

Composition chimique et activités pharmacologiques des espèces tunisiennes du genre *Eryngium* L. (Apiaceae)

Chemical composition and pharmacological activities of Tunisian *Eryngium* species (*Eryngium* L., Apiaceae)

Ameni Landoulsi^{1,2}, Vincent Roumy¹, Céline Rivière¹, Sevser Sahpaz¹, Jeannette Benhamida², Thierry Hennebelle^{1,*}

¹ Laboratoire de Pharmacognosie, Faculté de Pharmacie, Univ. Lille, INRA, ISA, Univ. Artois, Univ. Littoral Côte d'Opale, EA 7394 - ICV - Institut Charles Viollette, F-59000 Lille, France

² Unité de protéomie fonctionnelle et biopréservation alimentaire, Institut Supérieur des Sciences Biologiques Appliquées de Tunis, Université de Tunis El Manar, Tunis, Tunisie

* Auteur de correspondance : Pr. Thierry Hennebelle, thierry.hennebelle@univ-lille.fr

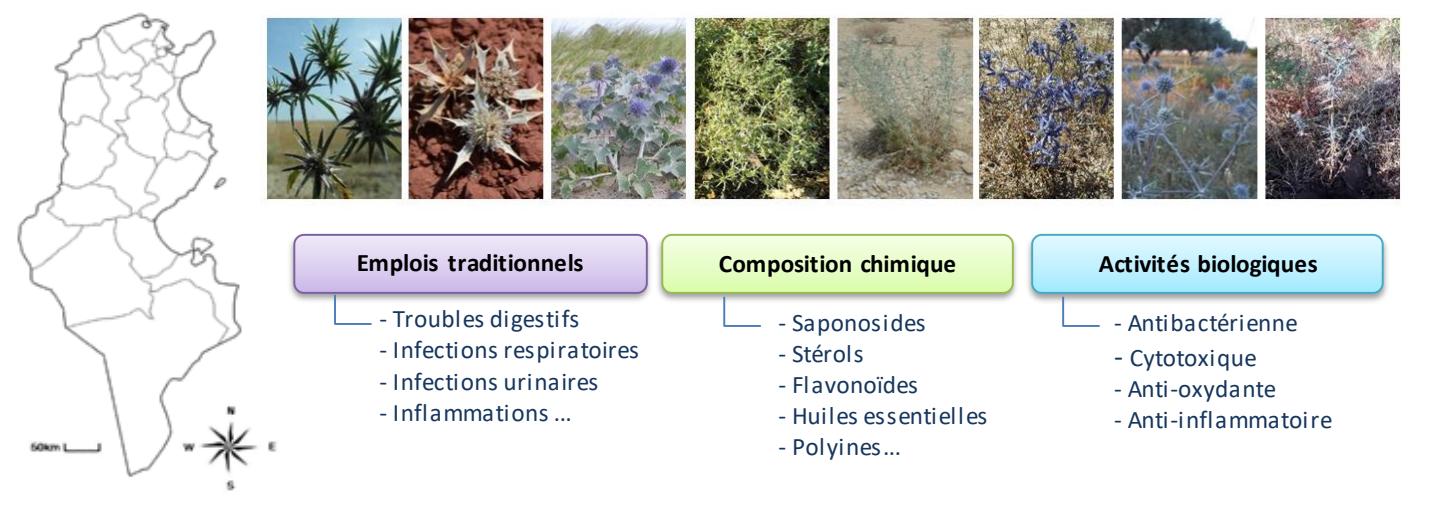
RÉSUMÉ. Le genre *Eryngium* L. (Apiaceae, Saniculoideae) comprend plus de 250 espèces utilisées en médecine traditionnelle et comme produits comestibles à travers le monde. En Tunisie il existe seulement huit espèces : *E. barrelieri* Boiss. (syn. *Eryngium pusillum* L.), *E. campestre* L., *E. dichotomum* Desf., *E. glomeratum* Lam., *E. ilicifolium* Lam., *E. maritimum* L., *E. tricuspidatum* L. et *E. triquetrum* Vahl. Après une analyse de la littérature, cette revue résume les utilisations traditionnelles, les composés bioactifs et les activités pharmacologiques de ces espèces.

ABSTRACT. The genus *Eryngium* L. (Apiaceae, Saniculoideae) comprises more than 250 species used in traditional medicine and used as food throughout the world. In Tunisia, only eight species are encountered: *E. barrelieri* Boiss. (syn. *Eryngium pusillum* L.), *E. campestre* L., *E. dichotomum* Desf., *E. glomeratum* Lam., *E. ilicifolium* Lam., *E. maritimum* L., *E. tricuspidatum* L. and *E. triquetrum* Vahl. This paper reviews the available literature, and sums up reported traditional uses, bioactive compounds and pharmacological activities of these species.

MOTS-CLÉS. Activités pharmacologiques, Apiaceae, *Eryngium*, phytochimie, Tunisie, usages traditionnels.

KEYWORDS. Apiaceae, *Eryngium*, pharmacological activities, phytochemistry, traditional uses, Tunisia.

GRAPHICAL ABSTRACT.



1. Introduction

Les plantes médicinales et comestibles jouent un rôle crucial dans la prévention et/ou le traitement de différentes maladies humaines depuis la préhistoire et l'antiquité jusqu'à aujourd'hui [1]. L'utilisation de plantes pour leurs propriétés médicinales est une pratique très ancienne, elle trouve ses origines dans les plus anciennes civilisations et a été bien préservée au cours des siècles dans le monde entier [2]. Au cours des deux dernières décennies, beaucoup d'attention a été accordée aux plantes en tant que nouveaux agents thérapeutiques alternatifs en raison de leurs composés naturels bioactifs tels que les huiles essentielles, les flavonoïdes, les tanins, etc.

En Tunisie, la phytothérapie fait partie intégrante de la culture locale ; sa population a une connaissance importante acquise à travers les générations [3]. Sa situation géographique au carrefour entre l'est et l'ouest du bassin méditerranéen, entre l'Europe et l'Afrique et sa diversité climatique caractérisée par un climat méditerranéen typique au nord et à l'est du pays, qui se heurte au climat désertique du sud [4] ont favorisé le développement d'une flore très riche et très diversifiée. La Tunisie compte environ 2163 espèces végétales, dont au moins 149 sont employées à des fins médicinales [5].

Le genre *Eryngium* comprend plus de 250 espèces réparties dans le monde entier, représentant l'un des genres les plus importants de la famille des Apiacées [6]. Plusieurs espèces d'*Eryngium* ont été exploitées comme plantes comestibles et médicinales dans de nombreux pays pour le traitement de diverses maladies (hypertension, problèmes gastro-intestinaux, asthme, brûlures, fièvres, diarrhées, paludisme, etc.) [1]. De plus, des activités cytotoxiques, anti-inflammatoires, antivenimeuses, antimicrobiennes, antipaludiques, antioxydantes et anti-hyperglycémiques de certaines espèces d'*Eryngium* ont été documentées [7].

En Tunisie, il existe uniquement huit espèces du genre *Eryngium* : *E. barrelieri* Boiss. (syn. *E. pusillum* L.), *E. campestre* L., *E. dichotomum* Desf., *E. glomeratum* Lamk., *E. ilicifolium* Lam., *E. maritimum* L., *E. tricuspidatum* L. et *E. triquetrum* Vahl [8,9]. La présente revue vise à examiner la littérature scientifique sur la composition chimique et les activités biologiques des huiles essentielles et des autres extraits obtenus à partir des espèces tunisiennes du genre.

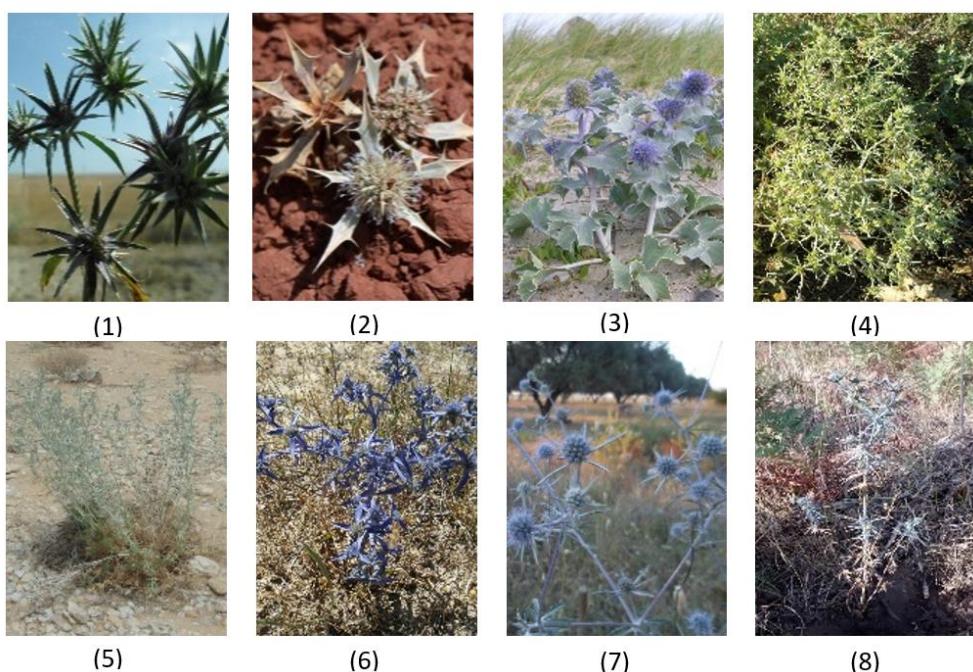


Figure 1. Espèces tunisiennes du genre *Eryngium* (1) *E. barrelieri* Boiss. (syn. *Eryngium pusillum* L.), (2) *E. ilicifolium* Lam., (3) *E. maritimum* L., (4) *E. campestre* L., (5) *E. glomeratum* Lam., (6) *E. triquetrum* Vahl., (7) *E. dichotomum* Desf., (8) *E. tricuspidatum* L.

2. Caractéristiques botaniques et particularités morphologiques

Les plantes du genre *Eryngium* sont des herbacées souvent confondues avec les chardons, qui appartiennent cependant à la famille des Apiacées (Ombellifères), tandis que les chardons font partie de la famille des Astéracées (Composées).

L'ombelle des Apiacées est formée par des pédoncules floraux (rayons) divergeant manifestement d'un même point, les fleurs s'épanouissent toutes au même niveau. Chaque rayon est normalement axillé par une bractée, mais seules les bractées les plus externes persistent généralement et forment l'involucelle de l'ombelle. Chez les *Eryngium*, ces bractées sont foliacées et épineuses [10].

Ce genre appartient, sous tous les rapports, à la famille des Apiacées, quoiqu'il s'en écarte par celui des caractères de l'inflorescence que l'on croirait le plus essentiel à la famille [11].

L'inflorescence en forme de capitule et la présence d'une bractée unique par fleur sont deux caractéristiques qui distinguent facilement ce genre des autres membres de la famille des Apiacées. Ce genre qu'on peut considérer comme le plus considérable des Ombellifères « anormales », qui comprennent les genres dont les fleurs paraissent être réunies en tête bien qu'issues d'un point central tout en gardant les autres caractères de la famille [12], est très proche du genre *Astrantia* (astrances) parmi les Ombellifères « vraies » (i.e. à ombelles non réduites en capitules, communément nues, c'est-à-dire dépourvues d'involucre et d'involucelle) [11].

Quand les systématiciens pensent qu'un genre est complexe ou difficile à étudier, c'est souvent qu'ils ont à analyser un groupe de plantes très répandu sur tous les continents comportant un nombre important d'espèces. Ces espèces peuvent être morphologiquement variables tout en montrant des caractéristiques d'adaptation, ce qui les rend difficiles à identifier, à délimiter et à classer. Le genre *Eryngium* présente toutes ces caractéristiques et plus encore. Commun à tous les continents et aux deux hémisphères, il se trouve même dans les climats qui semblent interdits aux autres Apiacées [10].

Les fleurs des *Eryngium* sont sessiles en capitule involucré serré, sur un réceptacle globuleux ou cylindrique. Le calice porte à son sommet 5 dents très développées, terminées par une fine épine. Les pétales sont échancrés, ovales ou allongés, avec une longue pointe recourbée en dedans, dressés ou plus ou moins rapprochés entre eux par leur partie supérieure. Les styles sont plus ou moins écartés l'un de l'autre, mais non renversés. Le fruit est ovoïde ou presque globuleux, plus ou moins comprimé parallèlement à la cloison, sans côtes apparentes et couvert de petites écailles dressées, se recouvrant les unes les autres de bas en haut. On ne distingue pas les canaux sécréteurs résinifères dans les parois du fruit, car ils y forment un réseau visible seulement au microscope. Ce sont des plantes sans poils, épineuses, à fleurs blanches ou bleues [13]. Tous ces caractères sont présentés par une multitude de combinaisons, ce qui rend ce genre difficile à identifier et à délimiter, et les relations phylogénétiques difficiles à interpréter [10].

Composé de plus de 250 espèces, le genre *Eryngium* est le genre le plus vaste de la famille des Apiacées et représente environ quatre cinquièmes de la sous-famille des Saniculoïdées [14].

En Tunisie, il existe uniquement huit espèces du genre *Eryngium* : *E. barrelieri* Boiss. (syn. *Eryngium pusillum* L.), *E. campestre* L., *E. dichotomum* Desf., *E. glomeratum* Lam., *E. ilicifolium* Lam., *E. maritimum* L., *E. tricuspidatum* L. et *E. triquetrum* Vahl. [8,9]. Une grande ressemblance morphologique entre ces espèces rend leur distinction assez difficile, particulièrement pour *E. dichotomum*, *E. tricuspidatum*, *E. glomeratum* et *E. campestre*. Cependant, la connaissance de certains marqueurs morphologiques permet la différenciation macroscopique entre ces espèces : on distingue principalement la racine en forme de tubercule noirâtre d'*E. tricuspidatum*, les paillettes du réceptacle floral (écailles plus ou moins translucides fixées sur le réceptacle de l'inflorescence insérées entre les fleurs du capitule) dimorphes qu'on trouve uniquement dans l'inflorescence d'*E. dichotomum* (figure 2) et une inflorescence en thyrse allongée à nombreux capitules chez *E. glomeratum*. Les principales caractéristiques botaniques de chaque espèce des 8 *Eryngium* de Tunisie sont présentées dans le tableau 1.

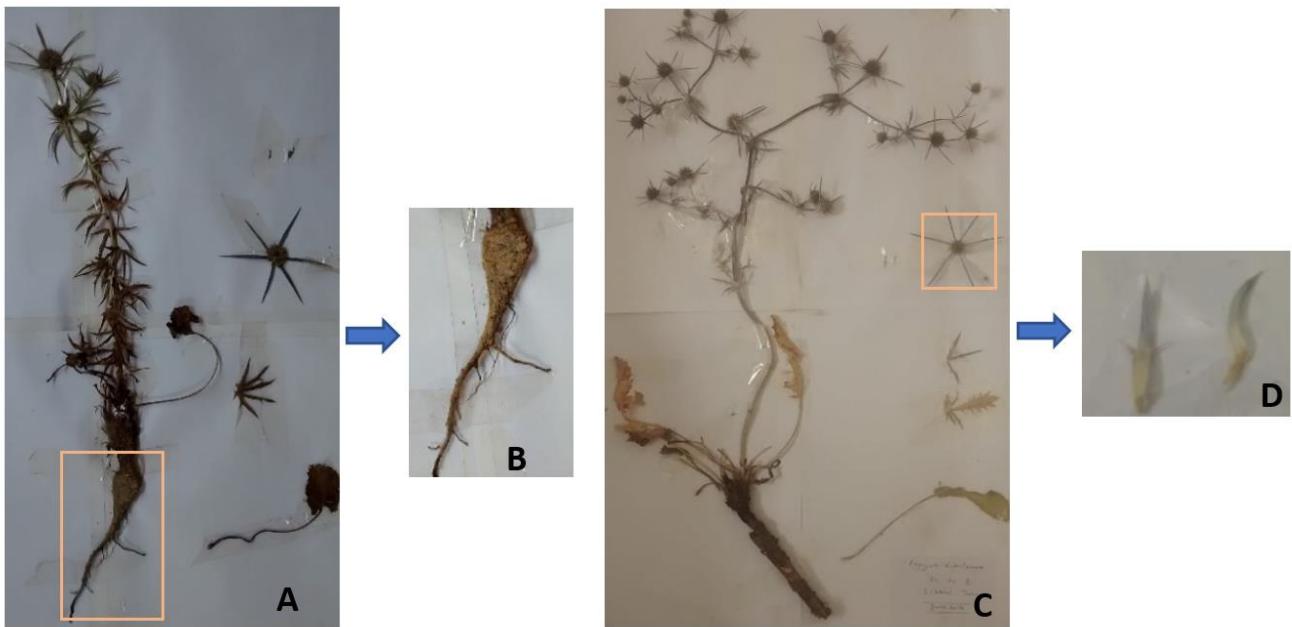


Figure 2. Particularités botaniques et morphologiques distinctives d'E. tricuspidatum et E. dichotomum. (A) E. tricuspidatum, (B) tubercule d'E. tricuspidatum, (C) E. dichotomum, (D) paillettes dimorphes du réceptacle floral d'E. dichotomum

3. Distribution

Le genre *Eryngium* est présent dans les régions tempérées de tous les continents. Cependant, les espèces de ce genre sont inégalement réparties entre les hémisphères est et ouest. Dans chaque hémisphère, deux centres de diversité des *Eryngium* sont reconnus : le centre-ouest du Mexique et le centre-est de l'Amérique du Sud (sud du Brésil, nord-est de l'Argentine et d'Uruguay) d'une part ; et la Méditerranée occidentale et le Sud-Ouest de l'Asie d'autre part [15,16]. Environ deux tiers des espèces de ce genre sont présents sur le continent Américain.

E. barrelieri est une espèce bisannuelle oligotrophe, elle se développe uniquement au niveau des bassins d'eau temporaires telles que les dayas et les dépressions inondées d'hiver [8,17]. Elle croît en Sicile, Italie méridionale, Sardaigne, Corse, nord de la Tunisie et de l'Algérie [18].

E. campestre pousse généralement dans les coteaux incultes, les champs et aux bords des chemins [8]. Elle est répandue dans la plupart des régions d'Europe et d'Afrique du nord et a été introduite en Amérique du nord, dans la flore de la Turquie et des îles orientales de la mer Egée [19].

E. dichotomum se développe en Tunisie, Algérie, Maroc, Espagne, Sicile, Italie méridionale, Dalmatie et Crète. On la trouve principalement dans les pâturages humides argileux [8].

E. glomeratum est pérenne, elle est principalement trouvée autour du bassin méditerranéen notamment dans les régions montagneuses [20] [21]. En Tunisie, cette espèce pousse uniquement dans le sud du pays [8].

E. ilicifolium pousse en Tunisie, en Algérie, au Maroc et en Espagne méridionale. Elle se développe dans les dépressions humides l'hiver, les lits d'oueds desséchés et les lieux arides [8].

E. maritimum est largement distribuée dans le monde [22], elle pousse naturellement en Europe et dans les parties adjacentes de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient. De plus, *E. maritimum* a été introduite dans certaines parties de l'est de l'Amérique du Nord où elle a été utilisée comme plante ornementale pour la restauration du littoral [23]. En Tunisie, cette espèce peut être trouvée dans les sables maritimes le long des côtes [8,22].

Espèce	Nom commun	Nom vernaculaire	Couleur de la tige feuillée / inflorescence	Racine	Tige	Feuilles radicales	Involucre floral	Paillettes du réceptacle	Calice fructifère
<i>E. dichotomum</i>	Panicaut dichotome	-	Vert glauque / bleue violacée	Pivotante	Rameuse (10-50 cm), à rameaux trifurqués	Oblongues, entières, dentées-crénelées, long pétiole	6-7 bractées (2-3 cm)	Dimorphes (externes tridentées, internes entières)	A dents acuminées
<i>E. tricuspidatum</i>	Panicaut tricuspine	-	Vert glauque (bleu violacé à maturité) / bleue violacée à maturité	Renflée en tubercule noirâtre	Mince	Long pétiole grêle, à limbe arrondi, ovale ou réniforme	5-6 bractées (acuminées, vulnérantes)	Tricuspides dépassants les fleurs	-
<i>E. glomeratum</i>	Panicaut aggloméré ; Chardon renversé	« Shouk el-mag'loub » ; « الشوك المقلوب »	Vert glauque / verte	Presque fusiforme	Dressée, rigide (40-80 cm). Nombreuses tiges sur la souche	Nombreuses, sessiles, pourtours ovales, bipennatisequées	Inflorescence en thyrsse ; 5 bractées ou moins, entières (longueur 3-5 fois les capitules)	Entières	-
<i>E. campestre</i>	Chardon roulant	« Chouk Labiad » ou « Bou-neggar » « بو نقار »	Vert blanchâtre / verte blanchâtre	Cylindrique, très longue brune à l'extérieur et blanche à l'intérieur, presque fusiforme	Dressée, robuste, très rameuse (40-60 cm)	A contour triangulaire, pétiolées pennatipartites, coriaces et épineuses	4-6 bractées étroites, linéaires acuminées, étalées à maturité.	Entières (environ 2 fois le calice)	A dents dressées acuminées
<i>E. triquetrum</i>	Panicaut triquétre ; Panicaut à feuilles de chêne	« Zreyga » ou « Chöuk azrak » ; « الزيزعة »	Vert bleuâtre, (bleu violacé intense à maturité) / bleue violacée	Fusiforme	Rameuse (20-40 cm) plusieurs fois trifurquée	En rosette	3 bractées triangulaires	Entières	A dents dressées
<i>E. ilicifolium</i>	Panicaut à feuilles de houx	-	Vert blanchâtre / verte	Menue, fibreuse	Florifère dès la base et dichotome	Semblables, oblongues, épineuses, coriaces, similaires aux bractées	4-5 bractées épineuses	Tricuspides, courtes, dépassant les fleurs	-
<i>E. barrelieri</i>	Panicaut nain de Barrelier	-	Vert clair / verte et violacée à maturité	Fibres radicales noirâtres	10-30 cm dressée, rameuse-dichotome au sommet	Oblongues lancéolées	Bractées à folioles linéaires acuminées, épineuses	Entières, égalant l'involucre	A dents étalées
<i>E. maritimum</i>	Panicaut maritime	-	Vert glauque bleuâtre / bleue violacée	Stolons souterrains	30-60 cm dressée et rameuse	Coriaces palmatilobées lobes dentées-épineux	Bleuâtres, (4-6 folioles larges), coriaces, épineuses	Les externes à 3 épines divergentes	A dents étalées en étoile

Tableau 1. Tableau comparatif des principales caractéristiques botaniques des espèces d'Eryngium tunisiennes [8,9]

E. tricuspidatum est originaire d'Afrique du Nord, de Sicile, de Malte et de Sardaigne. Cette espèce préfère les endroits ensoleillés et peut supporter des températures allant jusqu'à 28°C. Elle nécessite un endroit protégé et un sol modérément fertile avec un bas degré d'humidité ; cette espèce tolère le plein soleil et les sols sableux et sujets à la sécheresse. En Tunisie, on distingue classiquement deux sous-espèces d'*E. tricuspidatum* L. : la subsp. *eu-tricuspidatum* Maire¹, caractérisée par des feuilles radicales à limbe arrondi ou ovale et bractées à dents épineuses de taille 2 à 3 fois plus longues que le capitule ; et la subsp. *bovei* (Boiss.) Batt., caractérisée par des feuilles radicales à limbe réniforme, des feuilles caulinaires à divisions courtes et larges ainsi que les pièces de l'involucre qui sont peu dentées et 1 fois et demie à 2 fois plus longues que le capitule. Cette dernière étant endémique algéro-tunisienne [8].

E. triquetrum, se développe en Tunisie, Algérie, Maroc, Sicile et Pantelleria. Elle est répandue dans toute la Tunisie, sauf au sud du territoire. On la retrouve dans les pâturages rocaillieux et les bords des chemins [8].

Aucune ne figure sur la liste rouge des espèces menacées de l'IUCN.

4. Utilisations traditionnelles

Comme de nombreuses autres plantes de la famille des Apiacées, les *Eryngium* ont été utilisés comme ornement, aliment, condiment ou plante médicinale. Certaines espèces du genre *Eryngium* sont couramment utilisées comme plantes comestibles et ont été cultivées dans certaines régions telles que l'Asie du Sud, les îles du Pacifique, l'Afrique tropicale et les régions chaudes du sud de l'Europe [10,24]. D'autres espèces de ce genre ont été utilisées en médecine traditionnelle dans de nombreux pays pour la préparation de remèdes diurétiques, stimulants de l'appétit, laxatifs, antinociceptifs ou anti-inflammatoires [25] et pour le traitement de l'hypertension, des problèmes gastro-intestinaux, de l'asthme, des brûlures, de la fièvre, de la diarrhée, du paludisme, etc. [24]. Le tableau 2 résume l'utilisation traditionnelle de 6 des 8 espèces considérées ici. Aucune utilisation traditionnelle n'a été rapportée pour *E. barrelieri*, ni pour *E. dichotomum*.

5. Phytochimie

L'examen des données de la littérature montre que les plantes du genre *Eryngium* contiennent principalement des saponosides triterpéniques, des flavonoïdes, des monoterpenes glycosylés, des composés phénoliques, des polyacétylènes, des aldéhydes terpéniques, des oligosaccharides et, plus rarement, des coumarines [1,7], et produisent également des huiles essentielles.

Les terpénoïdes, les saponines triterpéniques, les flavonoïdes, les coumarines, les polyacétylènes et les stéroïdes ont été auparavant décrit dans la famille des Apiacées. En outre, plusieurs espèces de cette famille sont une excellente source d'huiles essentielles, plus de 760 composés de différentes classes phytochimiques avec un intérêt pharmaceutique important ont été détectés dans les huiles essentielles de cette famille [40].

¹ non retenue par The Plant List (2013) ni Tela Botanica (2018)

Espèce	Partie de la plante	Utilisations traditionnelles	Préparation, voie	Région	Réf.
<i>E. campestre</i>	Parties aériennes et racines	Antitussif, diurétique, stimulant de l'appétit et aphrodisiaque	Infusion, voie orale	Turquie	[19,25]
	Racines	- Antispasmodique, diaphorétique, diurétique, expectorant, galactogène et stimulant. - Traitement de la faiblesse causée par la toux chronique des stades avancés de l'épuisement pulmonaire.	Confites comme des bonbons ou bouillies et rôties comme un légume	Sud de l'Angleterre	[27,28]
	Parties aériennes	Traitement de la coqueluche, des maladies du foie et des reins et les affections de la peau.	Infusion, voie orale	-	[27,29]
<i>E. glomeratum</i>	Racines	Contre les maladies de la peau et les hémorroïdes.	Décoction, usage externe	Liban	[30]
		Contre les calculs rénaux.	Décoction, voie orale	Liban	[30]
<i>E. ilicifolium</i>	Parties aériennes	Troubles digestifs, gastrites, refroidissements, arthrites rhumatoïdes, pour son effet diurétique et aphrodisiaque.	Voie orale	Maroc	[31]
		Contre le « froid », le rhume et l'arthrite ; en gargarisme contre la laryngite et la pharyngite.	Cataplasme ; gargarisme	Maroc	[31]
	Plante entière	Traitement des angines.	Triturée et mélangée avec du miel	Maroc	[32]
<i>E. maritimum</i>	Racines	Antitussif, diurétique et stimulant de l'appétit	Infusion, voie orale	Turquie	[33,34]
		Fébrifuge, emménagogue, contre l'urétrite et les obstructions du foie, des reins et de la vésicule biliaire.	Décoction, voie orale	-	
<i>E. tricuspidatum</i>	Racines	- Pour calmer les douleurs de l'accouchement, pour le gain de poids, comme tonique et antirhumatismal. - Contre les intoxications et la constipation	Décoction, voie orale	Maroc	[35,36]
<i>E. triquetrum</i>	Racines	Contre les douleurs intestinales et les refroidissements	Décoction, voie orale	Maroc	[37]
	Tiges feuillées	Contre la lithiasis urinaire	Application locale associée à d'autres plantes ¹ en décoction	Maroc	[37]
		Contre les affections digestives, dermatologiques, neurologiques ; les infections microbiennes, ORL ; la fièvre typhoïde.	Décoction	Maroc	[38]
	Racines	Contre l'amygdalite.	Racine entière donnée aux enfants	Maroc	[39]
	-	Contre les troubles inflammatoires, les œdèmes, la sinusite, les infections urinaires, la cicatrisation des plaies, les piqûres de serpent ou de scorpion, le goitre et l'ascite.	-	Maroc	[38]

Tableau 2. Utilisations traditionnelles des huit *Eryngium* de Tunisie

(Thymus broussonetii, Herniaria hirsuta, Ammodaucus leucotrichus, Anastatica hierochuntica, Rosmarinus officinalis, Petroselinum sativum, Opuntia ficus-indica, Zea mays)

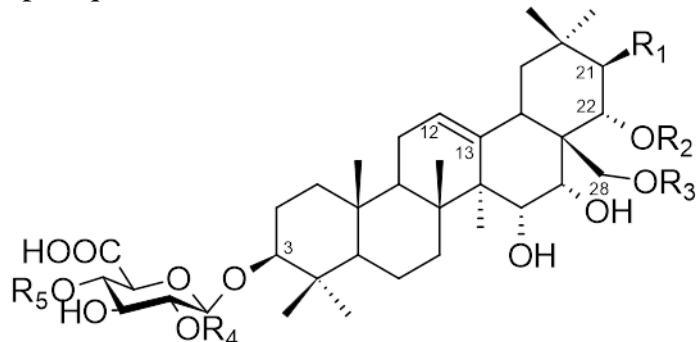
5.1. Composés non volatils

5.1.1. Dérivés terpéniques

5.1.1.1. Saponosides

Le genre *Eryngium* est connu pour avoir des saponosides triterpéniques parmi ses principaux métabolites spécialisés. À ce jour, au moins 33 saponosides ont été isolés à partir de ce genre. Ils sont principalement pentacycliques. La plupart des saponosides des *Eryngium* appartiennent au groupe des oléanènes polyhydroxylés [41].

Seulement 7 saponosides triterpéniques (**1-7**) ont été isolés à partir des racines d'*E. campestre* collectées en Turquie [19,26]. Ces composés, représentés dans la figure 3, sont tous des 3-*O*-rhamnosyl-glucuronides de barrigénol, variant par la position du rhamnose sur l'acide glucuronique, la présence d'un glucose supplémentaire ainsi que par leur acylation (nature exacte : acide angélique ou sénécioïque sur l'OH-22 ; acétylation éventuelle supplémentaire sur l'OH-28). Il est intéressant de noter que l'acylation par un reste sénécioyl ou un angélyl en position C-22 est assez rare parmi les saponosides triterpéniques [7].



- 1** $R_1 = H$, $R_2 = \text{sénécioyl}$ $R_3 = H$, $R_4 = \alpha\text{-L-rhamnopyranosyl}$ $R_5 = H$
- 2** $R_1 = OH$, $R_2 = \text{angéyl}$ $R_3 = H$, $R_4 = \alpha\text{-L-rhamnopyranosyl}$ $R_5 = H$
- 3** $R_1 = O\text{-acétyl}$ $R_2 = \text{angéyl}$ $R_3 = H$, $R_4 = \alpha\text{-L-rhamnopyranosyl}$ $R_5 = H$
- 4** $R_1 = O\text{-acétyl}$ $R_2 = \text{sénécioyl}$ $R_3 = H$, $R_4 = \alpha\text{-L-rhamnopyranosyl}$ $R_5 = H$
- 5** $R_1 = OH$, $R_2 = \text{angéyl}$ $R_3 = Ac$, $R_4 = \alpha\text{-L-rhamnopyranosyl}$ $R_5 = H$
- 6** $R_1 = OH$, $R_2 = \text{angéyl}$ $R_3 = H$, $R_4 = \beta\text{-D-glucopyranosyl}$ $R_5 = \alpha\text{-L-rhamnopyranosyl}$
- 7** $R_1 = H$, $R_2 = \text{sénécioyl}$ $R_3 = H$, $R_4 = \beta\text{-D-glucopyranosyl}$ $R_5 = \alpha\text{-L-rhamnopyranosyl}$

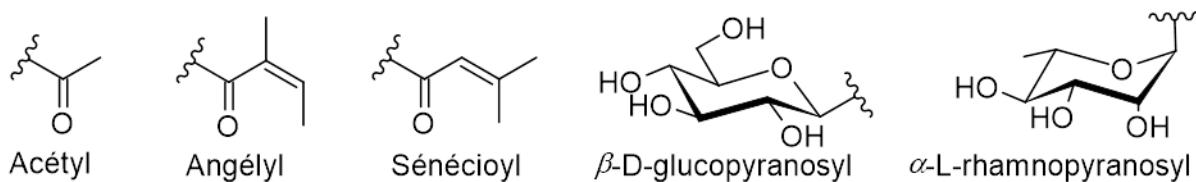


Figure 3. Saponosides triterpéniques isolés des racines d'*E. campestre*

5.1.1.2. Stérols

Deux stérols (figure 4) : le stigmastérol (**8**) et le stigmastérol 3-*O*- β -D-glucopyranoside (**9**) ont été isolés et identifiés à partir des parties aériennes d'*E. dichotomum* collectées en Tunisie. Ces deux composés sont dotés d'activité antimicrobienne [42].

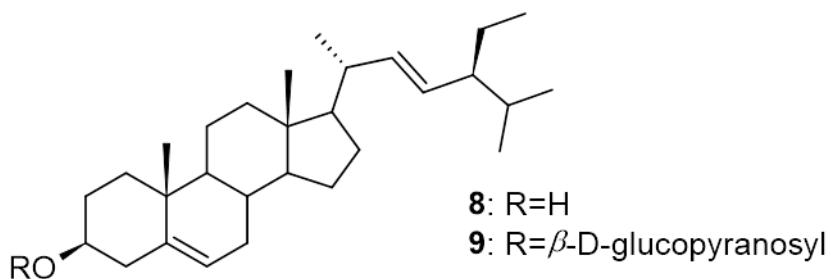


Figure 4. Stérols isolés des parties aériennes d'*E. dichotomum*

5.1.1.3. Apocaroténoïdes

Deux composés originaux décrits respectivement comme une cyclohexénone (**10**) et une cyclohexadiénone (**11**) ont été identifiés dans les racines d'*E. campestre* [43]. Un autre groupe de métabolites, vraisemblablement apparentés entre eux, a également été décrit plus récemment : le 6-hydroxy-junipeionoloside (**12**), isolé des parties aériennes d'*E. dichotomum* [44] ; l'asysgangoside (**13**) et le citroside B (**14**), identifiés chez *E. tricuspidatum* [45] (figure 5).

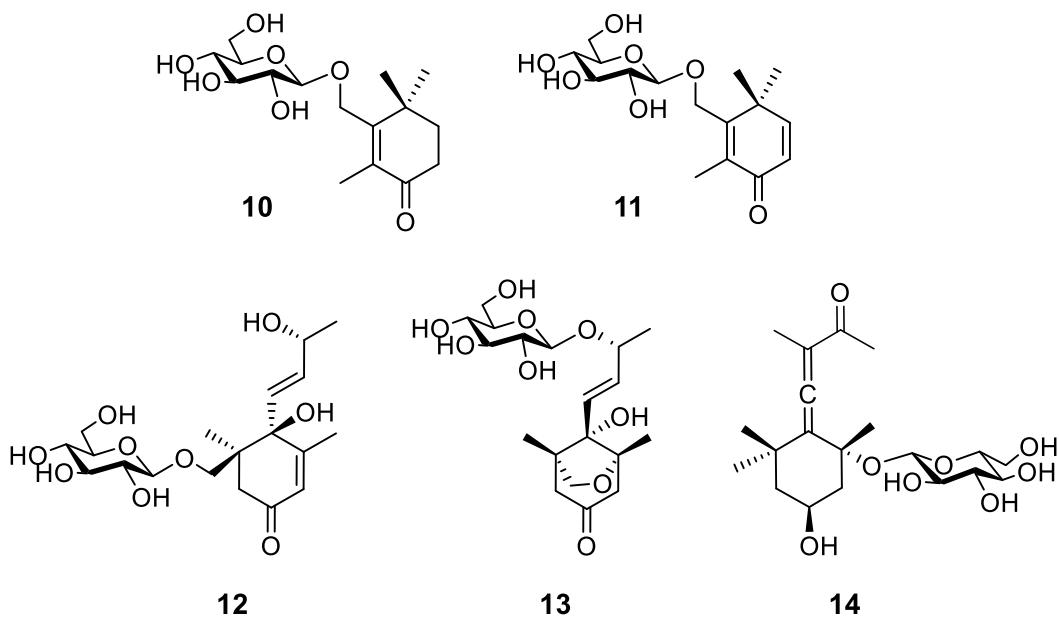


Figure 5. Structure des cyclohexanones et composés apparentés d'*Eryngium*

Rétrospectivement, le squelette de type mégastigmane des composés **12-14**, issu du clivage oxydatif de caroténoïdes à extrémité de chaîne de type β (comme observé par exemple pour les ionones) [46,47], permet de spéculer sur l'origine biogénétique de **10** et **11**, qui pourraient être assimilés à des apocaroténoïdes, comme proposé dans la figure 6.

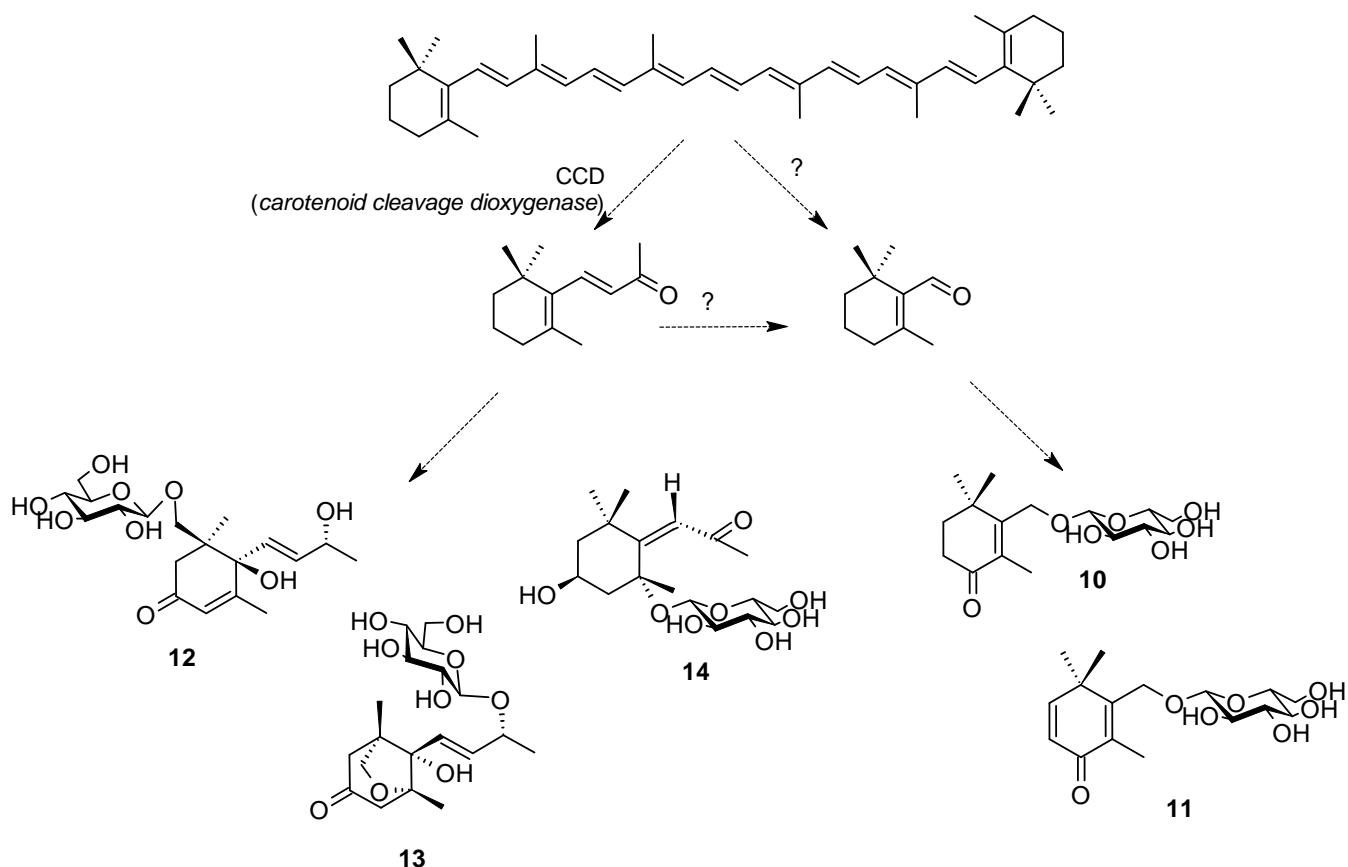


Figure 6. Origine biogénétique envisagée pour les composés **10-14**.

5.1.2. Dérivés phénoliques

5.1.2.1. Flavonoïdes

Les flavonoïdes font aussi partie des principaux composés retrouvés chez les *Eryngium*. Des études phytochimiques réalisées sur les parties aériennes d'*E. campestre* européens (Autriche et Hongrie) ont permis l'isolement et la détermination structurale de 8 hétérosides de flavonols [48,49] : kaempférol (15), quercétol (16), isorhamnétine (17), quercitrine (18), isoquercitrine (19), rutine (20), astragoline (21), kaempférol 7-O- α -L-rhamnopyranoside (22), kaempférol 3,7-di-O- α -L-rhamnopyranoside (kaempféritrine, 23), kaempférol 3-O- β -D-glucoside-7-O- α -L-rhamnoside (24), kaempférol 3-O- β -D-(2'-*p*-E-coumaryl)-glucopyranoside (25), kaempférol 3-O- β -D-(2'-*p*-Z-hydroxycoumaryl)-glucopyranoside (26), tiliroside (27), ainsi que lutéoline 7-O- β -D-glucopyranoside (28). Une autre étude plus récente [50] a permis également l'obtention de 11 composés, majoritairement différents des précédents, des parties aériennes d'*E. campestre* collectées en Egypte : quercétine 3-O- β -glucoside (= isoquercitrine, 19), quercétine 3-O- β -glucuronide-4'-méthyléther (29), rutine (20), isorhamnétine 3-O- β -glucoside (30), isorhamnétine 3-O- β -galactoside (31), isorhamnétine 3-O- β -rhamnoside (32), isorhamnétine 3-O-rutinoside (33), isorhamnétine 3-O- β -glucoside-7-O- α -rhamnoside (34), myricétine 3-O- β -glucoside-3'-méthyléther (35), myricétine 3-O- β -glucoside-4'-méthyléther (36), myricétine 3-O- β -galactoside-4'-méthyléther (37).

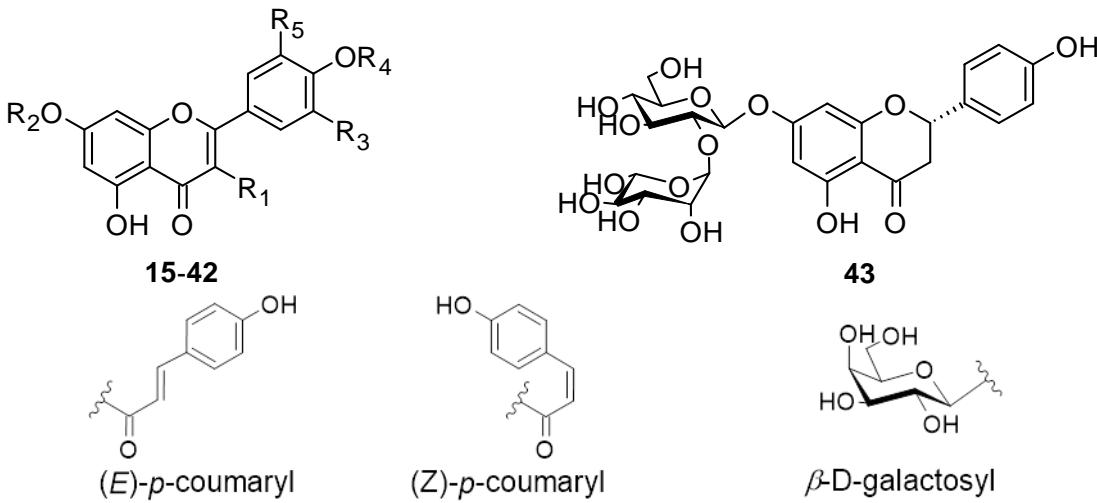
Des flavonoïdes ont été également décrits dans les parties aériennes d'*E. triquetrum*. Une étude réalisée sur cette espèce collectée en Algérie [51] a permis d'isoler 5 flavonoïdes : kaempférol 3-O- β -D-glucoside (21), kaempférol 3-O-[6''-O-*E*-*p*-coumaroyl]- β -D-glucopyranoside (= tiliroside, 27), kaempférol 3-O-[2'',6''-di-O-*E*-*p*-coumaroyl]- β -D-glucoside (38), kaempférol 3-O-[α -L-rhamnosyl-(6→1)-O- β -D-glucoside (39) et rutine (20). Une autre étude, également consacrée à un échantillon algérien [52], a permis d'isoler 20 composés dont deux flavonoïdes : le kaempférol-3-O-(2,6-di-Z-*p*-coumaroyl)-glucoside (40) et le kaempférol-3-O-(2'',6''-di-*E*-*p*-coumaroyl)-glucoside (38) déjà décrit.

Une étude réalisée sur les parties aériennes d'*E. maritimum* a quant-à-elle permis d'identifier 3 flavonoïdes parmi les composés majoritaires de cette espèce. Ces flavonoïdes sont le kaempférol 3- β -D-glucopyranosyl-7-O- α -L-rhamnopyranoside (24), l'astragoline (21) et l'isoquercitrine (19) [53].

Deux flavonoïdes connus ont été décrits dans les parties aériennes d'*E. tricuspidatum* récoltées en Algérie [45]. Il s'agit du quercétol 3-O- β -D-glucopyranosyl-(1→6)-O- β -D-galactopyranoside (41) et du kaempférol 3-O- β -D-glucopyranosyl-(1→6)-O- β -D-galactopyranoside (42).

Une autre étude réalisée sur les parties aériennes d'*E. dichotomum* en Tunisie a permis d'isoler une flavanone, la naringénine 7-O- α -L-rhamnopyranosyl-(1→2)-O- β -D-glucopyranoside (43) [44].

La composition en flavonoïdes des *Eryngium* présents en Tunisie n'ayant jamais été entreprises de manière systématique, il est délicat de dégager tout marqueur des études rapportées ici, d'autant plus que certaines espèces ont été étudiées de manière nettement plus approfondie que d'autres. L'ensemble des composés évoqués est représenté dans la figure 7.



	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
15	OH	H	H	H	H
16	OH	H	OH	H	H
17	OH	H	OMe	H	H
18	O- α -L-rhamnosyl	H	OH	H	H
19	O- β -D-glucosyl	H	OH	H	H
20	O- α -L-rhamnosyl-(1 \rightarrow 6)- β -D-glucosyl	H	OH	H	H
21	O- β -D-glucosyl	H	H	H	H
22	OH	α -L-rhamnosyl	H	H	H
23	O- α -L-rhamnosyl	α -L-rhamnosyl	H	H	H
24	O- β -D-glucosyl	α -L-rhamnosyl	H	H	H
25	O-2"--(E)-p-coumaryl- β -D-glucosyl	H	H	H	H
26	O-2"--(Z)-p-coumaryl- β -D-glucosyl	H	H	H	H
27	O-6"--(E)-p-coumaryl- β -D-glucosyl	H	H	H	H
28	H	β -D-glucosyl	OH	H	H
29	O- β -D-glucuronyl	H	OH	Me	H
30	O- β -D-glucosyl	H	OMe	H	H
31	O- β -D-galactosyl	H	OMe	H	H
32	O- α -L-rhamnosyl	H	OMe	H	H
33	O- α -L-rhamnosyl-(1 \rightarrow 6)- β -D-glucosyl	H	OMe	H	H
34	O- β -D-glucosyl	α -L-rhamnosyl	OMe	H	H
35	O- β -D-glucosyl	H	OMe	H	OH
36	O- β -D-glucosyl	H	OH	Me	OH
37	O- β -D-galactosyl	H	OH	Me	OH
38	O-2",6"-di-(E)-p-coumaryl- β -D-glucosyl	H	H	H	H
39	O- α -L-rhamnosyl-(1 \rightarrow 6)- β -D-glucosyl	H	H	H	H
40	O-2",6"-di-(Z)-p-coumaryl- β -D-glucosyl	H	H	H	H
41	O- β -D-glucosyl-(1 \rightarrow 6)- β -D-galactosyl	H	OH	H	H
42	O- β -D-glucosyl-(1 \rightarrow 6)- β -D-galactosyl	H	H	H	H

Figure 7. Flavonoïdes isolés des parties aériennes d'E. campestre, E. triquetrum, E. maritimum, E. tricuspidatum et E. dichotomum

5.1.2.2. Coumarines

Des dihydropyrano- et dihydrofuranocoumarines ont été également retrouvées chez les espèces du genre *Eryngium*. L'aegélinol (**44**), l'agasylline (**45**), la grandivittine (**46**) et le benzoate d'aegélinol (**47**) ont été isolés à partir des racines d'*E. campestre* [54]. La prantschimgine (**48**), la deltoïne (**49**), et la 2'-tiglyl-(+)-marmésine (**50**) ont été isolées des parties aériennes d'*E. ilicifolium* collectées en péninsule Ibérique [55] (figure 8).

Deux coumarines simples ont également été isolées : l'ombelliférone (**51**), des racines d'*E. campestre* [43] et le magnolioside (**52**), des parties aériennes d'*E. tricuspidatum* d'Algérie [45] (figure 8).

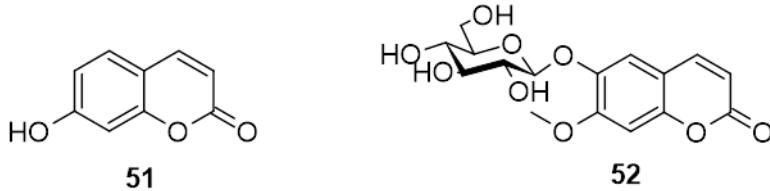
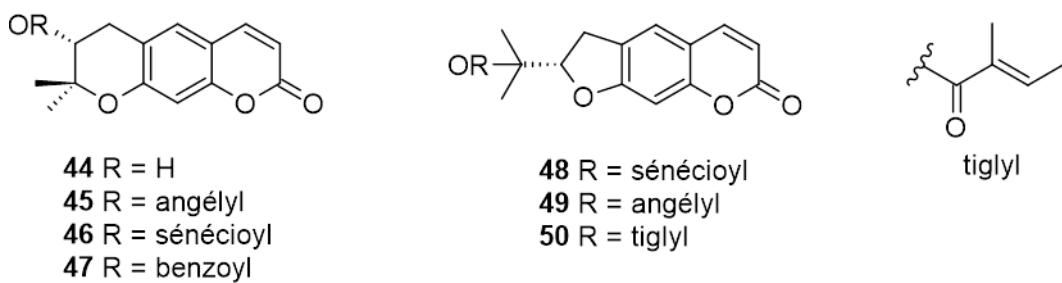


Figure 8. Coumarines isolées des parties aériennes d'E. ilicifolium et d'E. tricuspidatum et des racines d'E. campestre

5.1.2.3. Lignanes

Des lignanes ont été isolés des parties aériennes d'*E. triquetrum*, dont une paire inséparable de diastéréoisomères, jamais décrite (5'-déméthoxycarolignane Z (*erythro/threo*) (**53**) et 7 autres représentants connus : deux époxy-néolignanes – la balanophonine (**54**) et le ficusal (**55**) ; un diépoxy-lignane, le (+)-mediorésinol (**56**) ; quatre sesquilignanes – le buddlénol C (**57**), le buddlénol D (**58**), les *threo*- et *erythro*-buddlénols E (**59**, **60**) et le sécolignane 9,9'-diféruloyl-secoisolaricirésinol (**61**) [52] (figure 9).

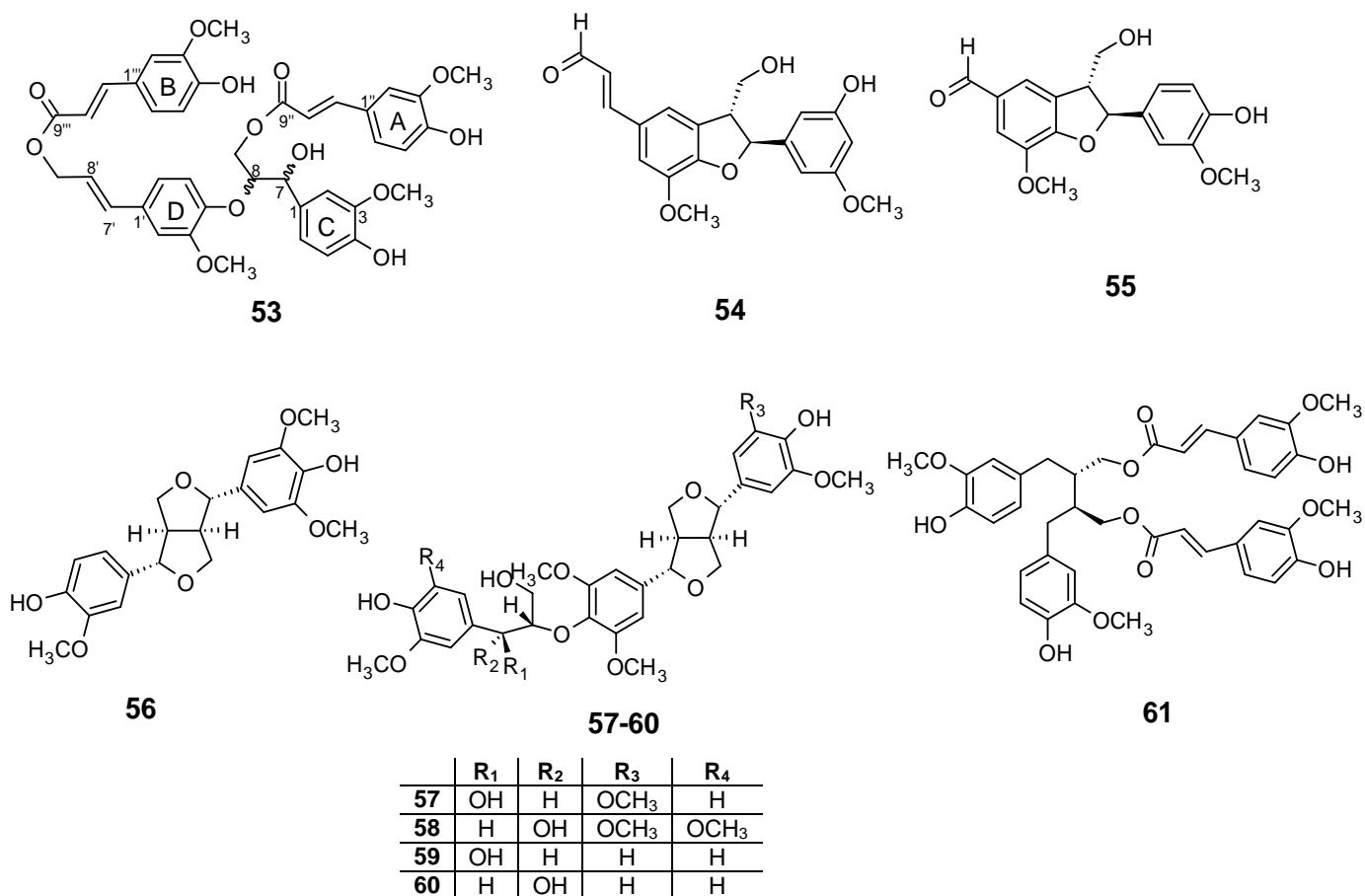


Figure 9. Lignanes isolés des parties aériennes d'*E. triquetrum*

5.1.2.4. Acides-phénols, autres dérivés aromatiques

De nombreuses études ont montré que différentes espèces du genre *Eryngium* contiennent des dérivés phénoliques du groupe des acides-phénols.

Une étude réalisée sur les extraits des racines d'*E. alpinum* a permis l'identification d'un nouveau dérivé de l'acide rosmarinique (figure 10) : l'acide 3'-O- β -D-glucopyranosyl-rosmarinique (**62**). Contrairement à l'acide rosmarinique qui est largement distribué chez de nombreuses familles de plantes et principalement chez les Lamiacées et les Boraginacées, ce nouveau dérivé glycosylé de l'acide rosmarinique a été retrouvé uniquement chez de nombreuses espèces de la sous famille des Saniculoidées et particulièrement chez les *Eryngium*, ce qui a permis aux auteurs de le considérer comme un marqueur chimiotaxonomique potentiel des Saniculoidées. Ce composé a été retrouvé avec l'acide rosmarinique (**63**) chez 13 autres *Eryngium* dont *E. maritimum* et *E. campestre* [59].

Ce composé a été retrouvé avec l'acide rosmarinique (**63**) chez 13 autres *Eryngium* dont *E. maritimum* et *E. campestre* et a été considéré comme marqueur chimiotaxonomique dans ce genre [56].

L'acide caféïque (**64**) et l'acide chlorogénique (**65**) ont également été identifiés dans les parties aériennes d'*E. campestre* [49].

Deux nouveaux composés phénoliques simples (figure 10), la 2-hydroxy-3,5-diméthyl-acétophenone-4-O- β -D-glucopyranoside (**66**) et le 2,3-diméthyl-4-hydroxyméthyl-1-hydroxyméthylphényl-O- β -D-glucopyranoside (**67**) ont été isolés des parties aériennes d'*E. tricuspidatum*, avec le benzyl-1-O- β -D-glucopyranoside (**68**) [45].

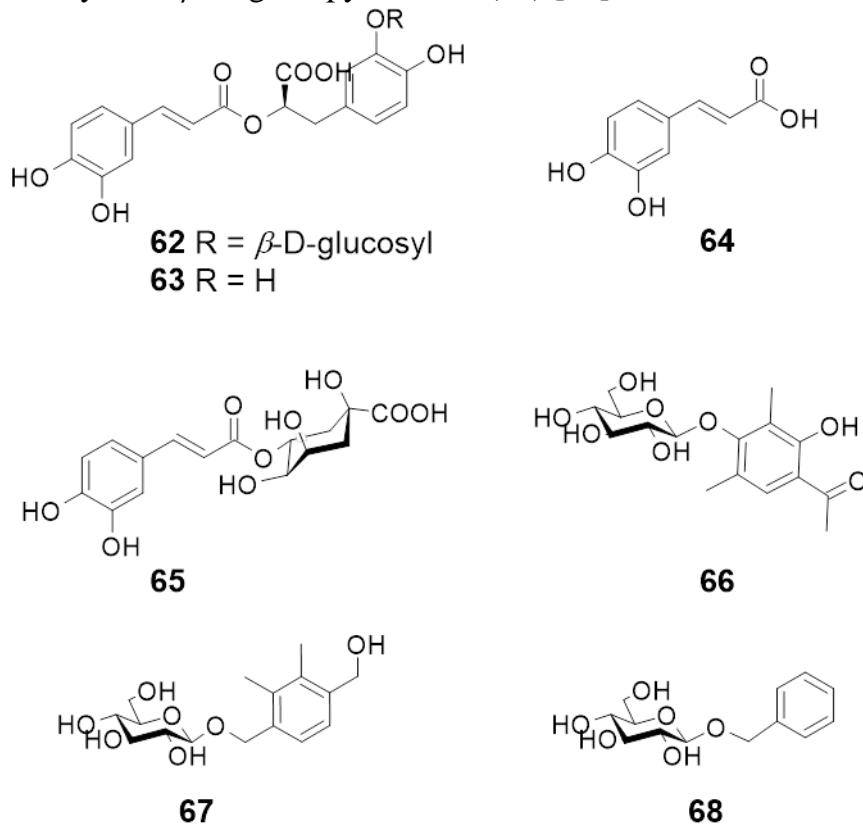


Figure 10. Structure des acides-phénols et des composés apparentés des parties aériennes d'*E. campestre*, *E. maritimum* et *E. tricuspidatum*

D'autres composés phénoliques ont été isolés des parties aériennes d'*E. triquetrum* (figure 11), il s'agit du *threo*-2,3-bis(4-hydroxy-3-méthoxyphényl)-3-butoxy-propan-1-ol (**69**) et de son analogue *erythro* (**70**) [52].

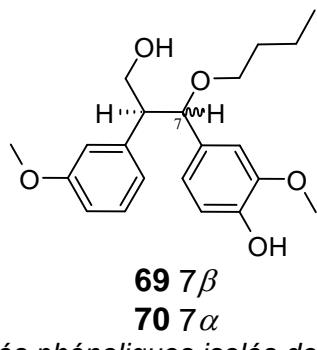


Figure 11. Structure des composés phénoliques isolés des parties aériennes d'*E. triquetrum*

5.1.3. Polyacétylènes

Les *Eryngium* contiennent aussi des polyacétylènes, ou polyines, composés largement distribués dans la famille des Apiacées et considérés comme des marqueurs chimiotaxonomiques. 7 polyacétylènes ont été isolés des parties aériennes d'*E. triquetrum* collectées en Algérie [52]. Il s'agit du *trans*-panaxydiol (*3S,10R*) (**71**), du falcarinol (*3S*) (**72**, déjà rapporté par [48]), de l'heptadéca-1,8-diène-4,6-diyne-3-ol-10-one (*3S*) (**73**), du panaxjapyne B (*3S*) (**74**), du *cis*-panaxydiol (*3S*) (**75**) dont le stéréoisomère en C-10 est encore indéterminé et de deux nouveaux représentants, le triquétridiol (*3S,10R*) (**76**) et le *trans*-époxy-triquétrol (**77**) (figure 12). Le triquétridiol a été isolé sous forme de mélange de diastéréoisomères dont les auteurs n'ont pas réussi à séparer. Ayant fixé la stéréochimie *trans* du fragment époxyde, il a été supposé que les deux isomères différaient par la configuration relative du carbone carbinol adjacent à l'époxyde. En se basant sur des considérations biogénétiques, la configuration absolue en C-3 (*S*) est proposée inchangée à celle des polyacétylènes co-occurents.

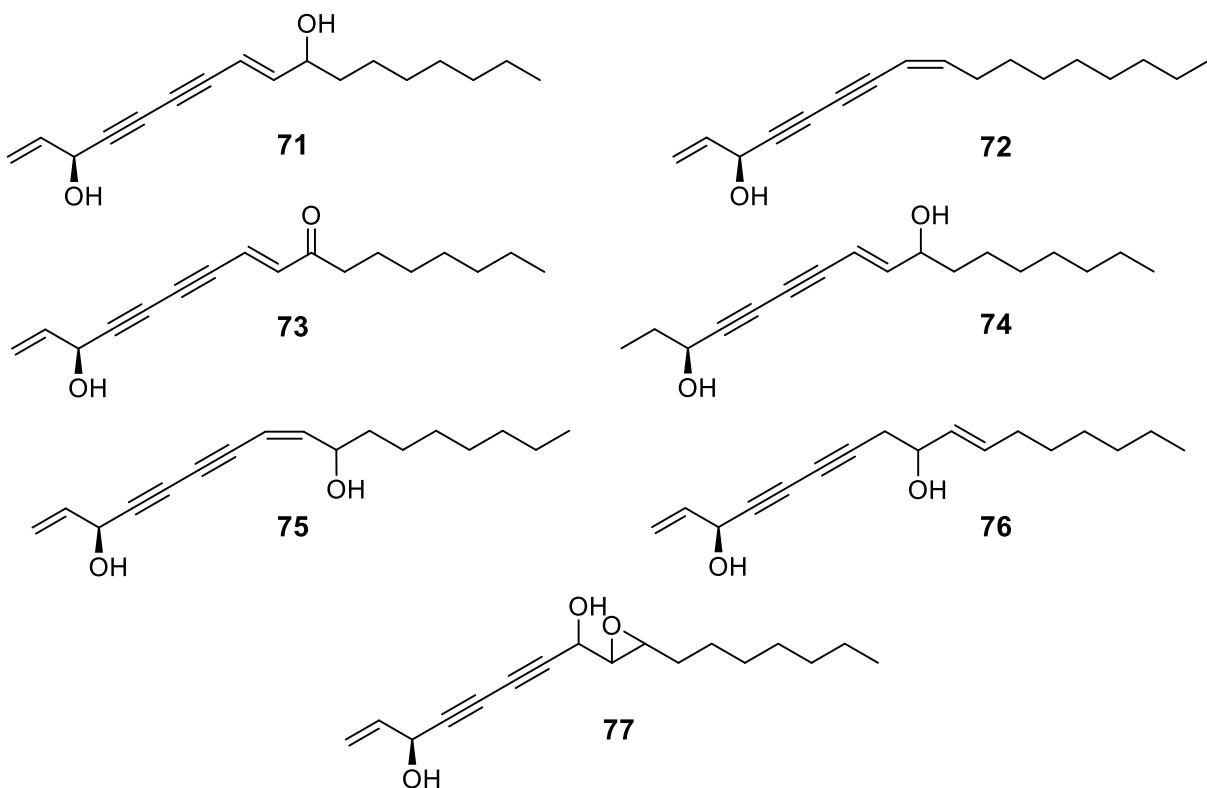


Figure 12. Structure des polyacétylènes isolés des parties aériennes d'*E. triquetrum*

5.1.4. Sucres et polyols

L'étude des parties aériennes d'*E. dichotomum* collectées en Tunisie a aussi permis d'isoler et d'identifier 3 sucres : le saccharose (**78**), le β -D-fructofuranose (**79**) et son analogue α -2-méthylé (**80**), ainsi que du D-mannitol (**81**) [44]. Cette dernière molécule et le D-galactitol (**82**) ont été identifiés chez *E. campestre* [57] (figure 13).

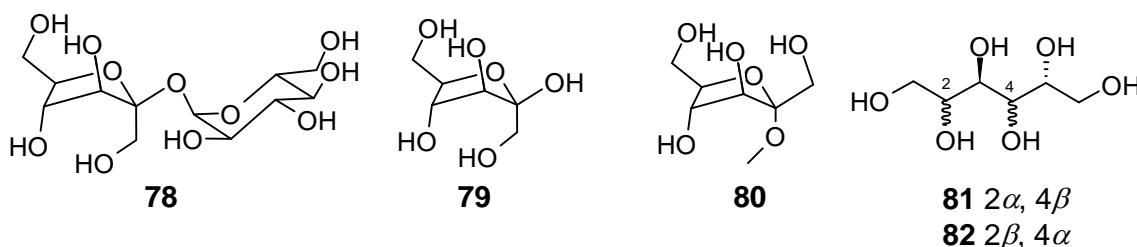


Figure 13. Oses et polyols isolés d'*Eryngium tunisiens*

5.1.5. Autres composés

D'autres familles de composés ont également été retrouvées chez les espèces tunisiennes du genre *Eryngium* (figure 14). Une cétone aliphatique à longue chaîne (31 carbones), la 10-hentriacontanone (**83**), a été identifiée chez *E. maritimum* issu de différentes origines et a été considérée comme un bon marqueur chimiotaxonomique de cette espèce. Ce composé a néanmoins également été identifié chez *E. campestre* [58]. L'acide pipéridine-2-carboxylique (**84**), d'origine potentiellement polyacétique comme d'autres pipéridines d'Apiacées, a été aussi identifié chez *E. maritimum* [59].

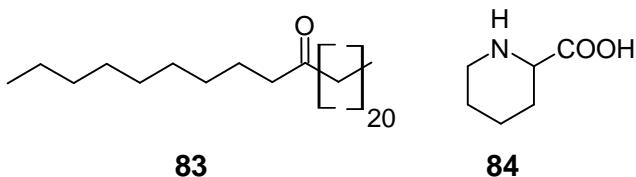


Figure 14. Autres composés isolés d'*Eryngium tunisiens*

5.2. Huiles essentielles

L'étude des huiles essentielles des espèces du genre *Eryngium* extraites par hydrodistillation a montré que ces espèces ont un rendement relativement faible en huile essentielle [6]. La première étude de la composition chimique des huiles essentielles des *Eryngium* date de 1932 et a été effectuée par Koolhas, qui a analysé l'huile essentielle des tiges et des feuilles d'*E. foetidum*, et a signalé le dodécénal comme composé majoritaire de l'huile essentielle [61]. La plupart des huiles essentielles des *Eryngium* étudiées était caractérisée par la présence majoritaire d'un composé oxygéné non terpénique. Il s'agit généralement d'isomères du triméthylbenzaldéhyde ou d'acides ou aldéhydes linéaires comme le (*E*)-2-dodécanal [62–64]. D'autres composés oxygénés non terpéniques tels que des polyacéténènes ont été également décrits : on trouve notamment le falcarinol au niveau des feuilles et des tiges d'*E. yuccifolium* [65], des racines d'*E. foetidum* L. du Vietnam [66], de celles d'*E. planum* L. [67] et des tiges, fleurs et racines d'*E. triquetrum* [68].

On trouve plus fréquemment ensuite des sesquiterpènes abondants tels que l' α -bisabolol [69], l' α -muurolène [70] et le germacrène D [71].

Les compositions des huiles essentielles d'*E. campestre*, *E. maritimum*, *E. triquetrum*, *E. tricuspidatum*, *E. barrelieri* et *E. glomeratum* ont été décrites dans la littérature. Le tableau 3 regroupe les principaux composés identifiés lors de l'analyse de ces huiles essentielles.

Espèce	Origine	Partie de la plante	Teneur	Composés majoritaires	Réf.
<i>E. campestre</i>	Espagne (4 localités)	Inflorescence	0,1-0,4 %	Germacrène D (30,3-40,3 %) β -Curcumène (0,7-22,2 %) Myrcène (3,0-21,7 %) (<i>E</i>)- β -Farnesène (0,1-19,0 %)	[72]
		Tiges et feuilles	0,1-0,2 %	Germacrène D (31,1-42,4 %) Myrcène (0,5-23,15 %)	
	Italie	Parties aériennes	0,04 %	Germacrène D (13,8 %) allo-Aromadendrène (7,7 %)	[73]
<i>E. maritimum</i>	Turquie	Parties aériennes	-	Spathulénol (18,99 %) Caryophyllène oxide (8,18 %)	[74]
	Italie	Parties aériennes	0,93 %	Germacrène D (10,4 %) 2,4,5-Triméthyl-benzaldéhyde (8,3 %)	[75]
		Racines	0,84 %	Germacrène D (15,9 %) 2,4,5-Triméthyl-benzaldéhyde (6,7 %)	
	France (12 localités en Corse et Sardaigne)	Parties aériennes	0,06-0,13 %	Germacrène D (13,7-45,9 %) 4 β H-Cadin-9-èn-15-al (18,4-27,6 %) 4 β H-Cadin-9-èn-15-ol (2,2-14,3 %) 4 β H-Muurol-9-èn-15-al (4,3-9,3 %)	[71]
<i>E. triquetrum</i>	Algérie	Tiges	0,05 %	Falcarinol (36,5 %) Octanal (28,5 %)	[68]
		Fleurs	0,1 %	Falcarinol (39,5 %) Octanal (32,7 %)	
		Racines	0,05 %	Falcarinol (91,5 %)	
<i>E. tricuspidatum</i>	Algérie	Parties aériennes	0,91 %	α -Bisabolol (32,6 %) α -Curcumène (6,5 %)	[69]
<i>E. barrelieri</i>	Tunisie	Parties aériennes	0,08 %	β -Selinène (20,1 %) di- <i>epi</i> -Cedrenoxide (18,7 %) β -Oplopénone (10,6 %)	[76]
		Racines	0,02 %	di- <i>epi</i> -Cedrenoxide (26,5 %) β -Oplopénone (20,3 %) Acoradiène (10,5 %)	
<i>E. glomeratum</i>	Tunisie	Parties aériennes	0,73 %	Acétate de <i>cis</i> -chrysanthényle (27,3 %) 14-Hydroxy- α -muurolène (19,6 %) α -Bisabolol (12 %)	[76]
		Racines	0,11 %	β -Oplopénone (20 %) di- <i>epi</i> -Cedrenoxide (15,9 %) δ -Selinène (15,6 %)	

Tableau 3. Composés majoritaires des huiles essentielles d'*E. campestre*, *E. maritimum*, *E. triquetrum*, *E. tricuspidatum*, *E. barrelieri* et *E. glomeratum*

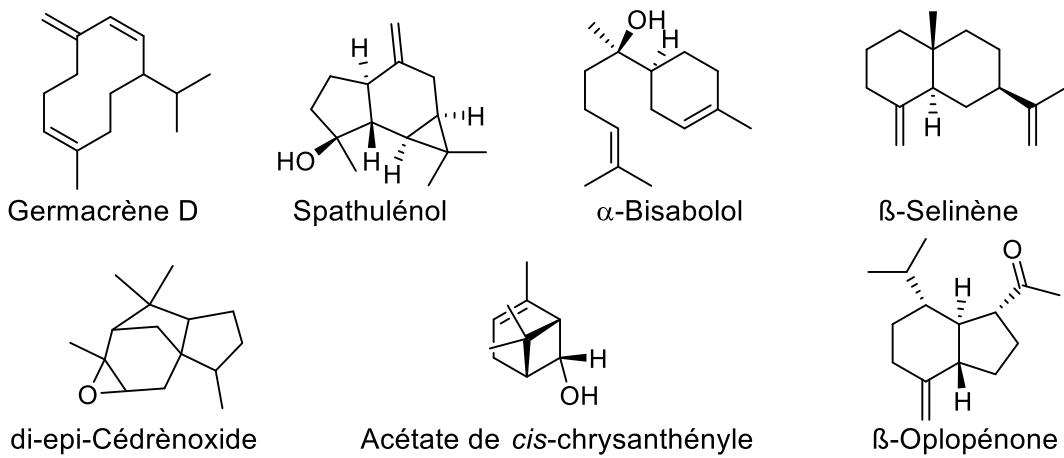


Figure 14. Structure des principaux composés majoritaires des huiles essentielles d'*Eryngium tunisiense*

6. Activités biologiques et pharmacologiques

Les extraits ou les produits isolés des *Eryngium* possèdent différentes activités biologiques *in vivo* et *in vitro*, telles que des activités cytotoxique contre plusieurs lignées tumorales humaines, anti-inflammatoire, antivenimeuse, antibactérienne, antifongique, antipaludique, antioxydante et anti-hyperglycémique [7].

6.1. Activité antimicrobienne

L'activité antibactérienne de l'huile essentielle des parties aériennes et des racines d'*E. campestre* a été évaluée par la méthode de diffusion sur disque (30 µL/disque) contre neuf souches cliniques de *Staphylococcus aureus* résistantes à la méticilline (SARM). Une inhibition a été observée contre 6 souches avec des diamètres d'inhibition entre 5 et 10 mm [77].

Une étude de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle des parties aériennes d'*E. maritimum* a montré une activité contre des souches d'*Escherichia coli* et *Listeria monocytogenes* [78]. Les extraits polaire (hydrométhanolique) et apolaire (chloroformique) de cette espèce ont été également testés contre 11 souches bactériennes et une levure. La fraction apolaire de cette espèce était plus active que la fraction polaire et a montré une activité contre *Staphylococcus aureus* (concentration minimale inhibitrice - CMI = 10 µg/mL), *Micrococcus luteus*, *Salmonella arizona*, *Salmonella montevideo*, *Candida albicans* (CMI = 100 µg/mL), *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas fluorescens* (CMI = 2 µg/mL), *Bacillus cereus* (CMI = 1 µg/mL) et le phytopathogène *Erwinia carotovora* [79].

Une activité antibactérienne intéressante de l'huile essentielle des parties aériennes d'*E. tricuspidatum* a été démontrée contre *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis* et *Pseudomonas aeruginosa* (CMI = 9 µg/ml), et *Candida albicans* (CMI = 4,6 µg/mL) [69]. L'extrait hydrométhanolique de cette espèce s'est avéré inactif contre les souches de *Staphylococcus aureus* [45].

L'huile essentielle des parties aériennes d'*E. triquetrum* est faiblement active contre *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* et *Pseudomonas aeruginosa* (125 < CMI < 250 µg/mL) [68]. En revanche, l'extrait butanolique de cette espèce a montré une activité significative contre

Staphylococcus aureus, *Escherichia coli* et *Morganella morganii* (diamètre d'inhibition entre 20 et 30 mm) [51].

Les huiles essentielles des parties aériennes d'*E. barrelieri* et *E. glomeratum* ont été testées contre 13 bactéries Gram-positives, 22 bactéries Gram-négatives et une levure. L'huile essentielle d'*E. glomeratum* était active contre 15 souches avec des CMI comprises entre 2 et 312 µg/mL, et celle d'*E. barrelieri* était active contre 11 souches avec des CMI allant de 9 à 625 µg/mL. Les deux huiles essentielles étaient plus actives sur les bactéries Gram-positives (activités contre 11 et 7 souches respectivement pour *E. glomeratum* et *E. barrelieri*) que sur les bactéries Gram-négatives (activités contre 3 souches pour les deux huiles essentielles) ; cependant, elles ont montré une activité particulièrement intéressante contre les souches de *Pseudomonas aeruginosa* multirésistantes ($2 < \text{CMI} < 19 \mu\text{g/mL}$) [76].

6.2. Activité cytotoxique

Une étude récente a permis d'évaluer l'activité cytotoxique de l'huile essentielle des parties aériennes d'*E. campestre*. Cette activité a été vérifiée sur un panel de lignées cancéreuses humaines : A375 (mélanome malin), MDA-MB 231 (adénocarcinome mammaire) et HCT116 (carcinome du côlon). Les cellules ont été traitées avec des concentrations croissantes d'huile essentielle pendant 72 h et leur viabilité a été mesurée par le test au bromure de 3-(4,5diméthylthiazol-2-yl)-2,5-diphényltétrazolium (MTT). Cette huile essentielle s'est révélée être hautement cytotoxique sur ces cellules tumorales, avec des valeurs de CI_{50} de 1,57 à 2,99 µg/mL comparables ou proches de celles du cisplatine, médicament anticancéreux employé comme référence [73]. Cependant, l'activité n'a pas été déterminée sur cellules normales afin d'évaluer l'indice de sélectivité de cette huile essentielle.

Une autre étude a montré que les saponosides triterpéniques isolés des racines d'*E. campestre* (composés **1-5**) avaient une faible activité cytotoxique, avec des CI_{50} comprises entre 40 et 100 µg/mL, contre les cellules cancéreuses humaines HCT 116 et HT-29 [26].

6.3. Activité antioxydante

Une étude récente a mis en évidence une très faible activité antioxydante de l'huile essentielle des parties aériennes d'*E. campestre* [73]. Cette activité a été testée par la méthode de piégeage des radicaux libres 2,2-diphénol-1-picrylhydrazyl, (DPPH, 1 mg/mL), le dosage des radicaux libres ABTS⁺ (2,2-azinobis-3-éthyl-benzothiazoline-6-sulphonate) et le pouvoir réducteur du fer FRAP (*ferric reducing antioxidant power*). L'huile essentielle était inactive dans les deux premiers tests et a montré une activité réductrice modérée, mesurée en équivalent Trolox (TE), égale à 61,2 µmol TE/g au test.

L'étude de l'activité antioxydante de l'extrait hydrométhanolique de feuilles d'*E. maritimum* a montré une faible capacité de piégeage des radicaux libres DPPH ($\text{CI}_{50} = 0,28 \text{ mg/mL}$). Cet extrait avait un taux faible de polyphénols totaux (16,4 mg/g) mais une activité antioxydante totale, exprimée en milligrammes d'équivalents d'acide ascorbique par gramme de poids sec, relativement forte (32,7 mg/g) [79].

Une activité antioxydante significative a été évaluée pour l'huile essentielle de parties aériennes d'*E. tricuspidatum*. Cette activité a été mise en évidence avec la méthode de piégeage des radicaux DPPH ($\text{CI}_{50} = 510 \mu\text{g/ml}$) et le test FRAP (bon pouvoir réducteur du Fe³⁺, mais inférieur à celui du BHT et de l'acide ascorbique) [69]. D'autre part, une faible activité antioxydante a été observée avec l'extrait hydrométhanolique des parties aériennes de cette espèce (DPPH : $\text{CI}_{50} = 180 \mu\text{g/ml}$) [45].

L'activité antioxydante de l'extrait butanolique d'*E. triquetrum* a été étudiée, une forte capacité de piégeage des radicaux libres DPPH ($\text{CI}_{50}=136 \mu\text{g/ml}$) a été constatée avec un taux significatif de polyphénols totaux ($>16 \text{ g}/100 \text{ g d'extrait sec}$) [51]. Les huiles essentielles de cette espèce ont

également montré une activité significative de piégeage des radicaux libres DPPH ($CI_{50} = 28,6 \mu\text{g/ml}$) [68].

6.4. Activité anti-inflammatoire

Les racines et parties aériennes de plusieurs espèces du genre *Eryngium* sont utilisés traditionnellement pour le traitement de divers troubles inflammatoires, de manière convergente à l'échelle mondiale [7]. Différents extraits issus d'*E. campestre* ont montré une activité anti-inflammatoire *in vitro* : ces extraits ont inhibé la synthèse de la cytokine TNF α (facteur de nécrose tumorale α), l'une des plus importantes cytokines pro-inflammatoires, et la synthèse de l'oxyde nitrique généré par l'oxyde nitrique synthase inducible (iNOS) dans les cellules endothéliales murines sans affecter la viabilité cellulaire [80]. *In vivo*, l'activité anti-inflammatoire des extraits éthanoliques d'*E. campestre* et d'*E. maritimum* (racines, parties aériennes) administrés par voie orale à une dose de 200 mg/kg a été prouvée [81]. Ils ont inhibé l'œdème des pattes arrière de souris causé par le carraghénane, et l'œdème auriculaire induit par l'acétate de 12-*O*-tétradécanoïlphorbol (TPA). Une activité antinociceptive de ces extraits a été démontrée dans le test de contorsion induite par la benzoquinone. La plus forte activité a été observée pour l'extrait éthanolique des parties aériennes d'*Eryngium maritimum* sans montrer de dommage gastrique apparent [81].

6.5. Autres activités

L'activité inhibitrice de l'acétylcholinestérase (AChE) de l'huile essentielle d'*E. campestre* a été récemment étudiée par une méthode colorimétrique qui consiste à mesurer l'activité enzymatique de l'AChE en plaque de 96 trous (méthode thiocholine / dithiobisnitrobenzoate ; 5 µl d'huile essentielle par trou ; galantamine comme contrôle positif). L'activité inhibitrice a été calculée par rapport au témoin négatif et a été exprimée en pourcentage d'inhibition et en activité équivalente de galantamine. L'inhibition enzymatique était évaluée à 10,5 % ce qui correspond approximativement à l'inhibition induite par 0,7 µg de galantamine. Cette activité est considérée comme faible, ce que les auteurs justifient par l'abondance de sesquiterpènes dans l'huile essentielle (déterminée par GC/MS), ces composés étant d'après eux connus pour avoir généralement une plus faible activité inhibitrice de l'acétylcholinestérase que les monoterpènes [73].

7. Conclusion

Cette revue résume les informations sur les utilisations traditionnelles et les activités biologiques *in vitro* et *in vivo* des espèces tunisiennes du genre *Eryngium* et souligne le fait que ces activités peuvent être attribuées à la présence de différents composés tels que les saponosides, les flavonoïdes, les polyacétylènes et les composés volatils, principalement de type sesquiterpénique.

Cependant, malgré le potentiel que représentent ces espèces sur le plan pharmacologique, il reste encore à valider cliniquement les activités revendiquées dans la tradition ainsi qu'à réaliser l'isolement et l'identification d'autres principes actifs. Cette revue peut donc constituer une base de données permettant d'approfondir l'étude des nombreuses espèces du genre *Eryngium* et de leur intérêt médical et agronomique en Tunisie.

Références

- [1] S. A. Erdem, S. F. Nabavi, I. E. Orhan, M. Daglia, M. Izadi, S. M. Nabavi, DARU J. Pharm. Sci. **2015**, 23, 53.
- [2] A. Bouasla, I. Bouasla, Phytomedicine **2017**, 36, 68–81.

- [3] B. Wahida, M. Amor, C. Nabil in : *Ethnomedicinal Plants: Revitalizing of Traditional Knowledge of Herbs (Ethnomedicinal Use of Anti-inflammatory and Anti-rheumatic Plants in Tunisia)*, Vol. 1 (Eds.: M. Rai, D. Acharya, J. L. Rios), CRC Press, Floride, **2011**.
- [4] N. G. Passalacqua, P. M. Guerrera, G. De Fine, *Fitoterapia* **2007**, 78, 52–68.
- [5] Sghaier M., Khatteli H., Gammoudi T. in : *Filière des Plantes Aromatiques et Médicinales (PAM) dans le sud-est de la Tunisie : Importance et perspectives de développement*. Publication de l’Institut des Régions Arides, **2011**, 1–121.
- [6] J. Palá-Paúl, M. J. Pérez-Alonsoa, A. Velasco-Negueruela, J. Vadaré, A. M. Villa, J. Sanz, J. J. Brophy, *J. Chromatogr. A* **2005**, 1074, 235–239.
- [7] P. Wang, Z. Su, W. Yuan, G. Deng, S. Li, *Pharm. Crops* **2012**, 3, 99–120.
- [8] G. Pottier-Alapetite in : *Flore de la Tunisie, Angiospermes-dicotylédones*, Vol. 1, Imprimerie Officielle de la République Tunisienne, Tunis, **1979**.
- [9] V. E. Le Floc'h, L.Boulos in : *Catalogue synonymique commenté de la Flore de Tunisie*, Banque Nationale de Gènes, Ministère de l’Environnement et du Développement Durable, Tunis, **2010**.
- [10] C. I. Calviño, S. G. Martínez, S. R. Downie, *Mol. Phylogenet. Evol.* **2008**, 46, 1129–1150.
- [11] R. J. Dubois-Maisonneuve, J. Jacquelin-Dubuisson in : *Annales des sciences et des arts*, Vol. 1, D. Colas, Paris, **1809**.
- [12] C. Duméril in : *Éléments des sciences naturelles: La minéralogie et la botanique*, Vol. 1, Deterville, Paris, **1825**.
- [13] H. Coste in : *Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et les contrées limitrophes*, Vol. 2, Librairie scientifique et technique Albert Blanchart, Paris, **1980**.
- [14] L. M. V. Pimenov in : *Genera of the Umbelliferae*, Royal Botanic Gardens, Kew, U.K., **1993**.
- [15] J. M. Turmel in : *Répartition géographique des Eryngium. 1. ancien monde*, *Bull. Mus. Hist. Nat.* **1948**, 20, 395–401.
- [16] J. M. Turmel in : *Répartition géographique des Eryngium. 2*, *Bull. Mus. Hist. Nat.* **1949**, 21, 120–131.
- [17] A. Daoud-Bouattour, S. D. Muller, H. F. Ben Jamaa, S. Ben Saad-Limama, L. Rhazid, I. Soulié-Märsche, M. Rouissia, B. Touatia, I. Ben Haj Jilani, A.M. Gammar, Z. Ghrabi-Gammar, *C. R. Biol.* **2011**, 334, 742–756.
- [18] L. Olivier, J.-C. Galland, H. Maurin, J.-P. Roux in : *Livre rouge de la flore menacée de France: Tome 1: Espèces prioritaires*, Vol. 20, Muséum National d’Histoire Naturelle, Paris, **1995**.
- [19] M. Kartal, A. C. Mitaine-Offer, M. Abu-Asaker, T. Miyamoto, I. Calis, H. Wagner, M. A. Lacaille-Dubois, *Chem. Pharm. Bull.* **2005**, 53, 1318–1320.
- [20] D. Jawdat, H. Al-Faoury, Z. Ayyoubi, B. Al-Safadi, *Biologia* **2010**, 65, 796–804.
- [21] J. R. Goodin, D. K. in : *Northington. Plant resources of arid and semiarid lands: A global perspective*, Academic, Vol.1, Press INC, London, **1985**.

- [22] H. Ben Lajnef, F. Pasini, J. Politowicz, N. Tlili, A. Khaldi, M. F. Caboni, N. Nasri, *Ind. Crops. Prod.* **2017**, *105*, 47–52.
- [23] A. S. Lieberman, C. R. O'Neill in : *Vegetation use in costal ecosystems* (Information Bulletin 198), Cornell Cooperative Extension, Cornell University, Ithaka, New York, **1988**.
- [24] S. M. Nabavi, S. F. Nabavi, H. Alinezhad, M. Zare, R. Azimi, *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.* **2012**, *16*, 81–87.
- [25] T. Baytop in : *Therapy with medicinal plants in Turkey (past and present)*, Vol. 312, Istanbul University, Istanbul, **1999**.
- [26] M. Kartal, A. C. Mitaine-Offer, T. Paululat, M. Abu-Asaker, H. Wagner, J. F. Mirjolet, N. Guilbaud, M. A. Lacaille-Dubois, *J. Nat. Prod.* **2006**, *69*, 1105–1108.
- [27] M. Grieve in : *A Modern Herbal*, Vol. 1, Dover publications, USA, **2013**.
- [28] R. Chiej in : *The Macdonald encyclopedia of medicinal plants*, Macdonald & Co Ltd, Californie, USA, **1984**.
- [29] D. Bown in : *Encyclopedia of Herbs and Their Uses*, Dorling Kindersley, New York, **1995**.
- [30] S. Baydoun, L. Chalak, H. Dalleh, N. Arnold, *J. Ethnopharmacol.* **2015**, *173*, 139–156.
- [31] L. El Rhaffari, A. Zaid in : *Pratique de la phytothérapie dans le sud-est du Maroc (Tafilalet): Un savoir empirique pour une pharmacopée rénovée*, IRD Édition, Paris, **2002**.
- [32] F. El Azzouzi, L. Zidane, *J. Appl. Biosci.* **2015**, *91*, 8493–8502.
- [33] A. Chevallier in : *Encyclopedia of Medicinal Plants*, Dorling Kindersley, New York, **2001**.
- [34] R. Lisciani, E. Fattorusso, V. Surano, S. Cozzolino, M. Giannattasio, L. Sorrentino, *J. Ethnopharmacol.* **1984**, *12*, 163–270.
- [35] J. Bellakhdar in : *Médecine traditionnelle et toxicologie ouest-sahariennes : contribution à l'étude de la pharmacopée marocaine*, Éditions techniques nord-africaines, Rabat, **1978**.
- [36] J. Bammi, A. Douira, *Acta Bot. Malacit.* **2002**, *27*, 131–145.
- [37] M. Ghourri, L. Zidane, A. Douira, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **2013**, *7*, 1688–1700.
- [38] A. Daoudi, M. Bammou, S. Zarkani, I. Slimani, J. Ibijiben, L. Nassiri, *Phytothérapie* **2016**, *14*, 220–228.
- [39] J. Bellakhdar in : *La pharmacopée marocaine traditionnelle: médecine arabe et savoirs populaires*, Ibis Press, Paris, **1997**.
- [40] B. Sayed-Ahmad, T. Talou, Z. Saad, A. Hijazi, O. Merah, *Ind. Crops Prod.* **2017**, *109*, 661–671.
- [41] Z. Zhang, S. Li, S. Ownby, P. Wang, W. Yuan, W. Zhang, R. S. Beasley, *Phytochemistry* **2008**, *69*, 2070–2080.
- [42] S. Nacef, M. Msaddek, H. Ben Jannet, F. Harzallah-Shiric, M. El Mahjoub, Z. Mighri, *J. Soc. Alger. Chim.* **2003**, *13*, 163–175.

- [43] C. A. J. Erdelmeier, O. Sticher, *Phytochemistry* **1986**, *25*, 741–743.
- [44] S. Nacef, H. Ben Jannet, M. A. Hamza, Z. Mighri, *J. Soc. Chim. Tunisie* **2008**, *10*, 141–148.
- [45] A. Benmerache, A. Alabdul Magid, D. Berrehel, A. Kabouche, L. Voutquenne-Nazabadioko, S. Messaili, A. Abedini, D. Harakat, Z. Kabouche, *Phytochem. Lett.* **2016**, *18*, 23–28.
- [46] J. Bruneton, E. Poupon in : *Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales*, 5^e édition, Lavoisier E.Tec & Doc, Paris, **2016**.
- [47] S. Baldermann, M. Kato, P. Fleischmann, N. Watanabe, *Acta Biochim. Pol.* **2012**, *59*, 79–81.
- [48] J. Hohmann, Z. Pall, G. Gunther, I. Mathe, *Planta Med.* **1997**, *63*, 96.
- [49] T. Kartnig, J. Wolf, *Planta Med.* **1993**, *59*, 285.
- [50] U. W. Hawas, T. El-Kassem, A. Lamia, H. M. Awad, H. A. A. Tai, *Chem. Biol.* **2013**, *7*, 188–195.
- [51] A. Khalfallah, D. Berrehal, A. Kabouche, Z. Kabouche, *Chem. Nat. Comp.* **2014**, *50*, 130–132.
- [52] F. Bouzergoune, M. L. Ciavatta, F. Bitam, M. Carbone, M. C. Aberkane, M. Gavagnin, *Planta Med.* **2016**, *82*, 1438–1445.
- [53] K. Hiller, B. Pohl, P. Franke, *Pharmazie* **1981**, *36*, 451–452.
- [54] C. A. Erdelmeier, O. Sticher, *Planta Med.* **1985**, *51*, 407–409.
- [55] M. Pinar, M. P. Galan, *J. Nat. Prod.* **1985**, *48*, 853–854.
- [56] E. Le Claire, S. Schwaiger, B. Banaigs, H. Stuppner, F. Gafner, *J. Agric. Food Chem.* **2005**, *53*, 4367–4372.
- [57] I. Assenov, R. Gevrenova, *Farmatsia-Sofia* **1991**, *41*, 26–28.
- [58] B. Muckensturm, A. Boulanger, M. Farahi, J. P. Reduron, *Nat. Prod. Res.* **2010**, *24*, 391–397.
- [59] J. D. Viemont, M. Goas, *C. R. Acad. Sci. D* **1972**, *275*, 2885–2887.
- [60] V. Dunkić, E. Vuko, N. Bezić, D. Kremer, M. Ruščić, *Chem. Biodivers.* **2013**, *10(10)*, 1894–1902.
- [61] J. U. Chowdhury, N. C. Nandi, M. Yusuf, *J. Sci. Ind. Res.* **2007**, *42*, 347–352.
- [62] K. C. Wong, M. C. Feng, T. W. Sam, G. L. Tan, *J. Essent. Oil Res.* **1994**, *6*, 369.
- [63] P. A. Leclercq, N. X. Duñg, V. N. Lê, N. V. Toanh, *J. Essent. Oil Res.* **1992**, *4*, 423–424.
- [64] A. P. Martins, L. R. Salgueiro, A. P. Da Cunha, R. Vila, S. Canigueral, F. Tomi, J. Casanova, *J. Essent. Oil Res.* **2003**, *15*, 93–95.
- [65] N. Ayoub, M. Al-Azizi, W. Konig, K. H. Kubeczka, *Recent Prog. Med. Plants* **2006**, *11*, 237–245.
- [66] N. D. T. Thi, T. H. Anh, L. N. Thach, *J. Essent. Oil Bearing Plants* **2008**, *11*, 154–161.
- [67] B. Thiem, M. Kikowska, A. Kurowska, D. Kalemba, *Molecules* **2011**, *16*, 7115–7124.

- [68] A. Medbouhi, N. Merad, A. Khadir, M. Bendahou, N. Djabou, J. Costa, A. Muselli, *Chem. Biodivers.* **2017**, *15*, e170034 (1–12).
- [69] D. Merghache, Z. Boucherit-Otmani, S. Merghache, I. Chikhi, C. Selles, K. Boucherit, *Nat. Prod. Res.* **2014**, *28*, 795–807.
- [70] F. Sefidkon, M. Dabiri, A. Alamshahi, *J. Essent. Oil Res.* **2004**, *16*, 42–43.
- [71] F. Darriet, S. Andreani, M. C. De Cian, J. Costa, A. Muselli, *Flavour Fragr. J.* **2014**, *29*, 3–13.
- [72] J. Pala-Paul, J. Usano-Alemany, A. C. Soria, M. J. Perez-Alonso, J. J. Brophy, *Nat. Prod. Comm.* **2008**, *3*, 1121–1126.
- [73] K. Cianfaglione, E. E. Blomme, L. Quassinti, M. Bramucci, G. Lupidi, S. Dall'Acqua, F. Maggi, *Chem. Biodivers.* **2017**, *14*, e1700096.
- [74] S. Aslan, M. Kartal, *Planta Med.* **2006**, *72*, 340.
- [75] A. Maggio, M. Bruno, C. Formisano, *Nat. Prod. Commun.* **2013**, *8*, 841–844.
- [76] A. Landoulsi, V. Roumy, N. Duhal, F. H. Skhiri, C. Rivière, S. Sahpaz, C. Neut, J. Benhamida, T. Hennebelle, *Chem. Biodivers.* **2016**, *13*, 1720–1729.
- [77] A. Çelik, N. Aydinlik, I. Arslan, *Chem. Biodivers.* **2011**, *8*, 454–459.
- [78] F. Darriet, M. Bendahou, J. M. Desjobert, J. Costa, A. Muselli, *Planta Med.* **2012**, *78*, 386–389.
- [79] L. Meot-Duros, G. Le Floch, C. Magné, *J. Ethnopharmacol.* **2008**, *116*, 258–262.
- [80] M. Strzelecka, M. Bzowska, J. Koziel, B. Szuba, O. Dubiel, D. Riviera Núñez, M. Heinrich, J. Bereta, *J. Physiol. Pharmacol.* **2005**, *56*, 139–156.
- [81] E. Küpeli, M. Kartal, S. Aslan, E. Yesilada, *J. Ethnopharmacol.* **2006**, *107*, 32–37.