

Evaluation des critères physiques, physicochimiques et biochimiques et des activités biologiques des graines et des huiles des graines du fenouil (*Foeniculum vulgare* Mill.)

Harrak Hasnaâ ⁽¹⁾, El Antari Abderraouf ⁽¹⁾, Ben Hilal Halima ^(1,2), Zantar Saïd ⁽³⁾ et Lalaoui Rachidi Moulay Youssef ⁽⁴⁾

hasnaa.harra@inra.ma

1 : Laboratoire de Technologie Agro-alimentaire et Qualité, Unité de Recherche Amélioration des Plantes et de la Qualité, Centre Régional de la Recherche Agronomique de Marrakech, Institut National de la Recherche Agronomique, Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Maroc

2 : Laboratoire Neurosciences, Pharmacologie et Environnement, Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, 40000 Marrakech, Maroc

3 : Laboratoire de Technologie Agro-alimentaire et Qualité, Unité de Recherche Techniques Nucléaires, Environnement et Qualité, Centre Régional de la Recherche Agronomique de Tanger, Institut National de la Recherche Agronomique, Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Maroc

4 : Service Recherche et Développement, Centre Régional de la Recherche Agronomique de Marrakech, Institut National de la Recherche Agronomique, Avenue Ennasr, BP 415 Rabat Principale, 10090 Rabat, Maroc

Résumé

Le fenouil est une plante typique de la région méditerranéenne utilisée dans la pharmacopée traditionnelle et comme épice aromatique. Cette étude s'est intéressée à une évaluation des critères physiques, physicochimiques, biochimiques et des activités biologiques des graines et des huiles des graines du fenouil local (*beldi*) produit à quatre stades de maturité dans quatre terroirs de la province d'Essaouira (Centre-Ouest du Maroc), comparées à celles d'un fenouil local produit dans un terroir limitrophe et d'un fenouil importé. Les graines de stades de maturité et d'origines géographiques différents ont été nettement différenciées dans des groupes homogènes selon les critères étudiés. L'activité de l'eau de ces graines est comprise entre 0,43 et 0,51 avec une teneur moyenne en cendres de 6,24 g/100 g de la matière sèche (MS) renfermant des teneurs assez importantes en potassium, calcium, sodium et baryum. Les polyphénols totaux des graines ont enregistré des teneurs intéressantes variant entre 623,64 et 959,24 mg équivalent acide gallique/100 g MS et l'activité antioxydante de ces graines est estimée entre 23,53 et 43,83 mg équivalent acide ascorbique/g MS. Les rendements en huile végétale et huile essentielle ont varié de 8,55 à 16,28 % et de 1,4 à 2,7 %, respectivement. Toutefois, les valeurs élevées enregistrées pour l'acidité libre, l'indice de peroxyde et l'extinction spécifique de l'huile végétale renseignent qu'elle ne peut être considérée comme une huile alimentaire. Concernant l'huile essentielle, des augmentations significatives des composés d'arôme s-limonène et fenchone ont été notées au cours de la maturité. En outre, les tests de l'activité antibactérienne ont montré que *Staphylococcus aureus* est sensible à l'action de cette huile essentielle. Par ailleurs, les critères de qualité des graines et des huiles des graines de fenouil étudiés ont montré l'influence de l'origine géographique. Ces résultats permettraient de proposer des voies de valorisation, de contrôle de qualité et de labellisation du fenouil *beldi* sous un signe distinctif d'origine et de qualité.

Mots-clés : *Foeniculum vulgare* Mill., maturité, origine géographique, graine, huile, qualité, Maroc

Evaluation of physical, physicochemical and biochemical criteria, and biological activities of fennel seeds and seed oils (*Foeniculum vulgare* Mill.)

Abstract

The fennel is a typical plant of the Mediterranean region used in traditional pharmacopoeia and as an aromatic spice. This study was interested in an evaluation of the physical, physicochemical and biochemical criteria and the biological activities of the seeds and seeds oils of local (*beldi*) fennel produced at four stages of maturity in four *terroirs* of Essaouira province (Central West, Morocco), compared to those of a local fennel produced in a neighboring *terroir* and an imported fennel. Seeds of different maturity stages and geographic origins were clearly differentiated into homogeneous groups according to studied criteria. The water activity of these seeds is between 0.43 and 0.51 with an average ash content of 6.24 g/100 g of dry matter (DM) containing fairly high contents of potassium, calcium, sodium and baryum. Seed total polyphenols recorded interesting levels ranging between 623.64 and 959.24 mg gallic acid equivalent/100 g DM. The antioxidant activity is estimated between 23.53 and 43.83 mg ascorbic acid equivalent/g DM. Yields of vegetable and essential oils varied from 8.55 to 16.28 % and from 1.4 to 2.7 %, respectively. However, the high values recorded for free acidity, peroxide index and specific extinction of vegetable oil indicate that it cannot be considered as edible oil. Concerning the essential oil, significant increases in the aroma compounds s-limonene and fenchone were noted during maturity. Besides, the antibacterial activity tests have shown that *Staphylococcus aureus* is sensitive to the action of this essential oil. Moreover, the quality criteria of the studied fennel seeds and seed oils showed the influence of the geographical origin. These results would make it possible to propose ways of valorizing, quality control and labeling of *beldi* fennel under a distinctive sign of origin and quality.

Keywords: *Foeniculum vulgare* Mill., maturity, geographical origin, seed, oil, quality, Morocco

تقييم الخصائص الفيزيائية والفيزيوكيميائية والبيوكيميائية والأنشطة البيولوجية لبذور وزيت بذور الشمر (*Foeniculum vulgare* Mill.)

حسناء الحراق، عبد الرؤوف العنطري، حليلة بن هلال، سعيد زنتار و مولاي يوسف العلوي الراشدي

ملخص

يعتبر الشمر نبتة نموذجية في منطقة البحر الأبيض المتوسط المستخدمة منذ فترة طويلة وعلى نطاق واسع في الطب التقليدي وكتوابل عطرية. اهتمت هذه الدراسة بالخصائص الفيزيائية والفيزيوكيميائية والبيوكيميائية والأنشطة البيولوجية لبذور وزيت الشمر المحلي (البلدي) المنتجة خلال أربع مراحل من النضج في أربعة جماعات مختلفة بعمالة الصويرة (وسط غرب المغرب) مع المقارنة بشمر محلي منتج في جماعة مجاورة وبشمر مستورد. تم تمييز البذور ذات مراحل النضج والمصادر الجغرافية المختلفة بشكل واضح إلى مجموعات متجانسة حسب الخصائص المدروسة. يتراوح النشاط المائي لهذه البذور بين 0.43 و 0.51 بمتوسط محتوى رماد يبلغ 6.24 جم/100 جم من المادة الجافة التي تحتوي على مستويات عالية نسبياً من البوتاسيوم والكالسيوم والصوديوم والباريوم. سجل إجمالي بوليفينول في البذور مستويات مثيرة للاهتمام تتراوح ما بين 623.64 و 959.24 مجم معادل حامض الجليك/100 جم من المادة الجافة ويقدر نشاط مضادات الأكسدة ما بين 23.53 و 43.83 مجم معادل حامض الأسكربيك/جم من المادة الجافة. كما تراوحت محاصيل الزيوت النباتية والزيوت العطرية من 8.55 إلى 16.28٪ ومن 1.4 إلى 2.7٪ على التوالي. إلا أن القيم المرتفعة المسجلة للحموضة الحرة ومؤشر البيروكسيد والامتصاص ما فوق البنفسجي للزيت النباتي تشير إلى أنه لا يمكن اعتباره زيتاً صالحاً للأكل. أما بالنسبة للزيت الأساسي، لوحظت زيادات كبيرة في مركبات الرائحة "s-limonene" و "fenchone" مع تقدم مراحل النضج، كما أظهرت اختبارات النشاط المضاد للبكتيريا أن المكورات العنقودية الذهبية "*Staphylococcus aureus*" حساسة لمفعول هذا الزيت العطري. علاوة على ذلك، أظهرت معايير جودة بذور وزيت بذور الشمر المدروسة تأثير المصدر الجغرافي. يمكن للنتائج المحصل عليها من اقتراح طرق لتثمين الشمر البلدي ومراقبة جودته وترميزه بوضع علامة مميزة للمنشأ والجودة.

الكلمات المفتاحية: *Foeniculum vulgare* Mill.، النضج، المصدر الجغرافي، البذور، الزيت، الجودة، المغرب

Introduction

La famille des Apiacées, appelées anciennement Umbellifères, comprend plusieurs plantes alimentaires qu'on consomme quotidiennement (carotte, fenouil, cumin, coriandre, etc.). Le fenouil (*Foeniculum vulgare* Mill.), originaire de la région méditerranéenne, est l'une des plus anciennes plantes appartenant à cette famille. C'est une plante médicinale et aromatique employée en médecine traditionnelle pour un large éventail de désordres liés aux systèmes digestifs, endocriniens, reproducteurs et respiratoires (Badgujar *et al.*, 2014). Elle a des propriétés pharmacologiques comme les propriétés anti-inflammatoires, antimutagènes, cardiovasculaires et antitumorales (Yaldiz et Camlica, 2019).

Le fenouil est principalement cultivé pour ses graines qui représentent la partie la plus exploitée. Ces graines de fenouil sont utilisées pour aromatiser des produits alimentaires tels que les cornichons, les pains, les pâtisseries et les fromages (Zoubiri *et al.*, 2014). En outre, ces graines constituent une source naturelle de plusieurs éléments nutritifs, tels que les éléments minéraux et les vitamines comme le calcium, le potassium, le sodium, le fer, le phosphore, la thiamine, la riboflavine et la vitamine C (Bakhr, 1990).

Les huiles essentielles du fenouil sont majoritairement extraites des feuilles et des graines. L'anéthol, la fenchone et l'estragol sont les trois principaux composants de cette essence. Ils ont une grande utilité en industrie pharmaceutique et alimentaire. De nombreuses études ont prouvé que l'huile essentielle extraite des graines de fenouil possède de précieuses activités biologiques notamment les activités antioxydante, antibactérienne, anticancéreuse et antifongique (Lucinewton *et al.*, 2005 ; El-Awadi et Esmat, 2010). En outre, l'huile végétale contenue dans les graines des ombellifères d'une manière générale est très riche en acide pétrosélinique (Olle et Bender, 2010). Ce dernier (C18 : 1, n12) est un acide gras monoinsaturé rare, un isomère naturel de l'acide oléique, qui est utilisé comme matière première précieuse dans les industries chimiques (Tsevegsuren *et al.*, 2004).

Les graines de fenouil marocaines jouissent d'une importance et d'une notoriété à l'échelle nationale. Elles sont très utilisées dans la cuisine marocaine à des fins d'aromatisation et pour leurs bienfaits pour la santé. Toutefois, les travaux de recherche sur les critères de qualité de ces graines et leurs propriétés et activités biologiques, notamment sous les conditions pédoclimatiques du Maroc sont rares voire même absents comme pour le cas des graines produites dans les terroirs de la province d'Essaouira. A cet égard, l'objectif de cette étude est d'évaluer les caractéristiques physiques, physicochimiques et biochimiques des graines de fenouil et les propriétés physiques, aromatiques et biologiques des huiles extraites des graines de cette précieuse plante médicinale et aromatique provenant de différentes origines géographiques au niveau de la province d'Essaouira à des stades de maturité distincts.

Matériel et méthodes

Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué des graines sèches de fenouil. Huit échantillons provenant de la province d'Essaouira (région de Marrakech-Safi) ont été prélevés au niveau de quatre communes : Ouled Mrabet 'OM', Mramer 'MR', Korimate 'KR' et Mouarid (site 'M1' et site 'M2') à côté de deux échantillons provenant de la commune limitrophe de Sid L'Mokhtar 'SL' qui relève de la province de Chichaoua (Fig. 1). Les graines étudiées correspondent à quatre stades de maturité cités dans un ordre chronologique décroissant selon les appellations suivantes données par les producteurs locaux : Ghlid 'GH' (qui signifie Gros), Mtouisset 'MY' (qui signifie Moyen), Rquiq 'RQ' (qui signifie Fin) et Ras Nemla 'RN' (qui signifie Tête de fourmi ou Très fin). Les dix échantillons locaux étudiés sont ainsi : OMGH, OMMY, OMRQ, MRGH, KRRN, MRQ1, MRQ2, MMY, SLGH et SLMY. Les échantillons de graines ont été récoltés en juillet à partir du fenouil qui a été semé puis repiqué entre novembre et février. Les distances de plantation sont généralement de 30 à 40 cm entre les plants et de 30 à 80 cm entre les lignes. L'irrigation était fréquente et la fertilisation était basée sur la fumure organique (10 à 40 t/ha) et la fertilisation minérale (environ 200, 40 et 40 unités d'azote, de phosphore et de potasse, respectivement). Les échantillons locaux ont été comparés à deux échantillons de graines importées de l'Inde INRQ et INRN aux stades Rquiq et Ras Nemla, respectivement.

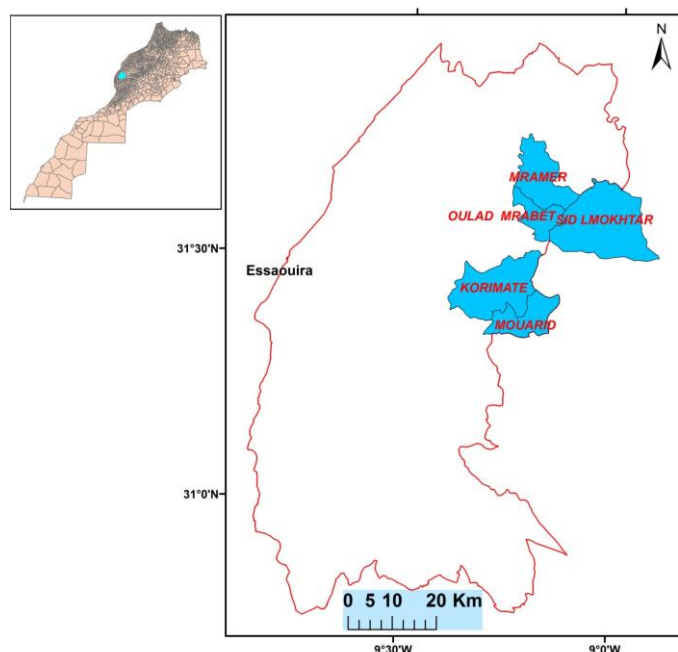


Figure 1 : Localisation géographique des communes de production des graines de fenouil étudiées.

Préparation du matériel végétal

Après réception, les échantillons des graines de fenouil ont été triés minutieusement pour éliminer tout corps étranger et emballés dans des sachets en plastique. Les analyses physicochimiques et biochimiques ont été réalisées sur une poudre dont la taille des particules est de 1 mm, obtenue après broyage des graines à l'aide d'un broyeur PULVERISSETTE 14 (Fritsch, Germany) et conservée dans des bocaux en verre hermétiques et à l'abri de la lumière.

Déterminations des dimensions et du poids des graines de fenouil

Dimensions : A l'aide du logiciel ImageJ, la longueur et la largeur (en mm) de 100 graines de fenouil ont été mesurées sur des photos prises par un dispositif spécial associé à une caméra Canon.

Poids : Le poids (en g) de 100 graines de fenouil est déterminé à l'aide d'une balance de précision à 0,01 g (Radwag AS 220/C/2, Poland).

Détermination des critères physicochimiques de la poudre de fenouil

Matière sèche : La matière sèche (MS) des graines de fenouil est déterminée selon la méthode AOAC (1990) par séchage d'une prise d'essai de 3 g dans une étuve (Function Line, Germany) à pression atmosphérique et à une température de 103 ± 2 °C pendant 48 heures. La MS est exprimée en g/100 g.

Activité de l'eau : L'activité de l'eau (a_w) est mesurée à 25 °C à l'aide d'un a_w -mètre (Nagy AWC-3, Germany) en plaçant 5 g de la poudre des graines de fenouil dans la chambre de mesure (Nagy AWMD-1) pendant 2 h jusqu'à l'atteinte de l'équilibre entre l'échantillon et l'atmosphère qui l'entoure.

pH : Le pH est déterminé à l'aide d'un pH-mètre (Consort C861, Netherlands) à la température de 25 °C selon la méthode AOAC n° 981.12 (AOAC, 1990) en utilisant une purée de la poudre préparée avec un ratio pondéral « poudre/eau distillée bouillie et neutralisée » de 1:10.

Cendres : Une quantité de 5 g de la poudre des graines de fenouil est incinérée dans un four à moufle (Thermolyne type 1400, USA) à 600 °C pendant 7 heures pour la détermination de la teneur en cendres (exprimée en g/100 g MS) (AOAC, 1990).

Éléments minéraux : Les cendres obtenues selon la méthode décrite précédemment sont solubilisées avec de l'acide nitrique concentré pour la détermination des teneurs en potassium (K), calcium (Ca), sodium (Na) et baryum (Ba), exprimées en g/kg MS, à l'aide d'un spectrophotomètre à flamme (BMB Technologie XP 2011, Germany).

Couleur : La couleur de l'extrait aqueux homogénéisé et filtré de la poudre de fenouil est mesurée à l'aide d'un colorimètre pour liquide Tintometer Lovibond PFX195 (Salisbury, U.K.). Cette couleur est mesurée selon l'espace chromatique $L^*a^*b^*$ généralement nommé CIELAB. Les coordonnées polaires dans le plan (a^* , b^*) sont également calculées pour représenter la chromaticité ou le chroma ($C^*_{ab} = [a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$) et la chrominance ou l'angle de teinte hue ($h_{ab} = \arctan[b^*/a^*]$).

Polyphénols totaux : Les teneurs en polyphénols totaux, exprimées en mg équivalent acide gallique (EAG)/100 g MS, sont déterminées selon la méthode de Folin-Ciocalteu (Georgé et al., 2005).

Activité antioxydante : L'activité antiradicalaire des graines de fenouil, exprimée en mg équivalent acide ascorbique (EAA)/g MS, est déterminée dans l'extrait

méthanolique de la poudre de ces graines selon la méthode DPPH (2,2-diphényl-1-picryl-hydrazine) décrite par Archana *et al.* (2005) et Dung *et al.* (2008).

Analyses de l'huile végétale des graines de fenouil

L'huile végétale (HV) de la poudre des graines de fenouil est extraite par l'intermédiaire d'un Soxhlet. L'extraction est réalisée à une température de 60 °C en utilisant l'hexane comme solvant. L'huile extraite est récupérée à l'aide d'un rotavapor et conservée sous azote à 4 °C jusqu'à l'analyse. Les critères physiques et de pureté suivants de cette huile sont analysés :

Couleur : La mesure de la couleur de l'HV des graines de fenouil est réalisée selon la même méthode décrite précédemment pour la détermination de la couleur de l'extrait aqueux de la poudre des graines de fenouil.

Acidité libre : L'acidité libre de l'HV des graines de fenouil est déterminée par la méthode du COI (COI, 2017a). Elle est exprimée en %.

Extinction spécifique : Ce paramètre de qualité de l'HV de fenouil est déterminé selon la méthode décrite dans la norme du COI (COI, 2019a) aux longueurs d'onde 232 et 270 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV visible (Varian Cary 50).

Indice de peroxyde : Ce paramètre permettant l'évaluation du degré d'oxydation des acides gras insaturés, est déterminé selon la méthode décrite dans la norme du COI (COI, 2017b). Il est exprimé en meq O₂/kg.

Chlorophylles et phéophytines. Les teneurs en chlorophylles et en phéophytines, exprimées en ppm, sont déterminées par spectrophotométrie selon la méthode décrite par Wolff (1968).

Analyses de l'huile essentielle des graines de fenouil

L'extraction de l'huile essentielle (HE) des graines du fenouil est faite par l'hydro-distillation selon la méthode décrite par Ilić *et al.* (2019). La teneur en HE est exprimée en g/100 g de la poudre des graines. L'identification des composés d'arôme et la détermination de l'activité antibactérienne de cette huile sont réalisées comme suit :

Composés d'arôme de l'HE : L'analyse des composés d'arôme de l'HE des graines de fenouil a été effectuée sur chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG-SM Trace GC ultra - ITQ900, Thermo Scientific, USA) fonctionnant en mode impact d'électron (70 eV, de 40 à 450 m), équipée d'une colonne capillaire 1MS (30 m x 0,25 mm) avec une épaisseur du film de 0,25 µm. Une solution d'étalon de n-alcanes C₈-C₂₀ (Alkane Standard Solution C₈-C₂₀ ; Référence : 04070-1ML ; Sigma Aldrich) a été utilisée pour la mesure des indices de rétention de Kovats des composés identifiés dans les HE extraites. L'identification des composés a été effectuée par comparaison de leurs indices de Kovats et des spectres de masse expérimentaux de leurs ions-fragments caractéristiques à ceux cités dans la littérature (Adams, 2007) et/ou inventoriés dans les banques de bibliothèques spectrales.

Activités antibactériennes de l'HE : La détermination de ces activités antibactériennes est réalisée selon la méthode décrite par Ilić *et al.* (2019). Les souches choisies sont des bactéries qui présentent une pathogénicité pour l'homme et elles sont impliquées fréquemment dans la contamination et l'altération des denrées alimentaires : une bactérie à Gram positif (*Staphylococcus aureus*) et deux bactéries à Gram négatif (*Escherichia coli* et *Klebsiella pneumoniae*). Ces souches sont reçues du Service de Microbiologie du Centre Hospitalo-Universitaire de Marrakech qui les a

identifiées et isolées de matrices alimentaires. Le diamètre des zones d'inhibition est mesuré et exprimé en mm. Les antibiotiques utilisés pour les contrôles positifs sont : ciprofloxacine, ceftriaxone, amoxicilline, céfoxitine et pénicilline G.

Analyses statistiques

Chaque paramètre est déterminé en réalisant deux à trois répétitions. Les résultats sont présentés sous forme des moyennes arithmétiques \pm l'écart type et les liens linéaires entre les paramètres sont obtenus par les coefficients de corrélation de Pearson. L'analyse de la variance à un seul critère de classification (ANOVA I) est utilisée pour comparer les moyennes théoriques et la méthode de Student-Newman-Keuls est retenue pour déterminer les groupes homogènes de moyennes lorsque l'hypothèse d'égalité des moyennes est rejetée.

Résultats et discussion

Dimensions et poids des graines de fenouil

La largeur et la longueur présentent une différence significative entre les échantillons étudiés. La largeur maximale de 2,59 mm est enregistrée pour l'échantillon OMGH et la largeur minimale de 1,34 mm est enregistrée pour l'échantillon provenant de l'Inde INRQ. En outre, la graine la plus longue présente une valeur de 6,62 mm enregistrée pour l'échantillon SLMY, contrairement à l'échantillon KRRN qui a la longueur la plus petite (4,64 mm) (Tableau 1). De même, une différence significative est notée pour le poids de 100 graines entre les 12 échantillons étudiés. Ce poids a varié entre 0,34 g pour l'échantillon INRN et 1,29 g pour l'échantillon OMGH (Tableau 1). Ces résultats montrent que les critères de dimension et pondéraux des graines de fenouil étudiés augmentent significativement avec l'avancement du stade de maturité en passant de du stade Ras Nemla au stade Ghliid. Les moyennes de la largeur, de la longueur et du poids de 100 graines (1,87 mm, 6,41 mm et 0,75 g, respectivement) obtenues dans cette étude s'accordent avec celles obtenues par Bahmani *et al.* (2015).

Tableau 1 : Dimensions et poids moyens de 100 graines de fenouil (*).

Echantillon (**)	Largeur (mm)	Longueur (mm)	Poids (g)
OMGH	2,59 \pm 0,47 ^g	6,41 \pm 0,73 ^g	1,29 \pm 0,03 ^f
OMMY	2,14 \pm 0,38 ^d	5,49 \pm 0,71 ^e	1,05 \pm 0,04 ^e
OMRQ	1,95 \pm 0,40 ^d	5,33 \pm 0,71 ^d	0,57 \pm 0,03 ^b
MRGH	2,42 \pm 0,46 ^e	5,78 \pm 0,67 ^f	0,93 \pm 0,02 ^d
KRRN	1,53 \pm 0,46 ^a	4,64 \pm 0,68 ^a	0,54 \pm 0,01 ^b
SLGH	2,46 \pm 0,36 ^f	6,72 \pm 0,83 ⁱ	1,30 \pm 0,14 ^g
SLMY	1,81 \pm 0,30 ^c	6,62 \pm 0,90 ^h	0,74 \pm 0,04 ^c
MRQ1	1,35 \pm 0,17 ^a	4,99 \pm 0,70 ^c	0,49 \pm 0,04 ^b
MRQ2	1,67 \pm 0,31 ^c	4,93 \pm 0,68 ^c	0,54 \pm 0,04 ^b
MMY	1,61 \pm 0,27 ^b	4,72 \pm 0,73 ^b	0,55 \pm 0,06 ^b
INRQ	1,61 \pm 0,31 ^a	5,35 \pm 0,92 ^d	0,61 \pm 0,04 ^b
INRN	1,34 \pm 0,29 ^a	4,65 \pm 0,66 ^a	0,34 \pm 0,03 ^a

(*) Les valeurs suivies de la même lettre au sein de la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au niveau de signification $\alpha = 0,05$.

(**) OMGH : Ouled Mrabet Ghliid ; OMMY : Ouled Mrabet Mtouisset ; OMRQ : Ouled Mrabet Rquiq ; MRGH : Mramet Ghliid ; KRRN : Korimate Ras Nemla ; SLGH : Sid L'Mokhtar Ghliid ; SLMY : Sid L'Mokhtar Mtouisset ; MRQ1 : Mouarid Rquiq1 ; MRQ2 : Mouarid Rquiq2 ; MMY : Mouarid Mtouisset ; INRQ : Inde Rquiq ; INRN : Inde Ras Nemla.

Critères physicochimiques de la poudre de fenouil

Matière sèche : La matière sèche, critère important de conservation et de contrôle de la qualité des plantes aromatiques et médicinales, a varié entre 89,57 et 91,58 % avec des différences significatives entre les graines de fenouil des échantillons étudiés (Tableau 2). Bukhari *et al.* (2014) ont rapporté pour les graines de fenouil produites au Pakistan une teneur en matière sèche (92,73 %) proche de la plus grande teneur enregistrée dans ce travail.

Activité de l'eau : Selon les valeurs de l' a_w de la poudre de fenouil, dix groupes homogènes des échantillons étudiés sont identifiés. L'échantillon MRGH présente la valeur la plus élevée ($a_w = 0,51$). Par contre, la valeur la plus faible ($a_w = 0,40$) est enregistrée pour l'échantillon MMY (Tableau 2). Selon ces valeurs, les graines de fenouil étudiées sont protégées contre les altérations microbiennes.

pH : Le pH légèrement acide de la poudre a montré des différences relativement faibles mais significatives. En effet, il a varié entre 5,78 et 6,03 (Tableau 2).

Tableau 2 : Critères physicochimiques des graines de fenouil (*).

Echantillon (**)	Matière sèche (%)	Activité de l'eau (a_w)	pH
OMGH	90,69 ± 0,03 ^c	0,48 ± 0,00 ^f	5,91 ± 0,00 ^f
OMMY	90,70 ± 0,05 ^c	0,48 ± 0,00 ^f	5,89 ± 0,00 ^e
OMRQ	90,52 ± 0,07 ^b	0,47 ± 0,00 ^e	5,89 ± 0,00 ^e
MRGH	90,54 ± 0,13 ^b	0,51 ± 0,00 ^h	5,82 ± 0,00 ^c
KRRN	-	0,49 ± 0,00 ^g	-
SLGH	91,61 ± 0,06 ^e	0,44 ± 0,00 ^d	5,89 ± 0,00 ^e
SLMY	89,57 ± 0,10 ^a	0,42 ± 0,00 ^b	5,83 ± 0,00 ^d
MRQ1	90,73 ± 0,04 ^d	0,43 ± 0,00 ^c	5,91 ± 0,00 ^f
MRQ2	90,60 ± 0,02 ^b	0,43 ± 0,00 ^c	5,78 ± 0,00 ^a
MMY	91,65 ± 0,09 ^f	0,40 ± 0,00 ^a	5,91 ± 0,00 ^f
INRQ	91,58 ± 0,07 ^e	0,43 ± 0,00 ^c	6,03 ± 0,00 ^g
INRN	91,46 ± 0,06 ^e	0,48 ± 0,00 ^f	5,81 ± 0,00 ^b

(*) Les valeurs suivies de la même lettre au sein de la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au niveau de signification $\alpha = 0,05$.

(**) OMRGH : Ouled Mrabet Ghlid ; OMMY : Ouled Mrabet Mtouisset ; OMRQ : Ouled Mrabet Rquiq ; MRGH : Mramer Ghlid ; KRRN : Korimate Ras Nemla ; SLGH : Sid L'Mokhtar Ghlid ; SLMY : Sid L'Mokhtar Mtouisset ; MRQ1 : Mouarid Rquiq1 ; MRQ2 : Mouarid Rquiq2 ; MMY : Mouarid Mtouisset ; INRQ : Inde Rquiq ; INRN : Inde Ras Nemla.

Cendres : Le tableau 3 montre une variation significative de la teneur en cendres de la poudre de fenouil entre les échantillons étudiés. L'échantillon INRN a la teneur la plus élevée en cendres (8,96 g/100 g MS) et les échantillons SLMY, MRQ2 et MRQ1 ont enregistré les teneurs les plus faibles (7,28 ; 7,21 et 7,19 g/100 g MS, respectivement). Ces teneurs restent relativement inférieures à celle trouvée par Bukhari *et al.* (2014) (12,97 %) pour les graines de fenouil produites au Pakistan.

Eléments minéraux : Globalement, la teneur en éléments minéraux a varié légèrement entre les échantillons étudiés (Tableau 3).

Tableau 3 : Teneur en cendres et éléments minéraux des graines de fenouil (*).

Echantillon (**)	Cendres (g/100 g MS (***))	Potassium (g/kg MS)	Calcium (g/kg MS)	Sodium (g/kg MS)	Baryum (g/kg MS)
OMGH	8,20 ± 0,10 ^d	21,68 ± 2,47 ^a	5,11 ± 0,39 ^a	5,00 ± 0,13 ^b	13,78 ± 0,71 ^a
OMMY	7,98 ± 0,01 ^c	19,91 ± 2,41 ^a	5,76 ± 0,19 ^b	8,06 ± 0,12 ^c	12,72 ± 0,61 ^a
OMRQ	8,69 ± 0,01 ^e	22,33 ± 0,27 ^a	4,87 ± 0,29 ^a	3,64 ± 1,72 ^a	13,84 ± 0,70 ^a
MRGH	8,57 ± 0,14 ^e	20,70 ± 0,87 ^a	5,99 ± 0,07 ^b	5,95 ± 0,02 ^b	12,06 ± 0,70 ^a
SLGH	7,54 ± 0,08 ^b	19,02 ± 1,06 ^a	6,29 ± 0,34 ^c	5,73 ± 0,34 ^b	11,44 ± 0,98 ^a
SLMY	7,28 ± 0,05 ^a	19,88 ± 2,72 ^a	5,69 ± 0,49 ^b	1,56 ± 0,81 ^a	12,32 ± 0,95 ^a
MRQ1	7,19 ± 0,02 ^a	19,94 ± 2,00 ^a	5,64 ± 0,43 ^b	1,50 ± 0,88 ^a	12,12 ± 0,60 ^a
MRQ2	7,21 ± 0,06 ^a	20,37 ± 0,68 ^a	5,89 ± 0,64 ^b	1,51 ± 0,88 ^a	11,65 ± 0,80 ^a
MMY	7,95 ± 0,01 ^c	24,43 ± 2,24 ^a	5,22 ± 0,33 ^a	1,12 ± 1,10 ^a	13,16 ± 0,55 ^a
INRQ	8,02 ± 0,06 ^c	23,28 ± 3,49 ^a	4,36 ± 0,39 ^a	2,91 ± 1,66 ^a	13,41 ± 0,01 ^a
INRN	8,96 ± 0,02 ⁱ	22,06 ± 1,58 ^a	6,45 ± 0,09 ^c	10,19 ± 1,21 ^d	13,52 ± 0,65 ^a

(*) Les valeurs suivies de la même lettre au sein de la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au niveau de signification $\alpha = 0,05$.

(**) OMMH : Ouled Mrabet Ghliid ; OMMY : Ouled Mrabet Mtouisset ; OMRQ : Ouled Mrabet Rquiq ; MRGH : Mramer Ghliid ; KRRN : Korimate Ras Nemla ; SLGH : Sid L'Mokhtar Ghliid ; SLMY : Sid L'Mokhtar Mtouisset ; MRQ1 : Mouarid Rquiq1 ; MRQ2 : Mouarid Rquiq2 ; MMY : Mouarid Mtouisset ; INRQ : Inde Rquiq ; INRN : Inde Ras Nemla.

(***) MS : Matière sèche.

Le K et le Ba ont présenté des différences non significatives avec des teneurs qui ont varié de 19,02 à 21,68 g/kg MS et de 11,44 à 13,84 g/kg MS, respectivement. Les teneurs en Ca et en Na ont permis de classer les échantillons des graines étudiées en trois groupes homogènes distincts selon l'origine géographique, avec des teneurs variant de 4,84 à 6,29 g/kg MS et de 1,56 à 8,06 g/kg MS, respectivement. Seule la teneur en Ca qui concorde avec celle trouvée par Bukhari *et al.* (2014) (Ca : 5,81 g/kg) pour les graines de fenouil produites au Pakistan. Ces auteurs ont, par contre, enregistré des teneurs en K et en Na largement inférieures à celles trouvées dans cette étude (K : 8,52 g/kg et Na : 0,16 g/kg). Par ailleurs, les teneurs en K trouvées dans cette étude sont très proches à la moyenne de celles des fruits de 46 génotypes de fenouil ayant varié entre 2,45-40,60 g/kg (Yaldiz et Camlica, 2019). Le potassium est responsable de plusieurs processus biologiques comme l'action des muscles, la transmission de l'influx nerveux et la régulation de la pression osmotique (Yaldiz *et al.*, 2019).

Couleur : L'analyse de la couleur de l'extrait de la poudre de fenouil a montré que les échantillons étudiés présentent des couleurs différentes puisque les valeurs des paramètres L*, a* et b* changent d'un échantillon à un autre. En outre, le critère L* (clarté) prend des valeurs allant de 52,89 à 70,45 avec la distinction de l'extrait de la poudre de fenouil de SLGH comme le plus clair. Le paramètre a* (axe du rouge) a varié entre 6,22 et 11,84 et le paramètre b* (axe du jaune) a varié de 56,17 à 71,39. La chroma C*_{ab} et l'angle h_{ab} ont enregistré des valeurs allant de 56,51 à 74,09 et de 73,19 à 83,68 respectivement (Tableau 4).

Tableau 4 : Paramètres de couleur de l'extrait aqueux des graines de fenouil^(*).

Echantillon ^(**)	L*	a*	b*	C* _{ab}	h _{ab}
OMGH	62,78 ± 0,01 ^d	11,58 ± 0,33 ^b	61,43 ± 0,47 ^b	62,51 ± 0,53 ^b	79,33 ± 0,22 ^d
OMMY	64,09 ± 0,92 ^e	10,32 ± 0,33 ^b	61,05 ± 0,18 ^b	61,91 ± 0,23 ^b	80,41 ± 0,27 ^e
OMRQ	57,77 ± 0,82 ^b	12,75 ± 0,99 ^d	62,81 ± 0,07 ^c	64,09 ± 0,13 ^c	78,53 ± 0,88 ^d
MRGH	64,14 ± 0,67 ^e	11,84 ± 1,12 ^c	61,37 ± 0,25 ^b	62,50 ± 0,03 ^b	79,08 ± 1,06 ^d
KRRN	56,25 ± 0,34 ^b	20,23 ± 0,76 ^g	71,89 ± 0,16 ^f	74,68 ± 0,36 ^f	74,28 ± 0,53 ^a
SLGH	70,45 ± 0,54 ^g	6,22 ± 0,38 ^a	56,17 ± 0,05 ^a	56,51 ± 0,01 ^a	83,68 ± 0,39 ^f
SLMY	61,56 ± 0,24 ^d	9,87 ± 1,06 ^b	60,99 ± 0,33 ^b	61,78 ± 0,50 ^b	80,81 ± 0,92 ^e
MRQ1	59,67 ± 0,34 ^c	18,82 ± 0,54 ^f	71,39 ± 0,04 ^f	73,82 ± 0,05 ^f	75,23 ± 0,26 ^b
MRQ2	62,29 ± 0,65 ^d	15,70 ± 0,46 ^e	69,12 ± 0,34 ^e	70,88 ± 0,43 ^f	77,21 ± 0,30 ^c
MMY	57,43 ± 0,47 ^b	17,69 ± 0,54 ^f	69,09 ± 0,29 ^e	71,31 ± 0,15 ^f	75,64 ± 0,48 ^b
INRQ	52,89 ± 0,87 ^a	19,62 ± 0,04 ^g	64,94 ± 1,02 ^d	67,84 ± 0,96 ^e	73,19 ± 0,28 ^a
INRN	65,84 ± 0,51 ^f	12,14 ± 0,50 ^c	64,63 ± 0,43 ^d	65,76 ± 0,52 ^d	79,37 ± 0,36 ^d

^(*)Les valeurs suivies de la même lettre au sein de la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au niveau de signification $\alpha = 0,05$.

^(**)OMGH : Ouled Mrabet Ghlid ; OMMY : Ouled Mrabet Mtouisset ; OMRQ : Ouled Mrabet Rquiq ; MRGH : Mramer Ghlid ; KRRN : Korimate Ras Nemla ; SLGH : Sid L'Mokhtar Ghlid ; SLMY : Sid L'Mokhtar Mtouisset ; MRQ1 : Mouarid Rquiq1 ; MRQ2 : Mouarid Rquiq2 ; MMY : Mouarid Mtouisset ; INRQ : Inde Rquiq ; INRN : Inde Ras Nemla.

Polyphénols totaux : On distingue trois groupes homogènes parmi les six échantillons pour lesquels la teneur en polyphénols totaux est déterminée. Les graines provenant du terroir Ouled Mrabet aux trois stades de maturité (Ghlid, Mtouisset et Rquiq) ont enregistré les teneurs les plus élevées ayant atteint 959,24 mg EAG/100 g MS. La teneur la plus faible est de 623,64 mg EAG/100 g MS enregistrée pour l'échantillon Ras Nemla importé de l'Inde (Fig. 2). Bukhari *et al.* (2014) ont rapporté pour les composés phénoliques des graines de fenouil une teneur intermédiaire à celles enregistrées dans ce travail (de l'ordre de 755 mg EAG/100 g). Les teneurs en polyphénols totaux des fruits de 46 génotypes de fenouil variant entre 1482 et 4048 mg EAG/100 g trouvées par Yaldiz et Camlica (2019), sont largement supérieures à celles enregistrées dans cette étude pour les graines de fenouil.

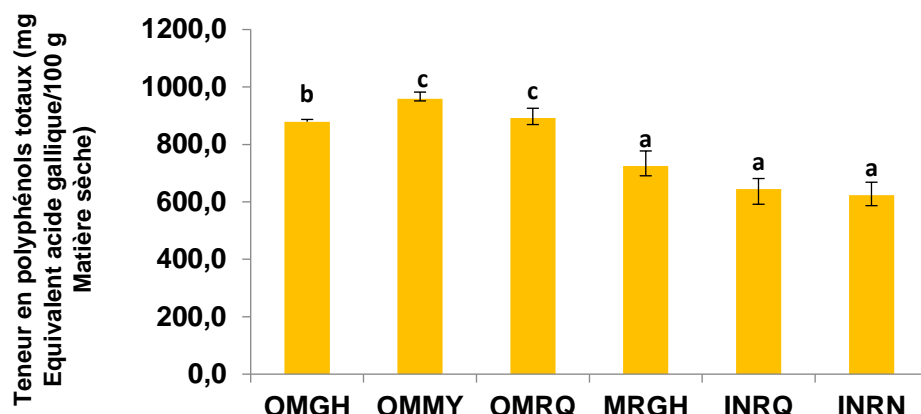


Figure 2 : Teneur en polyphénols totaux des graines de fenouil (Les teneurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au niveau de signification $\alpha = 0,05$; OMGH : Ouled Mrabet Ghlid ; OMMY : Ouled Mrabet Mtouisset ; OMRQ : Ouled Mrabet Rquiq ; MRGH : Mramer Ghlid ; INRQ : Inde Rquiq ; INRN : Inde Ras Nemla).

Activité antioxydante : Cette activité demeure une activité biologique très importante et recherchée. La quantification de cette activité dans l'extrait de la poudre des graines de fenouil a montré une différence significative entre les échantillons étudiés. La valeur la plus élevée de 43,83 mg EAA/g MS est enregistrée pour l'échantillon OMGH. L'activité la plus faible de 23,53 mg EAA/g MS est trouvée pour INRQ (Fig. 3). L'activité antioxydante des graines de fenouil a fait l'objet de nombreuses études qui ont montré que les extraits de fenouil pourraient inhiber les radicaux libres avec un effet antioxydant primaire (Scalbert *et al.*, 2005). En outre, comparée à des antioxydants standards tels que l'hydroxytoluène butylé (BHT) et le α -tocophérol, la graine de fenouil s'est montrée une source potentielle d'antioxydants naturels (Oktay *et al.*, 2003).

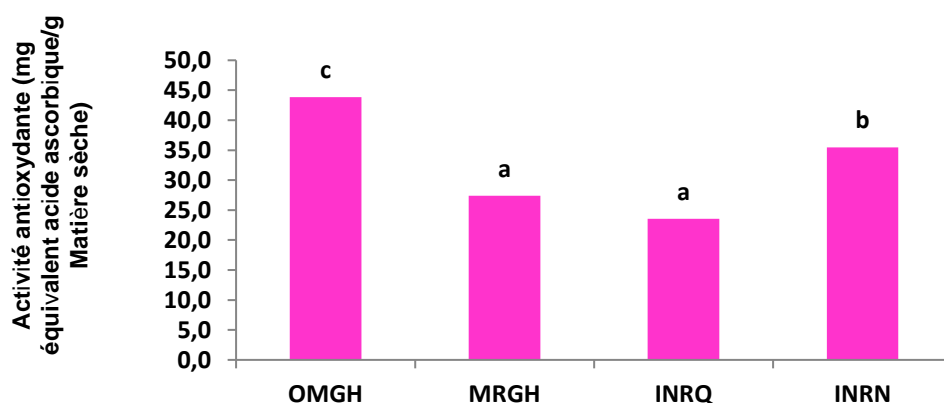


Figure 3 : Activité antioxydante des graines de fenouil (Les activités antioxydantes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au niveau de signification $\alpha = 0,05$; OMGH : Ouled Mrabet Ghlid ; MRGH : Mramer Ghlid ; INRQ : Inde Rquiq ; INRN : Inde Ras Nemla).

Caractéristiques de l'huile végétale des graines de fenouil

Teneur en huile végétale : Le rendement en HV varie entre 8,45 et 16,28 %. L'échantillon MRGH a enregistré le rendement en huile le plus élevé (Fig. 4). Ces teneurs sont proches de celles rapportées par Coşge *et al.* (2008) pour le fenouil doux (*F. vulgare* Mill. var. dulce) et le fenouil amer (*F. vulgare* Mill. var. vulgare) (12,22 et 14,41 %, respectivement).

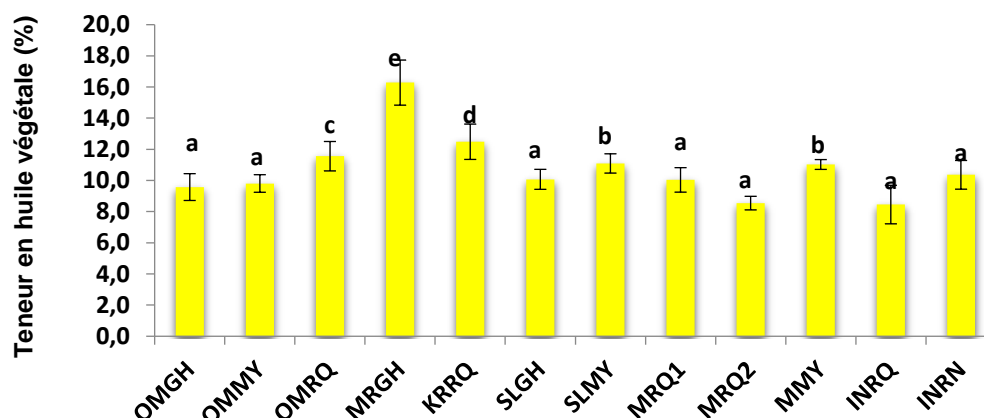


Figure 4 : Teneur en huile végétale des graines de fenouil (Les teneurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au niveau de signification $\alpha = 0,05$; OMRGH : Ouled Mrabet Ghlid ; OMMY : Ouled Mrabet Mtouisset ; OMRQ : Ouled Mrabet Rquiq ; MRGH : Mramer Ghlid ; KRRN : Korimate Ras Nemla ; SLGH : Sid L'Mokhtar Ghlid ; SLMY : Sid L'Mokhtar Mtouisset ; MRQ1 : Mouarid Rquiq1 ; MRQ2 : Mouarid Rquiq2 ; MMY : Mouarid Mtouisset ; INRQ : Inde Rquiq ; INRN : Inde Ras Nemla).

Paramètres de couleur : L'origine géographique et le stade de maturité ont montré un effet significatif sur les paramètres de couleur des différents échantillons étudiés (Tableau 5). Globalement, le paramètre L^* a varié de -10,82 à 15,30 indiquant une très faible clarté de l'HV extraite des graines de fenouil. Le paramètre a^* a varié de 0,38 à 8,63 confirmant la couleur verdâtre très foncée de cette huile. En outre, le paramètre b^* variant de 0,14 à 24,48, a permis de distinguer entre les échantillons à nuance jaune (valeurs b^* élevées) et ceux à nuance verte (valeurs b^* faibles).

Tableau 5 : Paramètres de couleur de l'huile végétale des graines de fenouil^(*).

Echantillon ^(**)	L*	a*	b*	C* _{ab}	h _{ab}
OMGH	14,36 ± 0,02 ^k	7,56 ± 0,01 ⁱ	24,48 ± 0,10 ^j	25,62 ± 0,09 ^k	72,84 ± 0,05 ^g
OMMY	1,47 ± 0,10 ^f	4,62 ± 0,08 ^d	5,26 ± 0,09 ^e	7,00 ± 0,12 ^f	48,72 ± 0,16 ^c
OMRQ	8,92 ± 0,01 ⁱ	8,63 ± 0,01 ^j	15,27 ± 0,02 ^h	17,54 ± 0,01 ⁱ	60,52 ± 0,06 ^e
MRGH	-1,89 ± 0,03 ^e	5,11 ± 0,02 ^f	2,77 ± 0,05 ^d	5,81 ± 0,03 ^e	28,45 ± 0,04 ^b
KRRN	-5,45 ± 0,03 ^d	3,17 ± 0,01 ^c	1,16 ± 0,00 ^c	3,37 ± 0,01 ^d	20,12 ± 0,07 ^a
SLGH	15,30 ± 0,27 ^l	4,98 ± 0,04 ^f	26,11 ± 0,45 ^k	26,58 ± 0,45 ^l	79,20 ± 0,11 ^h
SLMY	-7,62 ± 0,21 ^c	1,48 ± 0,01 ^b	0,55 ± 0,01 ^b	1,58 ± 0,01 ^c	20,54 ± 0,32 ^a
MRQ1	-8,55 ± 0,29 ^b	1,13 ± 0,13 ^b	0,41 ± 0,05 ^b	1,20 ± 0,14 ^b	20,10 ± 0,24 ^a
MRQ2	-10,82 ± 0,01 ^a	0,38 ± 0,01 ^a	0,14 ± 0,01 ^a	0,40 ± 0,01 ^a	20,83 ± 0,66 ^a
MMY	2,84 ± 0,03 ^g	4,80 ± 0,36 ^e	6,64 ± 0,03 ^f	8,20 ± 0,18 ^g	54,18 ± 0,22 ^d
INRQ	10,35 ± 0,06 ^j	6,83 ± 0,02 ^g	17,71 ± 0,04 ⁱ	18,98 ± 0,03 ^j	68,91 ± 0,07 ^f
INRN	7,39 ± 0,02 ^h	7,25 ± 0,02 ^h	12,62 ± 0,04 ^g	14,56 ± 0,03 ^h	60,13 ± 0,14 ^e

^(*)Les valeurs suivies de la même lettre au sein de la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au niveau de signification $\alpha = 0,05$.

^(**)OMGH : Ouled Mrabet Ghlid ; OMMY : Ouled Mrabet Mtouisset ; OMRQ : Ouled Mrabet Rquiq ; MRGH : Mramet Ghlid ; KRRN : Korimate Ras Nemla ; SLGH : Sid L'Mokhtar Ghlid ; SLMY : Sid L'Mokhtar Mtouisset ; MRQ1 : Mouarid Rquiq1 ; MRQ2 : Mouarid Rquiq2 ; MMY : Mouarid Mtouisset ; INRQ : Inde Rquiq ; INRN : Inde Ras Nemla.

Acidité libre : Les HV extraites des graines de fenouil ont présenté une acidité libre variant significativement entre 4,95 et 42,36 % (Fig. 5). Ce résultat permet de conclure que les HV ayant des acidités très élevées ne peuvent être considérées comme des huiles alimentaires en l'état et nécessitent un raffinage. En outre, les acidités libres enregistrées pour l'HV des graines de fenouil sont très élevées comparées à celles des HV alimentaires telles que l'huile d'olive vierge qui présente une acidité libre moyenne pour la catégorie extra inférieure ou égale à 0,8 % (COI, 2019b).

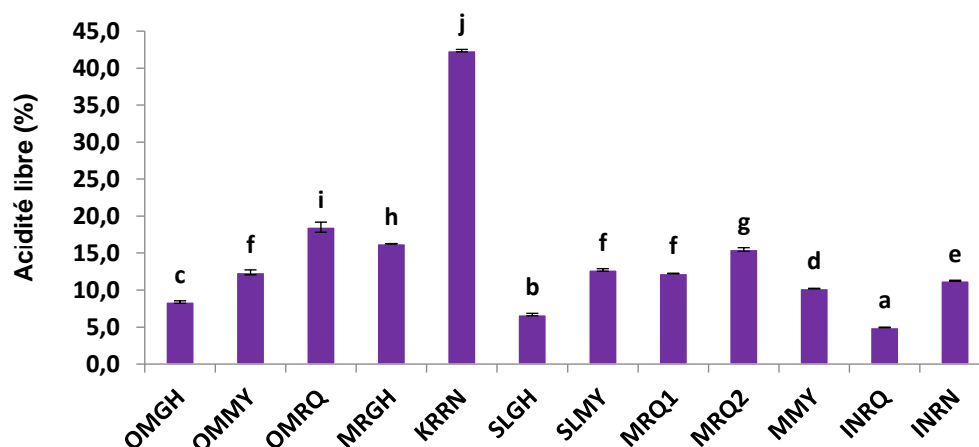


Figure 5 : Acidité libre de l'huile végétale des graines de fenouil (Les acidités libres suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au niveau de signification $\alpha = 0,05$; OMGH : Ouled Mrabet Ghlid ; OMMY : Ouled Mrabet Mtouisset ; OMRQ : Ouled Mrabet Rquiq ; MRGH : Mramer Ghlid ; KRRN : Korimate Ras Nemla ; SLGH : Sid L'Mokhtar Ghlid ; SLMY : Sid L'Mokhtar Mtouisset ; MRQ1 : Mouarid Rquiq1 ; MRQ2 : Mouarid Rquiq2 ; MMY : Mouarid Mtouisset ; INRQ : Inde Rquiq ; INRN : Inde Ras Nemla).

Chlorophylles et phéophytines : La teneur en ces deux pigments a varié significativement d'un échantillon à un autre avec les valeurs les plus élevées et les plus faibles enregistrées pour les HV d'KRRN et de SLGH, respectivement (Fig. 6 et Fig. 7). La couleur verdâtre très foncée de l'HV de fenouil est due à la teneur en chlorophylles qui est remarquablement très élevée en comparaison par exemple à celle de l'huile d'olive (Trypidis et al., 2019).

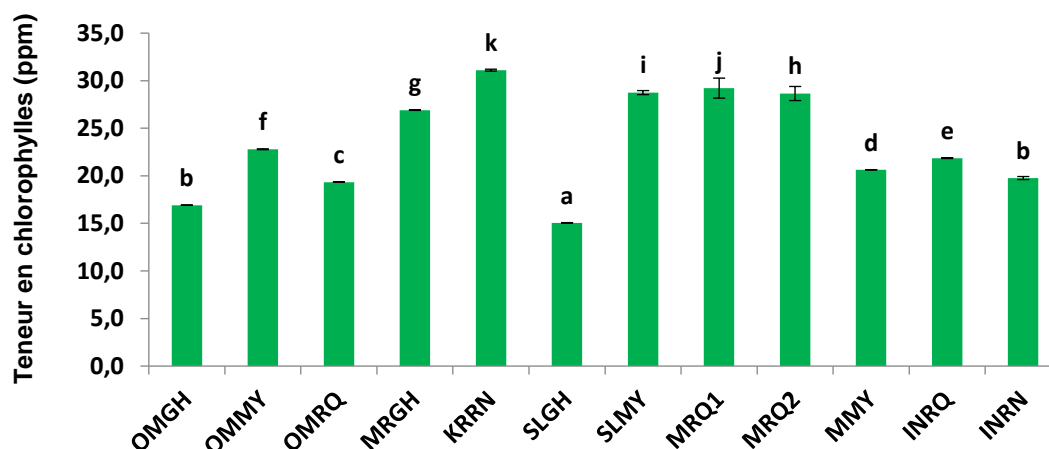


Figure 6 : Teneur en chlorophylles de l'huile végétale des graines de fenouil (Les teneurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au niveau de signification $\alpha = 0,05$; OMGH : Ouled Mrabet Ghlid ; OMMY : Ouled Mrabet Mtouisset ; OMRQ : Ouled Mrabet Rquiq ; MRGH : Mramer Ghlid ; KRRN : Korimate Ras Nemla ; SLGH : Sid L'Mokhtar Ghlid ; SLMY : Sid L'Mokhtar Mtouisset ; MRQ1 : Mouarid Rquiq1 ; MRQ2 : Mouarid Rquiq2 ; MMY : Mouarid Mtouisset ; INRQ : Inde Rquiq ; INRN : Inde Ras Nemla).

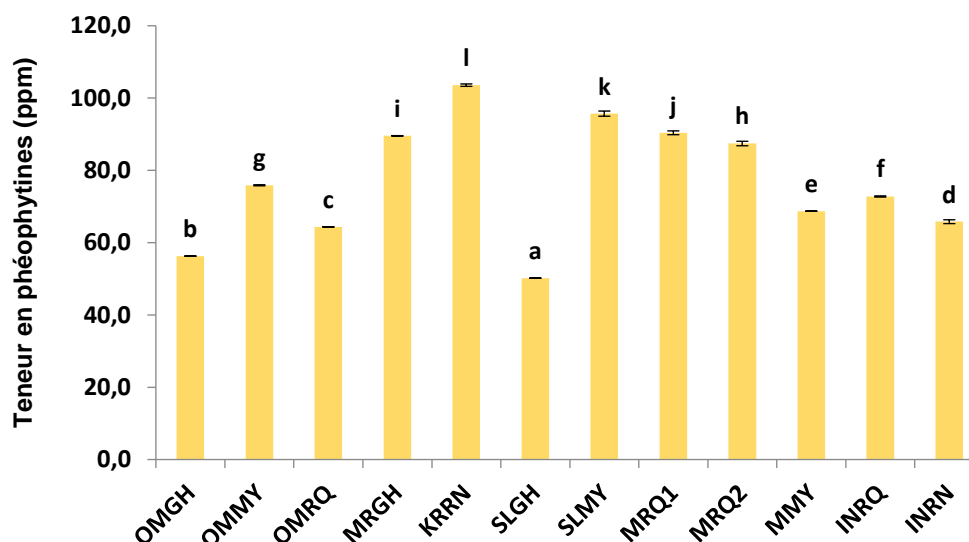


Figure 7 : Teneur en phéophytines de l'huile végétale des graines de fenouil (Les teneurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au niveau de signification $\alpha = 0,05$; OMGH : Ouled Mrabet Ghlid ; OMMY : Ouled Mrabet Mtouisset ; OMRQ : Ouled Mrabet Rquiq ; MRGH : Mramer Ghlid ; KRRN : Korimate Ras Nemla ; SLGH : Sid L'Mokhtar Ghlid ; SLMY : Sid L'Mokhtar Mtouisset ; MRQ1 : Mouarid Rquiq1 ; MRQ2 : Mouarid Rquiq2 ; MMY : Mouarid Mtouisset ; INRQ : Inde Rquiq ; INRN : Inde Ras Nemla).

Indice de peroxyde (Ip) : Cet indice de qualité a permis de classer les échantillons étudiés dans huit groupes homogènes dont les valeurs ont varié entre 24,66 et 49,90 méqO₂/kg d'huile (Fig. 8). Ces valeurs sont très élevées comparées à celles des HV alimentaires telles que l'huile d'olive vierge extra qui présente un Ip inférieur ou égal à 20,0 méqO₂/kg d'huile (COI, 2019b).

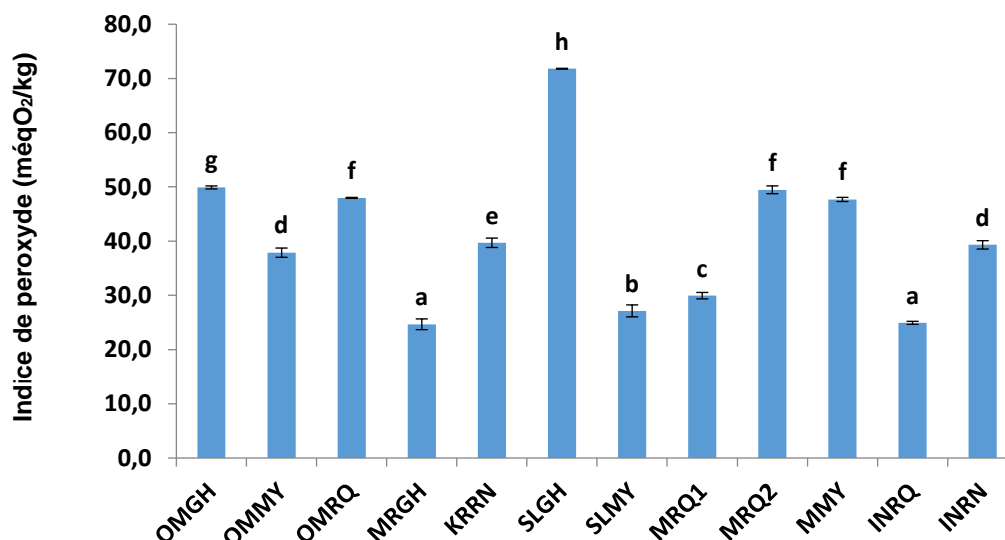


Figure 8 : Indice de peroxyde de l'huile végétale des graines de fenouil (Les indices de peroxyde suivis de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au niveau de signification $\alpha = 0,05$; OMGH : Ouled Mrabet Ghliid ; OMMY : Ouled Mrabet Mtouisset ; OMRQ : Ouled Mrabet Rquiq ; MRGH : Mramet Ghliid ; KRRN : Korimate Ras Nemla ; SLGH : Sid L'Mokhtar Ghliid ; SLMY : Sid L'Mokhtar Mtouisset ; MRQ1 : Mouarid Rquiq1 ; MRQ2 : Mouarid Rquiq2 ; MMY : Mouarid Mtouisset ; INRQ : Inde Rquiq ; INRN : Inde Ras Nemla).

Extinctions spécifiques (Es) : Les coefficients de l'Es ont montré des différences significatives entre les échantillons étudiés. L'Es à 232 nm a varié de 1,71 à 5,69 et l'Es à 270 nm a varié entre 1,14 et 2,97 (Fig. 9). Ces valeurs sont très élevées comparées à celles des HV alimentaires telles que l'huile d'olive vierge extra qui présente des coefficients de l'Es à 232 et 270 nm inférieures ou égales à 2,50 et 0,22 respectivement (COI, 2019b).

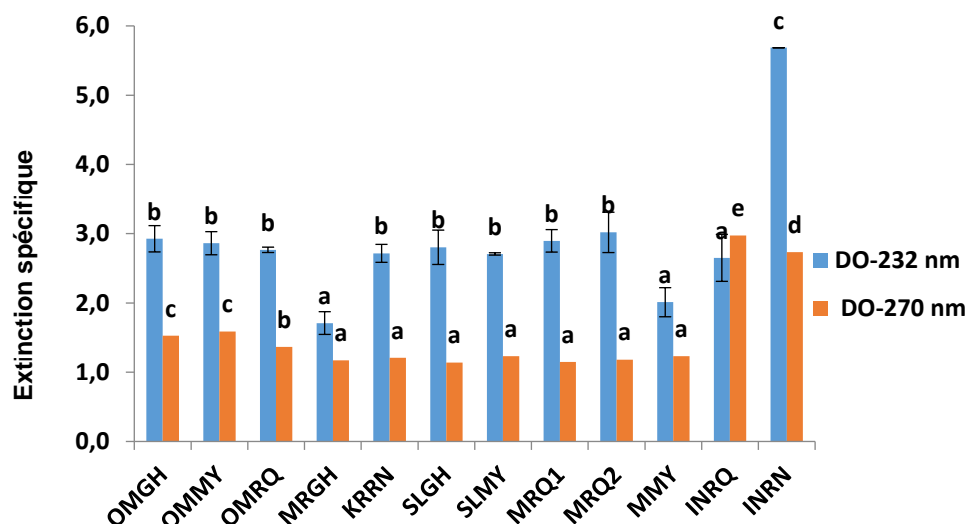


Figure 9 : Extinctions spécifiques de l'huile végétale des graines de fenouil (Les extinctions spécifiques à la même longueur d'onde (DO) suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au niveau de signification $\alpha = 0,05$; OMGH : Ouled Mrabet Ghlid ; OMMY : Ouled Mrabet Mtouisset ; OMRQ : Ouled Mrabet Rquiq ; MRGH : Mramer Ghlid ; KRRN : Korimate Ras Nemla ; SLGH : Sid L'Mokhtar Ghlid ; SLMY : Sid L'Mokhtar Mtouisset ; MRQ1 : Mouarid Rquiq1 ; MRQ2 : Mouarid Rquiq2 ; MMY : Mouarid Mtouisset ; INRQ : Inde Rquiq ; INRN : Inde Ras Nemla).

Caractéristiques de l'huile essentielle des graines de fenouil

Teneur en huile essentielle : Pour les échantillons étudiés (trois échantillons du terroir Ouled Mrabet à des stades de maturité différents OMGH, OMMY et OMRQ et un échantillon de l'Inde INRQ), la meilleure teneur en HE de l'ordre de 2,70 % est enregistrée pour l'OMGH contre 1,40 % comme teneur faible enregistrée pour l'échantillon INRQ. La différence au stade Rquiq entre l'échantillon de l'Inde et d'Ouled Mrabet reste non significative. Par contre, le rendement en HE a augmenté de façon significative avec le stade de maturité en passant pour le même terroir Ouled Mrabet de 1,8 à 2,7 % (Fig. 10). Toutefois, pour les fruits du fenouil doux (*F. vulgare* Mill. var. *dulce* Mil), la teneur en HE a baissé avec la maturité du fruit. La teneur la plus élevée (5,8 %) est enregistrée pour les fruits immatures (Telci et al., 2009). Les rendements enregistrés dans cette étude sont supérieurs à celui rapporté par Bukhari et al. (2014) pour les graines de fenouil (1,1 %). Selon l'étude réalisée au Maroc par Abdellaoui et al. (2020), la domestication du fenouil n'était pas en faveur de l'amélioration du rendement en HE. En effet, le fenouil sauvage a enregistré le rendement en HE le plus élevé (3,67 %) et le fenouil cultivé a montré le rendement le plus faible (2,13 %). Ces différences de rendement en HE seraient dues à plusieurs facteurs notamment la méthode d'extraction, le stade de maturité des graines et l'origine géographique (Díaz-Maroto et al., 2006).

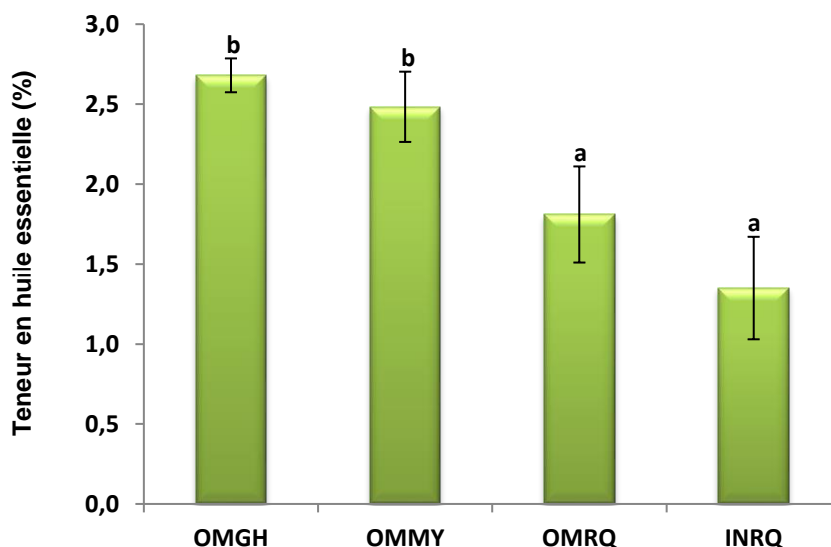


Figure 10 : Teneur en huile essentielle des graines de fenouil (Les teneurs ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au niveau de signification $\alpha = 0,05$; OMGH : Ouled Mrabet Ghlid ; OMMY : Ouled Mrabet Mtuisset ; OMRQ : Ouled Mrabet Rquiq ; INRQ : Inde Rquiq).

Composition de l'huile essentielle : Les principaux constituants de l'HE (présentant un pourcentage supérieur ou égal à 1) des échantillons de fenouil de la région d'Ouled Mrabet et de l'Inde sont le trans-anéthol (90,77-91,87 %), la fenchone (2,95-3,77 %), l'estragol (3,32-3,50 %) et le s-limonène (0,94-2,10 %) (Tableau 6). Bukhari *et al.* (2014) ont rapporté également que le composé d'arôme qui domine l'HE du fenouil est le trans-anéthol (92,2 %), suivi du cinéol (4,09 %), fenchone (1,20 %), α -pinène (0,26 %), anisaldéhyde (0,95 %) et limonène (0,085 %). Ces pourcentages de la fenchone et du limonène sont largement inférieurs à ceux trouvés dans cette étude. Abdellaoui *et al.* (2020) ont montré que l'analyse de l'HE a permis d'identifier 21 composés représentant 98,42 et 97,42 % des constituants totaux respectivement du fenouil sauvage et cultivé au Maroc. Les huiles ont été caractérisées par la dominance de l'estragol (35,33-60,01 %), l'anéthol (52,27- 22,15 %) et la fenchone (4,32-6,50 %). L'HE du fenouil cultivé contient la quantité la plus élevée de l'estragol et la quantité la plus faible de l'anéthol par comparaison à celle du fenouil sauvage.

Tableau 6 : Composés d'arôme des huiles essentielles des graines de fenouil.

Composés d'arôme ^(*) (%)	TR ^(**) (min)	Indice de Kovats	Echantillons des huiles essentielles ^(***)			
			OMGH	OMMY	OMRQ	INRQ
s-limonène	8,83	1025	2,10 ± 0,01	1,90 ± 0,25	1,54 ± 0,05	0,94 ± 0,10
Fenchone (1,3,3-Trimethylbicyclo[2.2.1]heptan-2-one)	10,52	1087	3,61 ± 0,12	3,21 ± 0,07	2,95 ± 0,08	3,77 ± 0,02
Estragol (Benzène, 1-methoxy-4)	13,57	1196	3,50 ± 0,05	3,32 ± 0,11	3,50 ± 0,06	3,37 ± 0,02
Trans-anéthol	16,17	1292	90,77 ± 0,07	91,55 ± 0,29	91,99 ± 0,19	91,87 ± 0,00

^(*) Composés d'arôme majoritaires présentant un pourcentage supérieur ou égal à 1 %.

^(**) TR : Temps de rétention.

^(***) OMGH : Ouled Mrabet Ghlid ; OMMY : Ouled Mrabet Mtouisset ; OMRQ : Ouled Mrabet Rquiq ; INRQ : Inde Rquiq.

On note des augmentations significatives des composés le s-limonène et la fenchone avec l'avancement du stade de maturité. Concernant le composé dominant le trans-anéthol, une légère diminution est observée en passant du stade Rquiq au stade Ghlid de maturation (de l'ordre de 1,22 %) (Tableau 7). Pour les fruits du fenouil doux (*F. vulgare* Mill. var. *dulce* Mil), la variation de la teneur du même composé majeur (le trans-anéthol) était statistiquement insignifiante au cours de la maturation. Par contre, certains composés, notamment les monoterpènes, α-pinène, β-myrcène, limonène et α-terpinène, ont varié significativement lors de la maturation des fruits (Telci et al., 2009).

Tableau 7 : Evolution des composés d'arôme de l'huile essentielle des graines de fenouil en fonction du stade de maturité^(*).

Composés d'arôme (%)	Stade de maturité		
	Rquiq	Mtouisset	Ghlid
s-limonène	1,54 ± 0,05 ^a	1,90 ± 0,25 ^{ab}	2,10 ± 0,01 ^b
Fenchone	2,95 ± 0,08 ^a	3,21 ± 0,07 ^a	3,61 ± 0,12 ^b
Estragol	3,32 ± 0,11 ^a	3,37 ± 0,02 ^a	3,50 ± 0,06 ^a
Trans-anéthol	91,99 ± 0,19 ^b	91,55 ± 0,29 ^b	90,77 ± 0,07 ^a

^(*) Les valeurs suivies de la même lettre au sein de la même ligne ne sont pas significativement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au niveau de signification α = 0,05.

Activité antibactérienne : La figure 11 montre que seul *Staphylococcus aureus* a présenté une sensibilité à l'action de l'HE des échantillons étudiés (OMGH, OMMY, OMRQ et INRQ). Cette sensibilité reste toutefois relativement faible en comparaison à l'action du témoin positif (ciprofloxacine). Les HE des graines des échantillons OMGH et INRQ ont enregistré les zones de sensibilité les plus larges (11,33 et 10,67 mm, respectivement) (Fig. 12). Abdellaoui et al. (2020) ont montré que l'HE des graines du fenouil sauvage et cultivé au Maroc a présenté un effet antibactérien qui a varié entre les échantillons et les bactéries utilisées avec une différence significative

pour l'inhibition de *S. aureus*. Par contre, ces auteurs ont trouvé que le fenouil cultivé a montré l'activité antibactérienne la plus élevée notamment contre *E. coli* qui était la plus sensible en enregistrant la zone d'inhibition la plus large avec un diamètre de 18,35 mm. Selon Esquivel-Ferriño et al. (2012), le 5-hydroxy-furanocoumarine a l'activité antibactérienne la plus importante du fenouil. L'extrait aqueux de fenouil a bien montré son activité bactéricide contre *S. aureus* et autres bactéries notamment *E. faecalis*, *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. typhimurium* et *S. flexneri* (Parejo et al., 2004). Par ailleurs, Lakhmili (2019) a montré que le miel de fenouil, comme les miels de thym et de chardon, a un pouvoir antibactérien surtout contre les souches *S. aureus* et *E. coli*.

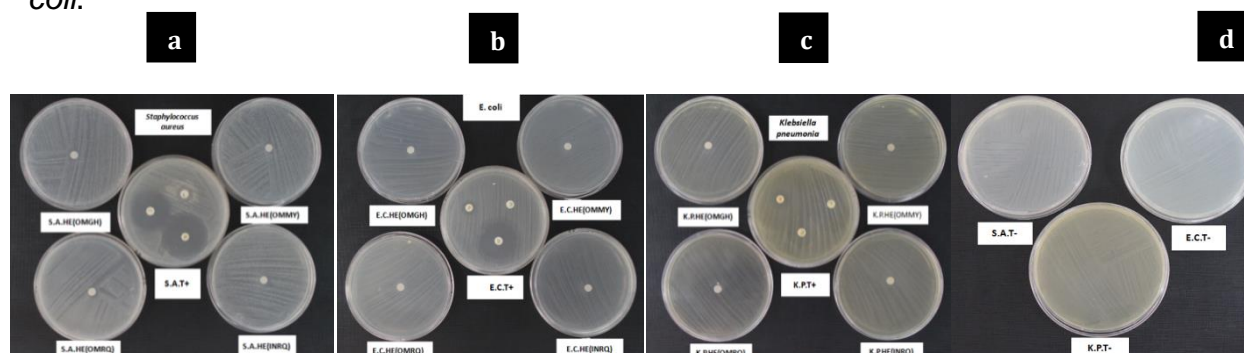


Figure 11 : Effet inhibiteur de l'huile essentielle (HE) des graines du fenouil (OMGH, OMMY, OMRQ et INRQ) et des antibiotiques : a) Ciprofloxacine, Céfoxitine et Pénicilline G sur *S. aureus* (S.A.) ; b) Ciprofloxacine, Amoxicilline et Ceftriaxone sur *E. coli* (E.C.) ; c) Ciprofloxacine, Amoxicilline et Ceftriaxone sur *K. pneumoniae* (K.P.) ; d) Témoin négatif (T-) présenté par des cultures contenant des souches bactériennes en absence de l'huile essentielle et de l'antibiotique (S.A. : *S. aureus* ; E.C. : *E. coli* ; K.P. : *K. pneumoniae*).

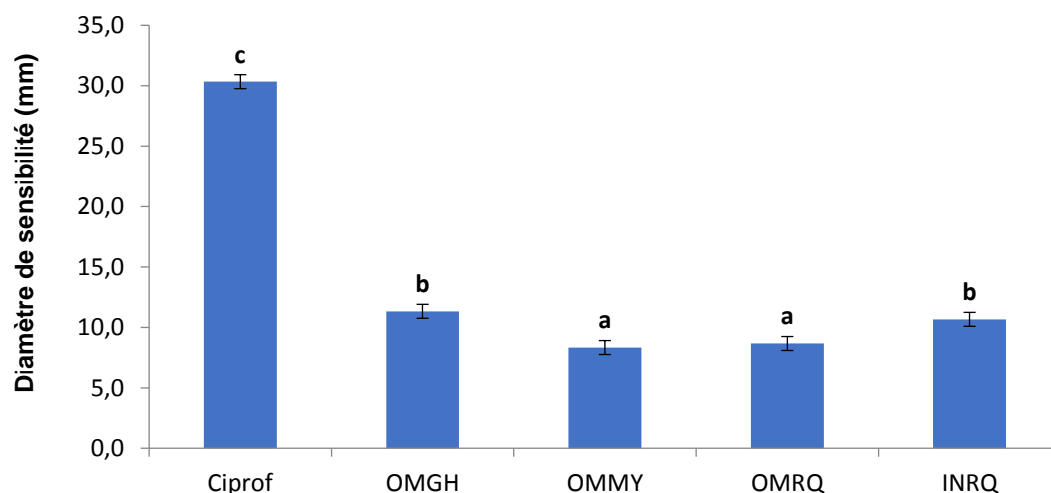


Figure 12 : Diamètre de sensibilité de la bactérie *Staphylococcus aureus* à l'action de l'huile essentielle des graines de fenouil (Les diamètres suivis de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Student-Newman-Keuls au niveau de signification $\alpha = 0,05$; Ciprof : Ciprofloxacine ; OMGH : Ouled Mrabet Ghlid ; OMMY : Ouled Mrabet Mtouisset ; OMRQ : Ouled Mrabet Rquiq ; INRQ : Inde Rquiq).

Corrélations entre des critères physiques et physicochimiques étudiés

La matrice des corrélations des critères physiques et physicochimiques des graines et de l'HV des graines de fenouil est présentée dans le tableau 8. Selon cette matrice, il est noté que le poids des graines est très corrélé positivement avec la largeur et la longueur. Des résultats similaires ont été trouvés par Mokhtar *et al.* (2012) pour le fenouil produit en Egypte. De même, les teneurs en chlorophylles et en phéophytines de l'HV sont fortement corrélées entre elles étant donné que les phéophytines constituent un produit de dégradation des pigments chlorophylliens dont la teneur est très élevée dans l'HV des graines de fenouil. Par contre, une corrélation négative est enregistrée entre les teneurs de ces deux pigments et les paramètres de couleur qui sont d'ailleurs fortement corrélés entre eux.

Tableau 8 : Matrice des corrélations des critères physiques et physicochimiques des graines et de l'huile végétale des graines de fenouil^(*).

	Poids_G	Larg_G	Long_G	R_HV	a _w _PG	Chlor_HV	Phéo_HV	Acid_HV	Ip_HV	L*_HV	a*_HV	b*_HV	C* _{ab} _HV	h _{ab} _HV	L*_EPG	a*_EPG	b*_EPG	C* _{ab} _EPG	h _{ab} _EPG
Poids_G	1,000																		
Larg_G	0,930	1,000																	
Long_G	0,817	0,773	1,000																
R_HV	0,034	0,254	0,031	1,000															
a_w_PG	0,232	0,391	0,012	0,579	1,000														
Chlor_HV	-0,474	-0,473	-0,348	0,274	0,034	1,000													
Phéo_HV	-0,450	-0,442	-0,317	0,354	0,093	0,988	1,000												
Acid_HV	-0,311	-0,245	-0,409	0,436	0,442	0,585	0,629	1,000											
Ip_HV	0,412	0,366	0,218	-0,292	-0,151	-0,612	-0,653	-0,095	1,000										
L*_HV	0,478	0,478	0,355	-0,193	0,113	-0,942	-0,904	-0,451	0,473	1,000									
a*_HV	0,193	0,330	0,080	0,072	0,376	-0,767	-0,703	-0,229	0,166	0,862	1,000								
b*_HV	0,535	0,506	0,458	-0,313	0,029	-0,911	-0,898	-0,476	0,564	0,962	0,737	1,000							
C*_{ab}_HV	0,527	0,518	0,440	-0,249	0,090	-0,913	-0,891	-0,444	0,536	0,977	0,785	0,996	1,000						
h_{ab}_HV	0,430	0,404	0,298	-0,338	-0,035	-0,968	-0,946	-0,552	0,514	0,979	0,807	0,944	0,947	1,000					
L*_EPG	0,546	0,512	0,480	0,083	0,234	-0,350	-0,372	-0,296	0,484	0,196	-0,032	0,248	0,235	0,192	1,000				
a*_EPG	-0,669	-0,695	-0,744	-0,101	-0,216	0,504	0,480	0,387	-0,414	-0,383	-0,213	-0,403	-0,401	-0,362	-0,840	1,000			
b*_EPG	-0,746	-0,776	-0,828	-0,085	-0,215	0,617	0,567	0,495	-0,285	-0,597	-0,429	-0,594	-0,602	-0,559	-0,624	0,904	1,000		
C*_{ab}_EPG	-0,741	-0,774	-0,822	-0,093	-0,223	0,605	0,559	0,483	-0,307	-0,566	-0,400	-0,566	-0,572	-0,530	-0,670	0,935	0,997	1,000	
h_{ab}_EPG	0,641	0,647	0,705	0,098	0,192	-0,452	-0,437	-0,324	0,470	0,312	0,119	0,344	0,338	0,294	0,884	-0,989	-0,841	-0,879	1,000

(*)Poids_G : Poids moyen de 100 graines ; Larg_G : Largeur moyenne de 100 graines ; Long_G : Longueur moyenne de 100 graines ; R_HV : Rendement en huile végétale (HV) ; a_w_PG : Activité de l'eau de la poudre des graines ; Chlor_HV : Teneur en chlorophylles de l'HV ; Phéo_HV : Teneur en phéophytines de l'HV ; Acid_HV : Acidité libre de l'HV ; Ip_HV : Indice de peroxyde de l'HV ; L*, a*, b*, C*_{ab} et h_{ab} : Paramètres de couleur ; EPG : Extrait aqueux de la poudre des graines.

Conclusion

A travers cette étude, des critères physiques, physicochimiques et biochimiques des graines et des huiles végétale et essentielle des graines de fenouil ont été déterminés. Les graines de fenouil étudiées sont riches en polyphénols totaux (teneur moyenne de l'ordre de 791,44 mg EAG/100 g MS), en cendres (teneur de l'ordre de 6,24 g/100 g MS) et en éléments minéraux notamment le potassium, le calcium, le sodium et le baryum (teneurs de l'ordre de 21,24 ; 5,57 ; 4,29 et 12,73 g/kg MS respectivement). L'activité antioxydante de ces graines est estimée en moyenne à 35,55 mg EAA/g MS. Leur teneur en huile végétale varie de 8,55 à 16,28 %. L'acidité libre, l'indice de peroxyde et les coefficients de l'extinction spécifique à 232 et 270 nm de l'huile végétale ont montré que cette huile ne peut pas être considérée comme une huile alimentaire sans un raffinage préalable, mais elle pourrait avoir des utilisations dans les industries chimiques. Comme pour les dimensions et le poids, le rendement en huile essentielle a augmenté avec le stade de maturité en passant pour le même terroir de 1,8 à 2,7 %. De même, des augmentations significatives des composés s-limonène et fenchone ont été notées au cours de la maturité avec une diminution légère de l'ordre de 1,22 % du composé dominant (le trans-anéthol) en passant du stade Rquiq au stade Ghlid de maturation. Ces évolutions de la teneur en HE et en composés d'arôme plaident en faveur de la valorisation des grosses graines du stade ultime de maturation (Ghlid), à faible valeur commerciale comparées aux graines des premiers stades Ras Nemla et Rquiq, dans la production de l'HE. Cette dernière a présenté également une activité antibactérienne vis-à-vis de la souche *S. aureus*. Les critères de qualité des graines et des huiles des graines de fenouil déterminés dans cette étude ont montré l'influence de l'origine géographique. Certains critères intéressants de qualité ont également montré que le fenouil local provenant des terroirs marocains a présenté une supériorité par rapport au fenouil d'origine indienne. Ces résultats permettraient de proposer des voies de valorisation, de contrôle de qualité et de labellisation du fenouil *beldi* d'Essaouira sous un signe distinctif d'origine et de qualité.

Conflits d'intérêts

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts.

Remerciements

Cette étude est réalisée dans le cadre du Contrat de Droit Commun N°1/2015 ayant pour objet « *La valorisation et la labellisation du fenouil dans la province d'Essaouira* », établi entre l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA-Rabat) et la Direction Provinciale de l'Agriculture (DPA) d'Essaouira. Les auteurs remercient la DPA d'Essaouira pour l'appui financier et les producteurs et les commerçants du fenouil pour leur assistance dans le prélèvement des échantillons. Ils tiennent également à remercier le staff technique des Laboratoires de technologie agro-alimentaire et qualité (INRA-Marrakech et INRA-Tanger), Dr Hadria R. spécialiste en modélisation, télédétection et SIG appliqués à la gestion des ressources naturelles et de l'environnement, ainsi que Dr Alfeddy M. N. et ses collaborateurs au sein du Laboratoire de phytopathologie génétique et substances bioactifs (INRA-Marrakech), pour l'aide apportée dans la réalisation de cette recherche. Les remerciements vont également au Service de microbiologie du Centre hospitalo-universitaire de Marrakech ayant fourni les souches bactériennes.

Références bibliographiques

- Abdellaoui M., Bouhlali E. T., Derouich M. et El-Rhaffari L. (2020). Essential oil and chemical composition of wild and cultivated fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.): A comparative study. South African Journal of Botany. Vol. 135. p. 93-100.
- Adams R. P. (2007). Identification of essential oil components by gas chromatography / mass spectrometry. 4th ed. Carol Stream IL. Allured Pub. Corporation. USA. 804 p.
- AOAC (1990). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15th Edition. Washington D.C.
- Archana B., Dasgupta N. et De B., 2005. In vitro study of antioxidant activity of *Syzygium cumini* fruit. Food Chem. Vol. 90 (4). p. 727-733.
- Badgujar S. B., Patel V. V. et Bandivdekar A. H. (2014). *Foeniculum vulgare* Mill.: A Review of its botany, phytochemistry, pharmacology, contemporary application, and toxicology. BioMed Research International. Vol. 2014. Article ID 842674. 32 p.
- Bahmani K., Darbandi A. I., Ramshini H. A., Moradi N. et Akbari A. (2015). Agromorphological and phytochemical diversity of various Iranian fennel landraces. Industrial Crops and products. Vol. 77. p. 282-294.
- Bakhru H. K. (1990). Herbs that heal: Natural remedies for good health. Orient Paperbacks. New Delhi. 240 p.
- Bukhari H., Shehzad A., Saeed K., Butt M. S., Tanveer S., Iftikhar T. et Ud Din U. S. (2014). Compositional profiling of fennel seed. Pak. J. Food Sci. Vol. 24 (3). p. 132-136.
- COI (2017a). Method determination of free fatty acids, cold method. COI/T.20/Doc. No 34/Rev. 1. International Olive Council. Madrid. Spain.
- COI (2017b). Method determination of peroxide value. COI/T.20/Doc. No 35/Rev.1. International Olive Council. Madrid. Spain.
- COI (2019a). Method of analysis spectrophotometric investigation in the ultraviolet. COI/T.20/Doc. No 19/Rev. 5. International Olive Council. Madrid. Spain.
- COI (2019b). Norme commerciale applicable aux huiles d'olive et aux huiles de grignons d'olive. COI/T.15/NC No 3/Rév. 14 Novembre 2019. Conseil Oléicole International. Madrid. Espagne.
- Coşge B., Kiralan M. et Gürbüz B. (2008). Characteristics of fatty acids and essential oil from sweet fennel (*Foeniculum vulgare* Mill. var. dulce) and bitter fennel fruits (*F. vulgare* Mill. var. vulgare) growing in Turkey. Nat. Prod. Res. Vol. 22 (12). p. 1011-1016.
- Díaz-Maroto M. C., Pérez-Coello M. S., Esteban J. et Sanz J. (2006). Comparison of the volatile composition of wild fennel samples (*Foeniculum vulgare* Mill.) from central Spain. J. Agric. Food Chem. Vol. 54 (18). p. 6814-6818.
- Dung N. T., Kim J. M. et Kang S. C. (2008). Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and the ethanol extract of *Cleistocalyx operculatus* (Roxb.) Merr and Perry buds. Food Chem. Toxicol. Vol. 46 (12). p. 3632-3639.
- El-Awadi M. E. et Esmat A. H. (2010). Physiological responses of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) plants to some growth substances. The Effect of Certain Amino Acids and a Pyrimidine Derivative. J. Am. Sci. Vol. 6 (7). p. 120-125.
- Esquivel-Ferriño P. C., Favela-Hernández J. M. J., Garza González E., Waksman N., Ríos M. Y. et Camacho-Corona MdR (2012). Antimycobacterial activity of constituents from *Foeniculum vulgare* var. dulce grown in Mexico. Molecules. Vol. 17 (7). p. 8471-8482.

- Georgé S., Brat P., Alter P. et Amiot M. J. (2005). Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. J. Agric. Food Chem. Vol. 53 (5). p. 1370-1373.
- Ilić D. P., Stanojević L. P., Troter D. Z., Stanojević J. S., Danilović B. R., Nikolić V. D. et Nikolić L. B. (2019). Improvement of the yield and antimicrobial activity of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) essential oil by fruit milling. Industrial Crops & Products. Vol. 142. 111854.
- Lakhmili H. (2019). Etude in vitro de l'activité bactérienne et analyse physicochimique de différents miels de la région Marrakech-Safi. Mémoire. Master science de la vie (option : Physiologie et anthropobiologie). Faculté des Sciences Semlalia. Université Cadi Ayyad. Marrakech.
- Lucinewton S., Raul N., Carvalho J., Mirian B., Lin C. et Angela A. (2005). Supercritical fluid extraction from fennel (*Foeniculum vulgare*): global yield, composition and kinetic data. J. Supercritical Fluids. Vol. 35. p. 212-219.
- Oktay M., Gulcin I. et Kufrevioglu O. I. (2003). Determination of in vitro antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extracts. Lebensmittel-Wissenschaft Technol. Vol. 36 (2). p. 263-271.
- Olle M. et Bender I. (2010). The content of oils in umbelliferous crops and its formation. Agronomy Research. Vol. 8 (3). p. 687-696.
- Parejo I., Jauregui O., Sánchez-Rabaneda F., Viladomat F., Bastida J. et Codina C. (2004). Separation and characterization of phenolic compounds in fennel (*Foeniculum vulgare*) using liquid chromatography-negative electrospray ionization tandem mass spectrometry. J. Agric. Food Chem. Vol. 52 (12). p. 3679-3687.
- Scalbert A., Manach C., Morand C., Rémésy C. et Jiménez L. (2005). Dietary polyphenols and the prevention of diseases. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. Vol. 45 (4). p. 287-306.
- Telci I., Demirtasb I., Sahinb A. (2009). Variation in plant properties and essential oil composition of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) fruits during stages of maturity. Industrial Crops and Products. Vol. 30. p. 126–130.
- Trypidis D., García-González D. L., Lobo-Prieto A., Nenadis N., Tsimidou M. Z. et Tena N. (2019). Real time monitoring of the combined effect of chlorophyll content and light filtering packaging on virgin olive oil photo-stability using mesh cell-FTIR spectroscopy. Food Chem. Vol. 295. p. 94-100.
- Tsevegsuren N., Aitzetmuller K. et Vosmann K. (2004). *Geranium sanguineum* (Geraniaceae) seed oil: A new source of petroselinic and vernolic acid. Lipids. Vol. 39 (6). p. 571-576.
- Wolff J. P. (1968). Manuel d'analyse des corps gras. Azoulay éd. Paris. 519 p.
- Yaldiz G. et Camlica M. (2019). Variation in the fruit phytochemical and mineral composition, and phenolic content and antioxidant activity of the fruit extracts of different fennel (*Foeniculum vulgare* L.) genotypes. Industrial Crops & Products. Vol. 142. 111852.
- Yaldiz G., Camlica M., Ozen F. et Eratlar S. A. (2019). Effect of poultry manure on yield and nutrient composition of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Commun. Soil Sci. Plant Anal. Vol. 50 (7). p. 838-852.
- Zoubiri S., Baaliouamer A., Seba N. et Chamouni N. (2014). Chemical composition and larvicidal activity of Algerian *Foeniculum vulgare* seed essential oil. Arab. J. Chem. Vol. 7. p. 480-485.