

Study on the morphological variability of sixteen populations of wild fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) growing in Tunisia

Etude de la variabilité morphologique de seize provenances de fenouil (*Foeniculum vulgare* Mill.) poussant à l'état spontané en Tunisie

MARWA KHAMMASSI¹, MOUNA SOUIHI², ISMAIL AMRI^{2*}, BASSEM JAMOUSI³, ABDELHAMID KHALDI⁴

¹Nutritional Surveillance and Epidemiology Laboratory, National Institute of Nutrition and Food Technology, 11 rue Jebel lakhdhar Tunis

²Laboratory of Nuclear biotechnology, National Center for Nuclear Sciences and Technologies, BP 72, 2020 Sidi Thabet, Ariana, Tunisia

³Department of Environmental Sciences, Faculty of Meteorology, Environment Arid Land Agriculture, King Abdulaziz University, Jeddah 21589, Saudi Arabia

⁴Laboratory of Management and Valorization of Forest Resources. National Institute of Researches on Rural Engineering, Water and Forests, BP.10 Ariana 2080, Tunisia

*Corresponding author: amri_amri@live.fr

Abstract – Fennel, *Foeniculum vulgare* Mill., is a very abundant aromatic and medicinal plant that grows spontaneously in several regions of Tunisia. The aim of this study is to describe the morphological variability of *Foeniculum vulgare* which seems to be essential to ensure a very appropriate sampling for a better exploitation of this species, especially since the morphological variability is often associated with a chemical variability of the active molecules. Therefore, our sampling concerned the different aerial parts of the species (stems, umbels and seeds) from sixteen provenances which are spread over different bioclimatic stages: humid, sub-humid, upper semi-arid and medium semi-arid. Several characters of morphological variability have been described for each plant part. For the stems : the length and the number of nodes and umbels per stem have been assessed, for the umbels: the diameter, the number of umbellules and the number of seeds per umbel have been described and for the seeds: the length and the seed width and the weight of 100 seeds were measured. The main results obtained were the subject of a principal component analysis. This study revealed a clear morphological variability linked to the different origins of tested plants.

Keywords: *Foeniculum vulgare* Mill, morphological variability, bioclimatic stages, stems, umbels, seeds.

Résumé - Le fenouil, *Foeniculum vulgare* Mill., est une espèce aromatique et médicinale très répandue qui pousse à l'état spontanée dans plusieurs régions de la Tunisie. Cette étude a pour objectif de décrire la variabilité morphologique du fenouil, souvent associée à une variabilité chimique de la production des molécules actives. Pour cela notre échantillonnage a concerné les différentes parties aériennes de l'espèce (tiges, ombelles et graines) issue de seize provenances réparties au niveau de différents étages bioclimatiques: humide, subhumide, semi-aride supérieure et semi-aride moyen. 10 caractères morphologiques ont été choisis pour la caractérisation du fenouil au cours de cette étude. Pour les tiges, la longueur et le nombre des nœuds et d'ombelles par tige ont été déterminés; pour les ombelles, le diamètre, le nombre d'ombellules et le nombre de graines par ombelles ont été décrits; et pour les graines, la longueur et la largeur des graines et le poids de 100 graines ont été mesurés. Les principaux résultats obtenus ont fait l'objet d'une analyse en composantes principales. Cette étude a révélé une nette variabilité morphologique liée aux différentes régions dont le matériel végétal analysé est issu.

Mots clés: *Foeniculum vulgare* Mill., variabilité morphologique, étages bioclimatiques, tiges, ombelles, graines.



1. Introduction

Le fenouil : *Foeniculum vulgare* Mill., appartenant à la famille des Apiacées est l'une des plantes médicinales les plus importantes. Elle est très utilisée en cuisine en tant que condiment et a une importance économique considérable, notamment pour l'industrie alimentaire (D'Antuono et al. 2017). Cette espèce est divisée en deux sous-espèces : ssp. *piperitum* et ssp. *vulgare* (Badoc and Lamarti 1997). La sous espèce *vulgare* comprend trois variétés : var. *vulgare*, var. *dulce* et var. *azoricum* (Badoc and Lamarti 1997 ; Reduron 2007). Le fenouil est une plante vivace, annuelle ou bisannuelle pouvant atteindre 2 m de hauteur. La tige est cylindrique, robuste et striée (Pottier-Alapetite 1979 ; Filliat 2012). Les feuilles à pourtour triangulaire ou oblong-allongé sont subdivisées en segments filiformes. L'inflorescence est formée d'ombelles composées pouvant atteindre 20 cm de diamètre, regroupant 4 à 25 rayons. La floraison est estivale et automnale (de juillet à octobre). Les fleurs sont radiales de couleur jaune. Le fruit est un diakène formé de 2 méricarpes, de couleur brun verdâtre, glabre, d'une longueur variable de 4 à 10 mm, de forme cylindrique, fuselé et à côtes saillantes (Filliat 2012 ; Reduron 2007).

Les feuilles, les tiges et les bulbes de fenouil sont comestibles et sont utilisés pour la préparation des plats traditionnels et des salades (D'Antuono et al. 2017). Le fenouil est également connu par son usage en médecine traditionnelle. Plusieurs recherches ne font que confirmer l'utilisation traditionnelle de ces différentes parties et montrer leurs propriétés biologiques notamment antioxydante, antispasmodique, anti-inflammatoire et antimicrobienne (Hamdy Roby et al. 2013 ; Senatore et al. 2013 ; Pacifico et al. 2015). Ces propriétés sont dues essentiellement aux composés actifs dont la variation chimique présente un outil pour la caractérisation des plantes par rapport à leurs traits morphologiques. La variation de ces caractères morphologiques peut être fortement affectée par les conditions du site de collecte (Saran 2017). Dans ce contexte, le présent travail a pour objectif de comparer 16 populations de fenouil qui poussent à l'état spontané en Tunisie en se basant sur leurs critères morphologiques et de trouver les relations susceptibles d'exister entre ces traits, l'origine et la variation des huiles essentielles rapporté dans l'étude de Khammassi et al. (2018) qui porte sur la variabilité des huiles essentielles des graines de *Foeniculum vulgare* et leurs activités antioxydante et antimicrobienne.

En Tunisie, *Foeniculum vulgare* pousse à l'état spontané. C'est une plante très répandue, très abondante et elle pousse partout. D'autre part la valorisation de cette espèce reste encore très limitée aux utilisations traditionnelles. Cependant, peu d'études sur les molécules actives et les propriétés biologiques de cette espèce ont été reportés. Une seule étude a été effectuée sur cette espèce en Tunisie et qui porte sur la variabilité qualitative et quantitative des huiles essentielles des graines de *Foeniculum vulgare* et leurs activités antioxydante et antimicrobienne (Khammassi et al. 2018). Les résultats de cette étude ont révélé une variabilité qualitative et quantitative de la production des métabolites secondaires en fonction du site de collecte du matériel végétal. Sachant que l'adaptation des plantes aux conditions pédoclimatiques se traduit généralement par des effets d'ajustement physiologiques aboutissant à une diversité chimique des molécules et aussi par une diversité morphologique. D'autres part, aucune étude de variabilité morphologique de cette espèce n'a été citée dans la littérature, dans ce contexte, notre étude a pour objectif de décrire pour la première fois la variabilité morphologique de *Foeniculum vulgare* qui pousse en Tunisie afin d'avoir des caractères qui nous permettent de distinguer les différentes populations de fenouil spontanées en Tunisie et surtout que cette diversité morphologique est en relation très étroite avec la diversité chimique des molécules d'intérêts synthétisés par cette espèce.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Echantillonnage et provenances analysées

Des prospections effectuées en Tunisie, durant les mois de Novembre–Décembre, nous ont permis de repérer seize provenances de *Foeniculum vulgare* Mill., représentatives de l'aire de répartition de l'espèce qui s'étend de l'étage bioclimatique humide : Mjaless ; sub-humide : Hleyssia, Oued Zarga, Thibar, Aousja, El Alia et Kélibia ; semi-aride supérieur : Cebelet Ben Ammar, Utique, Takelssa, Teboursek, Dahmani et Zouarine ; au semi-aride moyen : Chenfa, Oued Bzigh et Beni Ayech (figure 1).

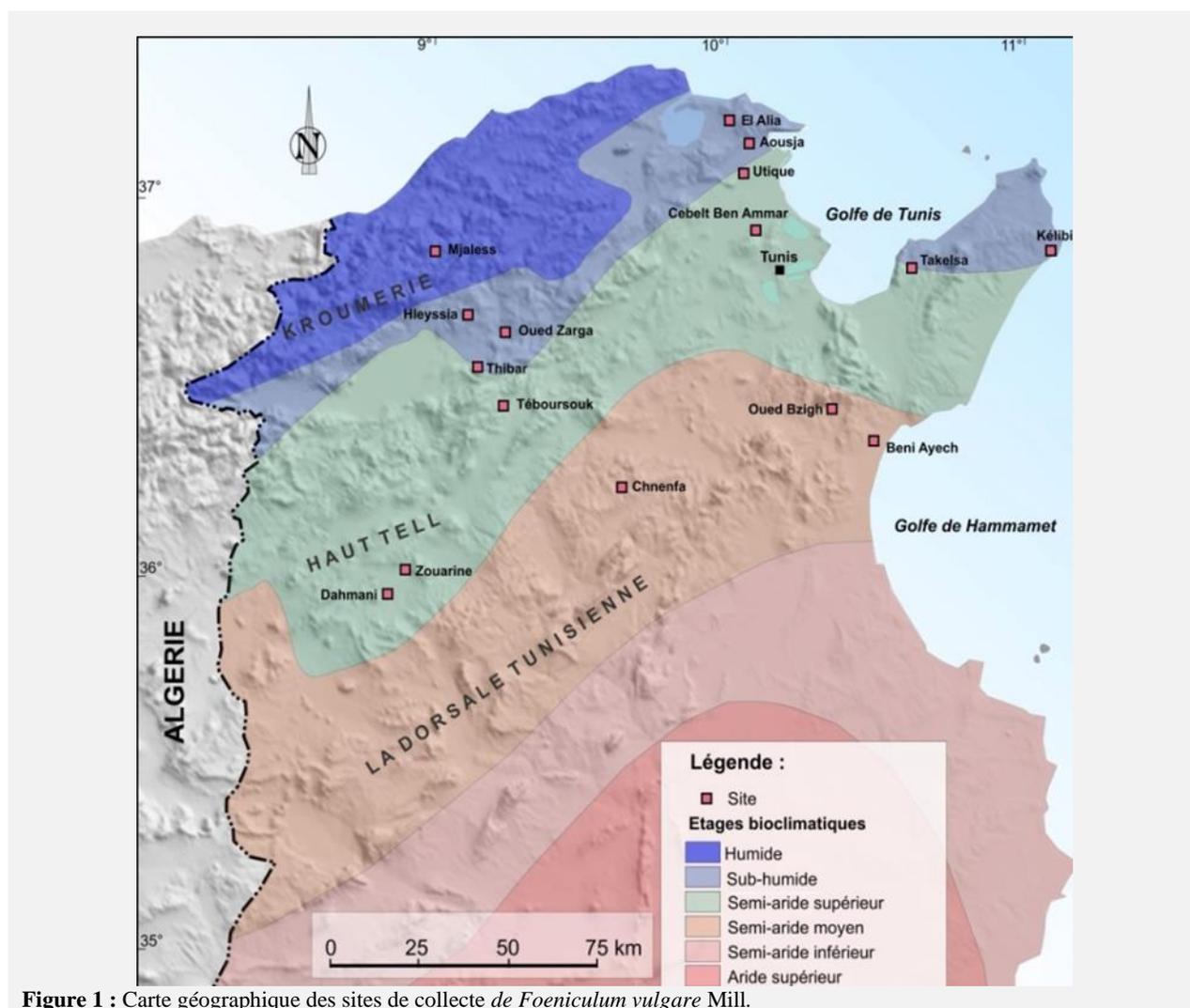


Figure 1 : Carte géographique des sites de collecte de *Foeniculum vulgare* Mill.

2.2. Caractère de variabilité

La variabilité morphologique de *Foeniculum vulgare* a été étudiée moyennant des paramètres quantitatifs choisis en se référant au descripteur des apiacées selon 'International Plant Genetic Resources Institute' (IPGRI) (1997) « Descripteurs for *Apiaceae* spp ».

La caractérisation des provenances étudiées a concerné la description morphologique des principaux organes de la plante (tige, ombelle et graine). Dix caractères morphologiques ont été choisis pour la caractérisation de *Foeniculum vulgare* pour cette étude.

2.2.1. Caractérisation morphologique des tiges

Cette étude a porté sur les dimensions de la plante et la capacité des tiges à croître en longueur.

50 tiges ont été collectées à partir de 10 individus (de l'ordre de 5 tiges par individu) espacés d'au moins 10 m, de chaque provenance. Les paramètres considérés sont : la longueur de la tige, le nombre de nœuds/tige et le nombre d'ombelles/tige.

2.2.2. Caractérisation morphologique des ombelles

Pour chaque individu, les mesures ont porté sur 100 ombelles. Le diamètre de l'ombelle, le nombre d'ombellules par ombelle et le nombre de graines par ombelle ont été déterminés (figure 2).

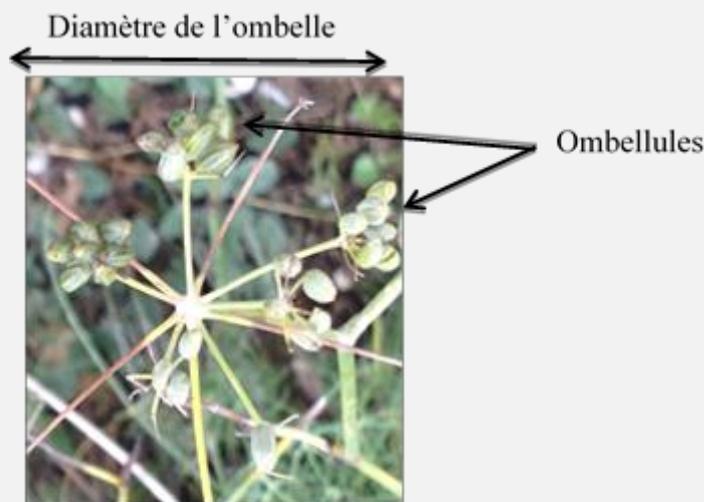


Figure 2 : Caractères morphologiques déterminés sur l'ombelle

2.2.3. Caractérisation morphologique des graines

Un échantillon représentatif de 200 graines matures (figure 3) collectées à partir de 10 individus de chaque provenance, a été utilisé pour les mesures de dimensions et de poids. Les graines qui présentent des malformations ont été éliminées.

La longueur et la largeur des graines ont été déterminées à l'aide d'un pied à coulisse digital (modèle : Mm/Inch ; précision de ± 0.2 mm). Le poids de 100 graines a été mesuré à l'aide d'une balance de précision (modèle : Mettler ; précision de $\pm 0,1$ g).



Figure 3 : Graines de *Foeniculum vulgare* de la provenance de « Aousja » (a) et « Hleyssia » (b)

2.3. Analyse statistique

Le traitement statistique des données a été réalisé à l'aide du logiciel SPSS (Version 10.0). 10 paramètres morphologiques entre les sites de collecte ont fait l'objet d'une analyse de la variance suivie d'une comparaison des moyennes par le test Student-Newman-Keuls (SNK) à $p < 0,05$. L'analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée par le programme XLSTAT (2014).

3. Résultats et discussion

Dix caractères morphologiques ont été étudiés en se référant aux descripteurs du guide établi par l'IPGRI (1997) pour caractériser les différentes provenances de fenouil. Toutes les mesures sont réalisées sur 10 individus de chaque provenance, en respectant la période de collecte de l'espèce et les indications de la liste des descripteurs de guide de l'IPGRI (1997).

3.1. Descripteurs morphologiques de graines

Quatre descripteurs ont été étudiés pour caractériser les graines de *F. vulgare* : la longueur des graines, la largeur des graines, le ratio longueur/largeur et la masse de 100 graines.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 1. L'analyse de la variance pour chacune des variables mesurées a montré l'existence de différence significative entre les provenances.

La longueur moyenne des graines des provenances étudiées varie de 3,94 à 5,45 mm. La longueur minimale est observée pour les graines de Hleyssia. Cependant, les graines d'Oued Zarga et Aousja se distinguent significativement des autres provenances avec des longueurs maximales de 5.45 mm et 5.4 mm respectivement. Les autres provenances n'ont montré aucune différence significative entre elles. La

provenance d'Aousja se distingue également par la largeur des graines la plus élevée (2.26 mm) suivie par les graines de Dahmani (1.99 mm) et Utique (2.07 mm). Les graines de Hleyssia, Kelibia, Oued Bzigh et Teborsok qui ne présentent aucune différence significative entre elles se sont révélées les moins épaisses avec des valeurs de 1.55, 1.64, 1.65 et 1.57 mm, respectivement.

Le ratio longueur/largeur a montré une variabilité au niveau de la forme des graines collectées de différentes provenances de la Tunisie. La valeur maximale a été observée pour les graines d'Oued Zarga (3.17 mm). En effet, cette provenance caractérisée par la longueur la plus élevée a montré une largeur faible indiquant ainsi une forme allongée des graines. Cependant, les ratios les moins élevés ont été observé pour les graines d'Aousja (2.49 mm) et Utique (2.45 mm). La population d'Aousja ayant montré la longueur et la largeur les plus élevées, a également révélée la masse la plus importante. Cette provenance se distingue significativement des autres par une masse de 0.54 g/100 graines. Par contre, les graines de Zouarine ont montré la valeur la plus faible avec une masse de 0.28 g/100 graines. Les différences significatives observées au niveau des graines, sont probablement liées aux différentes conditions climatiques et édaphiques entre les sites de collecte.

Tableau 1 : Caractérisation morphologique des graines de *F. vulgare* de différentes provenances

Provenance	D1	D2	D3	D4
1.Aousja	5.4 ^a ±0.14	2.26 ^a ±0.13	2.49 ^d ±0.13	0.54 ^a ±0.03
2.Beni Ayech	4.8 ^{bcd} ±0.11	1.93 ^{bc} ±0.06	2.51 ^{cd} ±0.07	0.42 ^c ±0.01
3.Cebelt Ben Ammar	4.94 ^{abcd} ±0.13	1.77 ^{cd} ±0.05	2.81 ^{abcd} ±0.07	0.41 ^c ±0.03
4.Dahmani	5.24 ^{ab} ±0.11	1.99 ^b ±0.06	2.66 ^{cd} ±0.08	0.4 ^c ±0.03
5.El Alia	4.5 ^{cde} ±0.1	1.58 ^d ±0.02	2.8 ^{abcd} ±0.09	0.33 ^d ±0.02
6.Chnenefa	4.28 ^{ef} ±0.07	1.69 ^{cd} ±0.04	2.55 ^{cd} ±0.06	0.43 ^c ±0.03
7.Takelssa	4.99 ^{abc} ±0.1	1.94 ^{bc} ±0.04	2.58 ^{cd} ±0.05	0.4 ^c ±0.02
8.Hleyssia	3.94 ^f ±0.05	1.55 ^d ±0.03	2.55 ^{cd} ±0.04	0.5 ^b ±0.02
9.Klibia	4.75 ^{bcd} ±0.08	1.64 ^d ±0.05	2.93 ^{abc} ±0.08	0.35 ^d ±0.01
10.Mjaless	5.18 ^{ab} ±0.07	1.7 ^{cd} ±0.04	3.08 ^{ab} ±0.08	0.41 ^c ±0.01
11.Oued Bzigh	5.01 ^{abc} ±0.12	1.65 ^d ±0.09	2.92 ^{abc} ±0.09	0.40 ^c ±0.01
12.Oued Zarga	5.45 ^a ±0.09	1.75 ^{cd} ±0.05	3.17 ^a ±0.12	0.47 ^b ±0.01
13.Teborsok	4.24 ^{ef} ±0.11	1.57 ^d ±0.03	2.7 ^{bcd} ±0.07	0.42 ^c ±0.05
14.Thibar	4.46 ^{de} ±0.09	1.73 ^{cd} ±0.05	2.62 ^{cd} ±0.08	0.39 ^c ±0.01
15.Utique	5.02 ^{abc} ±0.27	2.07 ^b ±0.04	2.45 ^d ±0.15	0.45 ^{bc} ±0.01
16.Zouarine	4.81 ^{bcd} ±0.06	1.7 ^{cd} ±0.04	2.84 ^{abcd} ±0.6	0.28 ^e ±0.01

Les résultats représentés sont les moyennes de trois répétitions. Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test de comparaison multiple de Newman-Keuls au seuil de 5 % ; D1 : Longueur des graines (mm) ; D2 : Largeur des graines (mm) ; D3 : Ratio longueur/largeur ; D4 : Masse de 100 graines (g)

Les caractères morphologiques mesurés sur les graines de fenouil peuvent constituer des critères de base pour différencier les provenances. L'analyse en composantes principales montre que l'axe 1 et l'axe 2 représentent 83.63 % de la variabilité totale (tableau 2).

Tableau 2 : Valeurs propres et contribution relative des descripteurs des graines à la formation des axes 1 et 2

	F1	F2
Valeur propre	1.9631	1.3823
Variabilité (%)	49.0771	34.5572
% cumulé	49.0771	83.6343
Longueur de la graine (mm)	0.5531	0.8289
Largeur de la graine (mm)	0.9502	0.1270
Ratio longueur/largeur	-0.5226	0.7879
Poids de 100 graines (g)	0.6937	-0.2413

L'axe 1 (49.07 % de la variabilité) est corrélé positivement à la longueur des graines, à la largeur des graines et au poids de 100 graines. Le deuxième axe (34.56 %) est corrélé positivement avec la longueur et la largeur des graines et le ratio longueur/largeur et négativement avec le poids de 100 graines.

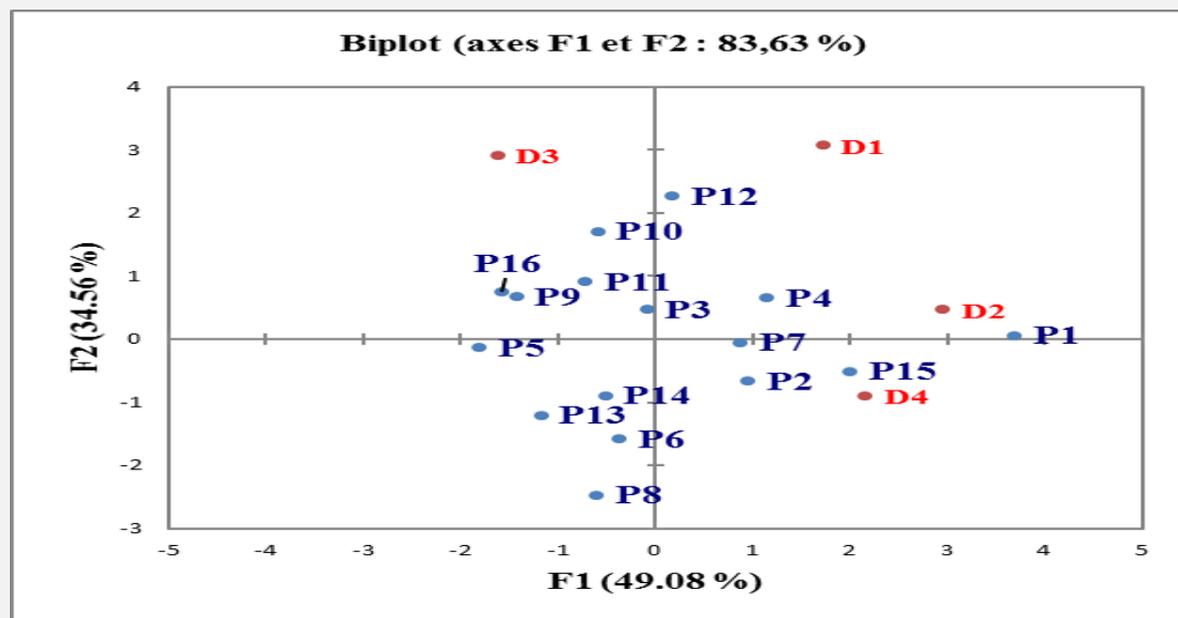


Figure 4. Répartition des provenances de *Foeniculum vulgare* selon les descripteurs morphologiques des graines.

Les provenances P1 (Aousja) et P8 (Hleyssia) se distinguent des autres provenances. En effet, la provenance P1 est caractérisée par les graines ayant les largeurs, les longueurs importantes et les poids les plus importants. Cependant, la provenance P8 est caractérisée par des graines de petite taille ayant les longueurs et les largeurs les moins faibles (figure 4).

3.2. Descripteurs morphologiques des tiges et des ombelles

Les résultats des caractères morphologiques des tiges et des ombelles sont résumés dans le tableau 3. L'analyse de la variance a montré l'existence de différence significative entre les provenances pour les descripteurs morphologiques des tiges et des ombelles.

Les tiges de Hleyssia qui se distinguent significativement des autres provenances ont montré les hauteurs les plus importantes (2.26 m). A l'exception de la provenance d'Aousja, le reste des provenances ne présentant pas de différences significatives ont exhibé des hauteurs variant de 1.14 à 2.14 m.

La provenance d'Aousja a montré la hauteur la moins élevée avec une moyenne qui atteint 1.03 m. Cette provenance a également exhibé un nombre de nœuds/tige, un nombre d'ombelles/tige, un nombre d'ombellules/ombelle, des diamètres d'ombelles et un nombre de graines/ombelle, significativement différents des autres populations avec les valeurs les plus faibles, respectivement, de 21.6, 16.8, 3.1, 1.31 et 17.6. Le nombre de nœuds/tige le plus important a été noté pour la provenance de Klibia (89.9). Les provenances d'Oued Bzigh et Klibia ont montré des nombre d'ombelles/tige les plus élevés.

Cependant le nombre d'ombellules/ombelle, et le nombre de graines/ombelle les plus importants ont été notés pour la provenance de Teborsek avec des valeurs de 7.9 et 58.6, respectivement. La provenance de Takelssa se distinguent par les diamètres d'ombelles les plus grands (3.28 mm).

En se limitant aux deux premiers axes, l'analyse en composante principale des paramètres morphologiques des tiges et des ombelles montre que l'Axe1 et Axe2 représentent 84.59 % de la variabilité totale (tableau 4). L'axe1 qui représente 63.25 % de la variabilité totale est corrélé positivement à tous les descripteurs morphologiques relatifs à la caractérisation des tiges et des ombelles : hauteur de la tige (m), nombre de nœuds/tige, nombre d'ombelles/tige, nombre d'ombellules/ombelle, diamètre d'ombelles, nombre de graines/ombelle. L'axe 2 représentant 21.34 % de la variabilité est corrélé positivement aux nombre d'ombellules/ombelle et au diamètre des ombelles

Tableau 3 : Caractérisation morphologique des tiges et des ombelles de *F. vulgare* de différentes provenances

Provenance	D5	D6	D7	D8	D9	D10
1.Aousja	1.03 ^{hi} ±0.04	21.6 ^g ±1.23	16.8 ^f ±1.33	3.1 ^e ±0.27	1.31 ^e ±0.08	17.6 ^d ±1.97
2.Beni Ayech	1.34 ^{ghi} ±0.302	27.5 ^{fg} ±3.35	28.2 ^{ef} ±1.35	3.6 ^{de} ±0.3	1.59 ^{de} ±0.12	14.4 ^{cd} ±1.21
3.Cebelt Ben Ammar	1.42 ^{efghi} ±0.058	47.5 ^{defg} ±8.38	32.1 ^{def} ±8.14	5.5 ^{bcd} ±0.3	2.88 ^{abc} ±0.19	25.5 ^{bcd} ±2.4
4.Dahmani	1.38 ^{fghi} ±0.035	48.5 ^{cdefg} ±7.71	46.7 ^{bcdef} ±9	6.1 ^b ±0.58	2.55 ^{abc} ±0.15	23 ^{bcd} ±3.33
5.El Alia	2.03 ^{abc} ±0.1	70.6 ^{abc} ±5.49	58.3 ^{abcde} ±6.81	4.5 ^{bcd} ±0.34	2.72 ^{abc} ±0.21	24.6 ^{bcd} ±1.97
6.Chnefefa	1.69 ^{cdefg} ±0.07	55.1 ^{bcdef} ±3.66	46.1 ^{bcdef} ±6.17	5.7 ^{bc} ±0.49	3.1 ^{ab} ±0.22	31.4 ^{bcd} ±4.13
7.Takelssa	1.5 ^{cdefg} ±0.14	38 ^{defg} ±6.03	44.3 ^{cdef} ±6.09	4.5 ^{bcd} ±0.3	3.28^a±0.26	30.8 ^{bcd} ±3.67
8.Hleyssia	2.26^a±0.11	82.9 ^{ab} ±6.96	72.7 ^{abc} ±6.20	3.8 ^{cde} ±0.32	2.02 ^{cde} ±0.19	27.4 ^{bcd} ±2.58
9.Klibia	2.06 ^{abc} ±0.18	89.9^a±13.83	79.6^a±5.34	5.4 ^{bcd} ±0.26	3.02 ^{ab} ±0.21	33.5 ^{bc} ±2.73
10.Mjaless	1.83 ^{abcde} ±0.07	49 ^{cdefg} ±4.43	41.9 ^{cdef} ±4.4	6.2 ^b ±0.29	2.77 ^{abc} ±0.24	20.5 ^{bcd} ±3.01
11.Oued Bzigh	1.79 ^{bcdef} ±0.08	59.1 ^{bcd} ±6.55	78.8^a±8.58	4.9 ^{bcd} ±0.31	2.75 ^{abc} ±0.25	26.9 ^{bcd} ±3.67
12.Oued Zarga	1.66 ^{cdefg} ±0.07	45.9 ^{cdefg} ±5.24	31.4 ^{def} ±4.75	5 ^{bcd} ±0.53	2.35 ^{bcd} ±0.16	23.1 ^{bcd} ±3.14
13.Teborsok	2.09 ^{abc} ±0.13	59.9 ^{bcd} ±5.49	62.7 ^{abcd} ±6.86	7.9^a±0.86	3.2 ^{ab} ±0.28	58.6^a±9.3
14.Thibar	2.14 ^{ab} ±0.08	69.5 ^{abc} ±7.37	75.3 ^{ab} ±8.89	6.1 ^b ±0.4	1.99 ^{cde} ±0.07	26.5 ^{bcd} ±2.8
15.Utique	1.9 ^{abcd} ±0.16	57.6 ^{bcd} ±8.33	43.2 ^{cdef} ±6.43	6.2 ^b ±0.32	2.63 ^{abc} ±0.13	37 ^b ±4.22
16.Zouarine	1.14 ^{hi} ±0.09	29.2 ^{efg} ±3.37	29.4 ^{ef} ±2.54	3.9 ^{cde} ±0.48	2.3 ^{bcd} ±0.23	17.7 ^{cd} ±1.62

Les résultats représentés sont les moyennes de trois répétitions. Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes selon le test de comparaison multiple de Newman-Keuls au seuil de 5 % ; D5 : Hauteur de la tige (m) ; D6 : Nombre de nœuds/tige ; D7 : Nombre d'ombelles/tige ; D8 : Nombre d'ombellules/ombelle ; D9 : Diamètre des ombelles ; D10 : Nombre de graines/ombelle

Tableau 4 : Valeurs propres et contribution relative des descripteurs des tiges et des ombelles à la formation des axes 1 et 2

	F1	F2
Valeur propre	3.7948	1.2804
Variabilité (%)	63.2467	21.3393
% cumulé	63.2467	84.5860
Longueur de la tige (m)	0.8863	-0.3576
Nombre de nœuds/tige	0.8578	-0.4518
Nombre d'ombelles/tige	0.8360	-0.4404
Nombre d'ombellules/ombelles	0.7214	0.5350
Diamètre des ombelles	0.6589	0.5398
Nombre de graines/ombelle	0.7874	0.4204

En tenant compte de la signification des axes, nous avons analysé la répartition des provenances dans le plan par rapport aux deux axes 1 et 2 (figure 5). La distribution des provenances montre que les provenances 1 (Aousja), 8 (Hleyssia) et 13 (Teborsek) se distinguent des autres provenances. La provenance 1 est caractérisée par la longueur de la tige, le nombre d'ombelles/tige, le nombre de nœuds/tige et le nombre de graines/ombelle les moins importantes. La provenance 8 est caractérisée par la longueur des tiges, le nombre de nœuds/tige et le nombre d'ombelles/tige les plus élevés. Par contre la provenance 13 se distingue par le nombre d'ombellule/ombelle, le diamètre d'ombelle et le nombre d'ombelle les plus importants.

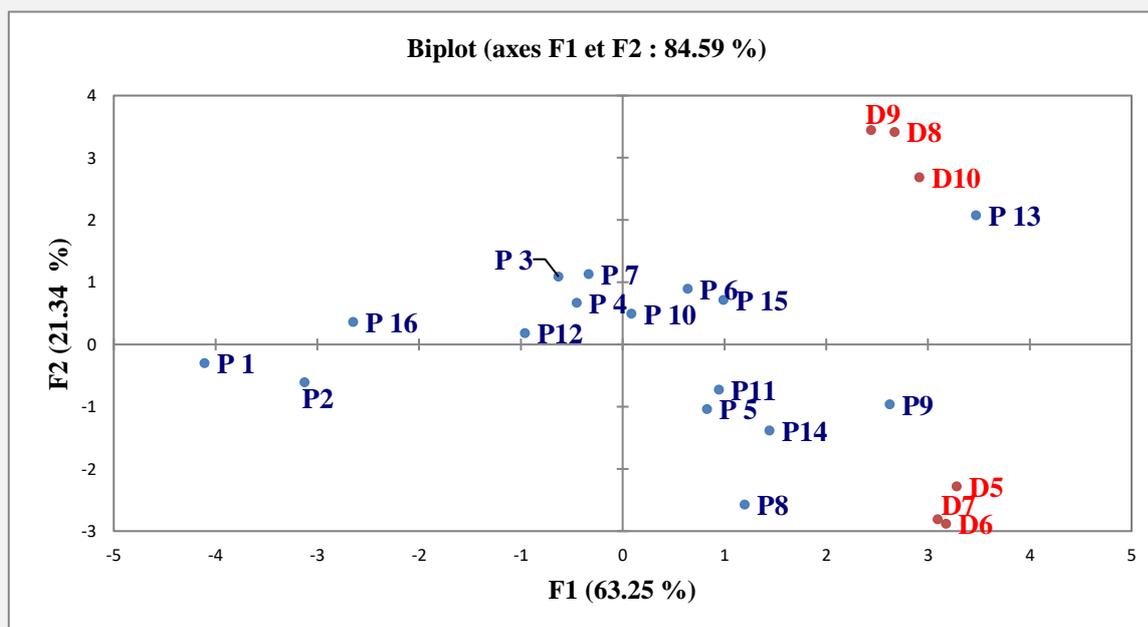


Figure 5 : Répartition des provenances de *Foeniculum vulgare* selon les descripteurs morphologiques des tiges et des ombelles.

3.3. Caractérisation morphologique des provenances de *F. vulgare* selon les descripteurs morphologiques étudiés

La corrélation des descripteurs étudiés a montré des corrélations positives entre la longueur et la largeur des graines. Une corrélation hautement significative et positive a été déterminée entre la hauteur des tiges et le nombre de nœuds/tige (0.903), le nombre d'ombelles/tige et le nombre de graines/ombelle. Une autre corrélation hautement significative et positive entre le nombre d'ombelles/tige et le nombre de nœuds/tige a été déterminée (tableau 5). Une corrélation positive est trouvée entre le nombre d'ombellules/ombelles et le diamètre des ombelles d'une part et le nombre de graine/ombelle d'autre part. De même une corrélation positive entre le diamètre des ombelles et le nombre de graine/ombelle a été observée. L'analyse en composante principale des descripteurs morphologiques étudiés a montré que l'Axe1 et Axe2 représentent 65.25 % de la variabilité totale. Le premier axe A1 (47.93 %) est corrélé positivement au ratio longueur/largeur, à la hauteur de la tige, au nombre de nœuds/tige, au nombre d'ombelles/tige, au nombre d'ombellules/ombelles, aux diamètres des ombelles et au nombre de graines/ombelle. L'axe 2 (17.32 %) est corrélé positivement à la longueur de la graine, au ratio longueur/largeur, au nombre d'ombellules/ombelles et aux diamètres d'ombelles. Le cercle de corrélation (figure 6) a montré que les descripteurs: hauteur de la tige, nombre de nœud/tige et le nombre d'ombelle/tige sont très proches du cercle de corrélation. Ces caractères qui sont bien corrélés entre eux, présentent les variables les plus pertinentes qui permettent de décrire la variabilité entre les provenances.

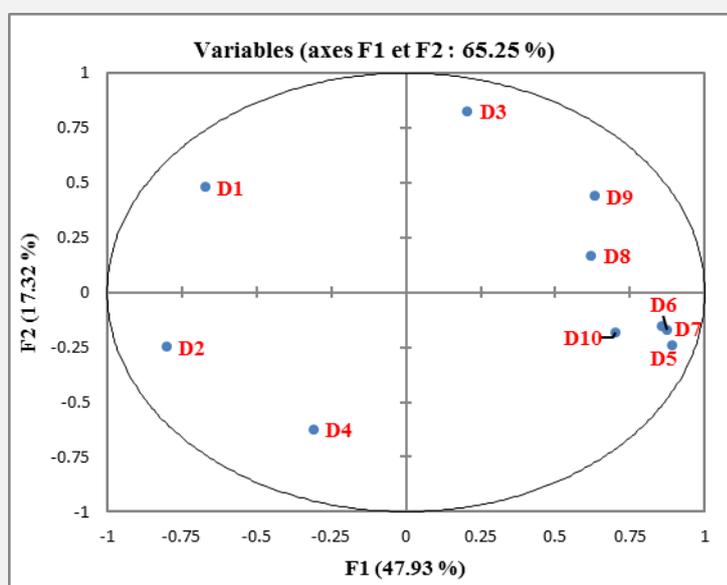


Figure 6 : Cercle de corrélation entre les paramètres morphologiques étudiés de *F. vulgare*

Tableau 5: Corrélations entre les paramètres morphologiques des provenances de *F. vulgare*

Variables	Longueur de la graine	Largeur de la graine	Ratio longueur/largeur	Masse de 100 graines	Hauteur de la tige	Nombre de nœuds/tige	Nombre d'ombelles/tige	Nombre d'ombellules/Ombelles	Diamètre des ombelles	Nombre de graines/ombelle
Longueur de la graine	1	0.6466	0.3404	0.1386	-0.6228	-0.5807	-0.5656	-0.1527	-0.1687	-0.4450
Largeur de la graine	0.6466	1	-0.4842	0.4389	-0.6590	-0.6464	-0.6364	-0.2780	-0.4406	-0.3186
Ratio longueur/largeur	0.3404	-0.4842	1	-0.3336	0.1103	0.1420	0.0998	0.1679	0.2953	-0.1145
Masse de 100 graines	0.1386	0.4389	-0.3336	1	-0.0312	-0.1403	-0.2296	-0.1313	-0.4064	0.0276
Hauteur de la tige	-0.6228	-0.6590	0.1103	-0.0312	1	0.9036	0.8300	0.4768	0.3399	0.5589
Nombre de nœuds/tige	-0.5807	-0.6464	0.1420	-0.1403	0.9036	1	0.8792	0.3676	0.3654	0.4515
Nombre d'ombelles/tige	-0.5656	-0.6364	0.0998	-0.2296	0.8300	0.8792	1	0.3525	0.3496	0.4597
Nombre d'ombellules/ombelles	-0.1527	-0.2780	0.1679	-0.1313	0.4768	0.3676	0.3525	1	0.6206	0.7299
Diamètre des ombelles	-0.1687	-0.4406	0.2953	-0.4064	0.3399	0.3654	0.3496	0.6206	1	0.6182
Nombre de graines/ombelle	-0.4450	-0.3186	-0.1145	0.0276	0.5589	0.4515	0.4597	0.7299	0.6182	1

Les descripteurs morphologiques analysés peuvent ainsi constituer des critères de base pour différencier les provenances. L'analyse en composante principale a montré que P1 (Aousja) et P8 (Hleyssia) se distinguent des autres provenances (figure 7).

La provenance 1 est caractérisée par la longueur, la largeur et la masse des graines les plus importantes. Par contre, La provenance 8 est caractérisée par la hauteur des tiges, le nombre de nœuds/tige, le nombre d'ombelles/tige et le nombre de graine/ombelle les plus élevés.

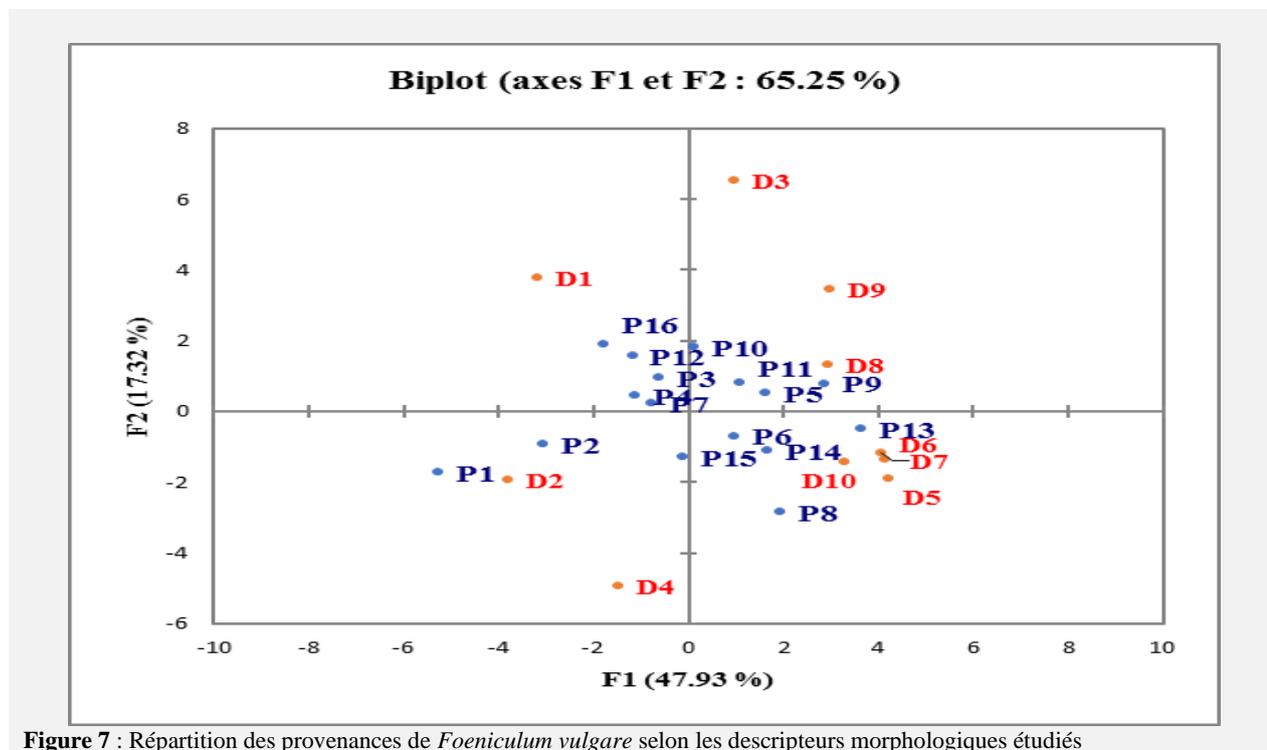


Figure 7 : Répartition des provenances de *Foeniculum vulgare* selon les descripteurs morphologiques étudiés

Plusieurs travaux menés sur des populations de fenouil sauvage du Portugal illustrent l'influence de la localisation géographique et le climat sur la morphologie des taxons (Bernath et al 1996 ; Rahimmalek et al. 2014 ; Sefidan et al. 2014).

Certains auteurs considèrent que cette répartition ne fait simplement état d'un polymorphisme morphologique entre les populations (Cosge et al. 2008). D'après Napoli et al (2010), *F. vulgare* existe sous la forme de deux sous-espèces : *F. vulgare ssp. vulgare* et *F. vulgare ssp. piperitum*. Il précise que les deux sous espèces se distinguent par leurs compositions chimiques.

D'un point de vue chimiotaaxonomique, la détermination de la composition chimique des huiles essentielles s'avère être une donnée pertinente pour différencier les populations de fenouil. Ces résultats sont soutenus par l'étude publiée par Khammassi et al. (2018) qui a porté sur la variabilité de la composition chimique des huiles essentielles obtenus à partir des graines de fenouil collectées des mêmes provenances que cette étude.

4. Conclusion

Cette étude a porté sur la caractérisation morphologique des graines, des tiges et des ombelles de fenouil de seize provenances en se basant sur 10 descripteurs morphologiques. L'étude de la variabilité morphologique s'avère essentielle pour assurer un échantillonnage approprié et pour une meilleure exploitation de l'espèce. Les descripteurs morphologiques choisis ont constitué des critères de base pour différencier les provenances. La provenance d'Aousja est caractérisée par la longueur, la largeur et la masse des graines les plus importantes. Par contre, La provenance de Hleyssia est caractérisée par la hauteur des tiges, le nombre de nœuds/tige, le nombre d'ombelles/tige et le nombre de graine/ombelle les plus élevés.

Une Caractérisation génétique est envisageable pour appuyer la caractérisation morphologique et l'étude de la composition chimique déjà étudiée.

5. Références

- Badoc A, Lamarti A (1997)** Contribution à l'étude du genre *Foeniculum* Mill. Plantes aromatiques et médicinales et leurs huiles essentielles. Actes (ed), Rabat, pp21-36.
- Bernath J, Németh E, Kattaa A, Héthelyi E (1996)** Morphological and chemical evaluation of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) populations of different origin. J Essent Oil Res 8 : 247-253. doi :[10.1080/10412905.1996.9700610](https://doi.org/10.1080/10412905.1996.9700610).
- Cosge B, Kiralan B, Gurbuz B (2008)** Characteristics of fatty acids and essential oil from sweet fennel (*F. vulgare* Mill. var. *dulce*) and bitter fennel fruits (*F. vulgare* Mill. var. *vulgare*) growing in Turkey. Nat Prod Res 22 :1011-1016. doi: [10.1080/14786410801980675](https://doi.org/10.1080/14786410801980675).
- D'Antuono LF, Ferioli F, Oliveri S (2017)** Wild fennel (*Foeniculum vulgare* Mill., subsp. *piperitum* (Ucria Cout.) culinary uses: An overview, preliminary onfield documentation and analytical perspectives. Acta Hort 1153 : 21-28. doi: [10.17660/ActaHortic.2017.1153.4](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1153.4)
- Filliat P (2012)** Les plantes de la famille des Apiacées dans les troubles digestifs. Pharmaceutical sciences. 140pp.
- Hamdy Roby M H, Sarhana M, Hamed SKA, Khalel K I (2013)** Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) and chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) Ind Crops Prod 44 : 437– 445. Doi : [10.1016/j.indcrop.2012.10.012](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.10.012).
- IPGRI (1997)** Descriptors for *Daucus carota* spp. International plant genetic, resources Institute, Rome, Italy 31 p.
- Khammassi M, Loupassaki S, Tazarki H et al (2018)** Variation in essential oil composition and biological activities of *Foeniculum vulgare* Mill. Populations growing widely in Tunisia. J Food Biochem 42 : e1532 Doi :[10.1111/jfbc.12532](https://doi.org/10.1111/jfbc.12532)
- Napoli EM, Curcuruto G, Ruberto G (2010)** Screening the essential oil composition of wild Sicilian fennel. Biochem Syst Ecol 38 : 213- 223. doi : [10.1016/j.bse.2010.01.009](https://doi.org/10.1016/j.bse.2010.01.009)
- Pacifico S, Galasso S, Piccolella S et al (2018)** Winter wild fennel leaves as a source of anti-inflammatory and antioxidant polyphenols. Arab J Chem 11 : 513-524. doi : [10.1016/j.arabjc.2015.06.026](https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.06.026).
- Pottier Alapetite G (1979)** Flore de la Tunisie ; Angiospermes – dicotylédones, Publications Scientifiques Tunisiennes, Imprimerie Officielle de la République Tunisienne, 673 pp.
- Rahimmalek M, Maghsoudi H, Sabzalian MR, Pirbalouti A (2014)** Variability of Essential Oil Content and Composition of Different Iranian Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) Accessions in Relation to Some Morphological and Climatic Factors. J Agric Sci Technol 16 : 1365-1374.
- Reduron JP (2007)** Ombellifères de France -Tome 3, Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest - Nouvelle Série - Numéro spécial, 28.
- Saran PL, Tripathy V, Prasanna Meena R, Kumar J (2017)**. Chemotype characterization and development of morphological markers in *Ocimum basilicum* L. germplasm. Sci Hort 215 : 164-171. Doi : [10.1016/j.scienta.2016.12.007](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.007)
- Senatore F, Oliviero F, Scandolera E, Tagliatalata-Scafati, O, Roscigno G, Zaccardelli M, Falco E (2013)** Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of anethole-rich oil from leaves of selected varieties of fennel [*Foeniculum vulgare* Mill. ssp. *Vulgare* var. *azoricum* (Mill.) Thell]. Fitoterapia 90 : 214-219. doi: [10.1016/j.fitote.2013.07.02](https://doi.org/10.1016/j.fitote.2013.07.02)