)**.

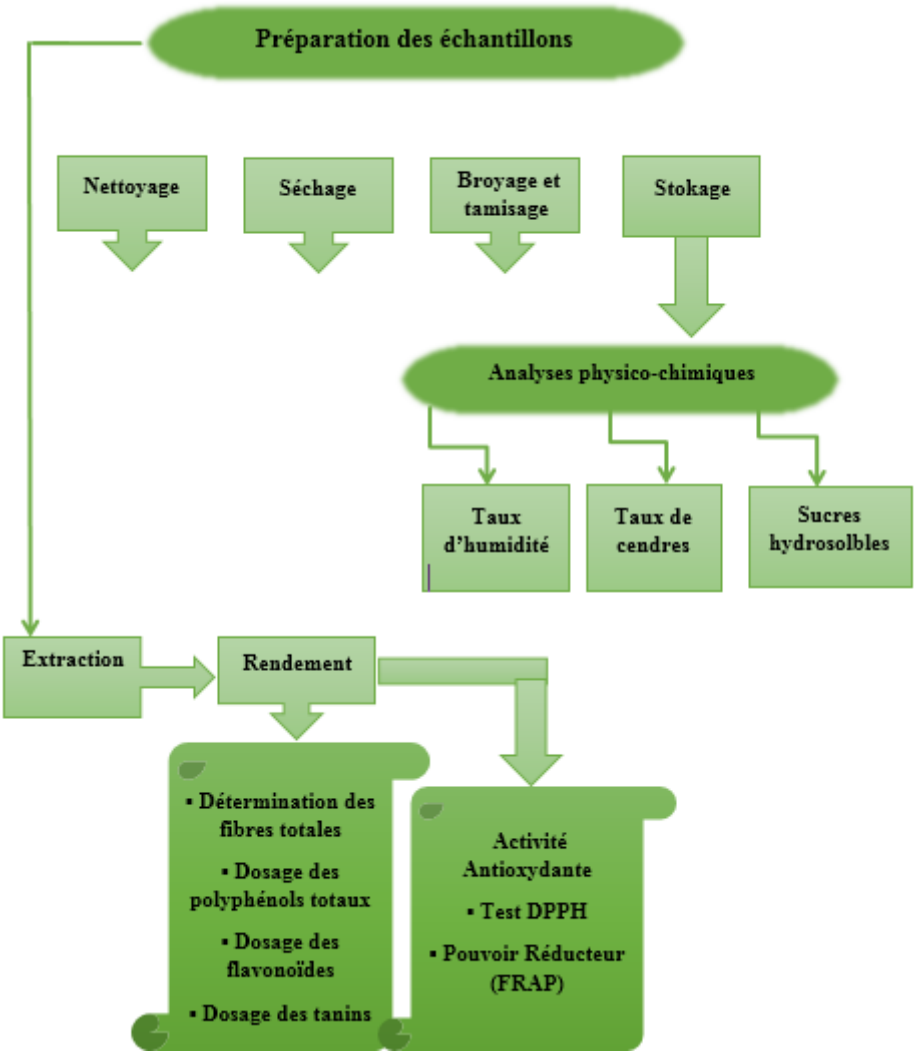
D'un point de vue ethnopharmacologique, *F. vulgare* est utilisé dans le traitement de nombreuses affections telles que les douleurs abdominales, l'anorexie, la constipation, la diarrhée, la conjonctivite, l'arthrite, et certains troubles cutanés. Il est également mentionné pour son potentiel anticancéreux et son activité œstrogénique **(Rahimi et Ardekani, 2013 ; Badgujar *et al*., 2014)**.

Des études pharmacologiques modernes ont mis en évidence ses propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes, antifongiques, cytotoxiques, hépatoprotectrices et antitumorales **(Rather *et al*., 2012; Badgujar *et al*., 2014 ;)**. Ces effets sont en grande partie attribués à la synergie de ses composés phytochimiques.

Chapitre II :
Matériel et Méthodes

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire de biochimie de l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi, la Faculté des Sciences de la Vie et de la Nature et des Sciences de la Terre et de l'Univers. Il s'inscrit dans le cadre d'un essai d'élaboration d'un complément alimentaire à base de fenouil (*Foeniculum vulgare*) et de germandrée (*Teucrium polium L*).

Protocole globale



II.1. Préparation des échantillons

Le matériel végétal utilisé est constitué des parties aériennes de *Teucrium polium L* et *Foeniculum vulgare*. Il a été acheté auprès d'une source commerciale locale située dans la région de Bordj Bou Arreridj.

II.1.1 Nettoyage

Les plantes ont été soumises à un nettoyage minutieux afin d'éliminer les résidus indésirables, suivi d'un rinçage abondant à l'eau du robinet.

II.1.2. Broyage et tamisage

Après séchage à l'abri de la lumière puis à l'étuve (pendant 2 jours à 40 °C), la matière végétale a été broyée à l'aide d'un moulin électrique pour obtenir une poudre fine. La poudre a été tamisée à travers un tamis de 2000 µm. La poudre obtenue a été conditionnée dans des flacons hermétiquement fermés et conservée à l'abri de la lumière.

II.2. Analyses Physico-chimiques

II.2.1. Détermination du taux d'humidité

Le taux d'humidité a été déterminé conformément à la méthode de **l'AOAC (2000)**. Un échantillon de 2 g de poudre a été déposé dans une boîte en verre préalablement tarée. La boîte et son contenu ont été placés dans une étuve Memmert réglée à 105 °C pendant 24 heures. Après refroidissement dans un dessiccateur sous vide contenant du gel de silice, la boite a été pesée. L'expérience a été répétée trois fois. Le taux d'humidité (H%) a été calculé selon la formule suivante :

$$H\% = \frac{(M1 - M2)}{P} \times 100$$

Où :

- M_1: masse de l'échantillon + masse de la boîte avant dessiccation (g)
- M_2: masse de l'échantillon + masse de la boîte après dessiccation (g)
- P: masse de l'échantillon (g)

II.2.2. Détermination du taux de cendres

Le taux de cendres a été déterminé par incinération selon la méthode décrite par **Boussaid *et al*. (2020)**. Une masse de 2 g d'échantillon sec a été introduite dans des creusets préalablement pesés. Les creusets et leur contenu ont été placés dans un four à moufle à 550 °C pendant 6 heures pour éliminer toute matière organique. Après refroidissement, les creusets contenant les cendres ont été pesés. L'expérience a été réalisée en triplicat. Le pourcentage de cendres a été calculé comme suit :

$$Cendres\% = \frac{(M2 - M0) \times}{M1} 100$$

Où :

- M_0: masse du creuset vide (g)
- M_1: masse de l'échantillon (g)
- M_2: masse de l'échantillon incinéré + masse du creuset (g)

II.2.3. Détermination des sucres totaux

La quantification des sucres totaux a été effectuée par la méthode colorimétrique au phénol et à l'acide sulfurique, une technique couramment utilisée pour l'analyse des glucides en solution aqueuse **(Dubois *et al*., 1956)**. Le principe repose sur la formation d'un complexe coloré (jaune à rouge) par réaction des sucres avec le phénol en présence d'acide sulfurique concentré, l'intensité de la coloration étant directement proportionnelle à la concentration en glucides.

Un volume de 500 µl de filtrat a été mélangé à 500 µl de phénol à 5 % et 2,5 ml d'acide sulfurique concentré dans des tubes à essai. Les tubes ont été incubés à 95 °C pendant 5 minutes, puis refroidis à température ambiante. L'absorbance a été mesurée à 490 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis. Une courbe d'étalonnage a été établie avec des concentrations de glucose variant de 0 à 0,2 mg/ml. L'expérience a été réalisée en triplicat

II.3. Extraction et dosage des composés phytochimiques

II.3.1. Extraction des polyphénols

L'extraction a été réalisée par macération, une méthode consistant à immerger un solide dans un liquide froid pour en extraire les composés solubles, suivant un protocole adapté de **Hamia *et al*. (2014)**. Dix grammes de matière végétale séchée (MVS), préalablement nettoyée et broyée, ont été macérés dans 100 ml d'un mélange éthanol/eau (80/20, V/V) sous agitation douce pendant 16 heures à température ambiante. La solution résultante a été filtrée à l'aide d'un papier filtre de 1,25 mm. Le filtrat a été évaporé sous pression à 40 °C à l'aide d'un évaporateur rotatif. La phase aqueuse obtenue a été déposée dans une boîte de Pétri et séchée dans une étuve à 40 °C. La poudre sèche a été conservée au réfrigérateur à 4 °C. Le rendement d'extraction a été calculer selon la formule suivante ;

$$\text{Rendement (\%)} = \frac{\text{Masse de l'extrait(g)}}{\text{Masse de la plante sèche initiale } (g)} \times 100$$

II.3.2. Détermination des fibres totales

Selon l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments **(AFSSA, 2002)**, les fibres alimentaires sont des polymères glucidiques d'origine végétale, pouvant être associés ou non à la lignine ou à d'autres composants non glucidiques tels que les polyphénols, les phytostérols ou encore les saponosides. Leur détermination repose généralement sur la méthode de **Weende (1967)**, qui consiste en une double hydrolyse acido-basique réalisée à chaud. Cette technique permet de solubiliser la quasi-totalité des constituants cellulaires, à l'exception des fibres alimentaires et des éléments minéraux **(Gaouar, 2011)**.

Le résidu végétal (obtenu après filtration et récupération des polyphénols) séché à 105 °C pendant 3 heures a été mélangé à 150 ml d'acide sulfurique à 1,25 % et porté à ébullition pendant 30 minutes. Le résidu a été filtré et lavé trois fois à l'eau distillée chaude. Il a ensuite été traité avec 150 ml d'hydroxyde de potassium à 1,25 % et bouilli à nouveau pendant 30 minutes. Le résidu a été lavé trois fois à l'eau distillée chaude, puis une fois à l'eau distillée froide. Un lavage final a été réalisé trois fois avec 25 ml d'acétone. Le résidu a été séché à 105 °C jusqu'à poids constant. Enfin, le résidu (fibres et minéraux) a été incinéré dans un four à moufle à 550 °C pendant 3 heures. Les cendres obtenues ont été récupéré et conservé au réfrigérateur à 4°C. Le taux de fibres brutes (FB%) a été calculé par la formule suivante **(AOAC, 2000)** :

$$FB(\%) = \frac{P1-P2}{P0} \times 100$$

Où :

- FB (%): taux de fibres brutes (%)
- P1: poids du creuset après étuvage (g)
- P2: poids du creuset après incinération (g)
- P0: prise d'essai (g)

II.4. Préparation des formulations

À la suite des étapes d'extraction des polyphénols totaux et des fibres alimentaires, les extraits secs obtenus pour chaque plante ont été regroupés de manière à représenter 100 % du rendement total par espèce végétale. Ces extraits ont ensuite été utilisés pour la préparation de formulations expérimentales, visant à évaluer l'activité antioxydante individuelle et combinée de la germandrée (*Teucrium polium*) et du fenouil (*Foeniculum vulgare*). Cinq formulations distinctes ont été préparées, la première formulation contient 100 % d'extrait sec de germandrée (*Teucrium polium*) et est désignée G100 %. La deuxième, notée F100 %, est composée exclusivement de 100 % d'extrait sec de fenouil (*Foeniculum vulgare*). Une troisième formulation a été élaborée à proportions égales, avec 50 % de chaque extrait (formulation G50/F50), afin d'évaluer l'interaction entre les deux plantes. Enfin, deux formulations asymétriques ont été mises au point : l'une à prédominance de germandrée (75 % G / 25 % F) et l'autre à prédominance de fenouil (75 % F / 25 % G). Ces mélanges ont été soigneusement homogénéisés.

II.5. Dosage des polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux a été déterminée par le réactif de Folin-Ciocalteu, selon **Lister et Wilson. (2001)**. Le réactif de Folin-Ciocalteu composé d'acide phosphotungstique et

d'acide phosphomolybdique, est réduit en oxydes bleus de tungstène et de molybdène lors de l'oxydation des composés phénoliques, l'intensité de l'absorbance étant proportionnelle à la concentration en polyphénols.

Un volume de 200 µl de chaque extrait a été mélangé à 1 ml de réactif de Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois) et 800 µl d'une solution aqueuse de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 7,5 % (m/V). Après 2 heures d'incubation à température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible. Une courbe d'étalonnage a été réalisée avec des solutions d'acide gallique (0 à 0,3 mg/L). Les résultats ont été exprimés en milligrammes d'équivalents d'acide gallique par gramme d'extrait sec (mg EAG/g ES) **(Dudonné *et al*., 2009)**. L'expérience a été réalisée en triplicat.

II.6. Dosage des flavonoïdes

La quantification des flavonoïdes a été réalisée par une méthode basée sur la formation d'un complexe flavonoïde-aluminium de couleur jaune, avec une absorbance maximale à 430 nm **(Quettier-Deleu *et al*., 2000)**.

Un volume de 1 ml de chaque solution a été mélangé à 1 ml de trichlorure d'aluminium ($AlCl_3$) dans des tubes à essai, agités soigneusement. Après 30 minutes d'incubation à température ambiante et à l'obscurité, l'absorbance a été mesurée par spectrophotométrie UV-Vis à 430 nm. Une courbe d'étalonnage a été établie avec une gamme de concentrations de quercétine (0 à 30 µg/L). La teneur en flavonoïdes a été exprimée en équivalents quercétine (mg EQ/g ES). L'expérience a été répétée trois fois.

II.7. Dosage des tanins

La teneur en proanthocyanidines a été évaluée selon une méthode adaptée de **Oyedemi et Afolayan. (2011)**. 2 ml d'extrait ont été mélangés à 3 ml d'une solution de vanilline (4 % P/V dans le méthanol) et à 1,5 ml d'acide chlorhydrique (37 %). Le mélange a été homogénéisé et incubé à température ambiante pendant 15 minutes. L'absorbance a été mesurée à 500 nm. La quantification a été réalisée à l'aide d'une courbe d'étalonnage préparée avec la catéchine comme standard. Les résultats sont exprimés en mg équivalent acide gallique par gramme d'extrait sec (mg EC/g ES).

II.8. Détermination de l'Activité Antioxydante

II.8.1. Test DPPH

Le DPPH (2,2-diphényle-1-picrylhydrazyl) est un radical stable fréquemment utilisé pour évaluer la capacité antioxydante. Soluble dans les solvants organiques, il présente une bande d'absorption caractéristique à 515 nm **(Pulido *et al*., 2000 ; Boylan *et al*., 2015)**. La présence d'antioxydants dans l'échantillon entraîne une diminution de l'intensité d'absorption après 30

minutes d'incubation **(Chedea et Pop, 2019)**. La réduction du DPPH par un antioxydant se traduit par la disparition de la couleur violette caractéristique du radical libre, laissant place à une couleur jaune pâle due à la formation du composé réduit **(López-Alarcón et Denicola, 2013 ; Chedea et Pop, 2019)**.

Un volume de 500 µL de chaque extrait a été mélangé avec 1,95 ml de solution de DPPH (absorbance de 0,68 ± 0,03 à 515 nm). Le mélange a été agité vigoureusement et incubé pendant 30 minutes à température ambiante. L'absorbance a été mesurée par spectrophotométrie UV-Vis à 515 nm **(Popovici *et al*., 2009)**. Une courbe d'étalonnage a été établie avec des concentrations d'acide ascorbique (0 - 20 µg/ml). La capacité antioxydante a été exprimée en équivalents acide ascorbique (mg EAA/g d'extrait sec). L'expérience a été répétée trois fois.

II.8.2. Pouvoir Réducteur (FRAP)

La détermination du pouvoir réducteur, basée sur la méthode de **Gülçin *et al*. (2003)**, repose sur la réduction du complexe ferricyanure-fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}) en présence d'antioxydants. Cette réaction se manifeste par la formation d'une coloration bleu-verdâtre, dont l'intensité est proportionnelle au pouvoir réducteur de l'extrait.

Un volume de 2,5 ml d'extrait a été mélangé avec 2,5 ml de tampon phosphate (0,2 M, pH 6,6) et 2,5 ml de ferricyanure de potassium (1 %). Le mélange a été incubé à 50 °C pendant 20 minutes. Après incubation, 2,5 ml d'acide trichloroacétique (10 %), 1 ml d'eau distillée et 0,5 ml de chlorure ferrique (0,1 %) ont été ajoutés. L'absorbance du mélange a été mesurée à 700 nm après 10 minutes d'incubation. Les résultats ont été exprimés en mg d'équivalent acide gallique par gramme d'extrait sec (mg EAG/g ES).

II.9. Traitement statistique des données

Les essais ont été répétés trois fois et les résultats ont été exprimés par la moyenne ± l'ecartype. Une analyse de variance (ANOVA) sur toutes les données a été effectué utilisant le logiciel XLSTAT, un test de Tukey a été utilisé où $p < 0,05$ a été considéré comme significatif. En outre, une analyse de corrélation a été menée avec le même logiciel afin d'examiner les relations entre les variables mesurées.

Chapitre III :
Résultats et discussion

III.1. Analyses physicochimiques

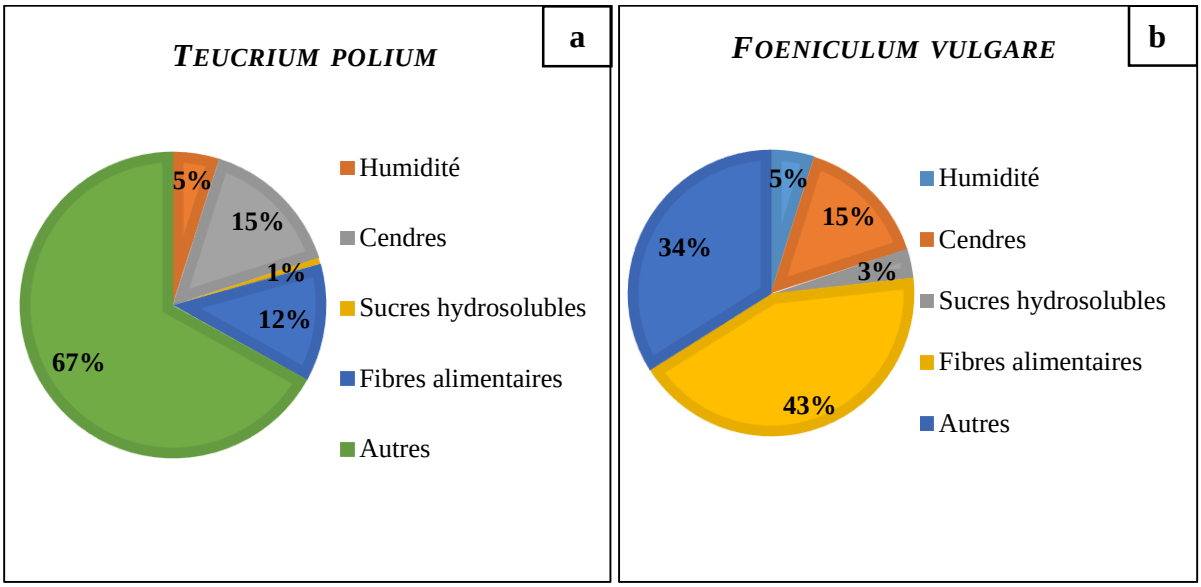


Figure 03 : Résultats des analyses physico-chimique de ***Teucrium polium*** (a) et de ***Foeniculum vulgare*** (b)

III.1.1. Taux d'humidité

L'humidité constitue un paramètre fondamental dans l'évaluation de la qualité physico-chimique des matières végétales, car elle influence directement leur stabilité, leur conservation et leur aptitude à l'extraction des composés bioactifs. Une teneur en eau élevée peut favoriser l'activation d'enzymes endogènes, la croissance microbienne et la dégradation des principes actifs, tandis qu'un faible taux d'humidité contribue généralement à une meilleure conservation des extraits secs **(Azwanida, 2015)**.

❖ ***Teucrium polium***

Dans la présente étude, l'analyse physicochimique de *Teucrium polium* a révélé une teneur en humidité de 4,87 ± 1,57 % **(Figure 03)**. Par comparaison, **Fettah, (2019)** a rapporté une humidité plus élevée, de l'ordre de 8,5 %, ce qui suggère que l'échantillon étudié ici présente une meilleure stabilité physicochimique. Une faible humidité constitue un critère de qualité essentiel pour la conservation des extraits végétaux, en particulier lorsqu'ils sont destinés à des applications thérapeutiques ou industrielles.

❖ **Foeniculum vulgare**

L'analyse physicochimique de la poudre de *Foeniculum vulgare* utilisée dans la présente étude a révélé un taux d'humidité de 5 ± 1,54 % **(Figure 03)**. Cette faible teneur en eau indique le bon séchage de l'échantillon, ce qui est conforme aux normes de qualité établis par l'AOAC pour les produits végétaux secs. Les résultats obtenus sont inférieurs à ceux rapportés dans la

littérature, notamment par **Charifi et Nahdi. (2020)**, qui ont observé un taux de 6,5 % dans les graines de fenouil, ainsi que par **Bencheikh et Mohamadi. (2021)**, qui ont enregistré une humidité de 9,71 **%** dans la plante entière. Une teneur en humidité inférieure à 10 % est généralement considérée comme un critère favorable à la stabilité et à la conservation des substances végétales, en limitant les risques d'hydrolyse enzymatique et de prolifération microbienne.

III.1.2. Taux de cendres

La teneur en cendres est un indicateur clé de la richesse minérale et peut influencer les propriétés pharmacologiques et nutritionnelles des plantes. Elle est généralement déterminée par incinération à haute température (600-800 °C) jusqu'à obtention d'une cendre blanche de poids constant, conformément aux méthodes normalisées **(AOAC, 2000)**.

❖ **Teucrium polium**

La *Teucrium polium* sèche présente un taux de cendres de 15 ± 6,72 % **(Figure 03)**. Ce taux est supérieur à celui rapporté par **Fettah. (2019)**, qui était de 12,4 %. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que l'échantillon étudié provient d'un sol particulièrement riche en éléments minéraux, ce qui se reflète dans la composition minérale de la plante. Par ailleurs, des résultats comparables ont été rapportés par **Hussain *et al*. (2013)**, qui ont trouvé un taux de cendres de 15,60 ± 0,42 %.

❖ **Foeniculum vulgare**

Concernant le *Foeniculum vulgare*, la détermination du taux de cendres a révélé une teneur de 15 ± 1,33 % **(Figure 03)**. Elle est proche de la valeur de 12,97 % rapportée par **Bukhari *et al*. (2014)** pour des graines de fenouil cultivées au Pakistan, bien que l'écart d'environ 2 % puisse être attribué à des différences dans la nature des sols, les conditions climatiques, ou la provenance des matières premières. De plus, une autre étude a rapporté une teneur en cendres pour le fenouil sauvage autour 6 %, ce qui confirme la variabilité naturelle de ce paramètre selon les origines et les méthodes de préparation des échantillons **(Lazouni *et al*., 2006)**.

III.1.3. Sucres totaux

❖ ***Teucrium polium***

Dans la présente étude, la teneur en sucres totaux de l'échantillon de *Teucrium polium* a été estimée à **1,00 ± 0,01 %**, indiquant une faible concentration en composés glucidiques solubles. Ce résultat est sensiblement inférieur à celui rapporté par **Gharib *et al*, (2022)**, qui ont quantifié une teneur en oses totaux de 6,59 % et en oses neutres de 4,19 % dans l'extrait brute de la même espèce.

De manière générale, la littérature ne fournit que peu de données précises sur la teneur en sucres de *Teucrium polium*. Toutefois, ses propriétés hypoglycémiantes bien documentées suggèrent naturellement une faible teneur en sucres, ce qui soutient son potentiel dans la prise en charge du diabète **(Asghari *et al*., 2020)**. En effet, plusieurs travaux ont mis en évidence une activité anti-hyperglycémique significative de ses extraits, mettant en lumière sa capacité à réguler la glycémie **(Benchikha *et al*., 2022)**.

Selon **Asghari *et al*. (2020)**, l'administration de *Teucrium polium* exerce ses effets antidiabétiques à travers divers mécanismes physiopathologiques, notamment par la stimulation de la sécrétion et de la concentration plasmatique d'insuline, la réduction du stress oxydatif, la régénération des cellules β pancréatiques, ainsi que l'amélioration de la captation du glucose dans les tissus musculaires via l'augmentation de la translocation du transporteur GLUT-4. De plus, une inhibition de l'activité enzymatique de l'α-amylase a également été rapportée.

❖ ***Foeniculum vulgare***

En ce qui concerne *Foeniculum vulgare*, notre analyse a révélé une teneur en sucres totaux de 3,20 ± 0,06 %. Cette valeur demeure supérieure à celles précédemment rapportées dans la littérature. En effet, **Bellazereg *et al*. (2015)** ont enregistré une teneur de 16,80 g/100 g ± 0,2, tandis que **Barros *et al*. (2009)** et **Singh *et al*. (2006)** ont respectivement rapporté des teneurs de 18,44 g/100 g ± 0,06 et 19,39 g/100 g ± 0,65. Cette variation peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment les conditions climatiques, le stade de développement végétatif, la partie de la plante utilisée, ainsi que les méthodes d'extraction et d'analyse employées.

III.1.4. Taux de fibres

Les fibres alimentaires sont définies comme des polymères glucidiques d'origine végétale, associés ou non à d'autres constituants non glucidiques tels que la lignine, les polyphénols, les cires, les saponosides ou les phytostérols **(AFSSA, 2002)**. Elles exercent divers effets bénéfiques sur la santé humaine, notamment par la réduction du cholestérol total et du taux de lipoprotéines de basse densité (LDL), ainsi que par la diminution de la glycémie et de l'insulinémie postprandiale **(Bruneton, 1999)**. Par ailleurs, les fibres alimentaires jouent un rôle fondamental dans le maintien d'un transit intestinal régulier, la prévention de la constipation, et la modulation positive du microbiote intestinal **(FAO/WHO, 2003)**.

❖ ***Teucrium polium***

Dans notre étude, la teneur en fibres brutes de *Teucrium polium* a été quantifiée à 12,35 ± 0,01 %, une valeur relativement modérée par rapport à celle rapportée par **Hamoudi. (2015)**,

qui a mesuré une teneur de 28,63 ± 0,78 %. La littérature reste limitée en ce qui concerne les données précises sur les fibres alimentaires de cette espèce. Cependant, certaines études ont rapporté la présence de mucilages dans les parties aériennes de la plante, des polysaccharides totaux considérés comme des fibres solubles ayant des effets bénéfiques sur la régulation de la glycémie, la réduction du cholestérol plasmatique et l'amélioration de l'absorption intestinale **(Sharifi-Rad *et al*., 2022)**.

Outre les mucilages, *Teucrium polium* contient divers métabolites secondaires tels que les flavonoïdes, les tanins, les saponines et les alcaloïdes, qui contribuent à ses propriétés physiologiques et fonctionnelles **(Benmehdi *et al*., 2013)**. La variabilité de la teneur en fibres peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment la zone géographique de culture, le stade de développement, la partie végétale utilisée, ainsi que les méthodes d'extraction et d'analyse employées. À ce jour, peu d'études ont utilisé des protocoles analytiques standardisés tels que ceux recommandés par l'Association of Official Analytical Chemists (AOAC), soulignant ainsi la nécessité d'analyses complémentaires pour une meilleure caractérisation des fractions fibreuses de cette plante.

❖ ***Foeniculum vulgare***

Concernant *Foeniculum vulgare*, les résultats obtenus dans la présente étude indiquent une teneur en fibres de 43 %, ce qui représente une valeur particulièrement élevée. Cette teneur dépasse largement celles rapportées dans la littérature, notamment par **Middleton *et al*. (2000)**, **Ibrahim et El-Khateeb. (2013)**, **Rather *et al*. (2012)**, **Lazouni *et al*. (2006)** et **Bellazreg *et al*. (2015)**, qui ont respectivement observé des teneurs de 27,50 %, 26,5 %, 18,5 %, 40 % et 12,20 %.

La richesse en fibres observée dans *T. polium* et *F. vulgare* constitue un avantage nutritionnel majeur, notamment dans le cadre d'une utilisation fonctionnelle visant à favoriser le transit intestinal, améliorer la consistance des selles, et soutenir une activité prébiotique bénéfique pour le microbiote intestinal **(Kouamé *et al*., 2015)**.

III.2. Rendement d'extraction et teneur en composés phytochimiques

III.2.1. Rendements d'extraction

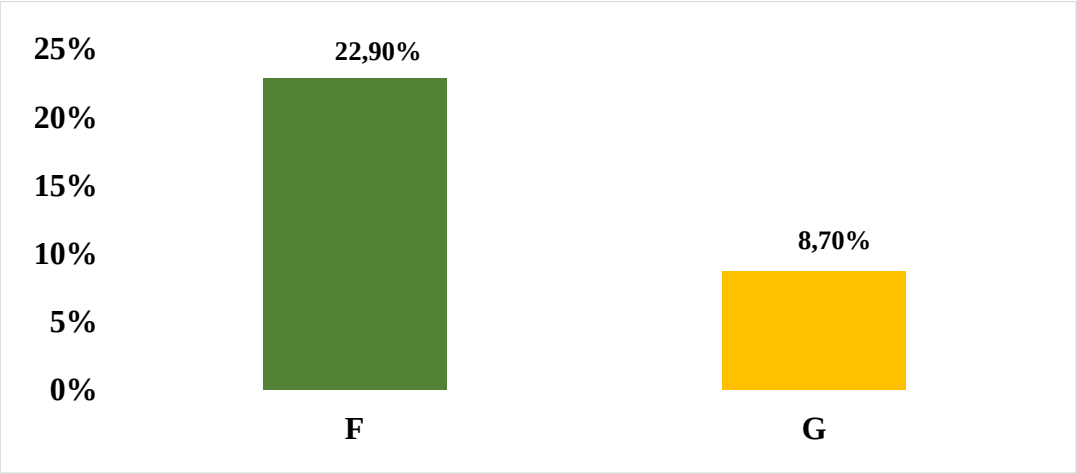


Figure 04 : Rendement d'extraction de *Foeniculum vulgare et Teucrium polium*

Dans la présente étude, le rendement d'extraction éthanolique de *Teucrium polium* a été évalué à 8,70 ± 0,21 % **(Figure 04)**. Ce rendement s'avère supérieur à celui rapporté par **Chibani *et al*. (2022)**, qui ont obtenu 6,37 **%** pour un extrait éthanolique à 100 %, mais reste inférieur au rendement de 18,7 % rapporté par **Belmekki. (2009)** avec un extrait méthanolique. Cette différence peut être attribuée à la nature du solvant utilisé. En effet, le méthanol, étant plus polaire que l'éthanol, permet généralement une extraction plus étendue de composés polaires. Toutefois, l'éthanol est souvent privilégié pour l'extraction des composés phénoliques en raison de ses avantages : il est moins toxique, plus économique et conforme aux normes de sécurité alimentaire **(Taleb-Boudraa, 2016; Guettouche et Issaad, 2020)**. Ces caractéristiques en font un solvant de choix pour la préparation d'extraits destinés à des applications pharmaceutiques ou nutraceutiques.

Par ailleurs, l'ajout d'eau aux solvants organiques peut améliorer l'extraction des polyphénols en modulant leur polarité, ce qui augmente la solubilité des composés phénoliques **(Sripad *et al*., 1982 ; Atik et Mohammedi, 2011)**.

En ce qui concerne *Foeniculum vulgare*, le rendement d'extraction à l'éthanol à 80 % a atteint 22,90 ± 0,36 % **(Figure 04)**. Ce résultat est comparable à celui obtenu par **Bouaici et Haddad. (2021)**, qui ont rapporté un rendement de 24,55 ± 0,06 % dans des conditions similaires (5 g de matière végétale pour 150 ml de solvant). Cette performance confirme l'efficacité de l'éthanol comme solvant extracteur du fenouil. Néanmoins, un rendement plus élevé (39,36 ± 1,18 %) a été observé avec un extrait acétonique dans les mêmes conditions

(Bencheikh et Mohamadi, 2021), ce qui suggère une meilleure affinité de l'acétone pour certains constituants du fenouil. Il convient de souligner que le rendement d'extraction est influencé par de nombreux paramètres, notamment la nature du solvant, la polarité, la technique d'extraction, la saison de récolte, la partie végétale utilisée et les conditions expérimentales **(Henanou et Zaghez, 2019)**.

III.2.2. Teneur en polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux des différents extraits issus de l'incorporation de *Teucrium polium* et *Foeniculum vulgare* est illustrée dans la **figure 05**. Ces teneurs varient de 111,61 ± 16,30 mg EAG/g ES pour l'extrait F100% (*Foeniculum vulgare* à 100 %) à 706,18 ± 31,62 mg EAG/g ES pour l'extrait G100% (*Teucrium polium* à 100 %). Cette variation met en évidence la richesse significative en composés phénoliques de *T. polium* par rapport au *Foeniculum vulgare*, confirmant son potentiel antioxydant.

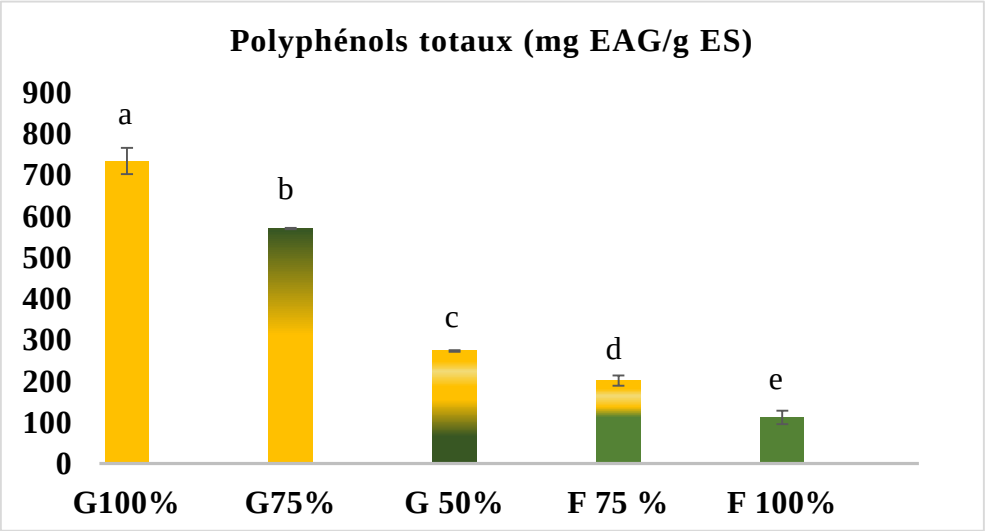


Figure 05 : Teneur en polyphénols totaux des différentes formulations

L'évaluation quantitative des composés phénoliques a révélé que l'extrait sec de *Teucrium polium* (G100 %) présente la teneur la plus élevée en polyphénols, atteignant 733,15 ± 31,62 mg EAG/g ES, traduisant une richesse notable en composés antioxydants. En comparaison, l'extrait sec de *Foeniculum vulgare* (F100 %) affiche la teneur la plus faible avec 111,61 ± 16,30 mg EAG/g ES. Les extraits mixtes présentent des teneurs intermédiaires, proportionnelles à la quantité de *T. polium* incorporée. Ainsi, l'extrait 75G% montre une concentration élevée en polyphénols (569,43 ± 1,75 mg EAG/g ES), proche de celle de G100%

confirmant la prédominance des composés phénoliques dans *T. polium*. À l'inverse, l'extrait 75F% présente une teneur plus réduite (201,01 ± 12,28 mg EAG/g ES), tandis que l'extrait 50% enregistre une valeur modérée (272,94 ± 1,75 mg EAG/g ES).

La teneur en polyphénols totaux obtenue pour *Teucrium polium* dans notre étude est largement supérieure à celles rapportées dans la littérature. Par exemple, **Dridi. (2018)** et **Milan *et al*. (2012)** ont respectivement rapporté des valeurs de 200,26 ± 2,08 mg EAG/g ES, et 233,68 ± 0,18 mg EAG/g ES. Cette variabilité peut être attribuée à plusieurs facteurs, tels que les conditions de culture, la partie végétale utilisée, la méthode d'extraction, ou encore la période de récolte.

Concernant *Foeniculum vulgare*, la teneur observée dans notre étude est inférieure à celle rapportée par **Rahali. (2014)**, qui a mesuré une concentration de 418 ± 24,04 mg/g dans les graines. Toutefois, notre résultat demeure supérieur à ceux de **Chatterjee *et al*. (2012)** (42,5 mg EAG/g) et **Bencheikh et Mohamadi. (2021)** (36,59 ± 1,37 mg EAG/g), indiquant une variabilité importante selon l'origine botanique ou la technique d'extraction utilisée.

Cette variabilité dans la teneur en composés phénoliques est influencée par divers facteurs extrinsèques (conditions climatiques et géographiques), intrinsèques (génétique de la plante), mais aussi par le stade de maturité, la partie de la plante analysée et la durée de stockage **(Aganga et Mosase, 2001 ; Pedneault *et al*., 2001 ; Fiorucci, 2006)**.

La richesse en polyphénols des plantes médicinales, notamment *T. polium*, est d'un intérêt particulier en raison de leur rôle majeur dans l'activité antioxydante. Ces composés peuvent également interagir avec les enzymes digestives, modulant leur activité et influençant ainsi la biodisponibilité des nutriments. Par ailleurs, les polyphénols non absorbés dans l'intestin grêle atteignent le côlon, où ils sont métabolisés par le microbiote intestinal en métabolites bioactifs, contribuant à l'équilibre de la flore intestinale et à la santé digestive **(Cardona *et al*., 2013)**.

III.2.3. Teneur en flavonoïdes

Les teneurs en flavonoïdes des différentes incorporations sont présentées dans la **figure 06**

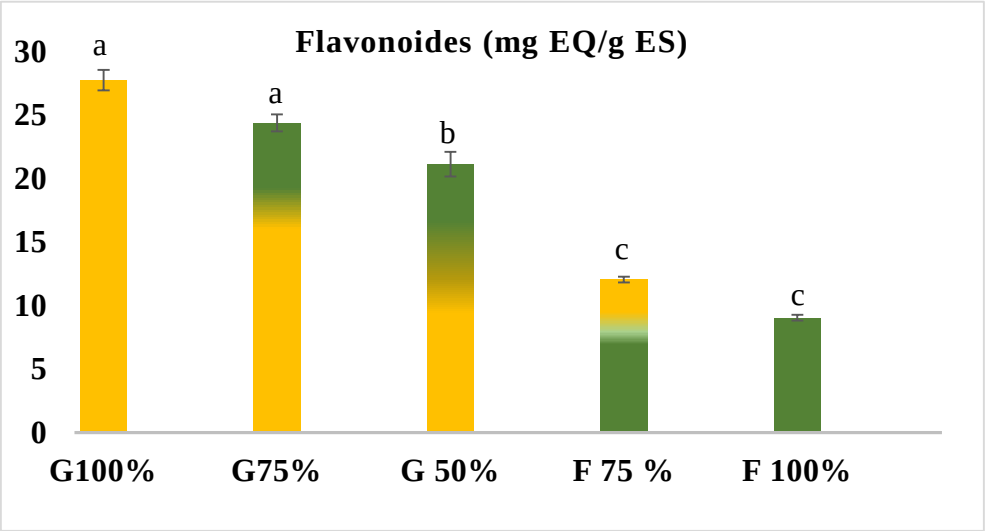


Figure 06 : Teneur en flavonoïdes des différentes formulations

Dans la présente étude, la teneur en flavonoïdes totaux de *Teucrium polium* a été estimée à 27,71 ± 0,80 mg équivalent quercétine par gramme de matière sèche (mg EQ/g ES), indiquant une concentration relativement élevée en flavonoïdes. Cette valeur demeure toutefois inférieure à celle rapportée par **Maadi. (2019)**, qui a enregistré une teneur significativement plus élevée de 129,81 ± 18,12 mg EQ/g. À titre comparatif, **Merdji et Zemmit. (2020)** ont obtenu une valeur légèrement supérieure (29,75 ± 1,09 mg EQ/g).

Concernant *Foeniculum vulgare*, la teneur en flavonoïdes mesurée dans notre étude est de 9,03 ± 0,22 mg EQ/g ES. Ce résultat est cohérent avec celui de **Bencheikh et Mohamadi. (2021)**, qui ont rapporté une valeur de 9,89 ± 0,18 mg EQ/g dans un extrait acétonique. Il dépasse celui observé par **Kissoum et Khalfaoui. (2015)** dans un extrait butanolique (7,53 mg EQ/g), mais reste inférieur à la teneur de 11,89 ± 3,15 mg EQ/g obtenue par **Bouaïci et Haddad. (2021)** pour le fenouil sauvage.

Les variations observées dans les teneurs en flavonoïdes entre les différentes études peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, notamment l'espèce ou l'écotype de la plante, la nature et la polarité du solvant utilisé, la méthode d'extraction appliquée, ainsi que les conditions climatiques et le stade de développement des végétaux (**Falleh *et al.*, 2021**).

De manière générale, les concentrations en flavonoïdes obtenues dans cette étude sont significatives et reflètent un potentiel antioxydant notable. En effet, ces composés jouent un rôle fondamental dans la neutralisation des radicaux libres impliqués dans le stress oxydatif. Outre leur activité antioxydante, les flavonoïdes exercent également des effets bénéfiques sur la santé digestive : ils possèdent des propriétés anti-inflammatoires au niveau de la muqueuse gastro-intestinale, stimulent la sécrétion biliaire et facilitent ainsi le processus de digestion, **(Panche *et al*., 2016)**.

III.2.4. Teneur en tanins condensés

Les résultats illustrés dans la **figure 07**, indiquent que les teneurs en tanins varient de 170,83 ± mg EAG/g ES pour l'incorporation 75%F à 88,88mg EAG/g ES pour 100%G.

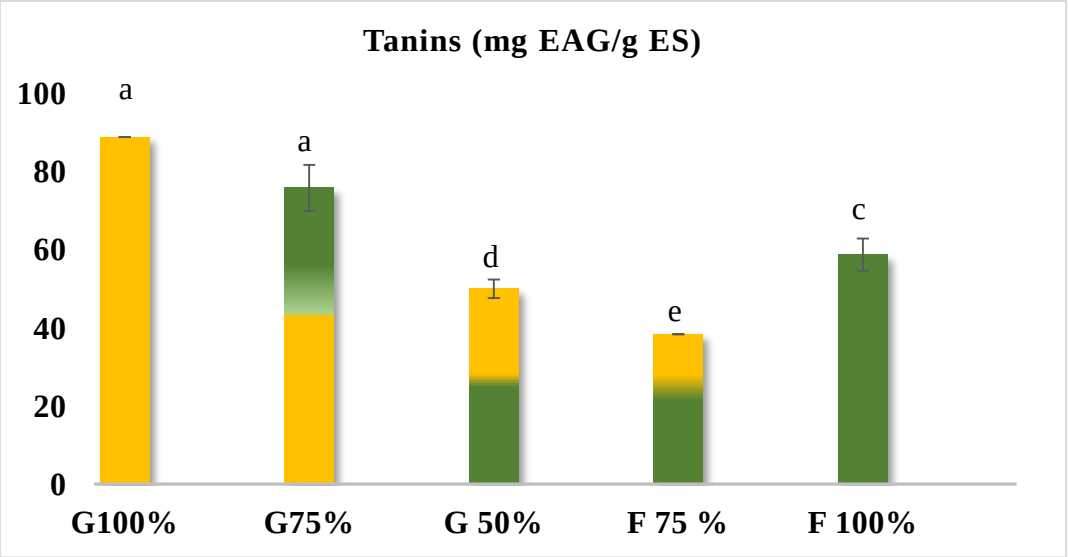


Figure 07 : Teneur en tanins des différentes formulations

Dans la présente étude, la teneur en tanins condensés de l'extrait éthanolique de *Teucrium polium* a été estimée à 88,88 mg équivalent acide gallique par gramme de matière sèche (mg EAG/g ES), représentant la concentration la plus élevée comparativement aux données antérieures. En effet, **Dridi. (2019)** et **Khaled-Khodja. (2014)**, ayant tous deux utilisé des extraits méthanoliques et la méthode de Folin-Denis **(Polshettiwar *et al*., 2007)**, ont rapporté des teneurs inférieures de 62,23 ± 0,74 mg EAG/g ES et 21,19 mg EAG/g ES, respectivement. Ces divergences peuvent être attribuées à divers facteurs, notamment la méthode de dosage, la nature du solvant, la partie de la plante analysée, les conditions environnementales, ainsi que les paramètres opératoires appliqués lors de l'extraction (**Farahmandfar *et al*., 2018)**.

En ce qui concerne *Foeniculum vulgare*, la teneur en tanins condensés mesurée dans l'extrait éthanolique est de 38,33 mg équivalent catéchine par gramme (mg EC/g), une valeur notablement supérieure à celle obtenue par **Bencheikh et Mohamadi. (2021)** dans un extrait éthanolique (11,87 ± 1,54 mg EC/g), mais inférieure à leur extrait acétonique, qui a révélé une concentration significative de 87,83 ± 1,01 mg EC/g. De même, **Bouaïci et Haddad. (2021)** ont observé une teneur plus faible (11,89 ± 3,15 mg EQ/g) dans l'extrait éthanolique de fenouil sauvage, tandis que **Rahali. (2014)** a rapporté une concentration plus élevée de 111 ± 8,18 mg EQ/g dans les graines.

Les tanins condensés présents dans les extraits de *T. polium* et de *F. vulgare* sont reconnus pour leurs multiples effets bénéfiques sur la santé digestive. Leur propriété astringente leur confère la capacité de réduire les sécrétions intestinales et de protéger la muqueuse gastro-intestinale en formant une couche protectrice qui limite l'absorption des toxines et ralentit le transit intestinal, leur attribuant ainsi une activité antidiarrhéique bien documentée. En outre, leur potentiel antimicrobien permet d'inhiber la prolifération de certaines bactéries pathogènes, contribuant à un meilleur équilibre du microbiote intestinal. Par ailleurs, les tanins condensés possèdent une puissante activité antioxydante, agissant comme piégeurs de radicaux libres et protégeant les cellules contre les dommages induits par le stress oxydatif. Ces propriétés ont été largement rapportées dans la littérature scientifique **(Scalbert, 1991 ; Haslam, 1996 ; Okuda *et al*., 2005)**.

III.3. Activité antioxydante

III.3.1. Réduction du radical libre (DPPH)

Les résultats de la réduction du radical libre DPPH sont illustrés dans **la figure 08**. Les valeurs de la capacité antioxydante diffèrent significativement d`une incorporation à l`autre de 11,06± 0,25 à 17,25±0,2 mg EAA/g ES

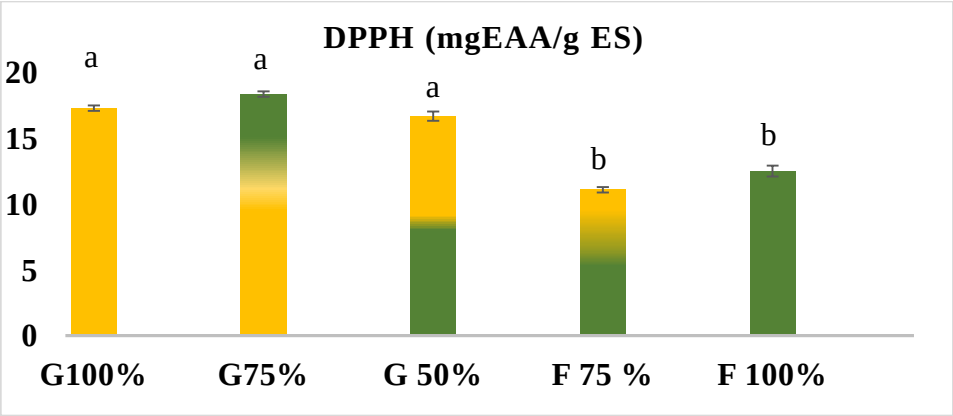


Figure 08 : Capacité antioxydante des différentes formulations

Les résultats obtenus montrent que les formulations G100%, G75% et G50% présente l'activité antioxydante la plus élevée, avec des différences non significatives entres les teneurs. À l'inverse, les formulations issues de *Foeniculum vulgare* ont présenté des activités antioxydantes significativement plus faibles, avec 12,49 ± 0,41 mg EAA/g ES pour F100% et 11,06 ± 0,20 mg EAA/g ES pour F75%.

Ces données suggèrent que *Teucrium polium* possède un potentiel antioxydant plus important que *F. vulgare*, ce qui est en accord avec la littérature. La plupart des résultats sont exprimés en IC50, par exemple, **Maadi. (2019)** a rapporté un IC_{50} de 4,84 ± 0,09 µg/ml pour l'extrait méthanolique de *T. polium*, tandis que **Sharififar *et al.* (2009)** ont obtenu une valeur de 20,1 ± 1,7 µg/ml, et **Hamoudi. (2015)** a rapporté un IC_{50} de 1,90 ± 0,22 mg/ml pour le même type d'extrait.

Concernant *Foeniculum vulgare*, les extraits analysés dans cette étude confirment l'effet antioxydant de cette plante déjà rapportée par **Bencheikh et Mohamadi. (2021)**, qui ont obtenu une valeur d'IC_{50} de 36,61 ± 0,74 mg/ml. D'autres travaux, comme celui de **Bouaïci et Haddad. (2021)**, ont indiqué une activité antioxydante avec un IC_{50} de 6,49 mg/ml. Par ailleurs, **Sayah *et al*. (2020)** ont rapporté un IC_{50} de 12,16 ± 0,02 µg/ml pour un extrait aqueux, une valeur similaire à celle obtenue par **Mata *et al*. (2007)**, soit 12 µg/ml. Enfin, **Conforti *et al*. (2006)** ont observé une activité antioxydante modérée, avec un IC_{50} de 31 µg/ml pour l'extrait aqueux et de 48 µg/ml pour l'extrait éthanolique.

L'activité antioxydante accrue observée dans l'extrait G75% pourrait refléter un effet synergique entre les composés phénoliques des deux plantes, en particulier lorsque *T. polium* est majoritaire dans le mélange. Cette synergie renforce leur activité antioxydante globale, augmentant ainsi leur capacité à neutraliser les radicaux libres **Rice-Evans *et al*. (1997)**.

Ces résultats mettent en évidence l'intérêt de formuler des extraits combinés à base de *T. polium* et *F. vulgare* en tant que source naturelle d'antioxydants, potentiellement utiles dans la prévention du stress oxydatif intestinal **El Atki *et al.* (2020)**

III.3.2. Réduction du fer (FRAP)

Les résultats de pouvoir réducteur de nos échantillons sont illustrés dans **la figure 09**. Les résultats varient entre 10,51 et 24,26 mg EAA/g ES, le pouvoir réducteur d`extrait de 100%G est le plus élevé (24,26±0,16 mg EAA/g ES), les formulations 75%F, 75%G, 100%F présentent un pouvoir réducteur moyen (21,52±1,40 ; 15,93±0,94 et 11,27±0,25 mg EAA/g ES) et le pouvoir le plus faible a été enregistré dans la formulation F100% (10,51±0,44mg EAA/g ES).

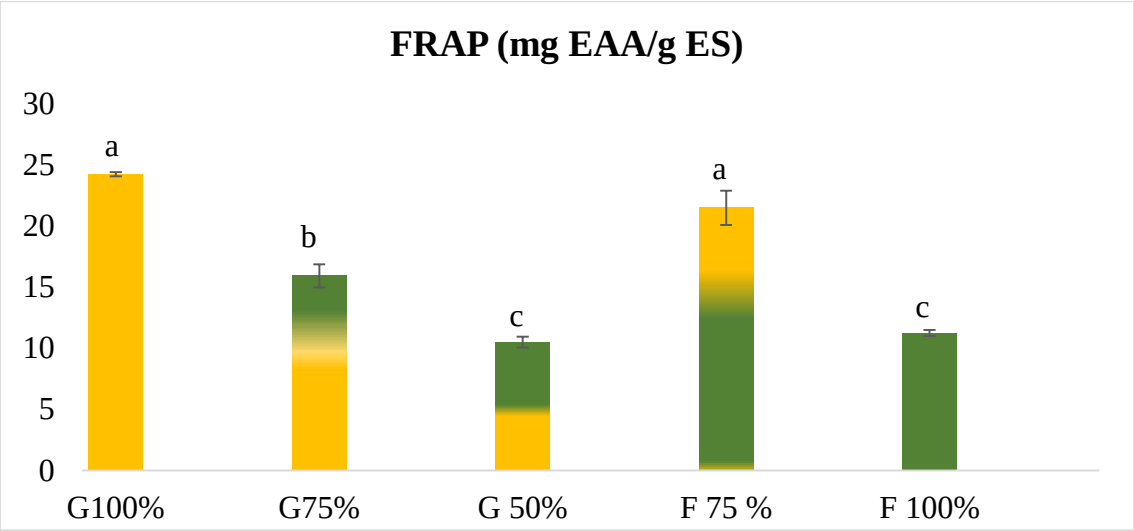


Figure 09 : Pouvoir réducteur des différentes formulations

Pour *Teucrium polium*, **Benali *et al.* (2021)** ont rapporté une activité antioxydante de 1,32 ± 0,10 mg EAA/g, une valeur nettement inférieure à celle observée dans notre étude, où l'extrait G100% atteint jusqu'à 24,26 mg EAA/g ES. En ce qui concerne *Foeniculum vulgare*, **Bellazreg *et al.* (2015)** ont obtenu une valeur très faible de 0,0096 ± 0,0013 mg EAA/g, tandis que **Rawson *et al.* (2011)** ont rapporté une activité antioxydante de 79,61 ± 1,97 mg ET/100 g, soit environ 0,796 mg/g. Ces résultats sont largement inférieurs aux valeurs obtenues dans notre étude, qui atteignent jusqu'à 21,52 mg EAA/g ES pour certains extraits.

III.4. Corrélation entre les composés phytochimiques et l'activité antioxydante

Tableau II : Matrice de corrélation entre les composés phytochimiques et l'activité antioxydante

	Polyphénols totaux	Flavonoïdes	Tanins	DPPH	FRAP
Polyphénols totaux	1	0,96	0,40	0,57	0,78
Flavonoïdes	0,96	1	0,53	0,48	0,70
Tanins	0,40	0,53	1	0,21	0,15
DPPH	0,57	0,48	0,21	1	0,80
FRAP	0,78	0,70	0,15	0,80	1

La matrice de corrélation révèle des relations significatives entre les variables étudiées. Une corrélation positive est observée entre les polyphénols totaux, les flavonoïdes, les tanins et l'activité antioxydante totale ce qui confirme le puissant effet antioxydant des métabolites secondaires étudiés déjà mentionnée dans la littérature **(Dudonné *et al.*, 2009; Quideau *et al.*, 2011)**.

III.5. Formulation du complément alimentaire

La formulation d'un complément alimentaire en gélules à base de plantes suit un protocole rigoureux visant à garantir l'efficacité, la sécurité et la stabilité du produit fini **(Aiden & Belbezzouh, 2024)**. Dans cette étude, les cinq formulations ont été soumises à une seconde phase de séchage, afin de réduire au maximum la teneur en humidité résiduelle et ainsi prolonger la durée de conservation du produit. Pour chaque formulation, une masse de 400 mg de poudre végétale a été homogénéisée avec 10 mg de pipérine (extrait de poivre noir), reconnue pour son effet potentialisateur sur la biodisponibilité des principes actifs, et 90 mg d'amidon de maïs utilisé comme agent de charge. Le mélange final, d'un poids total de 500 mg, a ensuite été encapsulé dans des gélules végétales de taille 00. Il est essentiel de s'assurer que chaque gélule est correctement remplie afin d'éviter les phénomènes d'hygroscopicité, susceptibles de compromettre la stabilité du produit. Enfin, les gélules ont été conditionnées dans des flacons hermétiques opaques, puis conservées dans un environnement frais et sec afin de préserver leurs propriétés physico-chimiques et microbiologiques.

Conclusion générale et perspectives

La présente étude a permis d'examiner les propriétés physico-chimiques, phytochimiques et fonctionnelles de *Teucrium polium* et *Foeniculum vulgare*, deux plantes traditionnellement utilisées pour le traitement des troubles digestifs. Dans ce cadre, un complément alimentaire a été formulé à partir des extraits de ces deux espèces. Les résultats expérimentaux ont mis en évidence une teneur élevée en fibres alimentaires chez *Foeniculum vulgare* et une richesse en métabolites secondaires bioactifs, associés à une activité antioxydante significative, chez *Teucrium polium*. La combinaison entre les deux suggère un potentiel thérapeutique intéressant, notamment dans la modulation des dysfonctionnements digestifs. Toutefois, ces données restent préliminaires et nécessitent d'être consolidées par des investigations complémentaires. Il serait pertinent de conduire :

- Des études antimicrobiennes in *vitro*, ciblant spécifiquement les pathogènes gastro-intestinaux, afin de mieux élucider les mécanismes d'action du complément alimentaire ;
- Des essais in *vivo*, permettant d'évaluer l'efficacité biologique des extraits dans un modèle animal, tout en intégrant les paramètres pharmacocinétiques et pharmacodynamiques ;
- Une évaluation toxicologique rigoureuse, portant sur la toxicité aiguë, subaiguë, ainsi que
- Des essais cliniques contrôlés, afin de valider scientifiquement leur usage thérapeutique chez l'être humain.

L'accomplissement de ces étapes est fondamental pour permettre l'intégration sécurisée de ces plantes dans des formulations pharmaceutiques ou des compléments alimentaires à visée fonctionnelle. À plus long terme, leur valorisation pourrait contribuer au développement de produits naturels innovants, conformes aux exigences de sécurité, d'efficacité et de qualité imposées par les industries pharmaceutique et nutraceutiques.

Références bibliographiques

-A-

Abdollahi, A., Karimpour, H., & Monsef-Esfehani, H. (2003). Antinociceptive effects of Teucrium polium L. total extract and essential oil in mouse writhing test. Pharmacological Research, 48, 31-35.

Abou El-Soud, N., El-Laithy, N., El-Saeed, G., Wahby, M. S., Khalil, M., Morsy, F., & Shaffie, N. (2011). Antidiabetic activities of Foeniculum vulgare Mill. essential oil in streptozotocin-induced diabetic rats. Macedonian Journal of Medical Sciences, 4(2), 139.

AFSSA. (2002). Les fibres alimentaires : Définitions, méthodes de dosage, allégations nutritionnelles. Rapport du comité d'experts spécialisé en Nutrition humaine.

Aganga, A. A., & Mosase, K. W. (2001). Tannins content, nutritive value and dry matter digestibility of Lonchocarous capussa, Ziziphus mucropata, Sclerocarya birrea, Kirkia acuminata and Rhuslancea seeds. Animal Feed Science and Technology, 91, 107-113.

AOAC. (2000). Official methods of analysis (13th ed.). Association of Official Analytical Chemist.

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

Asghari, B., Khademian, R., & Sedaghati, B. (2020). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) confer drought resistance and stimulate biosynthesis of secondary metabolites in pennyroyal (Mentha pulegium L.) under water shortage condition. *Scientia Horticulturae*, 263, 109132.

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.

Azwanida, N. N. (2015). A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength and limitation. Medicinal & Aromatic Plants, 4(3), 196.

-B-

Badgujar, S. B., Patel, V. V., & Bandivdekar, A. H. (2014). Foeniculum vulgare Mill: A review of its botany, phytochemistry, pharmacology, contemporary application, and toxicology. BioMed Research International, 2014, 842674.

Bahramikia, S., & Yazdanparast, R. (2012). Phytochemistry and medicinal properties of Teucrium polium L. (Lamiaceae). Phytotherapy Research, 26, 1581-1593.

Barros, L., Heleno, S. A., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. F. R. (2009). Systematic evaluation of the antioxidant potential of different parts of Foeniculum vulgare Mill. from Portugal. Food and Chemical Toxicology, 47(10), 2458-2464.

Bellazereg, N., Boumia, H., & Touati, N. (2015). Étude de l'activité biologique de quelques plantes médicinales connus comme aliments (Ail, Oignon et Fenouil) [Mémoire de master, Université Ibn Khaldoun – Tiaret].

Belmekki, N. (2009). Étude phytochimique, activités antimicrobiennes et antioxydantes de Saccocalyx satureioïdes, Salvia verbenaca et Teucrium polium de la région ouest d'Algérie [Thèse de magister, Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen].

Belmekki, N., Bendimerad, N., Bekhechi, C., & Fernandez, X. (2013). Chemical analysis and antimicrobial activity of Teucrium polium L. essential oil from western Algeria. Journal of Medicinal Plants Research, 7(14), 897-902.

Benali, T., Habbadi, K., Bouyahya, A., Khabbach, A., Marmouzi, I., Aanniz, T., Chtibi, H., Naceiri Mrabti, H., Achbani, E. H., & Hammani, K. (2021). Phytochemical analysis and study of antioxidant, anticandidal, and antibacterial activities of Teucrium polium subsp. polium and Micromeria graeca (Lamiaceae) essential oils from northern Morocco. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2021, 6641720.

Bencheikh, F., & Mohamadi, C. (2021). Dosage des polyphénols et activité antioxydant de fenouil cultivé [Mémoire de Master, Université de Bordj Bou Arréridj].

Benchikha, N., Messaoudi, M., Larkem, I., Ouakouak, H., Rebiai, A., Boubekeur, S., & Youssef, F. S. (2022). Evaluation of possible antioxidant, anti-hyperglycaemic, anti-alzheimer and anti-inflammatory effects of Teucrium polium aerial parts (Lamiaceae). Life, 12(10), 1579.

Bendif, H. (2017). Caractérisation phytochimique et détermination des activités biologiques in *vitro* des extraits actifs de quelques Lamiaceae: Ajuga iva (L.) Schreb., Teucrium polium L., Thymus munbyanussubsp. coloratus [Thèse de doctorat].

Benmehdi, H., Bounoua, N., Amrouche, A. I., Lahcene, D., & Maazouzi, A. (2013). Phytochemical study, antioxidant and antimicrobial activities of Euphorbia resinifera L. International Research Journal of Pharmacy, 4(9), 44-50.

Bouaici, K., & Aicha, H. (2021). Dosage des polyphénols et activité antioxydante du fenouil sauvage [Mémoire de master].

Bouaziz, M., et al. (2010). Antioxidant and anti-inflammatory activities of *Teucrium polium* extracts. Food and Chemical Toxicology, 48(8-9), 2173-2179.

Boussaid, L., Aguedal, H., Iddou, A., & Bouras, N. (2020). Aperçu sur les caractéristiques physicochimiques et biochimiques de trois sirops de dattes (Rob) élaborés traditionnellement dans la région d'Adrar (Algérie). International Journal of Natural Resources and Environment, 2(8).

Boylan, F., Menezes, S., & Leita, G. (2015). Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. Phytotherapy Research, 130, 127-130.

Bruneton, J. (1999). Pharmacologie-Phytochimie-Plantes médicinales (3e éd.). Tech. et Doc. Lavoisier.

Bukhari, H., Shehzad, A., Saeed, K., Butt, M. S., Tanveer, S., Iftikhar, T., & Ud Din, U. S. (2014). Compositional profiling of fennel seed. Pakistan Journal of Food Science, 24(3), 132-136.

-C-

Cardona, F., Andrés-Lacueva, C., Tulipani, S., Tinahones, F. J., & Queipo-Ortuño, M. I. (2013). Benefits of polyphenols on gut microbiota and implications in human health. The Journal of Nutritional Biochemistry, 24(8), 1415-1422.

Charifi, D., & Nahdi, K. (2020). Extraction et caractérisation d'huile essentielle de fenouil vulgare [Mémoire de master, Université Larbi ben Mhidi Oum el Bouaghi].

Chatterjee, S., Goswami, N., & Bhatnagar, P. (2012). Estimation of phenolic components and in *vitro* antioxidant activity of fennel (Foeniculum vulgare) and Ajwain (Trachyspermum ammi) seeds. Advances in Bioresearch, 3(2), 109-118.

Chedea, V. S., & Pop, R. M. (2019). Total polyphenols content and antioxidant DPPH assays on biological samples. In Polyphenols in Plants (pp. 169-183).

Chibani, M., Dib, M. B. T., & Ahchoule, A. (2020). Essai de germination et étude phytochimique d'une plante endémique : la Germandrée Tomenteuse (Teucrium polium L.) de l'Hoggar [Mémoire de master, Université Saad Dahlab – Blida 1].

Conforti, F., Statti, G., Uzunov, D., & 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*, 29(10), 2056-2064.

-D-

Del Rio, D., Rodriguez-Mateos, A., Spencer, J. P. E., Tognolini, M., Borges, G., & Crozier, A. (2013). Dietary (poly)phenolics in human health: Structures, bioavailability, and

evidence of protective effects against chronic diseases. Antioxidants & Redox Signaling, 18(14), 1818-1892.

Dridi, A. (2018). Etude phytochimique et activité biologique deux espèces*: Teucrium polium* L. et *Pituranthos chloranthus* Coss et Dur [Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba].

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356.

Dudonné, S., Vitrac, X., Coutière, P., Woillez, M., & Mérillon, J. M. (2009). Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57(5), 1768-1774.

Duke, J. A. (2002). Handbook of medicinal herbs (2nd ed.). CRC Press.

-E-

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

El Atki, M., El Bouzidi, L., & El Moussaoui, A. (2020). Synergistic antioxidant activity of combined extracts from Teucrium polium and Foeniculum vulgare: Phytochemical characterization and in *vitro* evaluation. Journal of Herbal Medicine, 23, 100356.

-F-

Falleh, H., Hafsi, C., Mohsni, I., & Ksouri, R. (2021). Évaluation de différents procédés d'extraction des composés phénoliques d'une plante médicinale : Verbena officinalis. *Biologie Aujourd'hui*, 215(3-4), 133-142.

FAO/WHO. (2003). Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: Report of a joint WHO/FAO expert consultation (WHO Technical Report Series No. 916). World Health Organization.

Farahmandfar, R., Asnaashari, M., Pourshayegan, M., Maghsoudi, S., & Moniri, H. (2018). Evaluation of antioxidant properties of lemon verbena (Lippia citriodora) essential oil and its capacity in sunflower oil stabilization during storage time. *Food Science & Nutrition*, 6(4), 983-990.

Fettah, A. (2019). Étude phytochimique et évaluation de l'activité biologique (antioxydante-antibactérienne) des extraits de la plante Teucrium polium L. sous espèce Thymoïdes de la région Beni Souik, Biskra [Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider].

Fiorentino, A., D'Abrosca, B., Pacifico, S., Scognamiglio, M., D'Angelo, G., Gallicchio, M., Chambery, A., & Monaco, P. (2011). Structure elucidation and hepatotoxicity evaluation against HepG2 human cells of neo-clerodane diterpenes from Teucrium polium L. *Phytochemistry*, 72, 2037-2044.

Fiorucci, S. (2006). Activités biologiques de composés de la famille de flavonoïdes : approches par des méthodes de chimie quantique et de dynamique moléculaire [Thèse de doctorat, Université de Nice].

-G-

Gaouar, N. (2011). Etude de la valeur nutritive de la caroube de différentes variétés Algérienne [Thèse de magistère, Université Abou Bakr Belkaïd].

Garnéro, J. (1996). Huiles essentielles. Techniques de l'Ingénieur, traité Constantes physicochimiques, K 345-1.

Gharaibeh, M. N., Elayan, H. H., & Salhab, A. S. (1988). Hypoglycemic effects of Teucrium polium. *Journal of Ethnopharmacology*, 24(1), 93-99.

Gharib Naseri, M. K., & Omidi Birgani, F. (2007). Antispasmodic effect of Teucrium polium leaf extract on rat ileum. Pajoohande, 12(1), 59-67.

Guettouche, 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].

Gülçin, I., Oktay, M., Kireçci, E., & Küfrevioğlu, I. (2003). Screening of antioxidant and antimicrobial activities of anise (Pimpinella anisum L) seed extracts. *Food Chemistry*, 83, 371-382.

-H-

Hamia, C., Guergab, A., Rennane, N. E., Birache, M., Haddad, M., Saidi, M., & Yousfi, M. (2014). Influence des solvants sur le contenu en composés phénoliques et l'activité antioxydante des extraits du Rhanterium. Journal of Materials and Environmental Science, 5(3), 773-781.

Hamoudi, R. (2015). Activités biologiques de quelques métabolites secondaires extraits de quelques plantes médicinales du Sahara méridional algérien [Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah - Ouargla].

Hasani, P., Yasa, N., Vosough Ghanbari, S., Mohammadirad, A., Dehghan, G., & Abdollahi, M. (2007). In *vivo* antioxidant potential of Teucrium polium, as compared to α-tocopherol. Acta Pharmaceutica, 57, 123-129.

Haslam, E. (1996). Natural polyphenols (vegetable tannins) as drugs: possible modes of action. *Journal of Natural Products*, 59(2), 205-215.

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].

Hussain, J., Rehman, N. U., Al-Harrasi, A., Ali, L., Khan, A. L., & Albroumi, M. A. (2013). Essential oil composition and nutrient analysis of selected medicinal plants in Sultanate of Oman. Asian Pacific Journal of Tropical Disease, 3(6), 421-428.

-I-

Ibrahim, F. Y., & El-Khateeb, A. Y. (2013). Effect of herbal beverages of Foeniculum vulgare and Cymbopogon proximus on inhibition of calcium oxalate renal crystals formation in rats. Annals of Agricultural Science, 58(2), 221-229.

-K-

Kadifkova Panovska, T., Kulevanova, S., & Stefova, M. (2005). In *vitro* antioxidant activity of some Teucrium species (Lamiaceae). Acta Pharmaceutica, 55, 207-214.

Kaur, G. J., & Arora, D. S. (2010). Bioactive potential of Anethum graveolens, Foeniculum vulgare and Trachyspermum ammi belonging to the family Umbelliferae-Current status. Journal of Medicinal Plants Research, 4(2), 087-094.

Khaled-Khodja, N., Boulekbache-Makhlouf, L., & Khodir, M. (2014). Phytochemical screening of antioxidant and antibacterial activities of methanolic extracts of some Lamiaceae. Industrial Crops and Products, 61, 41-48.

Khleifat, K., Shakhanbeh, J., & Tarawneh, K. (2001). The chronic effects of Teucrium polium on some blood parameters and histopathology of liver and kidney in the rat. *Turkish Journal of Biology*, 26, 65-71.

Khoshnood-Mansoorkhani, M. J., Moein, M. R., & Oveisi, N. (2010). Anticonvulsant activity of Teucrium polium against seizure induced by PTZ and MES in mice. Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 9(4), 395-401.

Kissoum, A., & Khalfaoui, K. (2015). Évaluation phytochimique et étude des activités biologiques d'une plante médicinale algérienne : Foeniculum vulgare [Mémoire de master, Université des Frères Mentouri – Constantine 1].

Kouamé N'dri, M. T., Soro, K., Mangara, A., Diarrassouba, N., Coulibaly, A. V., & Boraud, N. K. M. (2015). Étude physico-chimique de sept (7) plantes spontanées alimentaires du Centre Ouest de la Côte d'Ivoire. Journal of Applied Biosciences, 90, 8450-8463.

Krishnaiah, D., Sarbatly, R., & Nithyanandam, R. (2011). A review of the antioxidant potential of medicinal plant species. Food and Bioproducts Processing, 89, 217-233.

-L-

Lazouni, H. A., Benmansour, A., Chabane Sari, D., & Smahi, M. D. E. (2006). Valeurs nutritives et toxicité du Foeniculum vulgare Miller. Afrique Science, 2(1), 94-101.

Lemoine, C. (2005). Les fleurs méditerranéennes. Editions Jean-Paul Gisserot.

Lim, T. (2013). Edible medicinal and non-medicinal plants. Springer.

Lister, E., & Wilson, P. (2001). Measurement of total phenolics and ABTS assay for antioxidant activity (personal communication). Crop Research Institute.

Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. Pharmacognosy Reviews, 4(8), 118-126.

López-Alarcón, C., & Denicola, A. (2013). Evaluating the antioxidant capacity of natural products: A review on chemical and cellular-based assays. Analytica Chimica Acta, 763, 1-10.

-M-

Maadi, K. (2019). Évaluation des propriétés biopharmacologiques de deux plantes sauvages de l'Est algérien : Teucrium polium L. et Rubus fruticosus L. [Mémoire de master, Université Frères Mentouri – Constantine 1].

Mahmoudi, R., & Nosratpour, S. (2013). Teucrium polium L. essential oil: phytochemical component and antioxidant properties. International Food Research Journal, 20(4), 1697-1701.

Mata, A. T., Proença, C., Ferreira, A. R., Serralheiro, M. L. M., Nogueira, J. M. F., & Araújo, M. E. M. (2007). Antioxidant and antiacetylcholinesterase activities of five plants used as Portuguese food spices. Food Chemistry, 103, 778-786.

Merdji, K., & Zemmit, F. Z. (2020). Evaluation des propriétés antioxydantes des extraits de Teucrium polium L. [Mémoire de master].

Middleton, E., Kandaswami, C., & Theoharides, T. C. (2000). The effects of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart disease, and cancer. Pharmacological Review, 52(4), 673-751.

Milan, S. S., Neda, N., Vladimir, M., Marina, T., & Slavica. (2012). Antioxidant activity, total phenolic content and flavonoid concentrations of different plant parts of Teucrium polium L. subsp. polium. Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 81(2), 117-122.

-N-

Niazmand, S., Erfanian Ahmadpoor, M., Moosavian, M., & Derakhshan, M. (2008). The positive inotropic and chronotropic effects of Teucrium polium L extract on guinea pig isolated heart. Pharmacologyonline, 2, 588-594.

-O-

Okuda, T., Yoshida, T., & Hatano, T. (2005). Hydrolyzable and condensed tannins as antioxidants and antimicrobials in health and disease prevention. Journal of Ethnopharmacology, 100(1-2), 162-170.

Oyedemi, S. O., & Afolayan, A. J. (2011). In *vitro* and in *vivo* antioxidant activity of aqueous leaves extract of Leonotis leonurus (L.) R. Br. International Journal of Pharmacology, 7(2), 248-256.

Ozenda, P. (2004). Flore et végétation du sahara (3e éd.). Centre National de la Recherche Scientifique.

Özer, Z., Kiliç, T., Çarikçi, S., & Yilmaz, H. (2018). Investigation of phenolic compounds and antioxidant activity of Teucrium polium L. decoction and infusion. *Arastırma Makalesi*, 20(1), 212-218.

-P-

Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: an overview. *Journal of Nutritional Science, 5, e47.*

Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2(5), 270-278.

Parsaee, H., & Shafiee-Nick, R. (2006). Anti-spasmodic and anti-nociceptive effects of Teucrium polium aqueous extract. Iranian Biomedical Journal, 10(3), 145-149.

Pedneault, K., Leonharts, A., Gosselin, A., Ramputh, A., & Arnason, J. T. (2001). Influence de la culture hydroponique de quelques plantes médicinales sur la croissance et la concentration en composés secondaires des organes végétaux. Texte de conférence, 1-5.

Piccaglia, R., & Marotti, M. (2001). Characterization of some Italian types of wild fennel (Foeniculum vulgare Mill). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49, 239-244.

Polshettiwa, S. A., & Ganjiwale, R. O. (2007). Spectrophotometric estimation of total tannins in some Ayurvedic eye drops. Indian Journal of Pharmaceutical Sciences, 69(4), 574-576.

Popovici, C., Saykova, I., & Tylkowski, B. (2009). Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. Revue de génie industriel, 4.

Pulido, R., Bravo, L., & Saura-Calixto, F. (2000). Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48, 3396-3402.

-Q-

Quideau, S., Deffieux, D., Douat-Casassus, C., & Pouységu, L. (2011). Plant polyphenols: chemical properties, biological activities, and synthesis. Angewandte Chemie International Edition, 50(3), 586-621.

Quettier-Deleu, C., Gressier, B., Vasseur, J., Dine, T., Brunet, C., Luyckx, M., & Trotin, F. (2000). Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench) hulls and flour. Journal of Ethnopharmacology, 72(1-2), 35-42.

Quézel, P., & Santa, S. (1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales (Vol. 1-2). Centre National de la Recherche Scientifique CNRS.

-R-

Rahali, O. (2014). Étude de l'activité antioxydant et antibactérienne des polyphénols des grains de fenouil sauvage [Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou].

Rahimi, R., & Arbekani, M. R. (2013). Medicinal properties of Foeniculum vulgare Mill. in traditional Iranian medicine and modern phytotherapy. Chinese Journal of Integrative Medicine, 19(1), 73-79.

Ramnathan, S. P., Slavof, S. A., Grundel, E., White, K. D., Mazzola, E., Koblenz, D., & Rader, J. (2005). Isolation and characterisation of selected Germander diterpenoids from authenticated Teucrium chamaedrys and T. canadense by HPLC, HPLC-MS and NMR. Phytochemical Analysis, 17, 243-250.

Rather, M., Dar, B., Sofi, S., Bhat, B., & Qurishi, M. (2012). Foeniculum vulgare: A comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology, and safety. *Arabian Journal of Chemistry*, 9(S2), S1574-S1583.

Rawson, A., Hossain, M. B., Patras, A., Tuohy, M., & Brunton, N. (2011). Effect of boiling and roasting on the polyacetylene and polyphenol content of fennel (Foeniculum vulgare) bulb. Food Research International, 30, 1-6.

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

-S-

Sabet, Z., Roghani, M., Najafi, M., & Maghsoudi, Z. (2013). Antidiabetic effect of Teucrium polium aqueous extract in multiple low-dose streptozotocin-induced model of type 1 diabetes in rat. Basic and Clinical Pathophysiology, 1(2), 34-38.

Sayah, K., El Omari, N., Kharbach, M., Bouyahya, A., Kamal, R., Marmouzi, I., Cherrah, Y., & Faouzi, M. E. A. (2020). Comparative study of leaf and rootstock aqueous extracts of Foeniculum vulgare on chemical profile and in *vitro* antioxidant and antihyperglycemic activities. Advances in Pharmacological and Pharmaceutical Sciences, 2020, 8852570.

Scalbert, A. (1991). Antimicrobial properties of tannins. Phytochemistry, 30(12), 3875-3883.

Shakhanbeh, J., & Atrouce, O. (2000). Teucrium polium inhibits nerve conduction and carrageenan induced inflammation in the rat skin. *Turkish Journal.

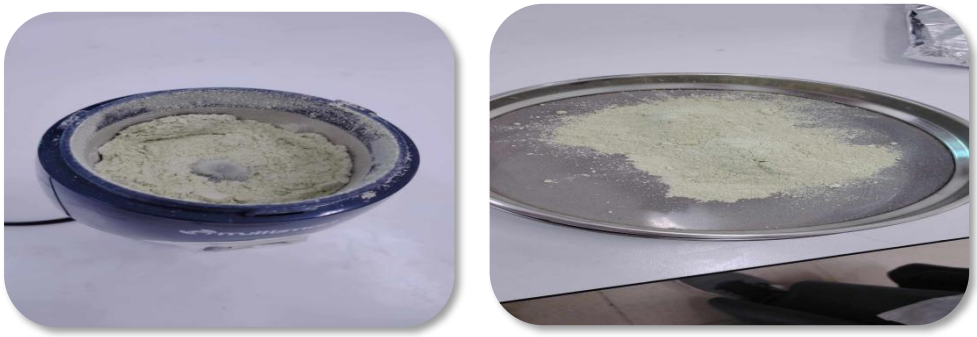
Annexes

Figure 01 : Nettoyage des plantes

(A) séchage à l'air

(B) Séchage à l' étuve

Figure 02 : Séchage des échantillons



(A) Broyage **(B)** Tamisage

Figure 03 : Broyage et tamisage des échantillons secs

a . Extrait de fenouil obtenu par macération **b** . Evaporation du solvant sous vide par le rotavapeur

Figure 04 : Extraction des composés phénoliques

Summary

This study explores the synergistic potential of fennel (*Foeniculum vulgare*) and wall germander (*Teucrium polium*) to develop a functional food supplement exploiting their digestive, antioxidant, and anti-inflammatory properties. Hydroethanolic extracts (80%) obtained by maceration yielded 22.9% for fennel and 8.7% for germander. Physicochemical analysis reveals similar moisture and ash contents (approximately 4.87% and 15%), but fennel stands out for its exceptional richness in dietary fiber (43% versus 12.35%) and water-soluble sugars (3.20% versus 1%). At the phytochemical level, pure germander dominates significantly with 733 mg/g of polyphenols, 27.71 mg/g of flavonoids, and 88.88 mg/g of condensed tannins, compared to significantly lower values for fennel (111.61, 9.03, and 38.33 mg/g respectively). DPPH and FRAP antioxidant activity tests confirm the effectiveness of germander, revealing maximum activity in G75% and G100% extracts. This research highlights a promising therapeutic complementarity where fennel provides nutritional and functional intestinal support through its fibers, while germander provides antioxidant and anti-inflammatory protection via its bioactive secondary metabolites.

Keywords: *Foeniculum vulgare*, *Teucrium polium*, extraction, polyphenols, flavonoids, condensed tannins, antioxidant activity

Résumé

Cette étude explore le potentiel synergique du fenouil (*Foeniculum vulgare*) et de la germandrée (*Teucrium polium*) pour développer un complément alimentaire fonctionnel exploitant leurs propriétés digestives, antioxydantes et anti-inflammatoires. Les extraits hydro-éthanoliques (80%) obtenus par macération ont donné des rendements de 22,9% pour le fenouil et 8,7% pour la germandrée. L'analyse physico-chimique révèle des taux d'humidité et de cendres similaires (environ 4,87% et 15%), mais le fenouil se distingue par sa richesse exceptionnelle en fibres alimentaires (43% contre 12,35%) et en sucres hydrosolubles (3,20% contre 1 %). Au niveau phytochimique, la germandrée pure domine largement avec 733 mg/g de polyphénols, 27,71 mg/g de flavonoïdes et 88,88 mg/g de tanins condensés, comparativement aux valeurs nettement inférieures du fenouil (111,61, 9,03 et 38,33 mg/g respectivement). Les tests d'activité antioxydante DPPH et FRAP confirment l'efficacité de la germandrée, révélant une activité maximale dans les extraits G75% et G100%. Cette recherche met en évidence une complémentarité thérapeutique prometteuse où le fenouil apporte un soutien nutritionnel et fonctionnel intestinal grâce à ses fibres, tandis que la germandrée fournit une protection antioxydante et anti-inflammatoire via ses métabolites secondaires bioactifs.

Mots clés : *Foeniculum vulgare*, *Teucrium polium*, extraction, polyphénols, flavonoïdes, tanins condensés, activité antioxydante.

ملخص

تستكشف هذه الدراسة الإمكانات التآزرية لكل من الشمر والجعدة لتطوير مكمل غذائي وظيفي يستفيد من خصائصهما الهضمية، ومضادات الأكسدة، والخصائص المضادة للالتهابات. أُنتجت مستخلصات كحولية مائية (بنسبة 80%) باستخدام طريقة النقع، حيث بلغت نسبة الاستخلاص 22.9% للشمر و8.7% للجعدة. كشفت التحاليل الفيزيائية والكيميائية عن محتوى متقارب من الرطوبة والرماد (حوالي 4.87% و15% على التوالي)، غير أن الشمر تميز بغناه الاستثنائي بالألياف الغذائية (43% مقابل 12.35%) والسكريات القابلة للذوبان في الماء (3.20% مقابل 1%). أما على المستوى الكيميائي النباتي، فقد تفوقت الجعدة بشكل واضح بمحتواها العالي من البوليفينولات (733 ملغ/غ)، والفلافونويدات (27.71 ملغ/غ)، والعفصات المكثفة (88.88 ملغ/غ)، مقارنة بقيم أقل بكثير لدى الشمر (111.61، 9.03، و38.33 ملغ/غ على التوالي). أكدت اختبارات .G100%و G75% فعالية الجعدة، حيث أظهرت أعلى نشاط في مستخلصي (FRAPو DPPH) النشاط المضاد للأكسدة وتسلط هذه الدراسة الضوء على تكامل علاجي واعد، حيث يوفر الشمر دعماً غذائياً ووظيفياً للأمعاء بفضل أليافه، بينما تؤمن الجعدة حماية مضادة للأكسدة ومضادة للالتهابات من خلال مركباتها الثانوية النشطة بيولوجياً

الكلمات المفتاحية: الاستخلاص، البوليفينولات، الفلافونويدات، العفصات المكثفة، النشاط المضاد للأكسدة، الشمر، الجعدة