

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عمار تليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI-LAGHOUAT
كلية العلوم
FACULTE DES SCIENCES
قسم علوم المادة
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE



Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Matière

Filière : Chimie

Option : Chimie Organique Appliquée

Par :

M^{elle}. BELMAZOUZI Asma

et

M^{elle}. KINA Sabrina

THEME

Analyse phytochimique et propriétés antioxydantes des huiles essentielles des tiges de plusieurs échantillons de *Deverra scoparia* Coss. & Durieu et *Foeniculum vulgare* subsp. *piperitum* (Ucria) Bég. d'Algérie

Soutenu publiquement le 03/07/2022 devant le jury composé de :

M^r. Mohamed YOUSFI

Pr.

Président

M^m. Chahrazed HAMIA

MCA

Examinatrice

M^{elle}. Reguia MAHFOUDI

MCA

Encadrante

M^r. Amar DJERIDANE

Pr.

Co-encadrante

Année Universitaire 2021/2022

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mon père, ma mère et toute ma famille

Mes fidèles amies et en particulier : Dina et Nacira

A tous mes professeurs.

Merci beaucoup à tous.

Asma BELMAZOUZI

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Mon père, ma mère et toute ma famille

Mes fidèles amis et en particulier :

Mebarka

Merci beaucoup à tous.

Sabrina KINA

Remerciements

Nous remercions d'abord Allah tout puissant qui nous a donné la force et patience pour accomplir ce modeste travail.

*Ce travail de mémoire s'est déroulé au laboratoire de recherches des sciences fondamentales à l'université **Amar Telidji –Laghouat** ; dont nous remercions infiniment son directeur, le professeur **Mohamed YOUSFI** pour l'accueil et les conditions qui nous ont été offertes.*

*Nos remerciements vont particulièrement à nos promoteurs ; le professeur **Amar DJERIDANE** et le docteur **Reguia MAHFOUDI** pour l'honneur qu'ils nous ont fait en nous encadrant et pour l'aide précieuse qu'ils nous ont apportés, pour leurs remarques et conseils avisés qui nous ont permis de mener à bien ce travail.*

*Nous adressons également, un grand merci à Mademoiselle **Ibtissam MECHRAOUI**, doctorante en troisième cycle au département de **SCIENCES DE LA MATIERE** à l'université de Laghouat pour son aide inestimable, sa contribution judicieuse, sa gentillesse et sa main tendue dans les bons et les moins bons moments.*

*Nos remerciements s'adressent à monsieur **Mohamed YOUSFI** d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance et à madame **Chahrazed HAMIA** pour avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Enfin, nous remercions toute l'équipe administrative et pédagogique du département des sciences de la matière de l'université **Amar Telidji** et à tous ceux qui nous ont apporté leurs soutiens et encouragement durant la réalisation de ce travail.*

Liste des abréviations et notations

ACP	: Analyse en composantes principales
AF	: Aflou
AM	: Ain Madhi
ANOVA	: Analyse de la variance
BHA	: Butylhydroxyanisole
BHT	: Butylhydroxytoluène
CAP	: Capacité antiperoxydative
CAR	: Capacité antiradicalaire
CG	: Chromatographie en phase gazeuse
DJ	: Djelfa
DL	: Deldoul
DPPH	: Diphénylpicrylhydrazyl
FID	: Flame ionisation detector (détecteur à ionisation de flamme)
GH	: El-Ghicha
HEs	: Huiles essentielles
<i>P</i>	: Coefficient de probabilité
<i>R</i>	: Coefficients de corrélation de Pearson
R	: Rendement d'extraction
SD	: Standard deviation (déviatiion standard)
SM	: Spectroscopie de masse
VE	: Vitamine E
VEEAC	: Capacité antioxydante équivalente en vitamine E
ZB	: Zoubiria

Liste des figures

Figure 1	: Carte de la répartition de plantes étudiées.	3
Figure 2	: Photo de la plante <i>Deverra scoparia</i> Coss. & Durieu.	5
Figure 3	: Photo de la plante <i>Foeniculum vulgare</i> subsp. piperitum (Ucria) Bég.	6
Figure 4	: Technique d'extraction d'HEs par hydrodistillation dans un appareil de type Clevenger.	8
Figure 5	: Réaction du radical DPPH [*] avec l'antioxydant (AH).	9
Figure 6	: Courbe d'étalonnage de la vitamine E du test DPPH [*] .	16
Figure 7	: Courbe d'étalonnage de la vitamine E du test β -carotène.	17
Figure 8	: Projection des variables et des individus le plan factoriel F1-F2.	20

Liste des tableaux

Tableau 1	: Systématique de <i>Deverra scoparia</i> Coss. & Durieu.	4
Tableau 2	: Systématique de <i>Foeniculum vulgare</i> subsp. piperitum (Ucria) Bég.	4
Tableau 3	: Produits chimiques et solvants utilisés.	7
Tableau 4	: Rendement d'extraction des HEs étudiés.	11
Tableau 5	: Composition Chimique des HEs de <i>Deverra scoparia</i> Coss. & Dur identifiée par CG/SM.	13
Tableau 6	: Composition Chimique des HEs de <i>Foeniculum vulgare</i> subsp. piperitum (Ucria) Bég identifiée par CG/SM.	14
Tableau 7	: Valeurs des VEEAC des HEs étudiés mesurés par le test de DPPH'.	17
Tableau 8	: Valeurs des VEEAC des HEs mesurés par le test de β -carotène.	18
Tableau 9	: Matrice des coefficients de corrélation de Pearson (r) entre les valeurs provenant des deux différentes méthodes d'estimation de la capacité antioxydante et la composition en HEs.	19

Sommaire

Remerciements	I
Liste des abréviations	II
Liste des figures	III
Liste des tableaux	IV
I. Introduction générale	1
II. Matériels et Méthodes	3
II.1. Matériel végétal	3
II.1.1. Systématique	4
II.1.2. Description botanique	5
II.1.3. Utilisations traditionnelles	6
II.2. Produits chimiques	7
II.3. Méthodes	7
II.3.1. Préparation des huiles essentielles	7
II.3.2. Analyse des huiles essentielles par CG/SM	8
II.3.3. Evaluation de la capacité antioxydante <i>in vitro</i>	9
II.3.3.1. Test de piégeage du radical DPPH [*]	9
II.3.3.2. Test de blanchissement du β -carotène	10
II.4. Analyses statistiques	10
III. Résultats et discussion	11
III.1. Détermination des rendements des HEs	11
III.2. Analyse des huiles essentielles par CG/SM	12
III.3. Evaluation de la capacité antioxydante	15
III.3.1. Effet scavenger du radical DPPH [*]	15
III.3.2. Inhibition par blanchissement de β -carotène	17
III.3.3. Corrélation entre la capacité antioxydante et la composition en HEs	18
IV. Conclusion générale	22
V. Références Bibliographiques	24
Annexe 1	29
Annexe 2	30

Introduction Générale

La peroxydation lipidique, causée par les radicaux libres de l'oxygène, est un phénomène général qui concerne tous les lipides contenant des acides gras polyinsaturés, quelle que soit leur origine (huiles, graisses, membranes cellulaires, lipoprotéines). La lipoperoxydation est impliquée dans de nombreuses pathologies notamment les maladies cardiovasculaires et neurodégénératives [1, 2]. Elle est responsable de la formation de produits chimiques nuisibles aussi bien pour la santé des animaux que des hommes. Ainsi, dans les industries agroalimentaires le formateur tient compte du fait que l'oxydation des corps gras est un phénomène spontané dont la cinétique d'apparition peut être accélérée ou ralentie sous l'effet de différents paramètres, dont l'ajout d'antioxydants [3]. Cependant, l'utilisation des antioxydants synthétiques tels que le butylhydroxyanisole (BHA) et le butylhydroxytoluène (BHT) dans les industries agroalimentaire, cosmétique et pharmaceutique est suspectée à long terme d'effets tératogènes, mutagènes et cancérigènes [2, 3]. Ainsi, de nouvelles sources végétales d'antioxydants naturels (carvacrol, eugénol, tocophérol, thymol...) sont recherchées par les industriels [4, 5].

Les plantes constituent une source potentielle de molécules naturelles bioactives. Elles font l'objet d'études scientifiques rigoureuses pour leur éventuelle utilisation comme alternative, particulièrement pour la protection contre la peroxydation lipidique. Aujourd'hui, on estime que les principes actifs provenant des végétaux représentent environ 50% des médicaments prescrits [6-8]. En outre, les dernières avancées dans le domaine de la technologie pharmaceutique à travers les méthodes d'encapsulation permettent d'envisager l'utilisation de composés volatils en thérapeutique. Ceci permet d'explorer d'autres sources de métabolites secondaires comme les huiles essentielles. En effet, les huiles essentielles commencent à avoir beaucoup d'intérêt comme source potentielle de molécules naturelles bioactives. Elles font l'objet d'étude pour leur éventuelle utilisation comme antioxydants, antimicrobiens et donc comme conservateur naturel qui préserve l'aliment des différentes altérations oxydatives ou microbiennes [9, 10]. De maints travaux récents, attestent le rôle de certains composés volatils sur la bonne résistance à l'oxydation radicalaire des huiles végétales et animales [11-13]. Ainsi, l'extraction par le CO₂ supercritique du romarin et de la sauge, a permis d'obtenir un extrait riche en carnosol et ramanol, molécule dont le pouvoir antioxydant peut être équivalent ou même supérieur à celui du BHT [14]. Par ailleurs, la composition chimique des huiles essentielles est assez complexe, les composés terpéniques et aromatiques représentant les principaux constituants. On y trouve également, et en faibles concentrations des acides organiques, des cétones et des coumarines volatiles. La nature de la fonction chimique du

composé majoritaire (phénol, alcool, aldéhyde, cétone...) joue un rôle prépondérant dans l'efficacité de leurs capacités biologiques [9-11].

L'Algérie, par sa situation géographique, offre une végétation riche et diverse. Un grand nombre de plantes aromatiques y poussent spontanément. Ainsi, l'intérêt porté à ces plantes aromatiques et médicinales n'a pas cessé de croître au cours de ces dernières années. C'est pourquoi, au regard de tout ce qui précède, nous avons initié la présente étude dont le but est d'étudier les huiles essentielles de plusieurs échantillons de deux Apiacées locales poussant spontanément (*Deverra scoparia* Coss. & Durieu et *Foeniculum vulgare* subsp. piperitum (Ucria) Bég.) et de mettre en évidence leurs capacités antioxydantes. Toutefois, dans la littérature, peu de travaux ont été réalisés sur les capacités biologiques des huiles essentielles de ces deux espèces végétales. Alors, on se propose d'étudier la composition chimique des huiles essentielles extraites des rameaux (dépourvus de feuilles et fleurs) de deux espèces par chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse et d'évaluer leurs propriétés antioxydantes par le test de piégeage du radical diphénylpicrylhydrazyl (DPPH) et le test de blanchiment du β -carotène.

Matériels et Méthodes

II.1. Matériel végétal

Des échantillons botaniques ont été sélectionnés pour cette étude en fonction de leur utilisation courante en médecine traditionnelle. Deux types de plantes médicinales ont été étudiés : *Deverra scoparia* Coss. & Durieu et *Foeniculum vulgare* subsp. *piperitum* (Ucria) Bég.

Trois échantillons de *Deverra scoparia* Coss. & Durieu ont été récoltés à différents endroits : El-Ghicha (GH), Deldoul (DL) et Djelfa (DJ) (**Figure 1**) au mois de Octobre 2021 et trois échantillons de *Foeniculum vulgare* subsp. *piperitum* (Ucria) Bég. ont été récoltés aux endroits suivants : Zoubiria (ZB), Ain Madhi (AM) et Aflou (AF) (**Figure 1**) au mois de Octobre et novembre 2021.

Après avoir collecté les échantillons, nous avons procédé au séchage dans l'obscurité et à la température du laboratoire. Nous avons séparé les fleurs des tiges. Les tiges utilisées dans notre travail sont découpées en petits morceaux et conservées dans des sacs en papier jusqu'à ce qu'elles servent à être utilisées pour extraire les huiles essentielles. Les espèces végétales ont été identifiées au Laboratoire des Sciences Fondamentales (LSF), Université Amar Telidji, Laghouat, Algérie.

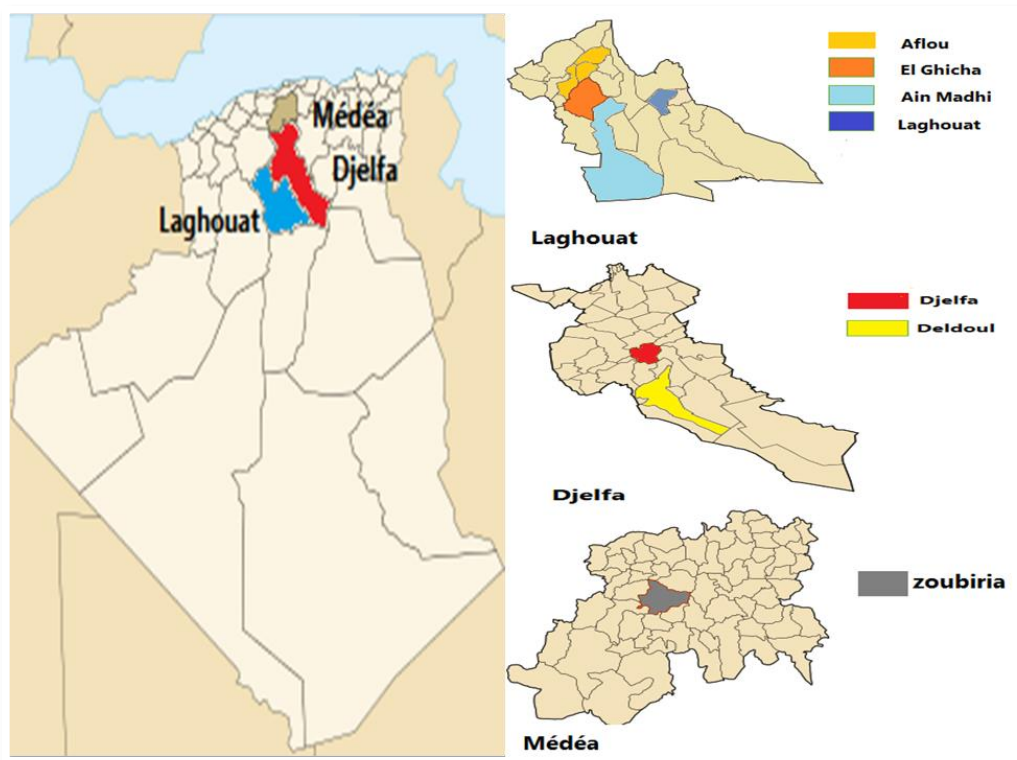


Figure 1. Carte de la répartition de plantes étudiées.

II.1.1. Systématiques

La systématique de la plante *Deverra scoparia* Coss. & Durieu. est présentée dans le **Tableau 1**.

Tableau 1. Systématique de *Deverra scoparia* Coss. & Durieu [15, 16].

Règne	Plantae
Division	Tracheophyta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Apiales
Famille	<i>Apiaceae</i>
Genre	<i>Deverra</i>
Espèce	<i>Deverra scoparia</i>
Nom vernaculaire	Guezzah (فزاح)

La systématique de la plante *Foeniculum vulgare* subsp. *piperitum* (Ucria) Bég. est présentée dans le **Tableau 2**.

Tableau 2. Systématique de *Foeniculum vulgare* subsp. *piperitum* (Ucria) Bég. [17].

Règne	Plantae
Division	Tracheobionta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Apiales
Famille	<i>Apiaceae</i>
Genre	<i>Foeniculum</i>
Espèce	<i>Foeniculum vulgare</i>
Nom vernaculaire	El-besbes el-barri (البسباس البري)

II.1.2. Description botanique

- *Deverra scoparia* Coss. & Durieu

Deverra scoparia Coss. & Durieu (**Figure 2**) est une plante vivace, à tige jaunâtre, longues de 40-80 cm, en touffes ramifiées dans le haut seulement, simples et parallèles entre elles dans leur moitié inférieure avec des fleurs blanches à ombelles latérales et pédoncule court (1-3 cm). Ses fruits sont plus longs que larges, hérissés de poils dressés, pétales blancs à nervures étroites. C'est une plante à souche Ligneuse ramifiée émettant de nombreuses rosettes de feuilles triséquées 1-2 fois La floraison a lieu de Février à Octobre [18, 19].

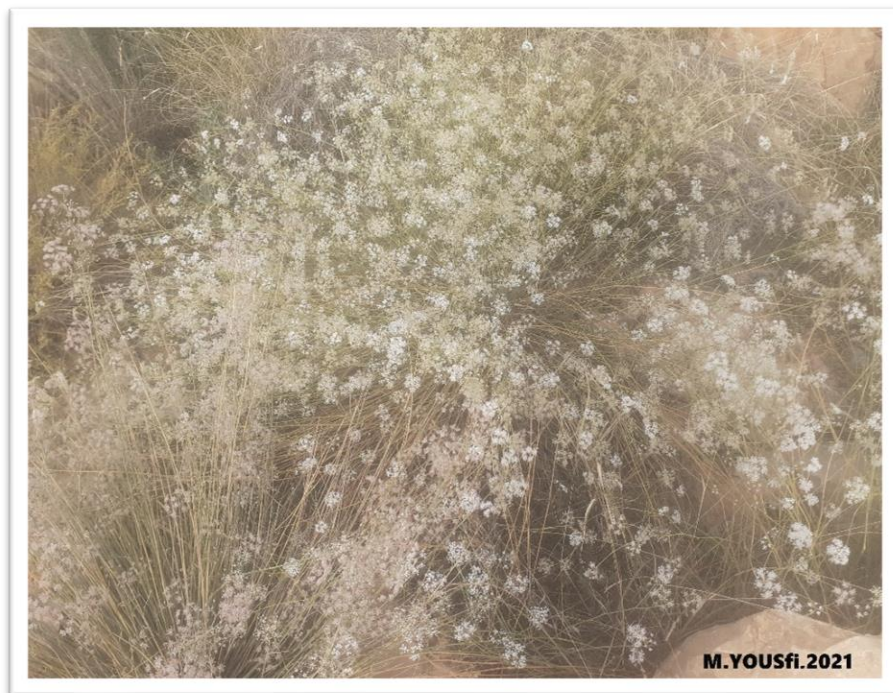


Figure 2. Photo de la plante *Deverra scoparia* Coss. & Durieu.

- *Foeniculum vulgare* subsp. *piperitum* (Ucria) Bég.

Foeniculum vulgare subsp. *piperitum* (Ucria) Bég. est généralement connu sous le nom de fenouil, est un petit genre des herbes annuelles, bisannuelles ou éternelles (**Figure 3**). Les tiges sont fortes et lisses, la hauteur atteint deux mètres, cylindriques et ramifiées, portant des feuilles alternes et bouclées à la base. Les feuilles sont constituées de trois à quatre folioles réparties en lanières filiformes d'environ 0,5 mm de large. Les fleurs sont jaunes, ont une largeur de 15 cm en forme de tente, et leur nombre peut varier de 4 à 25. Le fruit est une graine sèche de 4-10 mm [20].



Figure 3. Photo de la plante *Foeniculum vulgare* subsp. *piperitum* (Ucria) Bég.

II.1.3. Utilisations traditionnelles

- Pour *Deverra scoparia* Coss. & Durieu :

Il est utilisé pour traiter :

Rhumatismes, rougeole, asthme, jaunisse, fièvre, hépatite douleur, diabète, difficultés digestives et maux de ventre ...

- Pour *Foeniculum vulgare* subsp. *piperitum* (Ucria) Bég

Il est utilisé comme :

Anti prolifératif, anti-inflammatoire, antiagrégant plaquettaire, contre les flatulences, antipyrétique...

II.2. Produits chimiques

Tous les produits chimiques et les solvants utilisés dans ce travail, sont d'un grade analytique élevé dont la provenance est indiquée dans le (**Tableau 3**).

Tableau 3. Produits chimiques et solvants utilisés.

Produits	Source
Acide linoléique ; Chloroforme ; DPPH (diphényl picryl-hydrayl) ; Vitamine E et β -carotène	Sigma- Aldrich
Ethanol et Méthanol	HONEYWELL - Riedel de Haen
Tween 80	BIOCHEM Chemopharma

II.3. Méthodes

II.3.1. Préparation des huiles essentielles

Les HEs des échantillons végétaux ont été extraites de la matière sèche des tiges selon la méthode de hydrodistillation à l'aide de montage Clevenger (**Figure 4**), où 100 g de échantillon sont placés dans le ballon de montage, et de l'eau du robinet y est ajoutée par les deux tiers du ballon. Le processus de l'extraction se poursuit pendant 07 heures après l'ébullition, et en raison de la différence entre la densité de l'eau et des huiles volatiles, ces dernières restent à flot à la surface de l'eau. L'endroit où les huiles se rassemblent est recouvert d'une feuille d'aluminium pour éviter son oxydation avec la lumière. Les deux phases sont séparées et les huiles volatiles sont conservées dans des bouteilles en verre opaque et hermétique à 4-6°C jusqu'à son utilisation.



Figure 4. Technique d'extraction des HEs dans un appareil de type Clevenger.

Le rendement de l'huile de base est calculé selon la technique d'hydrodistillation, en partant du poids de la masse totale d'huile et en le comparant au poids de la masse végétale sèche utilisée dans cette distillation comme suit :

$$R\% = \frac{V}{m_i} \times 100$$

v : Volume de l'huile essentielle récupérée (mL)

m_i : Masse de l'échantillon initial soumis à l'hydrodistillation (g).

II.3.2. Analyse des huiles essentielles par CG/SM

L'analyse de la composition chimique par CG/SM a été effectuée au Plateau Techniques d'Analyse Physico-Chimique (PTAPC) de Laghouat.

L'analyse de la composition chimique des HEs a été effectuée sur un chromatographe en phase gazeuse SHIMADZU GCMS-QP2020, équipé d'un détecteur à ionisation de flamme. La colonne utilisée est une colonne capillaire fusionnée Rxi®-5ms (Phase : Crossbond® 5% diphenyl/ 95% dimethyl polysiloxane) de longueur 30 m × 0.25 mm et l'épaisseur du film étant de 0,25 µm. Les conditions opératoires sont une température de 250°C de l'injecteur (mode split et split less) et une température de 310°C du détecteur FID. La programmation de la température est de 50°C pour 2 min suivie d'une élévation 3°C/min pendant 2 min jusqu'à atteindre 310°C. Le gaz vecteur utilisé est l'hélium (He) avec un débit de 1 mL/min. Les conditions du

spectromètre de masse étaient les suivantes : tension d'ionisation 70 eV, température de la source d'ions 200 °C et spectres de masse d'ionisation d'électrons ont été acquis sur la plage de masse de 45 à 600 m/z.

II.3.3. Evaluation de la capacité antioxydante *in vitro*

II.3.3.1. Test de piégeage du radical DPPH[•]

Le DPPH[•] fut l'un des premiers radicaux libres (**Figure 5**) utilisé pour étudier la relation structure-capacité antioxydante des composés phénoliques [21]. Le DPPH[•] (2,2 diphényl-1-picrylhydrazyl) est généralement le substrat le plus utilisé pour l'évaluation rapide et directe de la capacité antioxydante en raison de sa stabilité en forme radicale libre et la simplicité de l'analyse. Le radical a une couleur violette en raison de l'électron non apparié d'azote et, après réaction avec l'atome d'oxygène d'un piègeur de radicaux de la réduction de DPPH-H (2,2-diphényl-1-picrylhydrazine) est formé, qui est jaune pâle [22]. Ceci permet de suivre la cinétique de décoloration de ce radical à 515-520 nm et de cette façon le potentiel antioxydant d'une substance ou un extrait de plante peut être déterminée [21].

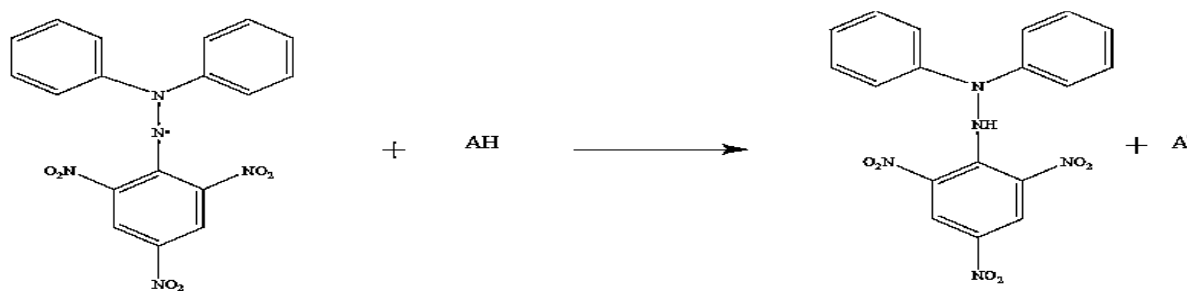


Figure 5. Réaction du radical DPPH[•] avec l'antioxydant (AH) [23].

Dans ce test, 50 µL de de chaque HE dilué dans l'éthanol ont été incubés avec 1000 µL d'une solution méthanolique de DPPH (125 µM). Après 30 min d'incubation à l'obscurité et à la température ambiante, les absorbances à 517 nm ont été enregistrées à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible (Shimadzu 1800), où le contrôle négatif contenant l'éthanol et la solution de DPPH. Le pourcentage de la capacité antiradicalaire est déterminé par la formule :

$$\text{CAR}\% = \frac{(A_C - A_{HE})}{A_C} \times 100$$

Où ; A_C : Absorbance du control négative.

A_{HE} : Absorbance de l'HE testé.

II.3.3.2. Test de blanchissement du β -carotène

Cette technique de spectrophotométrie dans l'ultraviolet a initialement été développée par Marco [24], puis légèrement modifiée par Miller [25]. Elle consiste à mesurer, à 460 nm, la décoloration du β -carotène résultant de son oxydation par les produits de décomposition de l'acide linoléique. L'addition d'antioxydants purs ou sous forme d'extraits végétaux induit un retard de la cinétique de décoloration du β -carotène.

2.5 mL de solution de β -carotène (1 g/L) préparée dans le chloroforme a été ajoutée à un ballon contenant préalablement 20 mg d'acide linoléique et 200 mg de Tween 80. Après mélange des deux phases, le chloroforme a été complètement évaporé à l'aide d'un rotavapeur sous vide. Par la suite, 30 mL d'eau distillée ont été ajoutés au mélange précédent avec agitation rigoureuse. 1 mL de l'émulsion obtenue a été additionné à une série de tubes contenant 100 μ L de l'HE dilué à tester ou de vitamine E (antioxydant de contrôle). Les tubes ont été placés, à l'obscurité, dans un bain-marie à 50 °C pendant 120 min et les absorbances à 460 nm ont été enregistrées ensuite à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible (Shimadzu 1800).

La capacité antiperoxydative CAP (%) de l'huile essentielle est calculée selon l'équation suivante :

$$\text{CAP}\% = \frac{A_{120+} - A_{120-}}{A_{0-} - A_{120-}} \times 100$$

A_{120+} : L'absorbance en présence d'antioxydant à t=120 min.

A_{120-} : L'absorbance du contrôle sans antioxydant à t= 120 min.

A_{0-} : L'absorbance du contrôle sans antioxydant à t=0 min

II.4. Analyses statistiques

L'étude statistique a été réalisée par le logiciel EXCEL. Les résultats des tests effectués *in vitro* sont exprimés en moyenne \pm déviation standard (SD), n=3. Une analyse descriptive des résultats est réalisée à l'aide du logiciel XLSTAT 2018.5.03, avec une tolérance de 0,0001 et un intervalle de confiance de 95%, afin de déterminer le coefficient de corrélation (coefficient de Pearson) et de faire l'évaluation en composantes principales (ACP) pour distinguer la relation entre les HEs en fonction de leur composition chimiques et de leurs capacités antioxydantes. Une analyse de la variance (ANOVA) a été réalisée sur les résultats obtenus. La différence entre deux valeurs est considérée comme significative lorsque $p < 0,05$. Lorsqu'une différence significative est observée, des tests de comparaison multiple de Tukey et de Dunnett sont effectués.

Résultats et Discussion

III.1. Détermination des rendements des HEs

Le processus d'extraction des HEs des parties tiges d'échantillons de *Deverra scoparia* et *Foeniculum vulgare* a donné des HEs de couleur jaune clair et jaune foncé, respectivement, avec des rendements différents.

Le rendement de chaque extrait d'HE est représenté dans le **Tableau 4**.

Tableau 4. Rendement d'extraction des HEs étudiés.

	Région	Rendement %
<i>Deverra scoparia</i>	DJ	0,90±0.28 ^a
	DL	0,90±0.42 ^a
	GH	1,15±0,35 ^a
<i>Foeniculum vulgare</i>	AF	0,40±0.14 ^b
	AM	0,30±0.14 ^b
	ZB	0,15±0.07 ^b

Les valeurs sont exprimées en moyenne ± ES (n=3). Les valeurs avec les lettres différentes en exposant (a et b) sont significativement différentes ($p < 0,001$)

Les HEs obtenus représentent des couleurs différentes (jaune foncé et jaune clair) avec des rendements qui varient (0,15±0.07-1,15±0,35%). Nous constatons que, l'espèce *Deverra scoparia* a offert les rendements les plus significativement élevés par rapport à l'espèce *Foeniculum vulgare*. Ainsi, l'HE de GH enregistre un fort rendement de l'ordre de (1,15±0,35%) suivi par les HEs de DL et DJ de la même espèce à raison de 0,90%. D'autre part, le rendement le plus faible est repéré dans l'HE de ZB (0,15±0.07%).

Cependant, ces résultats sont en accord avec ceux obtenu par **Benarfa et al. (2020)** [26] (0,48 et 1,68%) et sont considérables de celui obtenu par **Vérité et al. (2003)** [27] (0,5%). Pour *Foeniculum vulgare* les rendements sont en accord avec ceux obtenu par **Abdelhafid et al. (2018)** [28] (0,4 %).

Le rendement d'extraction est tributaire de plusieurs facteurs qui peuvent influencer les performances de l'extraction, tels que : les facteurs géographiques qui affectent grandement la couverture végétale tels que le climat (précipitations, température, vent), la composition du sol, le type de partie de plante extraite, le moment de la récolte de la plante, l'âge et la phase de croissance de la plante [29]. Ainsi que l'efficacité des méthodes, méthodes d'extraction et le

temps d'extraction, le séchage des plantes (température, heure et lieu de séchage) [30] et d'autres facteurs.

III.2. Analyse des huiles essentielles par CG/SM

Les chromatogrammes de l'analyse de l'huile essentielle de *Deverra scoparia* pour les trois régions DL, DJ et GH sont représentés dans l'annexe 1.

L'HEs obtenue à partir les tiges de la plante *Deverra scoparia* analysée par CG/SM, nous a permis d'identifier 25 composés, ce qui représente 89,97% pour DJ, 85,30% pour DL et 82,19% pour GH de l'HE. Les résultats sont illustrés dans le **Tableau 5**.

Les composés majoritaires de la plante *Deverra scoparia* sont : α -pinène (14,03- 24,33%), le sabinène (5,12-19,94%), β -pinène (2,59-6,42%), le δ -3-carène (0,27-10,39%), limonène (2,49-14,33%), terpinen-4-ol (1,21-9,50%). Notons que les principaux composants observés dans ces essences sont des monoterpènes oxygénés (2,73-9,84%) suivi par les sesquiterpènes hydrocarbonés (5-7,32%), les monoterpènes hydrocarbonés (59,82-69,60%) et enfin les sesquiterpènes oxygénés (3,03-6,13%).

Tableau 5. Composition Chimique des HEs de *Deverra scoparia* Coss. & Dur identifiée par CG/SM.

Composés	Régions		
	DJ	DL	GH
α -Thujène	1,99	1,92	2,91
α -Pinène	14,03	24,33	21,09
Sabinène	19,94	5,30	5,12
β -Pinène	2,59	6,42	6,29
Myrcène	2,11	1,95	1,62
α -phellandrène	1,36	3,31	4,06
δ -3-Carène	0,73	10,39	0,27
α -Terpinène	3,18	0,86	0,49
<i>p</i> -Cymène	1,87	2,72	3,37
Limonène	14,33	2,49	13,08
β -Ocimène	1,13	3,49	0,34
γ -Terpinène	4,74	1,33	0,71
α -Terpinolène	1,60	1,75	0,47
Terpinen-4-ol	9,50	2,37	1,21
Methyleugénol	0,34	0,36	1,87
Caryophyllène	1,27	1,22	1,23
Germacrène D	3,16	3,42	4,38
δ -Cadinène	0,57	2,05	1,71
Spathulenol	0,15	0,51	1,19
Oxyde de Caryophyllène	0,88	1,51	0,75
τ -Muurolol	0,24	1,82	1,59
β -Eudesmol	0,99	1,71	1,37
α -Cadinol	0,77	1,24	1,23
(Z)-Butylidene phthalide	0,63	0,95	1,30
(E)-Ligustilide	1,87	3,59	4,54
Total identifié	89,97	85,3	82,19
Monoterpènes hydrocarbonés	69,60	66,26	59,82
Monoterpènes oxygénés	9,84	2,73	3,08
Sesquiterpène hydrocarbonés	5	6,69	7,32
Sesquiterpène oxygénés	3,03	5,08	6,13

Les chromatogrammes de l'analyse de l'HE de *Foeniculum vulgare* pour les trois régions ZB, AM et AF sont représentés dans l'annexe 2.

Les HEs obtenues à partir des tiges de la plante *Foeniculum vulgare* analysées par CG/SM, nous a permis d'identifier 19 composés, ce qui représente 72,46% pour ZB, 81,51% pour AM et 93,6% pour AF de l'HE. Les résultats sont illustrés dans le **Tableau 6**.

Tableau 6. Composition Chimique des HEs de *Foeniculum vulgare* subsp. piperitum (Ucria) Bég. identifiée par CG/SM.

Composés	Régions		
	AF	AM	ZB
2,7-diméthyl-1-octanol	3,98	/	/
Dimethylsilanediol	9,72	/	/
α -Pinène	/	9,77	1,17
β -Pinène	/	2,07	0,32
Myrcène	40,93	5,88	2,05
3-Carène	/	0,07	12,55
α -Terpinène	/	/	12,78
<i>p</i> -Cymène	3,12	0,28	0,37
Limonène	30,34	1,62	16,64
β -Ocimène	/	1,46	8,35
<i>p</i> -mentha-1,5- dien-8-ol	/	1,08	1,53
Terpinen-4-ol	/	0,21	1,10
Estragol	/	40,04	7,38
Anéthol	1,49	8,99	5,49
Copaène	/	1,31	0,36
Germacrène D	/	2,02	1,39
δ -Cadinène	/	2,44	0,63
τ -Muurolol	/	1,42	0,16
Acide palmitique	4,02	2,85	1,36
Total identifié	93,6	81,51	72,46
Monoterpènes hydrocarbonés	74,39	11,38	53,06
Monoterpènes oxygénés	1,49	50,32	15,5
Sesquiterpène hydrocarbonés	/	5,77	2,38
Sesquiterpène oxygénés	/	1,42	0,16

Les composés majoritaires de la plante *Foeniculum vulgare* sont : le 2,7-diméthyl-1-octanol (3,98%) et dimethylsilanediol (9,72%) pour AF, l' α -pinène (1,17-9,77%), limonène (1,62-30,34%), myrcène (2,05-40,93%), le 3-carène (0,07-12,55%), l'estragol (7,38-40,04%), et l'anéthol (1,49-8,99%). Notons que les principaux composants observés dans ces essences sont des monoterpènes oxygénés (1,49-50,32%) suivi par les sesquiterpènes hydrocarbonés (2,38-5,77%), les monoterpènes hydrocarbonés (11,38-74,39%) et enfin les sesquiterpènes oxygénés (0,16-1,42%).

La composition des HEs étudiés est caractérisée par le chémotype de la plante comme dans le cas des autres espèces aromatiques. Elle dépend également de la partie de la plante utilisée, de son stade de croissance ainsi que la nature du sol et des conditions de culture.

Une étude réalisée par **Attia et al. (2011)** [31] sur l'HE de l'espèce *Deverra scoparia* a révélée l' α -pinène comme le constituant le plus abondant (31,95%), suivi par le sabinène (17,24%) et le δ 3-carène (16,85%). Pour la même espèce (*Deverra scoparia*), l'étude de **Gourine et al. (2011)** [32] a évalué la présence d'hydrocarbures monoterpéniques et certains composés oxygénés. Les composants principaux sont l' α -pinène (4,4 à 35,8%), le limonène (0,8 à 66,5%), l'acétate de bornyle (9,6%), la myristicine (31,1%) et l'aneth apiole (0,4 à 47,3%). Egalement, la composition chimique de l'HE de cette espèce a été l'objet d'une étude réalisée par **Benarfa et al. (2020)** [33]. À la suite de cette étude, les composants principaux sont l' α -pinène (17,97–53,25%), sabinène+ β -pinène (3,44–24,99%), α -phellandrène (0,75–10,32%), limonène (1,35–59,68%), terpinen-4-ol (0,29–15,85%) and spathulenol (0,46–11,29%).

III.3. Evaluation de l'activité antioxydante

III.3.1. Effet scavenger du radical DPPH \cdot

Le test du radical DPPH \cdot (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) est l'une des méthodes la plus couramment employée. Elle est rapide, facile à mettre en œuvre et s'effectue à température ambiante, ce qui permet l'élimination de tout risque de dégradation thermique des molécules testées [34]. Ainsi, l'efficacité d'un antioxydant peut être définie comme sa capacité à fixer des radicaux libres, donc à arrêter la propagation de la réaction en chaîne et prévenir le stress oxydatif [35].

A l'aide de la courbe d'étalonnage de la vitamine E (**Figure 6**), nous avons évalué l'activité antioxydante des différents HEs. L'activité antioxydante est exprimée par VEEAC ($\mu\text{g VE/mL d'HE}$), qui est définie comme la masse en μg de la vitamine E ayant la même activité

antioxydante qu'une solution de 1 mL de l'HE testé. Plus les valeurs de VEEAC sont grandes plus l'HE est un antioxydant puissant.

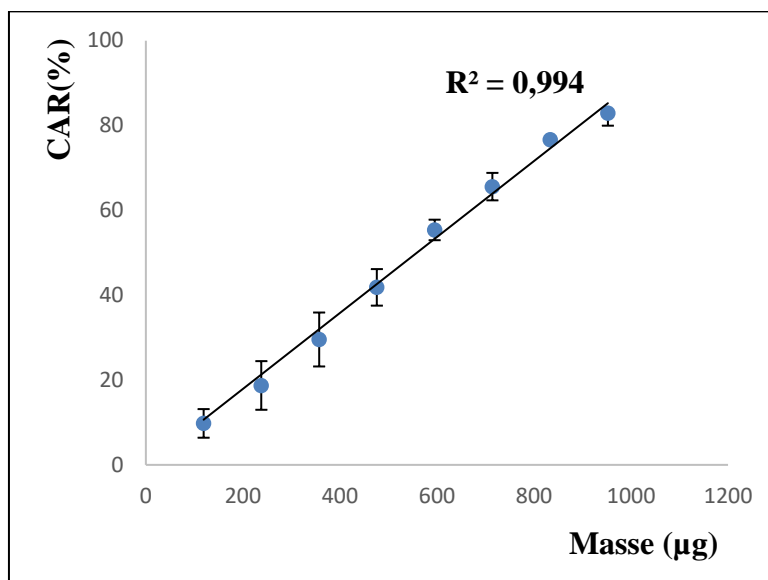


Figure 6. Courbe d'étalonnage de la vitamine E du test DPPH*.

Le **Tableau 7** représente les résultats de la capacité antiradicalaire obtenus par le test de DPPH* pour toutes les HEs étudiées.

Tableau 7. Valeurs des VEEAC des HEs étudiées mesurées par le test de DPPH*.

	Régions	VEEAC (µg/mL)
<i>Deverra scoparia</i>	DJ	21,90 ± 2,44 ^a
	DL	37,95 ± 2,91 ^b
	GH	16,26 ± 0,56 ^c
<i>Foeniculum vulgare</i>	AF	32,18 ± 0,94 ^d
	AM	58,54 ± 2,79 ^e
	ZB	62,80 ± 0,44 ^e

Les valeurs sont exprimées en moyenne ± ES (n=3). Les valeurs avec les lettres différentes en exposant (a, b, c, d et e) sont significativement différentes ($p < 0,001$).

D'après les résultats mentionnés dans le **Tableau 7**, toutes les HEs étudiées présentent des capacités antiradicalaires plus ou moins significatives. Nous observons une importante activité antiradicalaire qui varie $16,26 \pm 0,56$ et $62,80 \pm 0,44$ µg/mL.

Parmi toutes les HEs, ZB et AM représentent les HEs les plus actifs non significatives avec des valeurs de VEEAC de l'ordre de $62,80 \pm 0,44$ et $58,54 \pm 2,79$ µg/mL respectivement. Néanmoins,

toutes les HEs de la plante *Foeniculum vulgare* présentent des valeurs puissantes de VEEAC ($32,18 \pm 0,94$ à $62,80 \pm 0,44$ $\mu\text{g/mL}$).

Ces résultats sont en accord avec ceux déjà publiés sur les plantes du genre *Deverra* selon lesquels les huiles essentielles des espèces de ce genre constitueraient une bonne source d'antioxydants naturels [36, 37].

La capacité antioxydante de l'huile essentielle étudiée est probablement liée aux composants majoritaires qui sont principalement les monoterpènes. Ces derniers présentent des propriétés antioxydantes importantes. En général, les huiles essentielles riches en composés oxygénés présentent une activité antiradicalaire plus marquée que celles à terpènes hydrocarbonés [36, 38].

III.3.2. Inhibition par blanchissement de β -carotène

Dans le test du blanchissement de β -carotène, la capacité antioxydante est déterminée en mesurant l'inhibition de la dégradation oxydative du β -carotène (décoloration) par les produits d'oxydation de l'acide linoléique qui attaquent simultanément le β -carotène et ayant comme résultat le blanchissement du β -carotène et la disparition de sa couleur orange.

Afin de référer le pouvoir antioxydant de nos HEs à celui de la vitamine E (**Figure 7**) par le paramètre VEEAC (capacité antioxydante équivalente à la vitamine E), ce paramètre a été exprimé en mg par mL de HE.

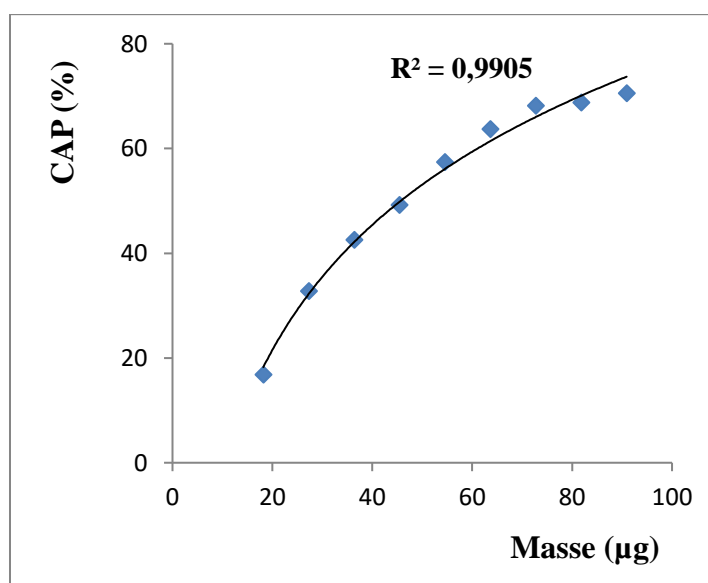


Figure 7. Courbe d'étalonnage de la vitamine E du test β -carotène.

Les résultats de ce test sont résumés dans le **Tableau 8**.

Tableau 8. Valeurs des VEEAC des HEs mesurés par le test de β -carotène.

	Régions	VEEAC (mg/mL)
<i>Deverra scoparia</i>	DJ	4,55 \pm 0,04 ^a
	DL	4,73 \pm 0,18 ^a
	GH	4,73 \pm 0,00 ^a
<i>Foeniculum vulgare</i>	AF	2,27 \pm 0,04 ^b
	AM	4,70 \pm 0,02 ^a
	ZB	2,97 \pm 0,16 ^c

Les valeurs sont exprimées en moyenne \pm ES (n=3). Les valeurs avec les lettres différentes en exposant (a, b et c) sont significativement différentes ($p < 0.001$).

D'après les résultats mentionnés dans le **Tableau 8**, on remarque que les valeurs des VEEAC s'échelonnent entre 2,27 \pm 0,04 et 4,73 \pm 0,18 mg/mL. Si nous comparons les capacités antioxydantes des huiles, nous constatons que les HEs de DL, GH et AM sont les plus puissants (4,73 \pm 0,18, 4,73 \pm 0,00 et 4,70 \pm 0,02 mg/mL HE respectivement), suivi par celle de DJ (4,55 \pm 0,04 mg/mL), les échantillons de DL et AM ont pratiquement la même capacité antioxydante. Il est constatable aussi, que les faibles capacités antioxydantes ont été repérées dans les échantillons d'AF et ZB. La bonne capacité antioxydante trouvée dans le l'HE de AM est probablement attribuable au estragol (40,04%), un composant antioxydant bien connu [39, 40] avec des synergies avec d'autres composants (α -pinène et anéthol). Nous avons constaté également, que l'HE de GH a présenté une capacité antioxydante faible vis-à-vis des deux tests DPPH et β -carotène comparativement aux autres HEs. Cependant, selon la littérature, aucune étude n'a été réalisée sur les HEs de la plante *Foeniculum vulgare* spontanée sur la capacité antioxydante à ce jour.

III.3.3. Corrélation entre la capacité antioxydante et la composition en HEs

L'analyse en composantes principales (ACP) permet de différencier les groupes dans l'ensemble des variables en regardant celles qui se ressemblent et celles qui se distinguent des autres. C'est-à-dire, lorsque deux variables sont proches les unes par rapport aux autres, elles sont alors positivement corrélées. Si elles sont orthogonales les unes par rapport aux autres, alors elles sont non-corrélées. Si elles sont symétriquement opposées par rapport au centre, elles sont alors négativement corrélées. De ce fait, pour montrer l'existence ou pas de corrélation entre les capacités antioxydantes et les composés chimiques, nous avons réalisé une analyse ACP sur la matrice des 6 HEs x 2 méthodes. La matrice de corrélations présentées dans **Tableau 9**.

Tableau 9. Matrice des coefficients de corrélation de Pearson (*r*) entre les valeurs provenant des deux différentes méthodes d'estimation de la capacité antioxydante et la composition en HEs.

Variables	(Z)-Butylidène phthalide	Anéthol	Caryophyllène	Limonène	Myrcène	p-Cymène	p-mentha-1,5-dien-8-ol	α -phellandrène	α -Cadinol	α -Pinène	α -Thujène	Germacrène D	β -Pinène	δ -Cadinène	τ -Muurolol	DPPH VEEAC	β -Carotène VEEAC	Rendement	Monoterpènes hydrocarbonés	Monoterpènes oxygénés	Sequiterpènes shydrocarbonés	Sequiterpènes oxygénés	
(Z)-Butylidène phthalide	1																						
Anéthol	-0,858	1																					
Caryophyllène	0,808	-0,770	1																				
Limonène	0,024	-0,300	-0,317	1																			
Myrcène	-0,063	-0,075	-0,503	0,760	1																		
p-Cymène	0,907	-0,862	0,555	0,355	0,358	1																	
p-mentha-1,5- dien-8-ol	-0,603	0,727	-0,436	-0,416	-0,521	-0,781	1																
α -phellandrène	0,471	-0,115	0,543	-0,671	-0,765	0,107	0,371	1															
α -Cadinol	0,464	-0,132	0,683	-0,848	-0,797	0,083	0,168	0,899	1														
α -Pinène	0,727	-0,486	0,873	-0,658	-0,595	0,425	-0,203	0,772	0,915	1													
α -Thujène	0,879	-0,743	0,961	-0,262	-0,487	0,615	-0,384	0,648	0,707	0,862	1												
Germacrène D	0,652	-0,413	0,870	-0,607	-0,771	0,275	-0,036	0,839	0,918	0,917	0,908	1											
β -Pinène	0,787	-0,498	0,824	-0,588	-0,542	0,501	-0,159	0,839	0,897	0,977	0,860	0,897	1										
δ -Cadinène	0,107	0,321	0,225	-0,917	-0,576	0,174	0,356	0,730	0,842	0,653	0,261	0,574	0,648	1									
τ -Muurolol	0,441	-0,011	0,443	-0,800	-0,500	0,177	0,135	0,823	0,892	0,820	0,499	0,695	0,852	0,931	1								
DPPH VEEAC	-0,873	0,863	-0,748	-0,267	-0,101	-0,851	0,818	-0,110	-0,200	-0,498	-0,792	-0,495	-0,498	0,188	-0,087	1							
β -Carotène VEEAC	0,364	-0,081	0,682	-0,848	-0,758	-0,001	0,033	0,709	0,938	0,862	0,665	0,878	0,781	0,795	0,782	-0,250	1						
Rendement	0,924	-0,790	0,951	-0,208	-0,336	0,718	-0,543	0,543	0,648	0,857	0,979	0,842	0,848	0,239	0,496	-0,865	0,634	1					
Monoterpènes hydrocarbonés	0,586	-0,896	0,453	0,600	0,307	0,722	-0,635	-0,198	-0,269	0,086	0,401	0,023	0,112	-0,662	-0,365	-0,641	-0,338	0,440	1				
Monoterpènes oxygénés	-0,712	0,913	-0,508	-0,515	-0,219	-0,798	0,545	-0,027	0,114	-0,214	-0,508	-0,155	-0,284	0,513	0,175	0,657	0,259	-0,529	-0,964	1			
Sequiterpènes shydrocarbonés	0,467	-0,132	0,701	-0,827	-0,785	0,084	0,107	0,856	0,990	0,907	0,729	0,933	0,874	0,823	0,859	-0,262	0,970	0,678	-0,289	0,151	1		
Sequiterpènes oxygénés	0,845	-0,585	0,893	-0,486	-0,542	0,554	-0,242	0,804	0,862	0,961	0,943	0,938	0,978	0,538	0,756	-0,630	0,775	0,927	0,193	-0,350	0,861	1	

Tout d'abord, les valeurs de la capacité antioxydante des 6 HEs qui ont été évaluées en utilisant les deux différentes méthodes (DPPH et β -carotène) sont moins corrélées ($r = -0,25$). Ces résultats sont en accord avec d'autres travaux antérieurs [41]. En conclusion, les résultats obtenus suggèrent que les méthodes antioxydantes ne sont pas toutes équivalentes pour estimer la capacité antioxydante. Ces méthodes diffèrent par leur mécanisme et leurs réactions chimiques (différents radicaux sont utilisés comme cible).

D'autre part, les résultats ont révélé de fortes corrélations entre les capacités antioxydantes des différents HEs et leurs compositions chimiques : test du DPPH ($r = 0,87$) avec (Z)-butylidène phthalide, ($r = 0,86$) avec anéthol, ($r = 0,85$) avec *p*-cymène, ($r = 0,81$) avec *p*-mentha-1.5-dien-8-ol, ($r = 0,79$) avec α -thujène et ($r = 0,75$) avec caryophyllène. Ce résultat suggère que plus de 75% des capacités antioxydantes des HEs sont dues aux ces composés. Par contre, les autres composés sont faiblement corrélés avec ce test ($r = 0,1$). Pour le test du β -carotène ($r = 0,94$) avec α -cadinol, ($r = 0,88$) avec germacrène D, ($r = 0,86$) avec α -pinène, ($r = 0,84$) avec limonène, ($r = 0,78$) avec β -pinène et τ -muurolol, ($r = 0,79$) avec δ -cadinène et ($r = 0,71$) avec α -phellandrène. Egalement, le test du β -carotène est fortement corrélé avec les composés sesquiterpènes hydrocarbonés ($r = 0,97$). Ces résultats sont en accord avec la littérature qui affirme que les composés sesquiterpéniques et monoterpéniques oxygénés représentent une source importante d'antioxydants [42-47].

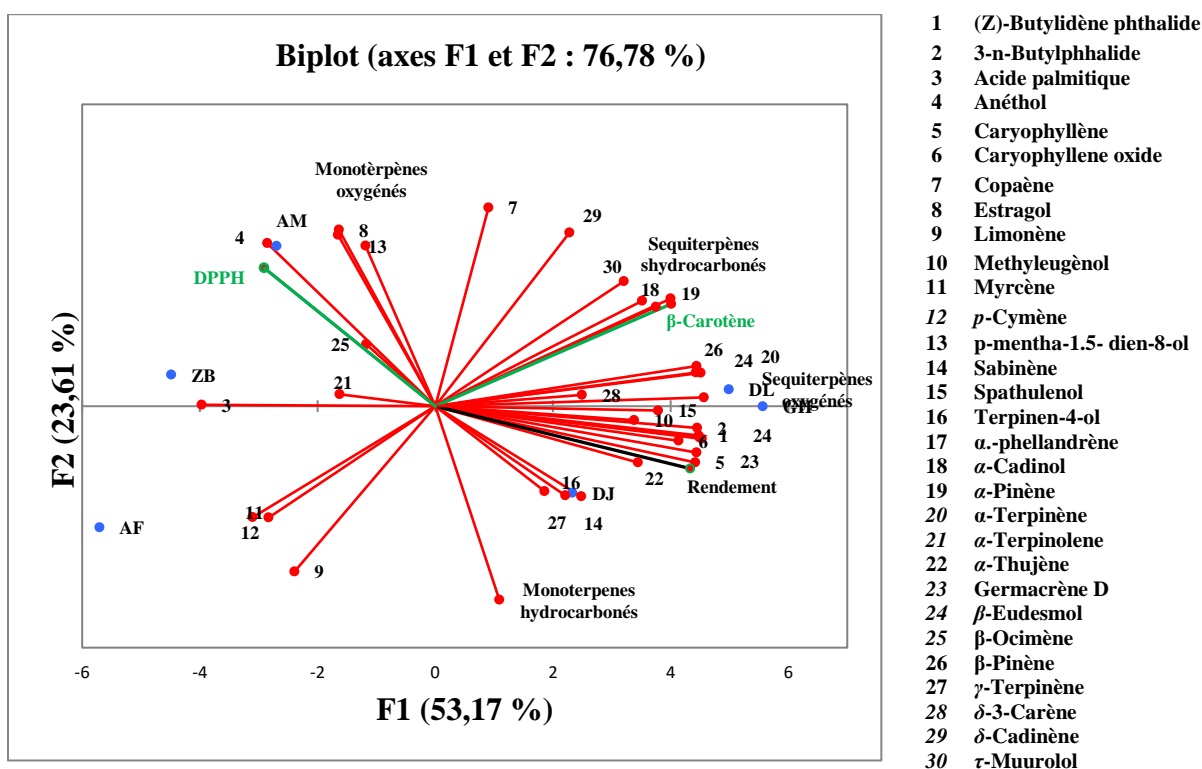


Figure 8. Projection des variables et des individus dans le plan factoriel F1-F2.

Selon la (**Figure 8**), les deux composantes principales expriment une variance totale de 76,78%. La première composante principale (F1), a une influence dominante, avec une expression de 53,17% de la variation totale. Il est fait ressortir un gradient positif regroupant la majorité de toutes les variables étudiées, à l'exception des variables DPPH, monoterpènes oxygénés, 3, 4, 9, 11, 13, 14, 21 et 25. Ces dernières s'expriment sur le deuxième axe avec une variabilité de 23,61% de la variance totale. Cependant, le plan représentant la projection des variétés sur les deux axes F1 et F2 révèlent une distinction claire entre les différents HEs de plantes.

D'autre part, l'axe F1 présente une corrélation significativement positive avec les variables DL (4,85) et GH (5,45). Le variable DJ est se situe au côté positif de cercle de corrélation, il se trouve dans la même région que le β -carotène, ce qui justifié la relation entre ce test par rapport à cette HE. De plus, l'axe F1 est fortement corrélé négativement avec le variable AF (-3,07). D'autre part, l'axe F2 qui exprime une variabilité de 22,52%, est corrélée positivement avec ZB (-4,75) et AF (-4,74), ce qui justifié la relation entre le test DPPH par rapport aux HEs de ces deux régions.

D'autre part, deux groupes distincts ont été identifiés pour tous les HEs. Selon la composante principale 1, les HEs de *Deverra scoparia* (échantillons trouvés le long du côté positif de F1) ont été séparés des HEs de *Foeniculum vulgare* (échantillons trouvés le long du côté négatif de F1). Ce regroupement est peut-être dû aux meilleures valeurs des rendements et des teneurs des composés hydrocarbonés présentées par le groupe trouvé dans le côté positif du tracé CP1. Enfin, les résultats de l'ACP permettent de démontrer que la mesure de la capacité antioxydante de nos HEs dépend de plusieurs facteurs, dont bien entendu la teneur en antioxydants (monoterpènes hydrocarbonés et oxygénés).

Conclusion Générale

De nos jours, un grand nombre de plantes aromatiques possède des propriétés biologiques très importantes avec une source inépuisable de substances bioactives. En effet, effets secondaires induits par les médicaments inquiètent les utilisateurs qui se retournent vers des soins moins agressifs pour l'organisme. Ainsi, ce travail a été mené dans le cadre de l'étude de la composition chimique et de la capacité antioxydante des huiles essentielles de deux plantes médicinales locales poussant spontanément (*Deverra scoparia* Coss. & Durieu et *Foeniculum vulgare subsp. piperitum* (Ucria) Bég.). En effet, les résultats obtenus lors de la réalisation de ce mémoire nous amène à tirer les conclusions suivantes :

- Les rendements en extraits bruts des composés volatiles sont variables selon l'espèce et la région de récolte. Les extraits ainsi obtenus présentent un aspect huileux de couleurs différentes avec des rendements qui varient entre 0,15 et 1,15 %. Ainsi, les rendements les plus élevés sont enregistrés dans la plante *Deverra scoparia* Coss. & Durieu.
- L'analyse de la composition chimique des huiles essentielles des deux espèces végétales a permis de mettre en évidence cinq constituants majoritaires dans chaque essence. Les huiles essentielles de *Deverra scoparia* Coss. & Durieu et *Foeniculum vulgare subsp. piperitum* (Ucria) Bég sont principalement constituées de monoterpènes hydrocarbonés (respectivement 59,82-69,60 % et 11,38-74,39%), monoterpènes oxygénés (respectivement 2,73-9,84% et 1,49-50,32 %), sesquiterpènes hydrocarbonés (respectivement 5,00-7,32 % et 2,38-5,77 %) et sesquiterpènes oxygénés (respectivement 3,03-6,13 % et 0,16-1,42 %). Les principaux constituants de ces huiles sont l' α -pinène (respectivement 14,03-24,33 % ; 01,17-9,77 %), le limonène (respectivement 2,49-14,33 % ; 1,62-30,43 %) et le myrcène (respectivement 1,62-2,11 % ; 2,02-40,93 %). L'huile essentielle de *Foeniculum vulgare subsp. piperitum* (Ucria) Bég récolté de la région d'Aflou s'est avérée différente de celles des autres huiles par une proportion importante de myrcène (40,93 %) et du limonène (30,34%) et par présence d'un nouveaux composé (dimethylsilanediol).
- Toutes les huiles essentielles étudiées ont révélé des réponses inhibitrices à différents niveaux à piéger les radicaux DPPH• et à inhiber la peroxydation lipidique du β -carotène. L'huile essentielle de *Foeniculum vulgare subsp. piperitum* (Ucria) Bég récolté de la région d'Ain Madhi a présenté la plus forte capacité antioxydante en comparaison avec toutes les autres huiles essentielles. Ainsi, son important effet antioxydant semble être lié à sa richesse en estragol et l'anéthol.

Ces résultats restent préliminaires, ce qui nécessite d'autres études approfondies pour mieux se concentrer sur les effets révélés. Il serait profitable de tester ces huiles avec d'autres radicaux et, de rechercher leurs effets sur d'autres capacités biologiques telles que la capacité antidiabétique et antimicrobienne et étudier la peroxydation des HEs (indice d'acidité (IA), indice d'iode (II), indice de saponification (IP),...) à déférente température pendant une durée.

Il est également souhaitable de procéder à une analyse approfondie des mécanismes d'action de ces composés et une recherche plus avancée sur la synergie des composés de base et l'association d'extraits d'huiles essentielles dans les produits alimentaires.

Références Bibliographiques

1. Saito, Y. (2021). Lipid peroxidation products as a mediator of toxicity and adaptive response—The regulatory role of selenoprotein and vitamin E. *Archives of biochemistry and biophysics*, 703, 108840.
2. Farhoosh, R. (2021). New insights into the kinetic and thermodynamic evaluations of lipid peroxidation. *Food Chemistry*, 131659.
3. Oroian, M., & Escriche, I. (2015). Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis. *Food Research International*, 74, 10-36.
4. Liu, T., & Liu, L. (2020). Fabrication and characterization of chitosan nanoemulsions loading thymol or thyme essential oil for the preservation of refrigerated pork. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162, 1509-1515.
5. Chen, H., Zhang, Y., & Zhong, Q. (2015). Physical and antimicrobial properties of spray-dried zein–casein nanocapsules with co-encapsulated eugenol and thymol. *Journal of Food Engineering*, 144, 93-102.
6. Atanasov, A. G., Zotchev, S. B., Dirsch, V. M., & Supuran, C. T. (2021). Natural products in drug discovery: advances and opportunities. *Nature reviews Drug discovery*, 20(3), 200-216.
7. Pan, S. Y., Zhou, S. F., Gao, S. H., Yu, Z. L., Zhang, S. F., Tang, M. K., ... & Ko, K. M. (2013). New perspectives on how to discover drugs from herbal medicines: CAM's outstanding contribution to modern therapeutics. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013.
8. Newman, D. J., & Cragg, G. M. (2020). Natural products as sources of new drugs over the nearly four decades from 01/1981 to 09/2019. *Journal of natural products*, 83(3), 770-803.
9. Rehman, A., Qunyi, T., Sharif, H. R., Korma, S. A., Karim, A., Manzoor, M. F., ... & Mehmood, T. (2021). Biopolymer based nanoemulsion delivery system: An effective approach to boost the antioxidant potential of essential oil in food products. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2, 100082.
10. Christaki, S., Moschakis, T., Kyriakoudi, A., Biliaderis, C. G., & Mourtzinis, I. (2021). Recent advances in plant essential oils and extracts: Delivery systems and potential uses as preservatives and antioxidants in cheese. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 264-278.
11. Aponso, M., Patti, A., Hearn, M. T., & Bennett, L. E. (2021). Anxiolytic effects of essential oils may involve anti-oxidant regulation of the pro-oxidant effects of ascorbate in the brain. *Neurochemistry International*, 150, 105153.

12. Karimi, P., Malekifard, F., & Tavassoli, M. (2022). Medicinal plant essential oils as promising Anti-Varroa agents: Oxidative/nitrosative screens. *South African Journal of Botany*, 148, 344-351.
13. Sana, S. S., Li, H., Zhang, Z., Sharma, M., Usmani, Z., Hou, T., ... & Gupta, V. K. (2021). Recent advances in essential oils-based metal nanoparticles: A review on recent developments and biopharmaceutical applications. *Journal of Molecular Liquids*, 333, 115951.
14. Djarmati, Z., Jankov, R. M., Schwirtlich, E., Djulinac, B., & Djordjevic, A. (1991). High antioxidant activity of extracts obtained from sage by supercritical CO₂ extraction. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 68(10), 731-734.
15. Benarfa, A., Gourine, N., Hachani, S., Harrat, M., & Yousfi, M. (2020). Optimization of ultrasound-assisted extraction of antioxidative phenolic compounds from *Deverra scoparia* Coss. & Durieu (flowers) using response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(7), e14514.
16. Cosson, M. E. (1855). Notes Sur Quelques Plantes Nouvelles Ou Rares Mentionnées Dans La Liste Précédente. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 2(4), 245-255.
17. 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.
18. Ozenda, P. (1983).- Flore du Sahara. Ed. 2. Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). Paris : p. 401.
19. Quezel, P., & Santa, S. (1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales (No. 581.965 Q8). p. 559-565.
20. Gulfraz, M., Mehmood, S., Minhas, N., Jabeen, N., Kausar, R., Jabeen, K., & Arshad, G. (2008). Composition and antimicrobial properties of essential oil of *Foeniculum vulgare*. *African Journal of Biotechnology*, 7(24).
21. 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(8).
22. Villaño, D., Fernández-Pachón, M. S., Moyá, M. L., Troncoso, A. M., & García-Parrilla, M. C. (2007). Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical. *Talanta*, 71(1), 230-235.
23. Sharma, O. P., & Bhat, T. K. (2009). DPPH antioxidant assay revisited. *Food chemistry*, 113(4), 1202-1205.

24. Marco, G. J. (1968). A rapid method for evaluation of antioxidants. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 45(9), 594-598.
25. Miller, H. E. (1971). A simplified method for the evaluation of antioxidants. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 48(2), 91-91.
26. Benarfa, A., Gourine, N., Harrat, M., & Yousfi, M. (2020). Composition and biovariability of *Deverra scoparia* volatile oil and its potential use as a source of bioactive phthalide components. *Biochemical Systematics and Ecology*, 90, 104019.
27. Vérité, P., Nacer, A., Kabouche, Z., & Seguin, E. (2004). Composition of seeds and stems essential oils of *Pituranthos scoparius* (Coss. & Dur.) Schinz. *Flavour and fragrance journal*, 19(6), 562-564.
28. بن عبد الحفيظ، ر.و دولي، آ. (2018). مساهمة في دراسة الجزيئات الفعالة بيولوجيا لنبات *Foeniculum vulgare* L. (مذكر ماستر)، ص. 35.
29. Akrouf, A., El Jani, H., Amouri, S., & Neffati, M. (2009). Screening of antiradical and antibacterial activities of essential oils of *Artemisia campestris* L., *Artemisia herba alba* Asso, & *Thymus capitatus* Hoff. et Link. growing wild in the Southern of Tunisia. *Recent Research in Science and Technology*, 2(1).
30. Sabouni, R. (2015). Effet antioxydant de l'huile essentielle de la plante Guezzah (*Pituranthos chloranthus*) incorporée dans des shortenings produits au niveau de CEVITAL SPA.
31. Attia, S., Grissa, K. L., Lognay, G., Heuskin, S., Mailleux, A. C., & Hance, T. (2011). Chemical composition and acaricidal properties of *Deverra scoparia* essential oil (Araliales: Apiaceae) and blends of its major constituents against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Journal of Economic Entomology*, 104(4), 1220-1228.
32. Gourine, N., Merrad, B., Yousfi, M., Stocker, P., & Gaydou, E. M. (2011). Chemical composition of the essential oil of *Pituranthos scoparius*. *Natural product communications*, 6(8), 1934578X1100600828.
33. Benarfa, A., Gourine, N., Harrat, M., & Yousfi, M. (2020). Composition and biovariability of *Deverra scoparia* volatile oil and its potential use as a source of bioactive phthalide components. *Biochemical Systematics and Ecology*, 90, 104019.
34. Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Vidal, N., Lesgards, J. F., & Stocker, P. (2007). Screening of some Algerian medicinal plants for the phenolic compounds and their antioxidant activity. *European Food Research and Technology*, 224(6), 801-809.
35. Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarinn J. sci. technol*, 26(2), 211-219.

36. Hammoudi, R., Dehak, K., Hadj-Mahammed, M., & Ouldelhadj, M. D. (2015). Composition chimique et activité antioxydante des huiles essentielles de *Deverra scoparia* Coss. et Dur.(Apiaceae). *Leb. Sci. J*, 16, 27-36.
37. Neffati, A., Bouhlel, I., Sghaier, M. B., Boubaker, J., Limem, I., Kilani, S., ... & Ghedira, K. (2009). Antigenotoxic and antioxidant activities of *Pituranthos chloranthus* essential oils. *Environmental toxicology and pharmacology*, 27(2), 187-194.
38. Benarfa, A., Gourine, N., Mahfoudi, R., Harrat, M., & Yousfi, M. (2019). Effect of seasonal and regional variations on phenolic compounds of *Deverra scoparia* (flowers/seeds) methanolic extract and the evaluation of its in vitro antioxidant activity. *Chemistry & Biodiversity*, 16(11), e1900420.
39. De Martino, L., De Feo, V., Fratianni, F., & Nazzaro, F. (2009). Chemistry, antioxidant, antibacterial and antifungal activities of volatile oils and their components. *Natural product communications*, 4(12), 1934578X0900401226.
40. Júnior, E. B. A., de Oliveira Formiga, R., de Lima Serafim, C. A., Araruna, M. E. C., de Souza Pessoa, M. L., Vasconcelos, R. C., ... & Batista, L. M. (2020). Estragole prevents gastric ulcers via cytoprotective, antioxidant and immunoregulatory mechanisms in animal models. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 130, 110578.
41. Metlef, S. (2021). Caractérisation et étude des activités antioxydantes et antibactériennes de l'huile d'olive algérienne (Doctoral dissertation), p.VI.
42. Wojtunik, K. A., Ciesla, L. M., & Waksmundzka-Hajnos, M. (2014). Model studies on the antioxidant activity of common terpenoid constituents of essential oils by means of the 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl method. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(37), 9088-9094.
43. Zengin, H., & Baysal, A. H. (2014). Antibacterial and antioxidant activity of essential oil terpenes against pathogenic and spoilage-forming bacteria and cell structure-activity relationships evaluated by SEM microscopy. *Molecules*, 19(11), 17773-17798.
44. Pistelli, L., Giovanelli, S., D'Angiolillo, F., Karkleva, K., Leonardi, M., Ambryszewska, K., ... & Pistelli, L. (2018). Antioxidant activity of several essential oils from different *rosmarinus officinalis* cultivars grown in Sanremo (Italy). *Natural Product Communications*, 13(9), 1934578X1801300917.
45. Ruberto, G., & Baratta, M. T. (2000). Antioxidant activity of selected essential oil components in two lipid model systems. *Food chemistry*, 69(2), 167-174.
46. Shoaib, M., Shah, I., Ali, N., Adhikari, A., Tahir, M. N., Shah, S. W. A., ... & Umer, M. N. (2017). Sesquiterpene lactone! a promising antioxidant, anticancer and moderate

- antinociceptive agent from *Artemisia macrocephala* jacquem. *BMC complementary and alternative medicine*, 17(1), 1-11.
47. Khan, A. L., Khan, H., Hussain, J., Adnan, M., Hussain, I., Khan, T., & Khan, A. R. (2008). Sesquiterpenes: the potent antioxidants. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research*, 51(6), 343-350.

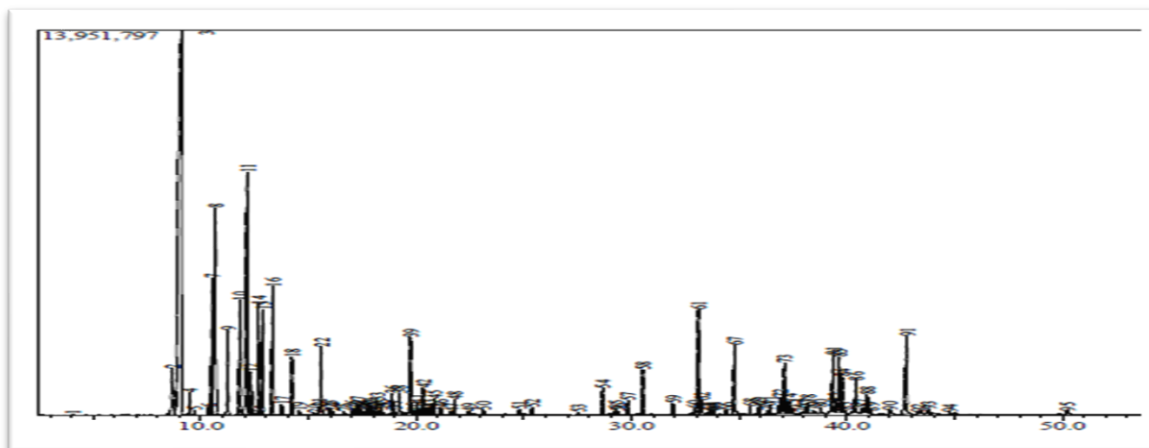


Figure 1. Chromatogramme de la CG/SM des HEs de *Deverra scoparia* Coss. & Dur pour la région Deldoul (DL).

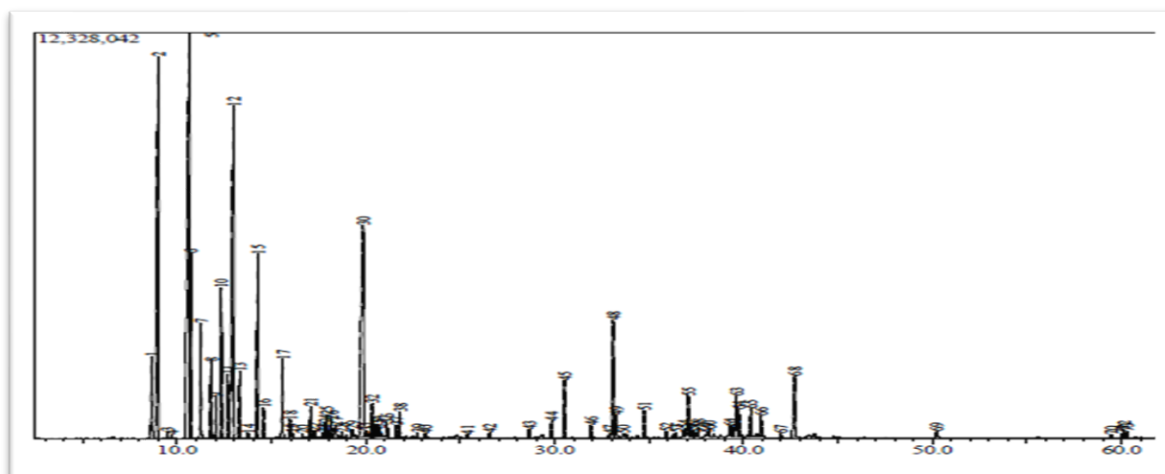


Figure 2. Chromatogramme de la CG/SM des HEs de *Deverra scoparia* Coss. & Dur pour la région de Djelfa (DJ).

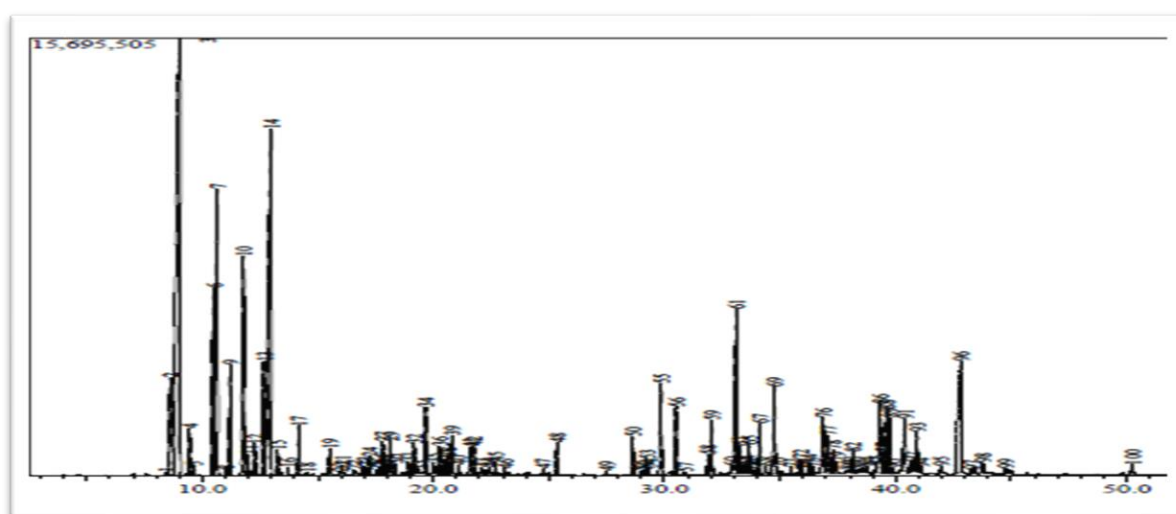


Figure 3. Chromatogramme de la CG/SM des HEs de *Deverra scoparia* Coss. & Dur pour la région El-Ghicha (GH).

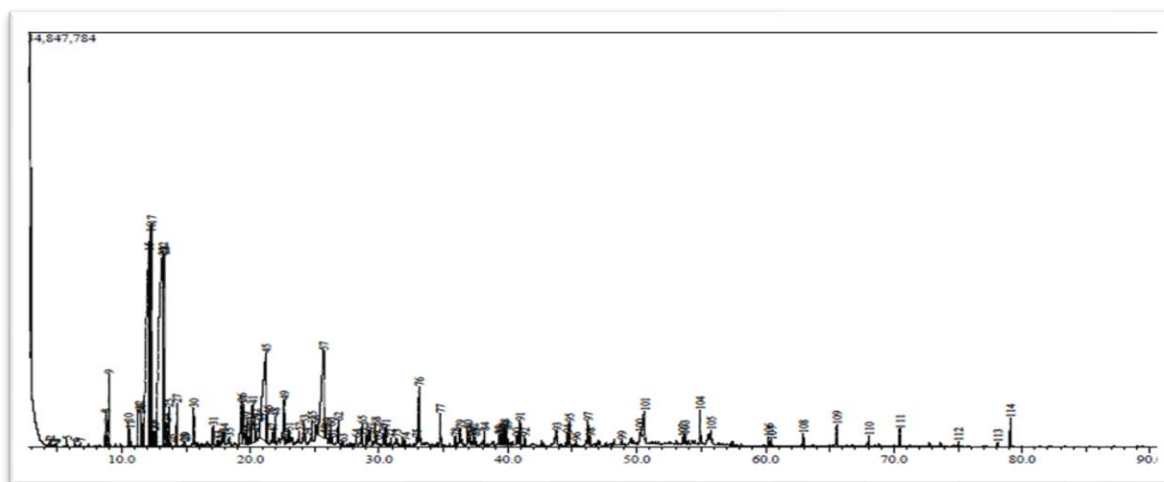


Figure 4. Chromatogramme de la CG/SM des HEs de *Foeniculum vulgare* subsp. *piperitum* (Ucria) Bég. pour la région Zoubiria (ZB).

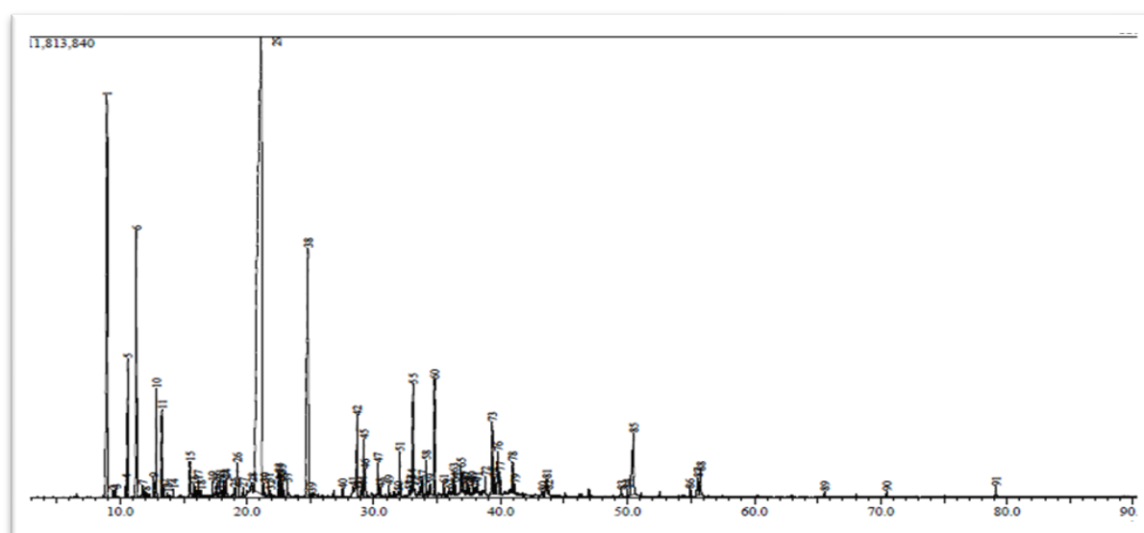


Figure 5. Chromatogramme de la CG/SM des HEs de *Foeniculum vulgare* subsp. *piperitum* (Ucria) Bég. pour la région Ain Madhi (AM).

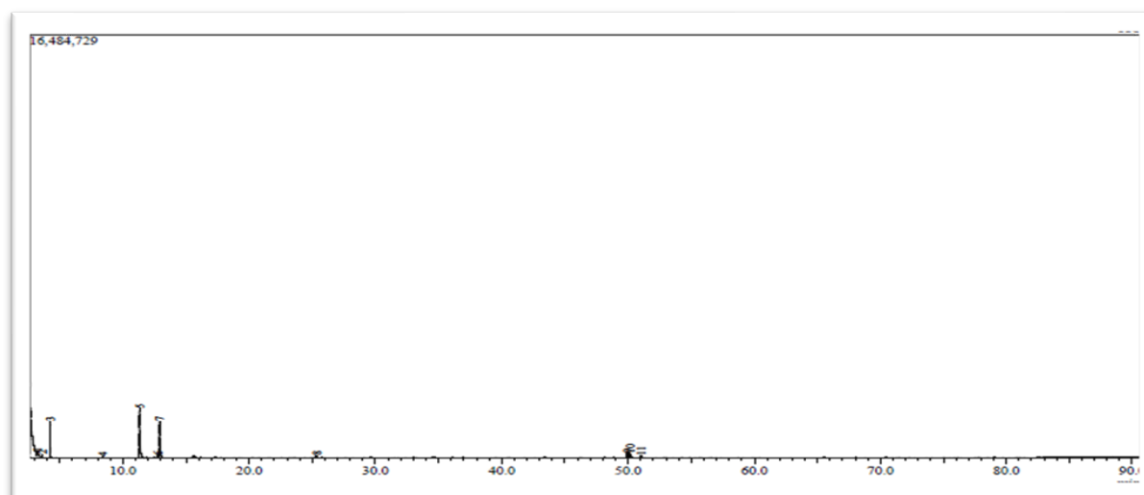


Figure 6. Chromatogramme de la CG/SM des HEs *Foeniculum vulgare* subsp. *piperitum* (Ucria) Bég. pour la région Aflou (AF).

Analyse phytochimique et propriétés antioxydantes des huiles essentielles des tiges sèches de plusieurs échantillons de *Deverra scoparia* Coss. & Durieu et *Foeniculum vulgare* subsp. piperitum (Ucria) Bég. d'Algérie.

Résumé :

Cette étude a pour objectif de déterminer la composition chimique et d'évaluer l'activité antioxydante des huiles essentielles des tiges sèches de plusieurs échantillons de *Deverra scoparia* Coss. & Durieu et *Foeniculum vulgare* subsp. piperitum (Ucria) Bég. L'extraction des huiles essentielles a été réalisée par hydrodistillation en utilisant l'appareil de Clevenger. La composition des huiles essentielles, analysée par CG-SM, a permis d'identifier 28 composés terpéniques dont les principaux sont principalement les monoterpènes hydrocarbonés (11,38-74,39%), les monoterpènes oxygénés (1,49-50,32 %), les sesquiterpènes hydrocarbonés (2,38-7,32 %) et les sesquiterpènes oxygénés (0,16-6,13 %). L'étude du pouvoir antioxydant par le test du DPPH et le test de blanchissement du β -carotène a montré l'existence d'une capacité antioxydante de ces huiles essentielles moins efficace par comparaison à la vitamine E, ainsi, les huiles essentielles de *Foeniculum vulgare* subsp. piperitum (Ucria) Bég récolté de la région d'Ain Madhi a présenté la plus importante capacité antioxydante en comparaison avec toutes les autres huiles essentielles étudiées.

Mots clés : *Deverra scoparia* ; *Foeniculum vulgare* ; Huile essentielle ; Capacité antioxydante.

Phytochemical analysis and antioxidant properties of dried stems essential oils of several samples from Algerian *Deverra scoparia* Coss. & Durieu and *Foeniculum vulgare* subsp. piperitum (Ucria) Bég.

Abstract:

This study aims to determine the chemical composition and to evaluate the antioxidant activity of the dry stems essential oils of the several samples of *Deverra scoparia* Coss. & Durieu and *Foeniculum vulgare* subsp. piperitum (Ucria) Bég. The extraction of essential oils was carried out by hydrodistillation by using Clevenger apparatus. The composition of essential oils, analyzed by GC-MS, made it possible to identify 28 terpenic compounds whose principal ones are hydrocarbons monoterpene (11.38-74.39%), oxygenated monoterpenes (1.49-50.32 %), hydrocarbons sesquiterpenes (2.38-7.32 %) and oxygenated sesquiterpenes (0.16-6.13 %). The study of the antioxidant power by the DPPH test and the β -carotene bleaching test showed the existence of an antioxidant activity of these essential oils less effective compared to vitamin E, thus, the essential oil of *Foeniculum vulgare* subsp. piperitum (Ucria) Beg collected from Ain Madhi region showed the highest antioxidant activity compared to all other studied essential oils.

Key words: *Deverra scoparia*; *Foeniculum vulgare*; Essential oil; Antioxidant activity.

التحليل الفيتوكيميائي والخصائص المضادة للأوكسدة للزيوت العطرية للسيقان الجافة لبعض العينات المحلية من *Deverra scoparia* Coss. & Durieu و *Foeniculum vulgare* subsp. piperitum (Ucria) Bég.

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد التركيب الكيميائي وتقييم الفعالية المضادة للأوكسدة للزيوت العطرية للسيقان الجافة لعدة عينات من *Deverra scoparia* Coss. & Durieu و *Foeniculum vulgare* subsp. piperitum (Ucria) Bég. تم الحصول على الزيوت العطرية عن طريق التقطير المائي باستعمال جهاز كليفنجر، كما تم تحديد مكونات الزيوت العطرية باستخدام كروماتوغرافيا طور الغازي المعززة بمقياس الطيف الكتلي (CG-SM) والتي بينت وجود 28 مركب تربيني، أهمها أحادي تربين هيدروكربوني (39,74-38,11%)، أحادي تربين أوكسجيني (32,50-49,1%)، سيسكتران هيدروكربوني (32,7-38,2%) و سيسكتران أوكسجيني (13,6-0,16%). بينت دراسة الفعالية عن طريق اختبار الجذور الحرة DPPH واختبار تبييض البيتا كاروتين (β -carotène) أن فعالية هذه الزيوت أقل من فعالية الفيتامين هـ. كما أظهر الزيت العطري المستخلص من نبات *Foeniculum vulgare* لمنطقة عين ماضي أكثر فعالية مقارنة بالزيوت الأخرى المدروسة.

الكلمات المفتاحية: *Deverra scoparia*، *Foeniculum vulgare*، زيوت عطرية، فعالية مضادة للأوكسدة.
