



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEEN



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers

Département de Biologie

Laboratoire des « Produits Naturels »

MEMOIRE

Présenté par :

M^{lle} Benrabah Souhila

M^{lle} Boumediene Hidayette Maroua

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Biologiques

Spécialité : BAACHEV (Bioactivités, Analyse et Contrôle des Huiles essentielles et végétales)

Thème

**Contribution à l'étude des rendements et des activités biologiques de l'huile
essentielle de *Smyrniium olusatrum* de la région de Tlemcen**

Soutenu, le 09/06/2026, devant le jury composé de :

Président :	M ^{me} BENHAMMOU - BELYAGOUBI Nabila	Professeur	Université de Tlemcen
Examineur :	M ^{me} SELADJI Meryem	MCA	Université de Tlemcen
Encadreur :	M. MALTI Charafeddine Watheq	MCA	Université de Relizane
Co-encadreur :	M ^{me} BEKHECHI Chahrazed	Professeur	Université de Tlemcen

Année universitaire : 2025 - 2026

Dédicaces

Nous dédions ce modeste travail :

À nos très chers parents, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices, leurs encouragements, leurs prières et leur soutien indéfectible tout au long de nos parcours. Aucun mot ne saurait exprimer notre profonde gratitude et notre reconnaissance envers eux.

À nos chères grands-mères et à nos familles, notamment nos frères, nos tantes et tous nos proches, pour leur affection, leur présence et leurs encouragements constants.

À nous-mêmes, en tant que binômes, pour les efforts partagés, les moments de doute surmontés ensemble, la persévérance dont nous avons fait preuve ainsi que l'esprit de collaboration et de compréhension mutuelle qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail. Que ce mémoire demeure le témoignage de nos efforts communs et de cette belle expérience académique.

À nos chères amies **Chaïma, Samah, Imen et Meriem**, pour leur soutien, leur affection et tous les agréables moments partagés.

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation et à l'aboutissement de ce mémoire.

Boumediene Hidayette Maroua.

Benrabah Souhila.

Remerciements

Ce travail a été réalisé au sein du Département de Biologie, au laboratoire des Produits Naturels, dans l'équipe de recherche « Activité Antimicrobienne des Substances Naturelles et Écologie Microbienne », sous la direction de Monsieur **MALTI Charafeddine W**, Maître de Conférences A à l'Université de Relizane, et de Madame **BEKHCHI Chahrazed**, Professeure à l'Université de Tlemcen.

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude à notre encadrant, Monsieur **MALTI Charafeddine W.**, pour son accompagnement tout au long de la réalisation de ce mémoire. Nous le remercions sincèrement pour sa disponibilité, ses conseils avisés, son soutien constant ainsi que pour la confiance qu'il nous a accordée. Ses orientations et son professionnalisme ont été d'une aide précieuse dans l'aboutissement de ce travail.

Nous adressons également nos plus sincères remerciements à Madame **BEKHECHI Chahrazed** pour son encadrement, sa disponibilité et son soutien tout au long de cette étude. Nous lui sommes reconnaissantes pour ses conseils, ses encouragements et l'intérêt qu'elle a porté à ce travail.

Nous avons l'honneur d'adresser nos respectueux remerciements à Madame **BENHAMMOU-BELYAGOUBI Nabila**, Professeure à l'Université de Tlemcen, pour avoir accepté de présider le jury de ce mémoire. Nous lui exprimons notre profonde reconnaissance pour l'intérêt qu'elle a bien voulu porter à ce travail et pour le temps consacré à son évaluation.

Nos sincères remerciements vont également à Madame **SELADJI Meryem**, Maître de Conférences A à l'Université de Tlemcen, pour avoir accepté d'examiner ce mémoire. Nous lui sommes reconnaissantes pour l'attention portée à ce travail et pour sa participation à son évaluation.

Enfin, nous remercions chaleureusement toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce modeste travail. Qu'elles trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance et de nos sincères remerciements.

الملخص

يُعدّ نبات *Smyrniolum olusatrum* (الفصيلة الخيمية)، المعروف بالمكسرون، نوعًا متوسطيًا يبقى زيتُه العطري الغني بالسيسكويتربينات الفورانية قليل الدراسة، ولا سيّما في الجزائر. هدف هذا العمل إلى تحديد مردود الزيت العطري لهذا النوع وتقييم فعاليته المضادة للأكسدة والمضادة للالتهاب، انطلاقًا من عينات جُمِعت من ست محطات بمنطقة تلمسان: عين الدفلى، عين فزة، المنصورة، زاريفات، عين كبيرة، والرمشي. استُخلص الزيت بالتقطير المائي، بشكل منفصل للسيقان والأوراق، وللثمار، وللأزهار؛ وقُيِّمت الفعالية المضادة للأكسدة بطريقة اقتناص الجذر الحر DPPH، والفعالية المضادة للالتهاب بتنشيط التمسّخ الحراري لألبومين مصل البقر، وعُيِّرَ عنهما بالتركيز المثبّط النصفى (CI_{50})، المتوسط $\pm$ الانحراف المعياري).

كانت المردودات ضعيفة عمومًا، وأعلى في الأعضاء التكاثرية منها في الأجزاء الخضرية: ففي السيقان والأوراق تراوحت بين $0,034 \pm 0,008$ % (زاريفات) و $0,057 \pm 0,006$ % (عين كبيرة)؛ وتراوحت في الثمار بين $0,044$ % (المنصورة) و $0,124$ % (الرمشي)، وفي الأزهار بين $0,058$ % (زاريفات) و $0,074$ % (عين الدفلى)، وكانت محطتا عين كبيرة والرمشي الأكثر إنتاجًا إجمالًا.

أما الفعالية المضادة للأكسدة فكانت معتدلة، وأقوى في الأزهار (CI_{50} من $25,39 \pm 0,94$ إلى $47,97 \pm 0,66$ مغ/مل) والثمار ($29,40 \pm 0,74$ إلى $46,93 \pm 0,88$ مغ/مل)، وأضعف في السيقان والأوراق ($44,36 \pm 0,27$ إلى $84,17 \pm 0,19$ مغ/مل)، مع تسجيل أفضل النتائج في محطة زاريفات (الأزهار: $25,39 \pm 0,94$ مغ/مل؛ الثمار: $29,40 \pm 0,74$ مغ/مل)؛ غير أن هذه القيم تبقى أعلى بكثير من قيمة حمض الأسكوربيك المرجعي ($0,00221 \pm 0,00041$ مغ/مل)، ما يدل على فعالية أضعف بوضوح. وبقيت الفعالية المضادة للالتهاب، المُقيَّمة هنا لأول مرة على الزيت الكامل لهذا النوع، معتدلة: إذ كانت الثمار الأكثر فعالية وانتظامًا (CI_{50} من $209,71 \pm 0,57$ إلى $240,71 \pm 1,13$ مغ/مل)، تليها الأزهار ($215,96 \pm 0,68$ إلى $274,86 \pm 1,18$ مغ/مل) ثم السيقان والأوراق ($222,68 \pm 0,72$ إلى $314,99 \pm 0,91$ مغ/مل)؛ وقدّمت محطة عين كبيرة على الدوام أدنى القيم والمنصورة أعلاها، مع بقاء المجموعة كلها أقل فعالية بوضوح من الإيبوبروفين المرجعي ($37,11 \pm 0,56$ مغ/مل). وبذلك يتوقّف كلّ من المردود والفعاليات بصورة وثيقة على العضو النباتي، وبدرجة أقل على محطة الجمع.

الكلمات المفتاحية: *Smyrniolum olusatrum*؛ الزيت العطري؛ التقطير المائي؛ المردود؛ الفعالية المضادة للأكسدة (DPPH)؛ الفعالية المضادة للالتهاب.

Résumé

Smyrniolus olusatrum L. (Apiacées), ou maceron, est une espèce méditerranéenne dont l'huile essentielle, riche en furanosesquiterpènes, demeure peu étudiée, en particulier en Algérie. Ce travail visait à déterminer les rendements et à évaluer les activités antioxydante et anti-inflammatoire de l'huile essentielle de cette espèce récoltée dans six stations de la région de Tlemcen : Aïn Defla, Aïn Fezza, Mansourah, Zarifet, Aïn Kebira et Remchi. L'huile a été extraite par hydrodistillation, séparément pour les tiges et feuilles, les fruits et les fleurs ; l'activité antioxydante a été appréciée par le piégeage du radical DPPH et l'activité anti-inflammatoire par l'inhibition de la dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine, toutes deux exprimées par la concentration inhibitrice médiane (CI50, moyenne $\pm$ écart-type).

Les rendements, faibles dans l'ensemble, ont été plus élevés dans les organes reproducteurs que dans les parties végétatives : pour les tiges et feuilles, ils se sont échelonnés de $0,034 \pm 0,008$ % (Zarifet) à $0,057 \pm 0,006$ % (Aïn Kebira) ; les fruits ont varié de $0,044$ % (Mansourah) à $0,124$ % (Remchi) et les fleurs de $0,058$ % (Zarifet) à $0,074$ % (Aïn Defla), Aïn Kebira et Remchi étant globalement les plus productives.

L'activité antioxydante, modérée, a été la plus marquée pour les fleurs (CI50 de $25,39 \pm 0,94$ à $47,97 \pm 0,66$ mg/mL) et les fruits ($29,40 \pm 0,74$ à $46,93 \pm 0,88$ mg/mL), et la plus faible pour les tiges et feuilles ($44,36 \pm 0,27$ à $84,17 \pm 0,19$ mg/mL), les meilleures performances étant obtenues à Zarifet (fleurs : $25,39 \pm 0,94$ mg/mL ; fruits : $29,40 \pm 0,74$ mg/mL) ; ces valeurs demeurent toutefois très supérieures à celle de l'acide ascorbique de référence ($0,00221 \pm 0,00041$ mg/mL), traduisant une activité nettement plus faible. L'activité anti-inflammatoire, évaluée ici pour la première fois sur l'huile entière de l'espèce, est restée modérée : les fruits ont été les plus actifs et les plus réguliers (CI50 de $209,71 \pm 0,57$ à $240,71 \pm 1,13$ μ g/mL), devant les fleurs ($215,96 \pm 0,68$ à $274,86 \pm 1,18$ μ g/mL) et les tiges et feuilles ($222,68 \pm 0,72$ à $314,99 \pm 0,91$ μ g/mL) ; la station d'Aïn Kebira a fourni systématiquement les valeurs les plus basses et Mansourah les plus élevées, l'ensemble demeurant nettement moins actif que l'ibuprofène de référence ($37,11 \pm 0,56$ μ g/mL). Le rendement comme les activités dépendent donc étroitement de l'organe et, secondairement, de la station de récolte.

Mots-clés : *Smyrniolus olusatrum* ; huile essentielle ; hydrodistillation ; rendement ; activité antioxydante (DPPH) ; activité anti-inflammatoire.

Abstract

Smyrniolus atrum L. (Apiaceae), known as Alexanders, is a Mediterranean species whose furanosesquiterpene-rich essential oil remains little studied, particularly in Algeria. This work aimed to determine the yields and to assess the antioxidant and anti-inflammatory activities of the essential oil of this species collected at six sites in the Tlemcen region: Aïn Defla, Aïn Fezza, Mansourah, Zarifet, Aïn Kebira and Remchi. The oil was obtained by hydrodistillation, separately for stems and leaves, fruits and flowers; antioxidant activity was assessed by DPPH radical scavenging and anti-inflammatory activity by inhibition of the thermal denaturation of bovine serum albumin, both expressed as the median inhibitory concentration (IC₅₀, mean $\pm$ standard deviation).

Yields were low overall and higher in the reproductive organs than in the vegetative parts: for stems and leaves they ranged from $0.034 \pm 0.008\%$ (Zarifet) to $0.057 \pm 0.006\%$ (Aïn Kebira); fruits ranged from 0.044% (Mansourah) to 0.124% (Remchi) and flowers from 0.058% (Zarifet) to 0.074% (Aïn Defla), with Aïn Kebira and Remchi being the most productive sites overall.

Antioxidant activity was moderate and strongest for flowers (IC₅₀ from 25.39 ± 0.94 to 47.97 ± 0.66 mg/mL) and fruits (29.40 ± 0.74 to 46.93 ± 0.88 mg/mL), and weakest for stems and leaves (44.36 ± 0.27 to 84.17 ± 0.19 mg/mL), the best performances being recorded at Zarifet (flowers: 25.39 ± 0.94 mg/mL; fruits: 29.40 ± 0.74 mg/mL); these values nonetheless remained far higher than that of the ascorbic acid standard (0.00221 ± 0.00041 mg/mL), reflecting a markedly lower activity. The anti-inflammatory activity, assessed here for the first time on the whole oil of the species, remained moderate: fruits were the most active and most consistent (IC₅₀ from 209.71 ± 0.57 to 240.71 ± 1.13 μ g/mL), ahead of flowers (215.96 ± 0.68 to 274.86 ± 1.18 μ g/mL) and stems and leaves (222.68 ± 0.72 to 314.99 ± 0.91 μ g/mL); Aïn Kebira consistently gave the lowest values and Mansourah the highest, while the whole set remained markedly less active than the ibuprofen standard (37.11 ± 0.56 μ g/mL). Both the yield and the activities thus depend closely on the plant organ and, to a lesser extent, on the collection site.

Keywords: *Smyrniolus atrum*; essential oil; hydrodistillation; yield; antioxidant activity (DPPH); anti-inflammatory activity.

Table des matières

Remerciements	
Résumé	
Abstract	
المخلص	
Table des matières	
Table des illustrations	
Liste des abréviations	
Introduction	1
Première partie Synthèse bibliographique	4
I. La famille des Apiacées (Ombellifères)	5
I.1. Généralités	5
I.2. Appareil végétatif	6
I.3. Appareil reproducteur	6
II. Description de l'espèce <i>Smyrnum olusatrum</i>	7
II.1. Description botanique	7
II.2. Systématique de l'espèce <i>Smyrnum olusatrum</i>	8
II.3. Répartition géographique, origine et habitat	9
III. Usages traditionnels et ethnobotaniques	11
IV. Données bibliographiques sur la composition chimique et les activités biologiques de l'huile essentielle	11
IV.1. Composition chimique de l'huile essentielle de <i>Smyrnum olusatrum</i>	12
IV.2. Activités biologiques de l'huile essentielle de <i>Smyrnum olusatrum</i>	14
IV.2.1. Activité antioxydante	14
IV.2.2. Activité anti-inflammatoire	14
IV.2.3. Autres activités biologiques	15
Deuxième partie Matériels et méthodes	18
I. Matériel végétal	19
II. Extraction des huiles essentielles	19
III. Calcul des rendements en huile essentielle	20
IV. Étude des activités biologiques de l'huile essentielle de <i>Smyrnum olusatrum</i>	20
IV.1. Activité antioxydante de l'huile essentielle	21
IV.2. Activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle	22

Troisième partie Résultats et discussion	24
I. Extraction des huiles essentielles	25
II. Calcul des rendements.....	25
III. Étude des activités biologiques de l'huile essentielle de <i>Smyrnum olusatrum</i>	27
III.1. Étude de l'activité antioxydante	27
III.2. Étude de l'activité anti-inflammatoire	32
Conclusion	38
Références bibliographiques	41

Table des illustrations

Liste des figures

Figure 1 : <i>Smyrniium olusatrum</i> , photographie prise dans la région de Aïn Defla - Tlemcen (Mars 2026)	10
Figure 2 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des tiges et feuilles de <i>Smyrniium olusatrum</i> selon la station de récolte	28
Figure 3 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des fruits de <i>Smyrniium olusatrum</i> selon la station de récolte	29
Figure 4 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des fleurs de <i>Smyrniium olusatrum</i> selon la station de récolte	30
Figure 5 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de la BSA en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des tiges et feuilles de <i>Smyrniium olusatrum</i>	33
Figure 6 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de la BSA en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des fruits de <i>Smyrniium olusatrum</i>	34
Figure 7 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de la BSA en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des fleurs de <i>Smyrniium olusatrum</i>	35

Liste des tableaux

Tableau 1: Rendements en huile essentielle des tiges et feuilles de <i>Smyrniium olusatrum</i> selon la station de récolte.....	26
Tableau 2 : Rendements en huile essentielle des fruits et des fleurs de <i>Smyrniium olusatrum</i> selon la station de récolte	26
Tableau 3 : Valeurs des CI_{50} des huiles essentielles des tiges et feuilles de <i>Smyrniium olusatrum</i> selon la station de récolte	28
Tableau 4 : Valeurs de CI_{50} des huiles essentielles des fruits de <i>Smyrniium olusatrum</i> selon la station de récolte.....	29
Tableau 5 : Valeurs de CI_{50} des huiles essentielles des fleurs de <i>Smyrniium olusatrum</i> selon la station de récolte.....	30
Tableau 6 : Valeurs de CI_{50} (mg/mL) de l'activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle des parties tiges et feuilles de <i>Smyrniium olusatrum</i> selon les différentes stations d'étude	34
Tableau 7 : Valeurs de CI_{50} (mg/mL) de l'activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle des fruits de <i>Smyrniium olusatrum</i> selon les différentes stations d'étude	35
Tableau 8 : Valeurs de CI_{50} (mg/mL) de l'activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle des fleurs de <i>Smyrniium olusatrum</i> selon les différentes stations d'étude	36

Liste des abréviations

Abs	absorbance
ABTS	acide 2,2'-azinobis-(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)
ALAT	alanine aminotransférase
APG	Angiosperm Phylogeny Group (groupe de phylogénie des angiospermes)
ARN	acide ribonucléique
ASAT	aspartate aminotransférase
BSA	albumine sérique bovine (<i>bovine serum albumin</i>)
CI₅₀	concentration inhibitrice médiane (concentration réduisant de moitié l'effet mesuré)
CPG-SM	chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (notée aussi CG-SM)
DMSO	diméthylsulfoxyde
DPPH	2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle
FRAP	pouvoir réducteur ferrique (<i>ferric reducing antioxidant power</i>)
HE	huile essentielle
IL-1β	interleukine-1 β
IL-6	interleukine-6
iNOS	NO-synthase inductible (synthase inductible du monoxyde d'azote)
m/m	rapport masse sur masse
NF-κB	facteur nucléaire kappa B (<i>nuclear factor-kappa B</i>)
TNF-α	facteur de nécrose tumorale alpha (<i>tumor necrosis factor-alpha</i>)
v/v	rapport volume sur volume

Introduction

Depuis le milieu du XX^e siècle, le recours aux plantes médicinales et aromatiques n'a cessé de se renouveler, porté par des préoccupations sanitaires et environnementales convergentes. La progression des résistances bactériennes, le rôle reconnu du stress oxydant et de l'inflammation chronique dans de nombreuses pathologies, et la défiance grandissante à l'égard de certains additifs de synthèse ont ramené l'attention vers les métabolites secondaires des végétaux. Une fraction notable de la flore demeure pourtant mal caractérisée sur les plans chimique et pharmacologique, et bien des espèces n'ont jamais fait l'objet d'une investigation systématique (**Sekkout et al., 2024**).

Parmi ces métabolites, les huiles essentielles occupent une position singulière. Mélanges complexes de composés volatils, surtout terpéniques, elles concentrent une part de la diversité chimique des plantes qui les produisent et se voient créditées d'un large éventail d'activités biologiques. Leur production n'est pas uniformément répartie au sein du règne végétal : quelques familles s'en montrent particulièrement pourvues, au premier rang desquelles les Apiacées, autrefois appelées Ombellifères. Cette famille, l'une des plus vastes des Angiospermes, doit son caractère aromatique à un réseau de canaux sécréteurs présents dans l'ensemble de l'appareil végétatif et reproducteur, et réunit de nombreuses plantes condimentaires, alimentaires et médicinales (**Judd et al., 2002**).

C'est à l'une de ces Apiacées, *Smyrniolusastrum* L., que s'attache le présent travail. Connue sous le nom de maceron, et en anglais d'*Alexanders* ou de *wild celery*, cette herbacée bisannuelle d'affinité méditerranéenne fut largement cultivée comme légume dès l'Antiquité gréco-romaine, avant d'être supplantée par le céleri et de tomber dans un oubli qui lui vaut aujourd'hui le qualificatif de « légume oublié » (**Randall, 2003 ; Spinozzi et al., 2024**). Son huile essentielle, dont l'odeur évoque la myrrhe, se distingue par une forte proportion de sesquiterpènes furaniques, l'isofuranodiène en particulier, marqueur chimique récurrent de l'espèce (**Mölleken et al., 1998 ; Maggi et al., 2012**).

Au cours des trois dernières décennies, l'huile essentielle de cette espèce et ses constituants se sont vu attribuer diverses activités : antioxydante, anti-inflammatoire, antiproliférative, antimicrobienne ou encore antiparasitaire (**Marongiu et al., 2012 ; Quassinti et al., 2013 ; Spinozzi et al., 2024**). Ces recherches restent toutefois géographiquement concentrées, l'essentiel des travaux provenant d'Italie, du Portugal et de Grèce. Comparée à d'autres Apiacées aromatiques mieux connues, *Smyrniolusastrum* demeure une espèce relativement peu étudiée.

En Algérie, les données disponibles sont rares et se limitent, à notre connaissance, à deux études : l'une portant sur du matériel récolté à Constantine (**Daroui-Mokaddem *et al.*, 2010**), l'autre sur des populations de l'ouest du pays, dans la région de Tlemcen (**Merad *et al.*, 2021**). Toutes deux se sont attachées à la composition chimique de l'huile et à son activité antimicrobienne. Or la composition de cette huile varie fortement selon l'organe analysé, le stade de développement et l'origine géographique des plantes (Mölleken *et al.*, 1998 ; Marongiu *et al.*, 2012), si bien que les résultats obtenus en un lieu ne sauraient être transposés tels quels à un autre. Le pouvoir antioxydant de l'huile n'a été abordé que ponctuellement, notamment sur du matériel tunisien (Messaoud *et al.*, 2013), et son activité anti-inflammatoire n'a, à notre connaissance, jamais été évaluée *in vitro* pour l'espèce. La région de Tlemcen, dont la flore reste partiellement inventoriée, n'a donc fait l'objet d'aucune caractérisation de ces deux propriétés.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent mémoire, dont l'ambition est de contribuer à combler une partie de cette lacune. Le travail vise à extraire, par hydrodistillation, l'huile essentielle de *Smyrniium olusatrum* récoltée dans six stations de la région de Tlemcen, en distinguant les différents organes de la plante, tiges et feuilles, fruits et fleurs, à en déterminer les rendements organe par organe et station par station, puis à évaluer deux de ses activités biologiques : son pouvoir antioxydant, évalué par le piégeage du radical DPPH, et son activité anti-inflammatoire, estimée par l'inhibition de la dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine.

Pour rendre compte de cette démarche, le mémoire s'articule en trois parties. La première dresse une synthèse bibliographique consacrée à la famille des Apiacées, à l'espèce *Smyrniium olusatrum* et à l'état des connaissances sur la composition et les activités de son huile essentielle. La deuxième décrit le matériel végétal, le procédé d'extraction et les protocoles d'évaluation des activités biologiques. La troisième présente et discute les résultats, relatifs d'abord aux rendements, puis aux activités antioxydante et anti-inflammatoire. Une conclusion générale en dégage enfin les principaux enseignements et trace quelques perspectives.

Première partie
Synthèse bibliographique

Avant d'aborder en détail l'espèce étudiée, il est essentiel de la replacer dans son contexte taxonomique et botanique. *Smyrniololus atrum* L. appartient à la famille des Apiacées (anciennement Umbellifères), un groupe particulièrement riche en espèces aromatiques et médicinales. Cette famille se caractérise par des traits morphologiques et anatomiques communs, notamment au niveau de l'appareil végétatif et reproducteur, ainsi que par la présence fréquente de métabolites secondaires spécifiques tels que les huiles essentielles et divers composés terpéniques. La compréhension des caractéristiques générales des Apiacées permet ainsi de mieux appréhender les particularités biologiques, chimiques et écologiques de l'espèce étudiée, et de situer *Smyrniololus atrum* dans un cadre scientifique cohérent avant d'aborder sa description détaillée.

I. La famille des Apiacées (Umbellifères)

I.1. Généralités

Les Apiacées (Apiaceae Lindl.), longtemps désignées sous le nom d'Umbellifères (Umbelliferae), appellation encore admise, tirée de la forme caractéristique de leur inflorescence en ombelle, constituent l'une des plus vastes familles d'Angiospermes. Elles regroupent plus de 430 à 450 genres et quelque 3 700 à 3 800 espèces, ce qui les place parmi les familles de plantes à fleurs les plus diversifiées (**Judd et al., 2002**). Leur répartition est quasi cosmopolite, avec une nette prédominance dans les régions tempérées et subtropicales de l'hémisphère Nord, ainsi que sur les reliefs des régions tropicales ; elles se raréfient dans les milieux désertiques et les zones arctiques.

Sur le plan systématique, la famille appartient à l'ordre des Apiales, au sein du clade des Astéridées (Eudicotylédones), et se montre étroitement apparentée aux Araliacées. Les classifications phylogénétiques récentes y distinguent plusieurs sous-familles, la plus riche en genres étant celle des Apioideae (**APG, 2016**).

Les Apiacées sont, dans leur grande majorité, des plantes herbacées, annuelles, bisannuelles ou vivaces, plus rarement quelque peu ligneuses. Leur trait le plus constant tient sans doute à leur caractère aromatique, qui résulte de la présence, dans l'ensemble de la plante, de canaux sécréteurs renfermant des huiles essentielles et des oléorésines (**Heywood, 1971**). Cette particularité éclaire l'importance économique considérable de la famille, qui fournit de nombreux légumes et condiments d'usage courant, carotte (*Daucus carota* L.), céleri (*Apium graveolens* L.), persil, fenouil, anis, cumin, coriandre ou carvi, ainsi que diverses plantes médicinales et aromatiques (**Judd et al., 2002**). Elle compte cependant aussi des espèces très

toxiques, telle la grande ciguë (*Conium maculatum* L.), et plusieurs taxons producteurs de furanocoumarines photosensibilisantes, ce qui illustre la grande diversité chimique du groupe.

En Algérie, les Apiacées sont bien représentées et figurent de longue date dans les flores de référence (Quézel et Santa, 1963).

I.2. Appareil végétatif

L'appareil végétatif des Apiacées présente une organisation relativement homogène. Le système racinaire est le plus souvent pivotant : la racine principale, parfois charnue, peut assurer une fonction de réserve, comme l'illustre de façon emblématique la carotte, et s'accompagne de racines latérales fibreuses. La tige, dressée et généralement ramifiée, se reconnaît à sa section souvent striée ou cannelée et à ses entre-nœuds creux (fistuleux), les nœuds demeurant pleins ; elle reste le plus souvent herbacée. (Judd *et al.*, 2016 ; Simpson, 2019).

Les feuilles sont généralement alternes et disposées en spirale. Elles sont, dans la plupart des cas, composées, pennées à plusieurs fois divisées, voire ternées ou profondément découpées ; plus rarement, elles sont simples mais alors nettement lobées. Un caractère distinctif réside dans la base du pétiole, élargie en une gaine plus ou moins engainante qui embrasse la tige, les stipules faisant habituellement défaut. Sur le plan anatomique, l'ensemble de l'appareil végétatif est parcouru de canaux sécréteurs schizogènes, sièges de l'accumulation des huiles essentielles et des composés aromatiques (Heywood, 1971). C'est cette caractéristique qui fonde, en définitive, l'intérêt de la famille, comme source d'huiles essentielles.

I.3. Appareil reproducteur

L'appareil reproducteur fournit les caractères les plus diagnostiques de la famille. L'inflorescence typique est une ombelle, le plus souvent composée : de l'extrémité de l'axe partent des rayons primaires, chacun portant à son sommet une ombellule de fleurs. À la base de l'ombelle principale peut s'observer un involucre de bractées, et à celle de chaque ombellule un involucelle de bractéoles ; chez certains genres, l'inflorescence se réduit à une ombelle simple ou se condense en capitule, comme chez les *Eryngium* (Judd *et al.*, 2002).

Les fleurs sont petites et nombreuses, généralement actinomorphes, même si les fleurs périphériques peuvent parfois présenter une légère zygomorphie liée à l'agrandissement des pétales externes. Le plus souvent hermaphrodites, la polygamie n'étant toutefois pas rare, elles

sont pentamères et épigynes. Le calice se réduit à cinq petites dents, parfois presque nul ; la corolle compte cinq pétales libres, fréquemment blancs ou jaunes et munis d'un sommet infléchi ; l'androcée comprend cinq étamines alternant avec les pétales. Le gynécée, infère, est formé de deux carpelles soudés délimitant deux loges qui renferment chacune un unique ovule pendant ; il est surmonté de deux styles insérés sur une base renflée et nectarifère, le stylopode (Heywood, 1971).

Le fruit est un schizocarpe, le diakène, ou cremocarpe, qui se sépare à maturité en deux méricarpes monospermes indéhiscent, lesquels restent en règle générale suspendus à un fin axe central bifide, le carpophore. Chaque méricarpe porte des côtes longitudinales et, logées dans les sillons ou dans l'épaisseur du péricarpe, des bandelettes, c'est-à-dire des canaux sécréteurs où s'accumule l'huile essentielle. La morphologie du fruit, en particulier la disposition des côtes et des bandelettes, constitue le principal fondement de la classification au sein de la famille, ce qui souligne une fois encore le lien étroit entre les Apiacées et leur production d'huiles essentielles). La pollinisation, enfin, est essentiellement entomophile, les ombelles à sommet aplati attirant une grande variété d'insectes. (Pimenov et Leonov, 1993 ; Judd *et al.*, 2002).

II. Description de l'espèce *Smyrnum olusatrum*

Après avoir présenté les traits généraux de la famille, on s'attache à présent à l'espèce qui fait l'objet de ce travail, *Smyrnum olusatrum* L., en précisant successivement sa morphologie, sa position systématique, puis sa répartition et son habitat.

II.1. Description botanique

Smyrnum olusatrum est une plante herbacée robuste, glabre et fortement aromatique, à l'odeur évoquant le céleri. C'est une bisannuelle, parfois qualifiée de bisannuelle facultative, et monocarpique : elle développe la première année une rosette de feuilles et une racine de réserve, puis fleurit et fructifie la seconde année avant de dépérir. Sa racine est un pivot tubérisé pouvant atteindre 50 à 60 cm de long, accompagné de racines latérales plus fines proches de la surface du sol. La tige, dressée et robuste, mesure de 50 à 150 cm, exceptionnellement jusqu'à 180 cm, atteint environ 2 cm de diamètre et, d'abord pleine, devient creuse et cannelée au moment de la fructification, ses rameaux supérieurs étant souvent opposés (Randall, 2003).

Les feuilles sont composées, deux à trois fois divisées de façon pennée ou ternée, d'un vert foncé luisant ; leurs segments, ovales à rhombiques et longs de 25 à 80 mm, sont lobés ou

dentés, à dents obtuses et tous pétioleulés. Le pétiole, élargi en une gaine engainante, est renflé, charnu et strié de pourpre, à marges membraneuses vers la base ; les feuilles caulinaires supérieures sont parfois opposées, voire verticillées par trois (**Randall, 2003**).

L'inflorescence est une ombelle composée, terminale ou axillaire, de forme subglobuleuse, portant de quatre à une quinzaine de rayons glabres et cannelés ; l'involucre, lorsqu'il est présent, se réduit à quelques petites bractées peu visibles, et chaque ombellule ne porte que de rares bractéoles. Les fleurs, petites et actinomorphes, comptent cinq pétales jaunâtres à jaune verdâtre, cinq sépales minuscules, cinq étamines et, lorsqu'elles sont fertiles, deux styles. L'espèce est andromonoïque : une même plante porte à la fois des fleurs hermaphrodites et des fleurs mâles, ces dernières étant nettement majoritaires, dans les ombelles terminales, le rapport des fleurs mâles aux fleurs hermaphrodites avoisine quatre pour une, tandis que les ombelles latérales sont surtout mâles (**Lovett-Doust et Harper, 1980 ; Randall, 2003**).

Le fruit est un schizocarpe noirâtre, d'environ 7 à 8 mm, à côtes saillantes, se séparant à maturité en deux méricarpes ; c'est en partie à la couleur sombre de ses graines que l'espèce doit son nom. Les petites fleurs exhalent une odeur douceâtre et sécrètent des composés volatils qui attirent un large éventail d'insectes, surtout des diptères, mais aussi des hyménoptères, assurant une pollinisation dite « généraliste » (**Randall, 2003**). L'ensemble de la plante est par ailleurs parcouru de canaux sécréteurs riches en une huile essentielle à l'odeur caractéristique de myrrhe, qui fait l'objet du présent travail.

II.2. Systématique de l'espèce *Smyrniolum olusatrum*

Smyrniolum olusatrum a été décrite par Linné en 1753, dans le *Species Plantarum* ; le binôme est demeuré inchangé depuis lors, les noms proposés ultérieurement, tel *Smyrniolum maritimum* Salisb. étant tenus pour synonymes (**Linné, 1753 ; Randall, 2003**). Le nom de genre, *Smyrniolum*, dérive du grec *smyrna* (« myrrhe ») et renvoie à l'odeur aromatique de la plante, tandis que l'épithète spécifique *olusatrum*, formée de *olus* (« plante potagère ») et de *atrum* (« noir »), évoque la couleur sombre de ses graines.

L'espèce *Smyrniolum olusatrum* L. appartient au genre *Smyrniolum*, inclus dans la tribu Smyrnieae, au sein de la sous-famille Apioideae, qui constitue la plus importante sous-famille des Apiaceae. Sa position systématique peut être résumée comme suit selon la classification phylogénétique moderne **APG IV (2016)** :

- ▶ Règne : Plantae
- ▶ Clade : Angiospermes
- ▶ Clade : Eudicotylédones
- ▶ Clade : Astéridées
- ▶ Clade : Apiales
- ▶ Famille : Apiaceae
- ▶ Sous-famille : Apioideae
- ▶ Tribu : Smyrnieae
- ▶ Genre : *Smyrnum* L.
- ▶ Espèce : *Smyrnum olusatrum* L.

La sous-famille des Apioideae se reconnaît notamment à ses feuilles fortement divisées, à l'absence de stipules, à ses ombelles composées, à la présence d'un stylopode et à des fruits pourvus d'un endocarpe membraneux et de bandelettes sécrétrices (**Randall, 2003**).

Le genre *Smyrnum* ne comprend qu'un petit nombre d'espèces, réparties dans la région méditerranéenne et en Asie du Sud-Ouest, parmi lesquelles *S. perfoliatum*, *S. cordifolium* ou *S. rotundifolium*. *Smyrnum olusatrum* en demeure, de loin, l'espèce la mieux étudiée, en particulier pour ce qui touche à la composition de son huile essentielle (**Spinozzi et al., 2024**).

Nom vernaculaire en français

- ▶ Maceron
- ▶ Persil alexandre ou Persil de Macédoine

Le nom le plus utilisé en botanique et en ethnobotanique est Maceron.

Nom vernaculaire en arabe

- ▶ المكسرون
- ▶ Dans certains usages populaires ou régionaux : كرفس بري, bien que ce dernier soit parfois utilisé de façon non spécifique pour plusieurs Apiacées sauvages.

II.3. Répartition géographique, origine et habitat

Smyrnum olusatrum est une espèce d'affinité méditerranéenne. Son aire s'étend des pays bordant le bassin méditerranéen jusqu'à sa limite septentrionale en Europe : présente en Europe occidentale et centrale, elle atteint l'Écosse au nord et a pour limite continentale septentrionale le Danemark, étant absente de la Fennoscandie (**Randall, 2003**). En Afrique du Nord, elle se cantonne aux régions méditerranéennes et atlantiques. En Algérie, elle est signalée dans la frange septentrionale du pays, de climat méditerranéen (**Quézel et Santa, 1963**) ; c'est

dans cette zone, et plus précisément dans la région de Tlemcen, qu'a été récolté le matériel étudié dans le présent travail.

L'origine géographique de l'espèce reste discutée. La tradition la rattache à la Méditerranée orientale et à la région d'Alexandrie, d'où ses dénominations anciennes de « persil d'Alexandrie » ou d'« Alexanders », et plusieurs sources la disent originaire d'Égypte, sans que cette origine soit fermement établie. Quoiqu'il en soit, la plante était connue dès l'Antiquité, mentionnée par Théophraste puis par Dioscoride ; c'est aux Romains que l'on doit sa diffusion à travers l'Europe occidentale et centrale, jusqu'aux Îles Britanniques où elle est aujourd'hui pleinement naturalisée (Randall, 2003 ; Spinozzi *et al.*, 2024).

Sur le plan écologique, *Smyrniium olusatrum* affectionne les terrains remaniés et les milieux semi-ouverts : friches, bords de chemins et de voies ferrées, talus et lisières, et surtout les abords du littoral, falaises maritimes, dunes humides et stations proches de la mer, où elle bénéficie d'une certaine protection contre les fortes gelées (Spinozzi *et al.*, 2024). Dans une grande partie de son aire d'introduction, elle se rencontre fréquemment sur d'anciens sites de culture, dont elle constitue un témoin persistant. Son statut de conservation est jugé de préoccupation mineure.



Figure 1 : *Smyrniium olusatrum*, photographie prise dans la région de Aïn Defla - Tlemcen (Mars 2026)

III. Usages traditionnels et ethnobotaniques

L'intérêt porté à *Smyrniium olusatrum* est d'abord d'ordre alimentaire et remonte à l'Antiquité. Connue de Théophraste, puis décrite par Dioscoride dans sa *Materia medica*, la plante a longtemps été cultivée comme légume potager, en particulier par les Romains qui en consommaient les différentes parties : feuilles, pétioles charnus, jeunes pousses, boutons floraux, racines et graines sont tous comestibles et présentent une saveur aromatique proche de celle du céleri (**Randall, 2003 ; Maggi et al., 2012**). Cultivée dans les jardins jusqu'au Moyen Âge et à la Renaissance, elle fut peu à peu supplantée par le céleri cultivé (*Apium graveolens* L.), au point de tomber largement en désuétude (**Spinozzi et al., 2024**).

À ces usages culinaires s'ajoute une longue tradition d'emploi médicinal. La plante a été réputée antiscorbutique, diurétique, stomachique, laxative et dépurative (**Quassinti et al., 2013**) ; on a par ailleurs prêté à ses différentes parties des propriétés anti-inflammatoires et carminatives, ainsi qu'un intérêt dans le traitement de divers troubles digestifs et urinaires. Elle a notamment été employée contre les hémorragies (**Sekkout et al., 2024**). Sa réputation d'antiscorbutique, ancienne et particulièrement répandue chez les gens de mer, trouve un fondement dans sa richesse en acide ascorbique, soulignée par les travaux phytochimiques récents (**Sekkout et al., 2024**).

Longtemps reléguée au rang de « légume oublié », *Smyrniium olusatrum* fait aujourd'hui l'objet d'un regain d'attention, tant pour sa valeur nutritionnelle que pour les activités biologiques attribuées à ses extraits et à son huile essentielle (**Sekkout et al., 2024 ; Spinozzi et al., 2024**). Ce sont précisément ces propriétés, qui motivent l'étude entreprise ici, qu'aborde la section suivante, consacrée à la composition chimique et aux activités biologiques de l'huile essentielle.

IV. Données bibliographiques sur la composition chimique et les activités biologiques de l'huile essentielle

Bien que le maceron (*Smyrniium olusatrum* L.) possède une longue histoire d'usage alimentaire et médicinal, il demeure, sur le plan phytochimique, une espèce relativement peu explorée au regard d'autres Apiacées aromatiques mieux étudiées. Les travaux consacrés à son huile essentielle se sont néanmoins multipliés au cours des trois dernières décennies, portés surtout par des équipes italiennes, grecques et portugaises, et plus ponctuellement par des laboratoires algériens. Ces recherches ont permis de préciser la composition de l'huile, d'en identifier les constituants caractéristiques et d'en explorer les propriétés biologiques, avec un

intérêt croissant pour un furanosesquiterpène particulier, l'isofuranodiène. Un trait domine cependant l'ensemble de cette littérature : une forte variabilité intraspécifique, liée à l'organe analysé, au stade phénologique et à l'origine géographique, qui conditionne aussi bien le profil chimique que les activités mesurées **Mölleken et al., 1998 ; Marongiu et al., 2012 ; Maggi et al., 2012 ; Quassinti et al., 2013 ; Tsasi et al., 2016**. C'est dans ce contexte que s'inscrivent les données rassemblées ci-après, destinées à servir de cadre comparatif à l'étude expérimentale menée sur le matériel végétal de la région de Tlemcen.

IV.1. Composition chimique de l'huile essentielle de *Smyrniolum olusatrum*

L'étude de référence sur la composition de l'huile essentielle de *S. olusatrum* reste celle de **Mölleken et al. (1998)**, qui ont analysé par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG-SM) et par résonance magnétique nucléaire les huiles obtenues par hydrodistillation des différents organes de la plante : fruits verts et mûrs, parties aériennes, fleurs et racines. Leurs résultats mettent en évidence deux profils contrastés. Les racines, les parties aériennes et les fleurs se caractérisent par une forte proportion de sesquiterpènes oxygénés, majoritairement des furanosesquiterpènes, tandis que les fruits, verts comme mûrs, sont dominés par des hydrocarbures monoterpéniques, le β -phellandrène et l' α -pinène en tête. Le furanodiène et l'isofuranogermacrène, ce dernier correspondant à l'isofuranodiène, sont présents dans tous les organes, ce qui en fait des marqueurs chimiques de l'espèce ; la furanoérémophil-1-one constitue le deuxième furanosesquiterpène des racines et des parties aériennes, alors que le 1 β -acétoxyfurano-4(15)-eudesmène apparaît comme un composant notable des fruits. Les auteurs ont par ailleurs isolé de ces derniers un nouveau dérivé furano-eudesmanique, le furano-4(15)-eudesmén-1-one.

La dépendance de la composition vis-à-vis du stade de maturation a été confirmée par **Marongiu et al. (2012)**, qui ont comparé des huiles essentielles de parties aériennes de populations sardes (Italie) et portugaises. Dans cette étude, le β -phellandrène (67,3 % dans l'huile portugaise contre 42,7 % dans l'huile sarde) et l' α -pinène (31,9 % contre 1,2 %) figuraient parmi les composés majoritaires des ombelles, mais leur teneur diminuait au cours de la maturation. À l'inverse, plusieurs furanosesquiterpènes, curzérène, germacrène B, germacrone, alexandrofurane et acétoxyfurano-eudesménènes, voyaient leur proportion augmenter dans les ombelles fructifères. Ce déplacement progressif d'un profil monoterpénique vers un profil sesquiterpénique au fil du développement illustre la nécessité de bien définir le stade de récolte lorsqu'on caractérise cette huile.

Les travaux de l'équipe de Camerino apportent une précision méthodologique essentielle. **Maggi et al. (2012)**, puis **Quassinti et al. (2013)**, ont montré que les populations d'Italie centrale produisent une huile riche en furanosesquiterpènes, dominée par l'isofuranodiène, et ont attiré l'attention sur un artefact analytique fréquent : l'isofuranodiène est une molécule thermolabile qui subit, au cours de l'injection en chromatographie gazeuse, un réarrangement de Cope le transformant en curzérène. Une part du curzérène rapporté dans de nombreuses analyses CG ne reflète donc pas la composition réelle de l'huile mais résulte de la dégradation thermique de l'isofuranodiène ; une quantification fidèle de ces constituants exige le recours à la chromatographie liquide haute performance. Cette observation invite à interpréter avec prudence les teneurs en curzérène publiées et explique une partie des divergences relevées entre études.

En Grèce, **Tsasi et al. (2016)** ont également décrit, pour des plantes croissant spontanément à Céphalonie, une huile essentielle riche en furanosesquiterpènes, dont la proportion variait de 51,66 à 69,35 % selon l'organe, avec la furanoérémophil-1-one, le furanodiène et la germacrone comme constituants principaux. Ce profil rejoint, pour l'essentiel, celui observé sur les organes végétatifs des populations italiennes.

Les données algériennes, plus rares, révèlent des profils sensiblement différents et soulignent l'ampleur de la variabilité géographique. À partir de feuilles et de tiges récoltées dans la région de Constantine, **Daroui-Mokaddem et al. (2010)** ont identifié trente-trois composés représentant 94,3 % de l'huile essentielle, dominée par le sabinène (27,1 %), le curzérène (13,7 %), le méthyl-1-benzyl-2-oxocyclooctane carboxylate (12,3 %), l' α -pinène (7,2 %), le cryptone (7,1 %) et le β -pinène (5,7 %) ; ce profil, marqué par une forte teneur en sabinène, se distingue nettement des chémotypes italiens et grecs. Plus directement pertinente pour le présent travail, l'étude de **Merad et al. (2021)**, conduite à l'Université de Tlemcen sur du matériel récolté dans l'ouest algérien, décrit une huile essentielle de *S. olusatrum* dominée par la furanoérémophilone (31,5 %), l'ensemble furanodiène + curzérène (19,3 %) et le (E)- β -caryophyllène (11 %). Cette huile, issue de la région même que concerne le mémoire, présente donc un profil de type furanosesquiterpénique, ce qui en fait un point de comparaison de première importance pour nos propres résultats.

Au terme de ce panorama, deux grands types de profils se dégagent : un profil à dominante monoterpénique, observé notamment dans les fruits et dans certaines populations méditerranéennes, et un profil à dominante furanosesquiterpénique, caractéristique des organes

végétatifs et floraux ainsi que de plusieurs populations, dont celle de l'ouest algérien. La signature chimiotaxonomique de l'espèce tient avant tout à ses furanosesquiterpènes, isofuranodiène, furanodiène, curzérène, germacrone, furanoérémophil-1-one et acétoxyfuranoeudesmènes, dont les proportions relatives varient fortement selon l'organe, la phénologie, l'origine géographique et, comme on l'a vu, la méthode analytique employée. Cette hétérogénéité a une conséquence directe : les valeurs publiées ne sont pas transposables telles quelles d'une population à l'autre, et toute huile essentielle nouvelle, requiert sa propre caractérisation.

IV.2. Activités biologiques de l'huile essentielle de *Smyrniium olusatrum*

Les propriétés biologiques de l'huile essentielle de *S. olusatrum* et de ses constituants ont fait l'objet d'un nombre croissant d'investigations, portant principalement sur les activités antioxydante, anti-inflammatoire, antiproliférative, antimicrobienne, antiparasitaire et insecticide. L'isofuranodiène s'y impose régulièrement comme le principal vecteur d'activité.

IV.2.1. Activité antioxydante

L'activité antioxydante de l'huile essentielle a surtout été évaluée par **Quassinti et al. (2013)**, qui ont soumis les huiles de différents organes à trois tests complémentaires, piégeage du radical DPPH, test ABTS et pouvoir réducteur ferrique (FRAP), et y ont mis en évidence une capacité de piégeage des radicaux libres. Parmi les furanosesquiterpènes isolés et testés individuellement, l'isofuranodiène et le 1 β -acétoxyfuranoeudesm-4(15)-ène se sont révélés les plus actifs. Cette activité demeure néanmoins modérée, ce qui est cohérent avec le comportement habituel des huiles essentielles à dominante terpénique, généralement moins performantes sur ce plan que les fractions riches en composés phénoliques. Il faut surtout souligner que les données quantitatives comparables relatives au pouvoir antioxydant de l'huile entière restent peu nombreuses et hétérogènes : sur cet axe précis, *S. olusatrum* demeure insuffisamment étudié, et l'absence de valeurs de CI₅₀ consolidées pour l'huile essentielle constitue une limite qu'il convient de signaler plutôt que de combler par des données empruntées à d'autres matrices ou à d'autres espèces.

IV.2.2. Activité anti-inflammatoire

L'usage traditionnel des feuilles et des fruits du maceron contre certains troubles inflammatoires fournit une première justification ethnobotanique à la recherche d'une activité anti-inflammatoire. Les données expérimentales disponibles concernent cependant l'isofuranodiène isolé, étudié dans des modèles animaux. **Li et al. (2016)** ont montré que

l'administration orale d'isofuranodiène (20 et 50 mg/kg) protégeait le rat contre une atteinte hépatique induite par la D-galactosamine et le lipopolysaccharide : le composé réduisait l'élévation sérique des transaminases (ASAT et ALAT) et du malondialdéhyde, améliorait l'aspect histologique du foie et diminuait l'expression hépatique des ARN messagers de l'interleukine-1 β , de l'interleukine-6 et de la NO-synthase inductible, témoignant d'un effet à la fois anti-inflammatoire et hépatoprotecteur. Dans un autre modèle, **Yousefi-Manesh et al. (2021)** ont rapporté qu'un prétraitement par l'isofuranodiène (10 mg/kg, par voie intrapéritonéale) protégeait le rat contre un accident vasculaire cérébral ischémique aigu, en abaissant les taux des cytokines pro-inflammatoires interleukine-1 β et TNF- α , l'activation de la voie NF- κ B et le malondialdéhyde, tout en favorisant une meilleure récupération neurologique ; les auteurs soulignent que la nature lipophile et la petite taille de la molécule lui permettent de franchir la barrière hémato-encéphalique.

Ces résultats, encourageants, appellent toutefois une réserve importante : ils portent sur le furanosesquiterpène isolé, et non sur l'huile essentielle complète, dont l'activité anti-inflammatoire propre n'a, à notre connaissance, pas fait l'objet d'évaluations directes. Dans la mesure où l'isofuranodiène est un constituant, souvent majoritaire, de l'huile, ces données suggèrent un potentiel anti-inflammatoire de cette dernière sans pour autant le démontrer. Ce décalage entre l'activité bien documentée du composé isolé et l'absence d'étude sur l'huile entière constitue une lacune notable de la littérature, qui limite là encore toute extrapolation directe.

IV.2.3. Autres activités biologiques

Sur le plan antiprolifératif, l'huile essentielle de *S. olusatrum* compte parmi les activités les mieux documentées. **Quassinti et al. (2013)** ont observé un effet cytotoxique de l'huile sur plusieurs lignées tumorales humaines, avec des valeurs de CI₅₀ de l'ordre de 8,5 μ g/mL sur le carcinome colique (HCT116), 13,4 μ g/mL sur le glioblastome et 14,8 μ g/mL sur l'adénocarcinome mammaire, l'activité étant corrélée à la teneur en furanosesquiterpènes. **Quassinti et al. (2014)** ont précisé que l'huile d'inflorescences et l'isofuranodiène induisaient l'apoptose des cellules HCT116, avec des CI₅₀ respectives de 10,71 et 15,06 μ g/mL. Enfin, **Brunetti et al. (2019)** ont montré que l'isofuranodiène agissait en synergie avec le témozolomide pour induire la mort de cellules de gliome, ce qui ouvre la voie à un éventuel intérêt en cancérologie.

L'activité antimicrobienne et antifongique de *Smyrnum olusatrum* a été explorée par plusieurs auteurs à travers différentes approches expérimentales. **Marongiu et al. (2012)** ont mis en évidence une activité antifongique des huiles essentielles issues de populations italiennes et portugaises, testées principalement contre des champignons phytopathogènes tels que *Aspergillus niger* et *Candida albicans*, avec des effets inhibiteurs variables selon la composition chimique des huiles et les lots analysés. **Tsasi et al. (2016)**, en étudiant des souches fongiques similaires, ont montré que certains composés isolés, notamment le furanoérémophil-1-one, le furanodiène et la germacrone, présentaient une activité antifongique supérieure à celle de l'huile essentielle brute, suggérant un effet de dilution ou d'antagonisme entre constituants dans l'huile entière.

Sur le plan antibactérien, **Daroui-Mokaddem et al. (2010)** ont observé une sensibilité plus marquée des bactéries à Gram positif, notamment *Staphylococcus aureus* et *Bacillus subtilis*, par rapport aux bactéries à Gram négatif telles que *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*, ces dernières étant globalement plus résistantes. **Merad et al. (2021)**, dans une étude réalisée sur une huile essentielle provenant de l'ouest algérien, ont rapporté une activité antibactérienne et antifongique notable, avec une inhibition significative de *Fusarium oxysporum* et de certaines souches bactériennes testées, bien que les niveaux d'activité aient varié selon les concentrations utilisées et les méthodes d'évaluation (diffusion sur disque et détermination de la concentration minimale inhibitrice, MIC).

Ces résultats restent toutefois hétérogènes entre les études, en lien avec les différences de composition chimique des huiles essentielles, mais également avec les protocoles microbiologiques utilisés, les souches testées et les conditions expérimentales.

L'huile et ses constituants présentent également un intérêt antiparasitaire. **Petrelli et al. (2017)** ont évalué les huiles essentielles de *S. olusatrum* contre *Trypanosoma brucei*, agent de la trypanosomiase humaine africaine, et ont mesuré une activité inhibitrice notable (CI₅₀ comprises entre 1,9 et 4,0 µg/mL), le constituant le plus actif étant l'isofuranodiène (CI₅₀ de 0,65 µg/mL), la germacrone se révélant pour sa part inactive. Antérieurement, **El-On et al. (2009)** avaient signalé une activité antileishmanienne au sein d'un ensemble de plantes israéliennes incluant *S. olusatrum*.

Enfin, le potentiel insecticide et acaricide de l'huile a suscité un intérêt particulier dans une perspective agronomique. **Benelli et al. (2017)** ont montré que l'isofuranodiène et la germacrone exerçaient une activité acaricide et inhibaient la ponte de l'acarien *Tetranychus*

urticae, ravageur polyphage majeur ; pour pallier l'instabilité thermique et l'oxydation de l'isofuranodiène, les auteurs ont eu recours à une stabilisation chimique du composé. Dans le même esprit, **Pavela *et al.* (2019)** ont développé des microémulsions d'isofuranodiène en vue d'une utilisation comme larvicides contre les moustiques vecteurs.

Un fil conducteur traverse l'ensemble de ces travaux : l'isofuranodiène apparaît comme le principal responsable de la plupart des activités décrites, et celles-ci suivent globalement la teneur en furanosesquiterpènes de l'huile. Il reste que *S. olusatrum* demeure une espèce relativement peu étudiée, que les données publiées sont hétérogènes, organes, origines géographiques et méthodes analytiques différents, et que nombre de résultats *in vivo* reposent sur le composé isolé plutôt que sur l'huile essentielle entière.

Deuxième partie

Matériels et méthodes

La présente partie expose la démarche expérimentale suivie pour l'obtention et la caractérisation de l'huile essentielle de *Smyrnum olusatrum* L. Elle précise d'abord l'origine et les conditions de préparation du matériel végétal, puis détaille le procédé d'extraction par hydrodistillation ainsi que le mode de calcul des rendements. Enfin, cette section se termine par les protocoles relatifs à l'évaluation des activités biologiques.

I. Matériel végétal

Le matériel végétal étudié correspond à la partie aérienne de *Smyrnum olusatrum* L. (Apiacées), récoltée dans la région de Tlemcen, au nord-ouest de l'Algérie. Afin de tenir compte de la variabilité liée aux conditions stationnelles, l'échantillonnage a été réparti sur six stations distinctes : Aïn Defla, Aïn Fezza, Mansourah, Zarifet, Aïn Kebira et Remchi. Dans chacune de ces stations, six échantillons ont été prélevés, soit un total de trente-six échantillons.

La récolte a été réalisée à la fin du mois de Mars 2026, où la plante était en stade de pleine floraison à début de fructification. Pour chaque échantillon, les différents organes, tiges, feuilles, fleurs et fruits, ont été séparés en vue d'une extraction conduite organe par organe.

Immédiatement après la récolte, le matériel a été mis à sécher à température ambiante pendant une durée de deux à trois semaines, à l'abri de la lumière et de l'humidité. Ce séchage doux vise à préserver l'intégrité des constituants volatils, sensibles à la chaleur, à la lumière et à l'oxydation, et donc à limiter les pertes ou les altérations susceptibles d'affecter le rendement et la composition de l'huile essentielle.

II. Extraction des huiles essentielles

L'huile essentielle a été extraite par hydrodistillation au moyen d'un appareil de type Clevenger (**Clevenger, 1928**). Ce procédé, considéré comme la méthode de référence pour l'obtention des huiles essentielles, repose sur l'entraînement des composés volatils par la vapeur d'eau : le matériel végétal est immergé dans l'eau portée à ébullition ; les vapeurs chargées en molécules odorantes sont entraînées puis condensées ; l'huile essentielle, non miscible à l'eau et de densité le plus souvent inférieure à celle-ci, se sépare alors par décantation et se recueille dans la partie graduée de l'appareil.

L'extraction a été conduite séparément selon les organes de la plante. Pour chaque station, les tiges et les feuilles de chacun des six échantillons ont fait l'objet d'une hydrodistillation individuelle, soit six extractions distinctes par station. En revanche, en raison

de la faible biomasse disponible, les fleurs des six échantillons d'une même station ont été regroupées en un lot unique, et il en a été de même pour les fruits. Pour chaque station, une extraction a donc porté sur l'ensemble des fleurs regroupées et une autre sur l'ensemble des fruits regroupés. Ce regroupement a permis de disposer d'une quantité de matière suffisante pour mener à bien l'hydrodistillation des organes reproducteurs.

Pour chaque extraction, l'hydrodistillation a été maintenue pendant deux heures. Les huiles essentielles recueillies, et pour éviter leur dégradation, due à l'action de l'air ou de la lumière, elles ont été conservées à 4°C dans l'obscurité.

III. Calcul des rendements en huile essentielle

Le rendement en huile essentielle a été déterminé pour chaque extraction, par rapport à la masse de matière végétale sèche, selon la relation suivante :

$$R (\%) = (M_{HE} / M_v) \times 100$$

où R désigne le rendement exprimé en pourcentage (% m/m), M_{HE} la masse d'huile essentielle obtenue (en g) et M_v la masse de matière végétale sèche soumise à l'hydrodistillation (en g).

Le rendement étant rapporté à la matière sèche, les valeurs obtenues demeurent comparables d'une station à l'autre et d'un organe à l'autre. Les rendements relatifs aux tiges et feuilles, aux fleurs et aux fruits des différentes stations sont présentés et discutés dans la troisième partie de ce mémoire.

IV. Étude des activités biologiques de l'huile essentielle de *Smyrniolum olusatrum*

Deux activités biologiques de l'huile essentielle de *Smyrniolum olusatrum* ont été évaluées in vitro : son pouvoir antioxydant, mesuré par le piégeage du radical DPPH●, et son pouvoir anti-inflammatoire, estimé par l'inhibition de la dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine.

Les essais ont porté sur les huiles essentielles obtenues pour chaque station. Pour les organes végétatifs, les huiles essentielles des tiges et des feuilles issues des six échantillons d'une même station ont été réunies, de manière à disposer d'une quantité suffisante pour la réalisation des tests ; les huiles essentielles des fleurs et des fruits, déjà obtenues à partir d'un regroupement des six échantillons lors de l'extraction, ont été soumises aux mêmes essais. Chaque station a ainsi fourni trois huiles essentielles distinctes, tiges et feuilles, fleurs, fruits, évaluées séparément.

IV.1. Activité antioxydante de l'huile essentielle

Le stress oxydant, lié à une production excessive de radicaux libres, est impliqué dans l'altération de nombreuses biomolécules et dans le développement de divers processus pathologiques ; l'évaluation du pouvoir antioxydant des huiles essentielles revêt donc un intérêt particulier. Dans ce travail, ce pouvoir a été évalué par la méthode de piégeage du radical libre DPPH●, selon le protocole décrit par **Benhammou *et al.* (2007)**.

Principe : Le DPPH● (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) est un radical libre stable, de couleur violette intense en solution éthanolique et présentant un maximum d'absorption au voisinage de 515 nm. En présence d'un composé capable de lui céder un atome d'hydrogène ou un électron, le radical est réduit en sa forme stable non radicalaire (DPPH-H), ce qui se traduit par le virage de la coloration du violet vers le jaune pâle et, par conséquent, par une diminution de l'absorbance. L'ampleur de cette décroissance est proportionnelle à la capacité de l'échantillon à neutraliser le radical et constitue donc une mesure directe de son activité antiradicalaire.

Intérêt : La méthode au DPPH● compte parmi les tests les plus employés pour l'évaluation *in vitro* de l'activité antioxydante des extraits végétaux et des huiles essentielles, en raison de sa simplicité, de sa rapidité et de sa bonne reproductibilité. Conduite sur une gamme de concentrations, elle permet d'établir une relation dose-réponse, de comparer les échantillons entre eux et de déterminer la concentration inhibitrice médiane (CI₅₀), définie comme la concentration d'huile essentielle réduisant de moitié la quantité initiale de radical.

Réactifs et solutions : Une solution éthanolique de DPPH● à 0,030 g/L a été préparée et conservée à l'abri de la lumière. À partir de chaque huile essentielle, une gamme de huit concentrations décroissantes a été obtenue par dilutions successives : 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4 et 2 mg/mL.

Préparation des mélanges réactionnels : Pour chaque concentration, 50 µL de la solution d'huile essentielle ont été ajoutés à 1,95 mL de la solution éthanolique de DPPH●. À chaque concentration a été associé un blanc, destiné à corriger l'absorbance propre de l'huile essentielle à 515 nm, dans lequel la solution de DPPH● était remplacée par de l'éthanol. Parallèlement, un contrôle négatif, correspondant à l'absorbance maximale du radical en l'absence d'antioxydant, a été préparé en mélangeant 50 µL d'éthanol et 1,95 mL de la solution éthanolique de DPPH●.

Incubation et mesure spectrophotométrique : Les mélanges ont été incubés à l'obscurité, à température ambiante, pendant 30 minutes. L'absorbance a ensuite été mesurée à 515 nm au moyen d'un spectrophotomètre.

Expression des résultats : L'activité antiradicalaire a été exprimée en pourcentage d'inhibition du radical DPPH●, calculé selon la relation suivante :

$$\% \text{ d'inhibition} = [(Abs_{\text{contrôle}} - Abs_{\text{échantillon}}) / Abs_{\text{contrôle}}] \times 100$$

où $Abs_{\text{contrôle}}$ désigne l'absorbance du contrôle négatif et $Abs_{\text{échantillon}}$ l'absorbance de l'huile essentielle testée, corrigée par celle de son blanc. Les pourcentages d'inhibition obtenus aux différentes concentrations ont permis de tracer la courbe dose-réponse et d'en déduire la CI_{50} de chaque huile essentielle.

IV.2. Activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle

L'inflammation s'accompagne fréquemment d'une dénaturation des protéines tissulaires, et l'aptitude d'une substance à prévenir cette dénaturation est considérée comme un indicateur de son potentiel anti-inflammatoire. Sur cette base, l'activité anti-inflammatoire in vitro des huiles essentielles a été évaluée par la méthode d'inhibition de la dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine (BSA), selon le protocole décrit par **Williams *et al.* (2008)**, avec de légères modifications.

Principe : Le test repose sur le principe selon lequel l'exposition de la BSA à une température modérée provoque sa dénaturation, entraînant la perte de sa structure native et l'agrégation des protéines, à l'origine d'une augmentation de la turbidité du milieu réactionnel ; cette turbidité se traduit par une élévation de l'absorbance mesurée au spectrophotomètre. Ainsi, un milieu fortement trouble traduit une dénaturation importante de la BSA, signe d'une activité protectrice nulle ou faible, tandis qu'un milieu clair ou faiblement trouble témoigne d'une stabilisation de la structure protéique, donc d'une inhibition de la dénaturation et d'une activité anti-inflammatoire potentielle.

Réactifs et solutions : Une solution de BSA à 2 % (m/v) a été préparée en dissolvant 0,2 g de BSA dans 100 mL de tampon phosphate (pH = 6,3). Les solutions d'huile essentielle ont été préparées dans un mélange eau distillée / DMSO à 5 % (v/v), assurant une solubilisation satisfaisante tout en limitant l'effet du solvant ; une gamme de concentrations a été établie : 1600, 800, 400, 200, 100, 50, 25 et 12,5 µg/mL. La concentration finale de DMSO dans le

milieu réactionnel était de 1,67 % (v/v) pour l'ensemble des tubes, échantillons comme contrôles.

Préparation des tubes réactionnels : Pour chaque concentration, quatre tubes ont été préparés. Le tube test associait 0,5 mL de solution d'huile essentielle à 1,0 mL de solution de BSA à 2 %. Le blanc de l'échantillon, destiné à corriger l'absorbance propre de l'huile, réunissait 0,5 mL de solution d'huile essentielle et 1,0 mL de tampon phosphate, sans BSA. Le contrôle négatif, correspondant à la dénaturation maximale en l'absence d'huile, était constitué de 0,5 mL du mélange eau–DMSO (5 %) et de 1,0 mL de solution de BSA à 2 %. Enfin, le blanc du contrôle négatif comprenait 0,5 mL du mélange eau–DMSO (5 %) et 1,0 mL de tampon phosphate, sans BSA.

Incubation et induction de la dénaturation : Les mélanges réactionnels ont d'abord été incubés à 37 °C pendant 10 minutes, afin de favoriser les interactions entre les constituants de l'huile et la protéine. La dénaturation de la BSA a ensuite été induite par chauffage à 57 °C pendant 5 minutes, condition couramment retenue dans les essais de stabilisation protéique car elle assure une dénaturation contrôlée et reproductible. Après chauffage, les tubes ont été ramenés à température ambiante avant la lecture.

Mesure spectrophotométrique : L'absorbance a été mesurée à 660 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible, en utilisant les blancs correspondants pour corriger les interférences dues à la couleur ou à la turbidité propres aux échantillons et au solvant. L'ensemble des analyses a été réalisé en double ($n = 2$).

Expression des résultats : L'activité anti-inflammatoire a été exprimée en pourcentage d'inhibition de la dénaturation de la BSA, selon la formule suivante :

$$\% \text{ d'inhibition} = [(Abs_{\text{contrôle}} - Abs_{\text{échantillon}}) / Abs_{\text{contrôle}}] \times 100$$

où $Abs_{\text{contrôle}}$ représente l'absorbance du contrôle négatif (dénaturation maximale, en l'absence d'huile essentielle) et $Abs_{\text{échantillon}}$ l'absorbance de l'huile essentielle testée, corrigée par son blanc.

Troisième partie

Résultats et discussion

La présente section est consacrée à l'exposition des résultats obtenus ainsi qu'à leur discussion à la lumière des données de la littérature scientifique. Dans un premier temps, les résultats relatifs à l'extraction des huiles essentielles sont présentés, en mettant en évidence les différentes fractions obtenues. Ensuite, le calcul des rendements d'extraction est abordé afin d'évaluer l'efficacité du procédé d'hydrodistillation utilisé. Enfin, une attention particulière est accordée à l'étude des activités biologiques de l'huile essentielle, notamment ses propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. Les résultats obtenus sont analysés et discutés en comparaison avec les données bibliographiques existantes, afin de situer l'activité de l'espèce étudiée et de mieux comprendre son potentiel biologique.

I. Extraction des huiles essentielles

Les huiles essentielles de *Smyrniium olusatrum* ont été extraites par hydrodistillation, selon le protocole décrit dans la partie « Matériels et méthodes », à partir du matériel végétal récolté dans six stations de la région de Tlemcen : Aïn Defla, Aïn Fezza, Mansourah, Zarifet, Aïn Kebira et Remchi. Pour chaque station, l'extraction a été conduite séparément sur les différents organes de la plante, à savoir les tiges et les feuilles d'une part, les fruits et les fleurs d'autre part.

Les huiles recueillies se présentent sous la forme d'un liquide d'une couleur jaune clair. Une fois obtenues, elles ont été pesées puis conservées à 4 °C à l'abri de la lumière jusqu'aux analyses ultérieures. Les masses ainsi déterminées ont servi de base au calcul des rendements présentés dans la section suivante.

II. Calcul des rendements

Le rendement en huile essentielle, exprimé en pourcentage par rapport à la masse de matière végétale, a été déterminé pour chaque organe et chaque station. Les valeurs obtenues pour les tiges et les feuilles sont rassemblées dans le tableau 1, et celles relatives aux fruits et aux fleurs dans le tableau 2.

Tableau 1: Rendements en huile essentielle des tiges et feuilles de *Smyrniium olusatrum* selon la station de récolte

Stations	Moy $\pm$ ET ^a (%)	Min ^b	Max ^c
Aïn Defla	0,041 $\pm$ 0,004	0,033	0,046
Aïn Fezza	0,046 $\pm$ 0,005	0,038	0,052
Mansourah	0,035 $\pm$ 0,002	0,032	0,037
Zarifet	0,034 $\pm$ 0,008	0,021	0,042
Aïn Kebira	0,057 $\pm$ 0,006	0,047	0,065
Remchi	0,054 $\pm$ 0,016	0,028	0,073

^a Moy $\pm$ ET: Moyenne $\pm$ Ecart type. ^b Min : Minimum. ^c Max : Maximum.

Pour les tiges et les feuilles, les rendements moyens s'échelonnent entre 0,034 $\pm$ 0,008 % à la station de Zarifet jusqu'à 0,057 $\pm$ 0,006 % à la station de Aïn Kebira, les valeurs individuelles extrêmes étant comprises entre 0,021 % et 0,073 %. Les fruits affichent des rendements de 0,044 à 0,124 %, la teneur la plus élevée étant enregistrée à Remchi, tandis que les fleurs fournissent les rendements les plus réguliers d'une station à l'autre, compris entre 0,058 à 0,074 %.

Tableau 2 : Rendements en huile essentielle des fruits et des fleurs de *Smyrniium olusatrum* selon la station de récolte

Stations	Rendements Fruits (%)	Rendements Fleurs (%)
Aïn Defla	0,049	0,074
Aïn Fezza	0,046	0,064
Mansourah	0,044	0,062
Zarifet	0,049	0,058
Aïn Kebira	0,063	0,062
Remchi	0,124	0,072

Il ressort de ces données que les organes reproducteurs, fleurs et fruits, donnent des rendements généralement supérieurs à ceux des parties végétatives que sont les tiges et les feuilles. Une variabilité entre stations se dessine également : Aïn Kebira et Remchi se distinguent par les rendements les plus élevés, alors que Zarifet et Mansourah comptent parmi les plus faibles. L'écart-type relativement important relevé à Remchi pour les tiges et feuilles (0,054 $\pm$ 0,016 %) traduit par ailleurs une certaine hétérogénéité entre les échantillons d'une

même station. Ces variations, liées à la fois à l'organe considéré et à la station, rejoignent le constat, largement établi dans la littérature, d'une forte variabilité des huiles essentielles de *Smyrniium olusatrum* selon l'organe, le stade de développement et l'origine géographique des plantes (Marongiu *et al.*, 2012 ; Messaoud *et al.*, 2013).

Les rendements mesurés demeurent dans l'ensemble faibles. Ils se situent toutefois dans le même ordre de grandeur que ceux rapportés pour la même espèce dans la région de Tlemcen par Merad *et al.* (2021), qui ont obtenu des valeurs allant de 0,004 à 0,02 % à partir d'échantillons de racines et de tiges, respectivement. En revanche, ils sont nettement inférieurs aux teneurs observées dans d'autres organes de la plante. Ainsi, Daroui-Mokaddem *et al.* (2010) ont rapporté un rendement de 1,2 % pour l'huile essentielle extraite des feuilles de *Smyrniium olusatrum*, tandis que Marongiu *et al.* (2012) ont obtenu 0,4 % pour les fleurs et 0,5 à 0,6 % pour les fruits mûrs provenant d'Italie et du Portugal. Ces valeurs sont plusieurs fois supérieures à celles obtenues dans la présente étude. Un tel écart pourrait être attribué à plusieurs facteurs, notamment l'organe végétal étudié, les conditions pédoclimatiques, le patrimoine génétique des populations ainsi que l'état physiologique du matériel végétal au moment de la récolte et de la distillation. Cette interprétation doit toutefois être considérée avec prudence, l'espèce demeurant encore relativement peu étudiée et les données disponibles en Algérie restant limitées (Daroui-Mokaddem *et al.*, 2010 ; Merad *et al.*, 2021).

III. Étude des activités biologiques de l'huile essentielle de *Smyrniium olusatrum*

Afin d'évaluer leur potentiel biologique, les huiles essentielles de *Smyrniium olusatrum* de trois ensembles d'organes, tiges et feuilles, fruits et fleurs, provenant de six stations de la région de Tlemcen (Aïn Defla, Aïn Fezza, Mansourah, Zarifet, Aïn Kebira et Remchi) ont été soumises à des essais d'activité antioxydante et anti-inflammatoire. Les résultats obtenus, selon les protocoles décrits dans la section « Matériels et méthodes », sont présentés et discutés ci-après.

III.1. Étude de l'activité antioxydante

L'activité antioxydante des huiles essentielles a été appréciée par la détermination de la concentration inhibitrice médiane (CI₅₀), c'est-à-dire la concentration d'huile nécessaire pour réduire de moitié la quantité de radical libre présente dans le milieu réactionnel. Une valeur de CI₅₀ faible traduit donc une activité antioxydante élevée. Les courbes dose-réponse établies pour chaque échantillon sont reportées dans les figures 2 à 4, et les valeurs de CI₅₀ correspondantes figurent dans les tableaux 3 à 5.

Tableau 3 : Valeurs des CI_{50} des huiles essentielles des tiges et feuilles de *Smyrniium olusatrum* selon la station de récolte

Stations	CI_{50} mg/mL
Aïn Defla	$44,36 \pm 0,27$
Aïn Fezza	$74,74 \pm 0,38$
Mansourah	$84,17 \pm 0,19$
Zarifet	$75,76 \pm 0,51$
Aïn Kebira	$67,16 \pm 0,45$
Remchi	$60,49 \pm 0,15$
Acide ascorbique (Standard)	$0,00221 \pm 0,00041$

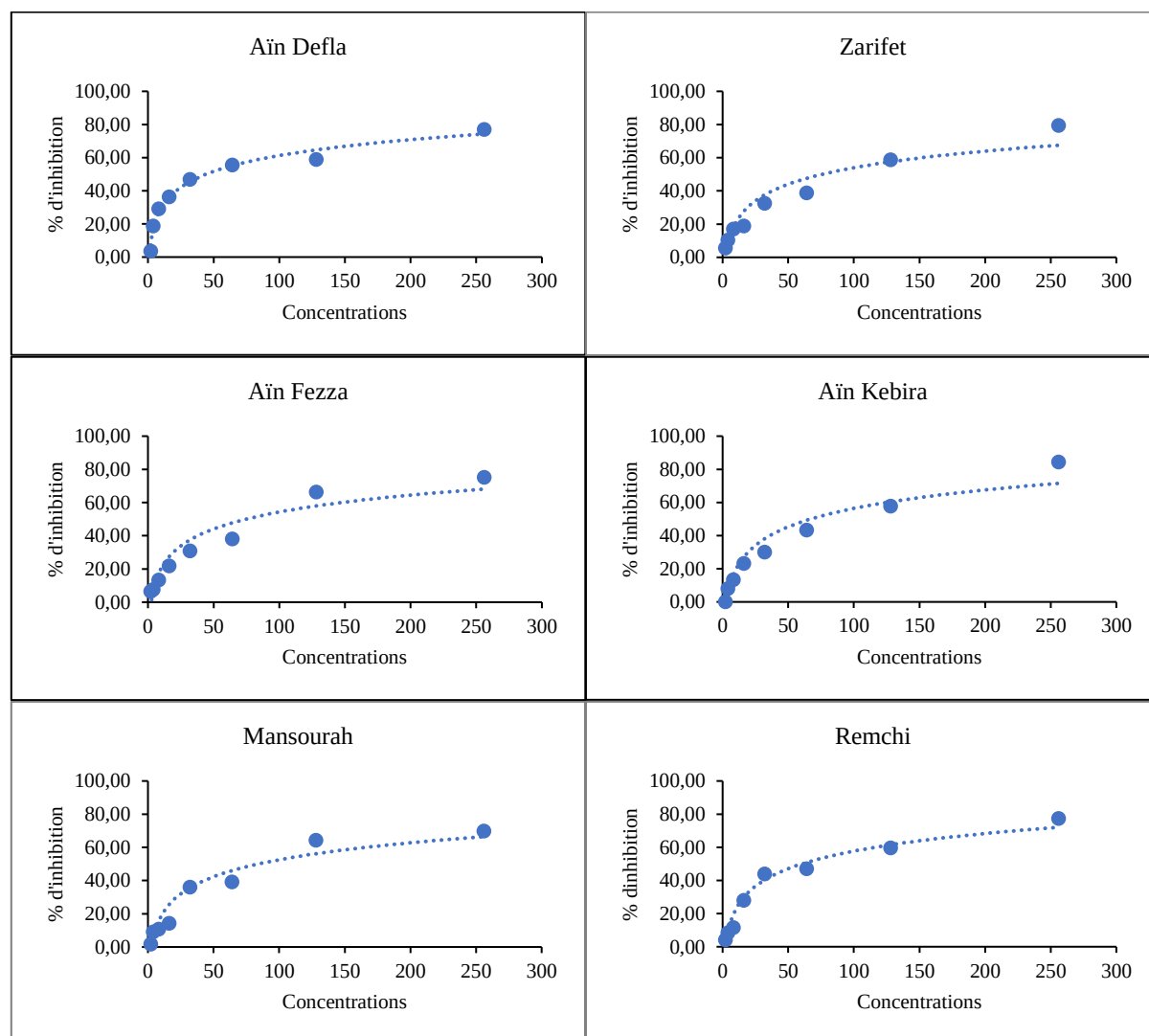
**Figure 2 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des tiges et feuilles de *Smyrniium olusatrum* selon la station de récolte**

Tableau 4 : Valeurs de CI_{50} des huiles essentielles des fruits de *Smyrniurn olusatrum* selon la station de récolte

Stations	CI_{50} mg/mL
Aïn Defla	$38,65 \pm 0,42$
Aïn Fezza	$46,93 \pm 0,88$
Mansourah	$29,92 \pm 0,23$
Zarifet	$29,40 \pm 0,74$
Aïn Kebira	$32,96 \pm 0,85$
Remchi	$35,27 \pm 0,25$
Acide ascorbique (Standard)	$0,00221 \pm 0,00041$

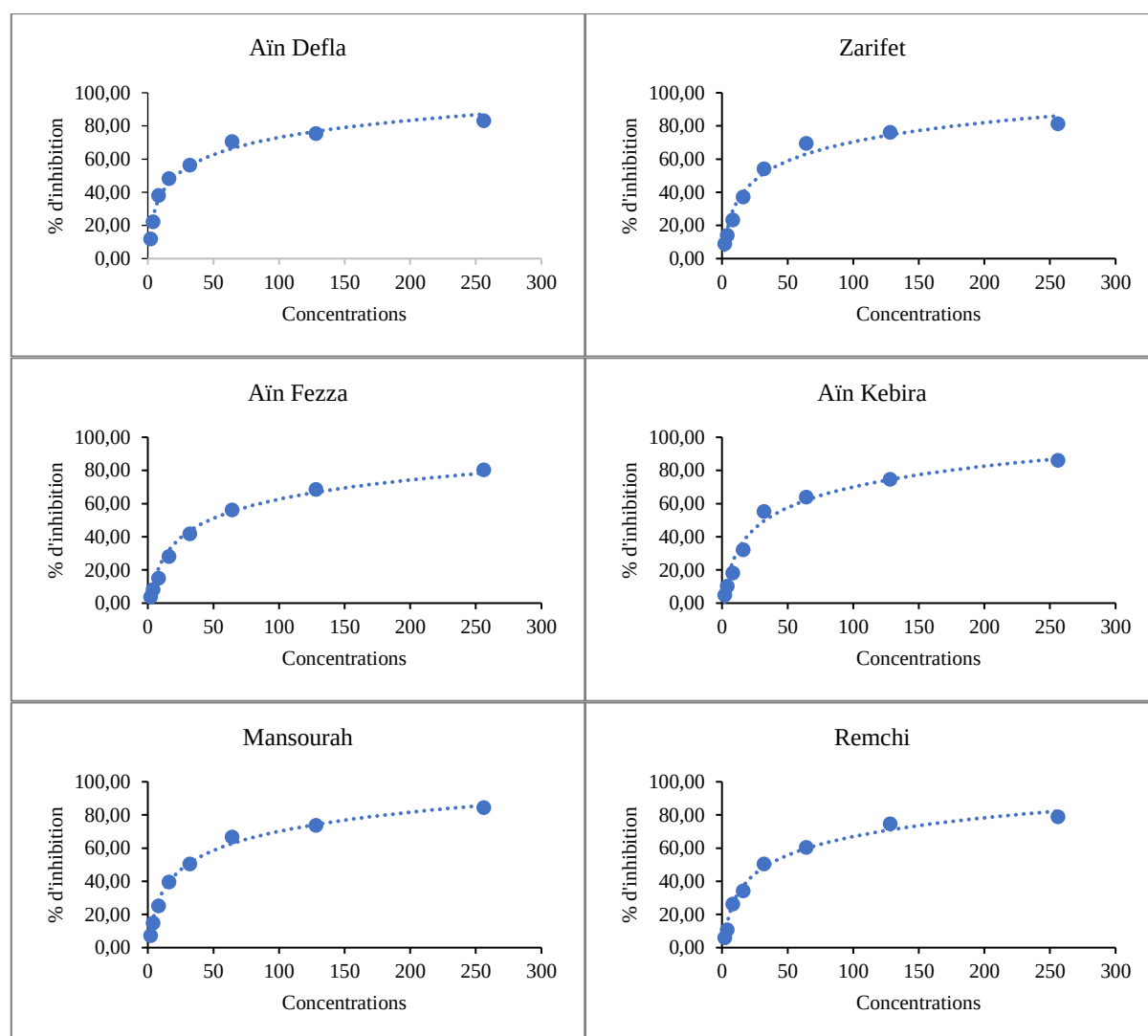
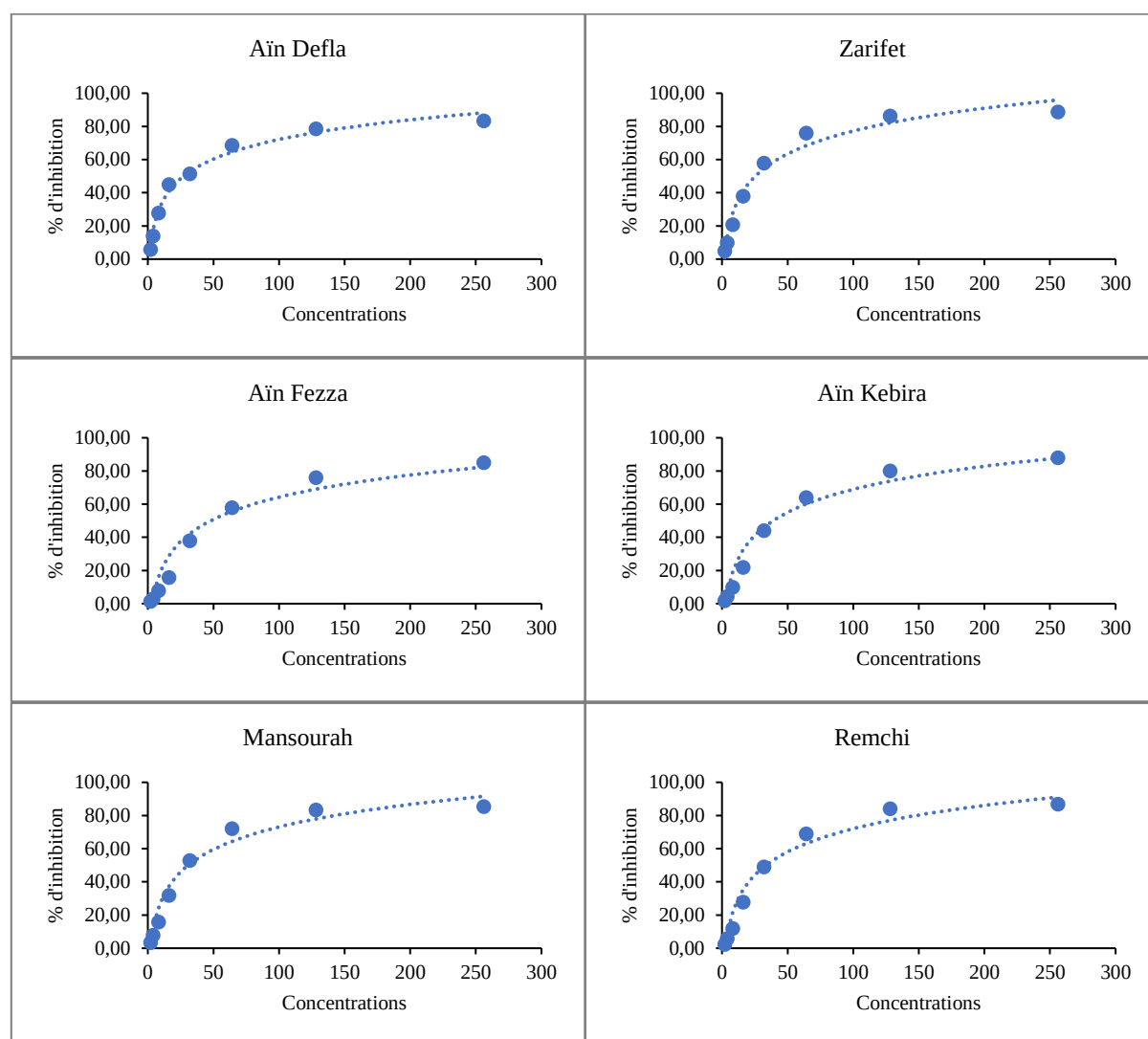
**Figure 3 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des fruits de *Smyrniurn olusatrum* selon la station de récolte**

Tableau 5 : Valeurs de CI₅₀ des huiles essentielles des fleurs de *Smyrniurn olusatrum* selon la station de récolte

Stations	CI ₅₀ mg/mL
Aïn Defla	27,43 ± 0,71
Aïn Fezza	47,97 ± 0,66
Mansourah	30,78 ± 0,45
Zarifet	25,39 ± 0,94
Aïn Kebira	38,87 ± 0,36
Remchi	33,57 ± 0,75
Acide ascorbique (Standard)	0,00221 ± 0,00041

**Figure 4 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des fleurs de *Smyrniurn olusatrum* selon la station de récolte**

L'examen des valeurs de CI_{50} met en évidence une activité antioxydante variable selon l'organe étudié. Les huiles essentielles issues des fleurs et des fruits se révèlent les plus actives, avec des CI_{50} comprises respectivement entre $25,39 \pm 0,94$ et $47,97 \pm 0,66$ mg/mL et entre $29,40 \pm 0,74$ et $46,93 \pm 0,88$ mg/mL. À l'inverse, les huiles des tiges et des feuilles présentent les valeurs les plus élevées, comprises entre $44,36 \pm 0,27$ et $84,17 \pm 0,19$ mg/mL, traduisant une capacité plus faible à piéger le radical DPPH. À l'échelle des stations prospectées, les fleurs et les fruits de Zarifet se distinguent par les meilleures performances antioxydantes, avec les CI_{50} les plus faibles ($25,39 \pm 0,94$ et $29,40 \pm 0,74$ mg/mL respectivement), tandis que les tiges et les feuilles de Mansourah affichent la valeur la plus élevée ($84,17 \pm 0,19$ mg/mL).

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Messaoud et al. (2013)**, qui ont évalué l'activité antioxydante de l'huile essentielle de *Smyrniolum olusatrum* de Tunisie par le test DPPH. Ces auteurs ont obtenu des CI_{50} de 40,68 mg/mL pour les fleurs, 47,97 mg/mL pour les fruits et 48,32 mg/mL pour les feuilles, la fraction florale étant également la plus active. Cette concordance, tant dans les valeurs obtenues que dans la hiérarchie observée entre les différents organes, renforce la fiabilité des résultats de la présente étude.

La meilleure activité des huiles essentielles de fleurs et de fruits pourrait être liée à leur composition chimique spécifique. Chez *S. olusatrum*, plusieurs auteurs ont attribué l'activité antioxydante principalement aux furanosesquiterpènes, qui constituent souvent la fraction majoritaire de l'huile essentielle, mais également à la présence de monoterpènes hydrocarbonés et à d'éventuels effets synergétiques entre les différents constituants (**Messaoud et al., 2013 ; Quassinti et al., 2013**). Cette hypothèse demeure toutefois à confirmer par une caractérisation détaillée de la composition chimique des huiles étudiées par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-SM).

La comparaison avec l'antioxydant de référence met clairement en évidence la faible efficacité relative des huiles essentielles étudiées. En effet, l'acide ascorbique a présenté une CI_{50} de $0,00221 \pm 0,00041$ mg/mL, soit une activité antioxydante très largement supérieure à celle des huiles essentielles de *S. olusatrum*. Ainsi, même l'huile la plus active de cette étude, issue des fleurs de Zarifet ($CI_{50} = 25,39 \pm 0,94$ mg/mL), se révèle largement moins efficace que l'acide ascorbique. Cette différence considérable confirme le caractère modéré de l'activité antioxydante des huiles essentielles de *S. olusatrum*, dont les CI_{50} se situent dans l'ordre de plusieurs dizaines de milligrammes par millilitre, alors que les antioxydants de référence présentent généralement des valeurs de l'ordre du millièème de milligramme par millilitre.

Enfin, il convient de souligner que les études consacrées à l'activité antioxydante de l'huile essentielle de *S. olusatrum* demeurent relativement peu nombreuses (**Messaoud et al., 2013 ; Quassinti et al., 2013**), limitant ainsi les possibilités de comparaison avec la littérature. Cette rareté des données constitue certes une contrainte pour l'interprétation des résultats, mais elle confère également à la présente étude un intérêt particulier en enrichissant les connaissances disponibles sur cette espèce dans la région de Tlemcen.

III.2. Étude de l'activité anti-inflammatoire

L'inflammation est une réponse physiologique de défense déclenchée par l'organisme à la suite d'une agression, qu'elle soit d'origine infectieuse, chimique ou physique. Lorsqu'elle se prolonge ou échappe à sa régulation, elle participe toutefois à l'installation de nombreuses affections chroniques. La recherche de substances naturelles capables de moduler ce processus s'est, de ce fait, largement orientée vers les métabolites secondaires des plantes, et en particulier vers les huiles essentielles riches en composés sesquiterpéniques.

L'huile essentielle de *Smyrnum olusatrum* se prête particulièrement à ce type d'investigation, car sa fraction volatile est dominée par des furanosesquiterpènes, l'isofuranodiène, la curzérène, la furanoérémophil-1-one et le 1 β -acétoxyfuranoeudesm-4(15)-ène, accompagnés de germacrone (**Mölleken et al., 1998 ; Maggi et al., 2012 ; Quassinti et al., 2013**). C'est dans cette perspective qu'a été évalué, dans le présent travail, le pouvoir anti-inflammatoire *in vitro* des huiles essentielles extraites de trois ensembles d'organes, tiges et feuilles, fruits et fleurs, issus de six stations de la région de Tlemcen (Aïn Defla, Aïn Fezza, Mansourah, Zarifet, Aïn Kebira et Remchi). L'activité est exprimée par la concentration inhibitrice médiane (CI₅₀), définie comme la concentration d'huile essentielle entraînant 50 % d'inhibition de la réponse mesurée ; plus cette valeur est faible, plus l'activité anti-inflammatoire est importante.

Il importe de préciser d'emblée que l'activité biologique de l'huile essentielle de cette espèce reste peu explorée. Les données publiées portent essentiellement sur ses propriétés antimicrobiennes, antifongiques et antiprolifératives (**Daroui-Mokaddem et al., 2010 ; Quassinti et al., 2013**), et aucune évaluation anti-inflammatoire *in vitro* de cette huile n'avait, à notre connaissance, été rapportée. Les résultats qui suivent s'inscrivent donc dans un champ encore largement inexploré, ce qui restreint d'autant les possibilités de comparaison directe avec la littérature.

Les valeurs de CI_{50} obtenues pour chacun des trois ensembles d'organes sont rassemblées dans les tableaux 6 à 8, exprimées en $\mu\text{g/mL}$ et présentées sous la forme moyenne $\pm$ écart-type.

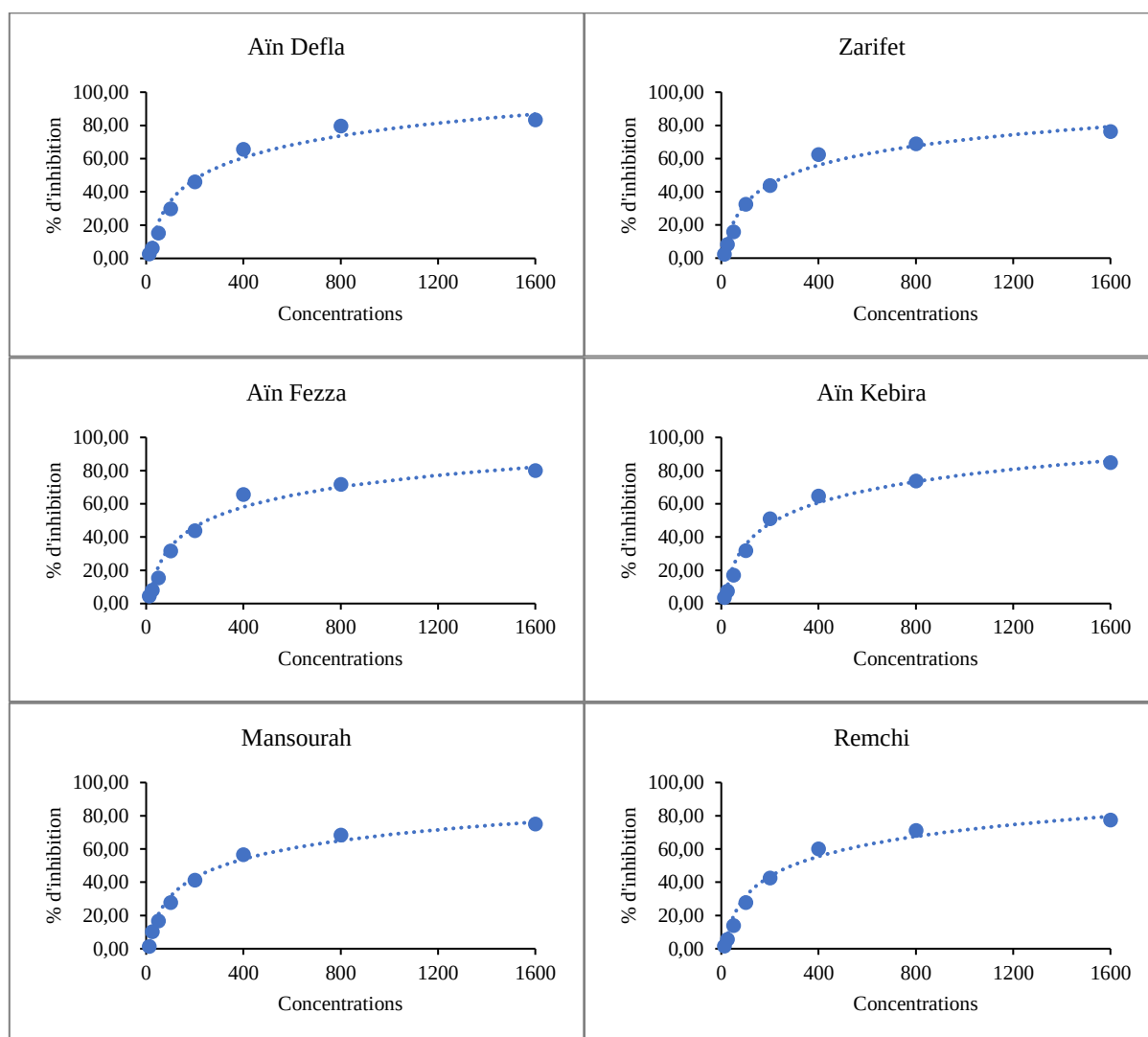


Figure 5 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de la BSA en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des tiges et feuilles de *Smyrniolus olusatrum*

Tableau 6 : Valeurs de CI_{50} ($\mu\text{g/mL}$) de l'activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle des parties tiges et feuilles de *Smyrnum olusatrum* selon les différentes stations d'étude

Stations	CI_{50} $\mu\text{g/mL}$
Aïn Defla	$227,96 \pm 1,21$
Aïn Fezza	$251,29 \pm 0,88$
Mansourah	$314,99 \pm 0,91$
Zarifet	$278,68 \pm 1,03$
Aïn Kebira	$222,68 \pm 0,72$
Remchi	$291,11 \pm 0,34$
Ibuprofène (Standard)	$37,11 \pm 0,56$

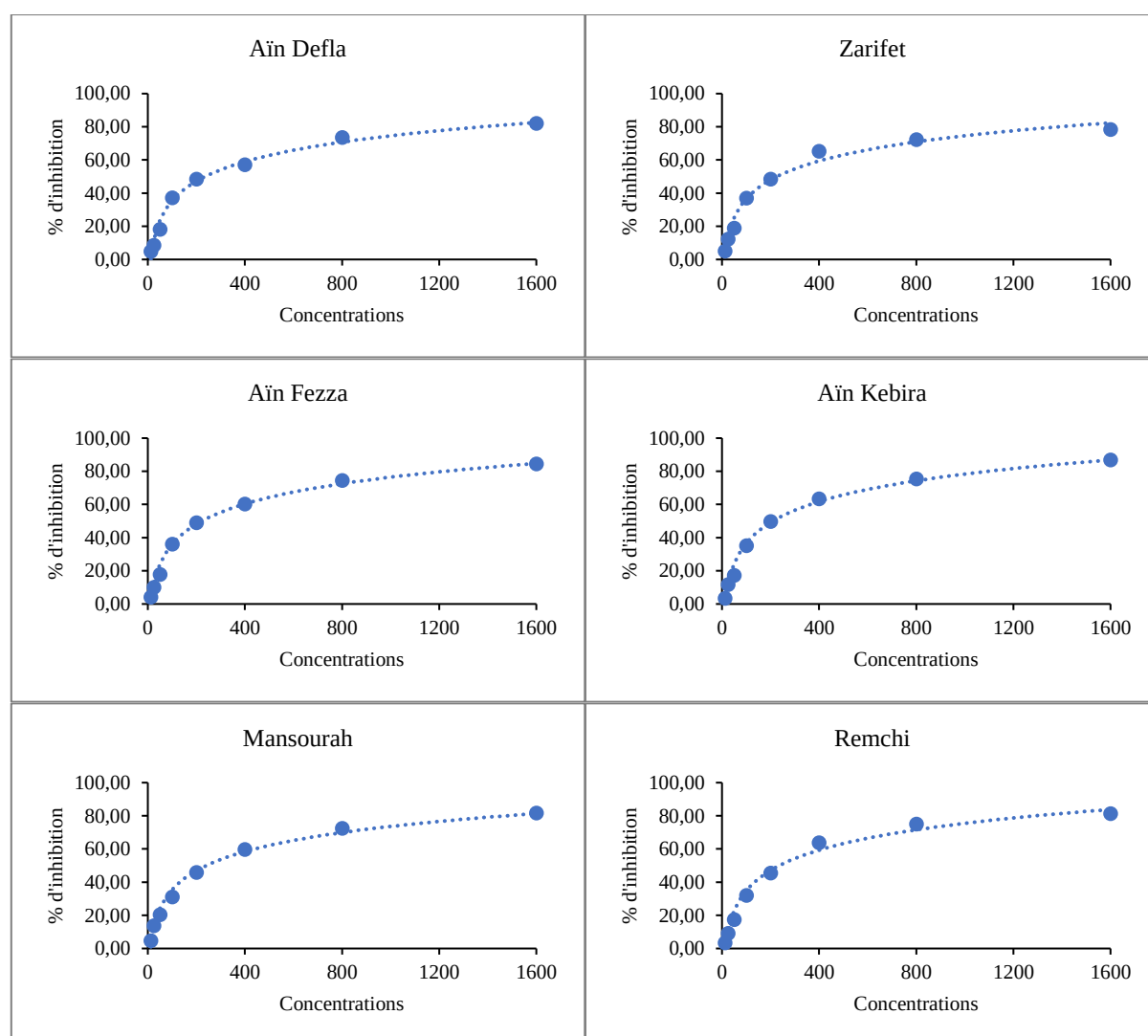


Figure 6 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de la BSA en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des fruits de *Smyrnum olusatrum*

Tableau 7 : Valeurs de CI_{50} ($\mu\text{g/mL}$) de l'activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle des fruits de *Smyrniurn olusatrum* selon les différentes stations d'étude

Stations	CI_{50} $\mu\text{g/mL}$
Aïn Defla	$236,72 \pm 0,85$
Aïn Fezza	$222,23 \pm 0,69$
Mansourah	$240,71 \pm 1,13$
Zarifet	$226,61 \pm 0,48$
Aïn Kebira	$209,71 \pm 0,57$
Remchi	$236,05 \pm 0,47$
Ibuprofène (Standard)	$37,11 \pm 0,56$

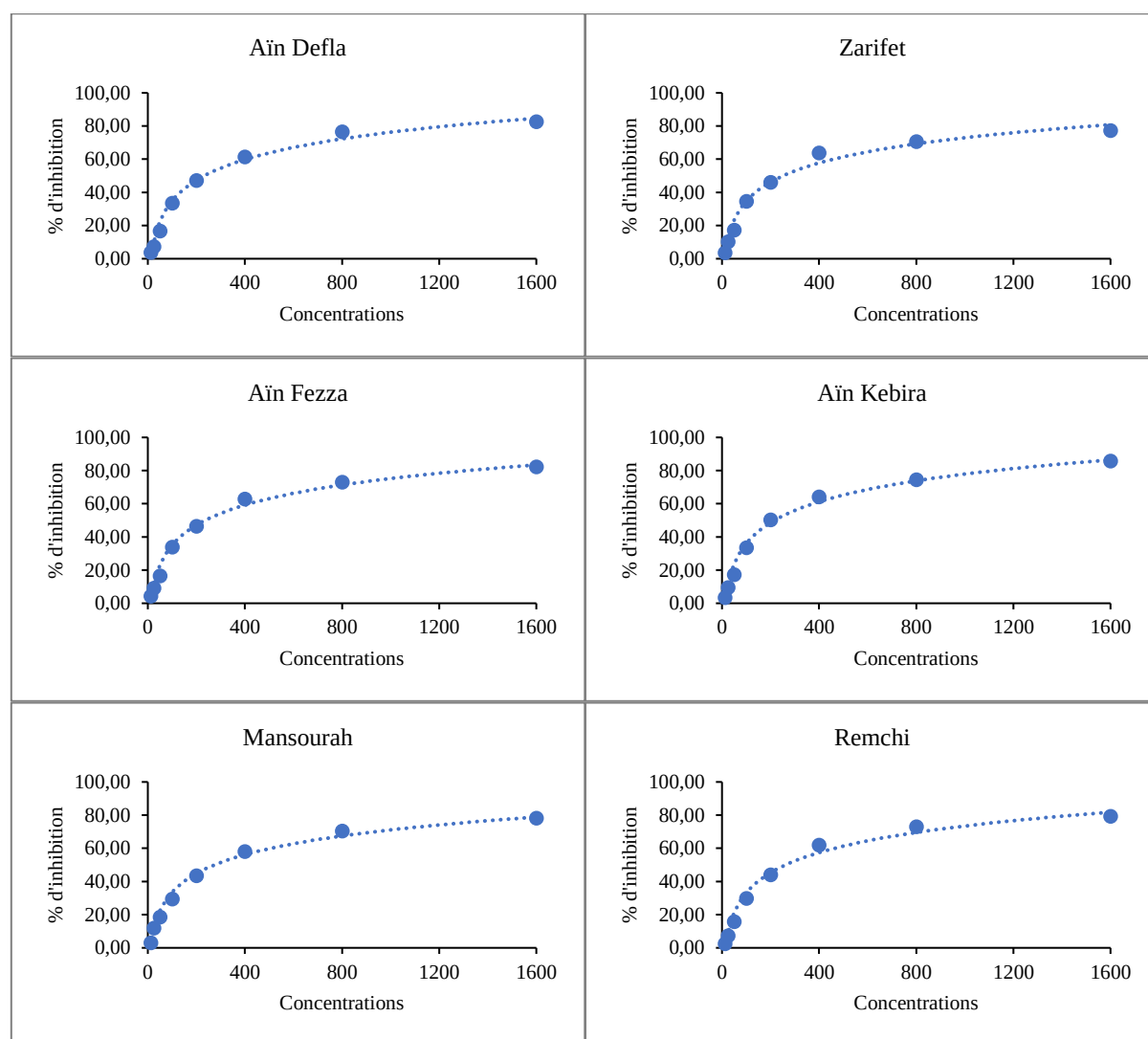
**Figure 7 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de la BSA en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des fleurs de *Smyrniurn olusatrum***

Tableau 8 : Valeurs de CI_{50} ($\mu\text{g/mL}$) de l'activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle des fleurs de *Smyrnum olusatrum* selon les différentes stations d'étude

Stations	CI_{50} $\mu\text{g/mL}$
Aïn Defla	$233,34 \pm 0,64$
Aïn Fezza	$236,22 \pm 0,48$
Mansourah	$274,86 \pm 1,18$
Zarifet	$251,41 \pm 0,49$
Aïn Kebira	$215,96 \pm 0,68$
Remchi	$261,95 \pm 1,21$
Ibuprofène (Standard)	$37,11 \pm 0,56$

L'examen des trois tableaux fait apparaître des valeurs de CI_{50} globalement comprises entre $209 \pm 0,57$ et $314,99 \pm 0,91$ $\mu\text{g/mL}$, ce qui situe l'ensemble des échantillons dans une gamme d'activité anti-inflammatoire relativement homogène, sans écart très prononcé entre les différents organes ou stations étudiés. Toutefois, ces valeurs demeurent supérieures à celle obtenue pour le standard de référence, l'ibuprofène ($37,11 \pm 0,56$ $\mu\text{g/mL}$), indiquant une activité anti-inflammatoire plus modérée des huiles essentielles de *Smyrnum olusatrum* dans les conditions du test de dénaturation de l'albumine bovine. Ainsi, les huiles les plus actives présentent des CI_{50} environ 5 à 6 fois plus élevées que celle de l'ibuprofène.

Quelques tendances se dégagent néanmoins. Les huiles essentielles de fruits présentent les CI_{50} les plus basses et la dispersion la plus étroite ($209,71 \pm 0,57$ à $240,71 \pm 1,13$ $\mu\text{g/mL}$), traduisant l'activité la plus régulière et la plus marquée. Les fleurs occupent une position intermédiaire ($215,96 \pm 0,68$ à $274,86 \pm 1,18$ $\mu\text{g/mL}$), tandis que les tiges et feuilles affichent la variabilité la plus importante ($222,68 \pm 0,69$ à $314,99 \pm 0,91$ $\mu\text{g/mL}$), avec la valeur la plus élevée de l'ensemble des échantillons, correspondant ainsi à l'activité la plus faible.

La comparaison entre stations révèle également une certaine cohérence. Pour les trois types d'organes, l'échantillon d'Aïn Kebira fournit systématiquement les CI_{50} les plus faibles ($222,68 \pm 0,69$; $209,71 \pm 0,57$ et $215,96 \pm 0,68$ $\mu\text{g/mL}$ pour les tiges et feuilles, les fruits et les fleurs, respectivement), alors que l'échantillon de Mansourah présente à l'inverse les valeurs les plus élevées ($314,99 \pm 0,91$; $240,71 \pm 1,13$ et $274,86 \pm 1,18$ $\mu\text{g/mL}$). Cette régularité suggère que des facteurs liés au site de récolte, tels que les conditions édaphiques, le

microclimat ou encore le stade phénologique au moment de la cueillette, peuvent influencer l'intensité de l'activité biologique observée, au même titre que l'organe végétal considéré.

L'interprétation de ces différences doit toutefois rester prudente. Il est bien établi que la composition chimique de l'huile essentielle de *Smyrnum olusatrum* varie considérablement selon l'organe et la population étudiés (**Mölleken et al., 1998 ; Bertoli et al., 2004 ; Quassinti et al., 2013**). Les parties aériennes herbacées et les fleurs sont généralement riches en sesquiterpénoïdes oxygénés, principalement des furanosesquiterpènes, tandis que les fruits renferment des proportions importantes d'hydrocarbures monoterpéniques tels que le β -phellandréne et l' α -pinène (**Mölleken et al., 1998**). Or, dans la présente étude, les huiles essentielles de fruits figurent parmi les plus actives malgré leur profil chimique distinct. Cette observation suggère que l'activité anti-inflammatoire ne peut être attribuée exclusivement aux furanosesquiterpènes et qu'elle résulte probablement de l'action conjointe de plusieurs constituants agissant de manière synergique, comme cela a déjà été proposé pour cette espèce (**Quassinti et al., 2013**).

Sur le plan mécanistique, les données les plus probantes concernent l'isofuranodiène, principal constituant bioactif de l'huile essentielle de l'espèce. Dans un modèle expérimental de lésions hépatiques induites par la D-galactosamine et le lipopolysaccharide chez le rat, l'administration orale d'isofuranodiène à des doses de 20 et 50 mg/kg a significativement réduit les concentrations sériques des transaminases hépatiques (ALT et AST), le taux de malondialdéhyde (MDA) ainsi que l'expression des médiateurs pro-inflammatoires IL-1 β , IL-6 et de la NO-synthase inductible (iNOS) dans le tissu hépatique (**Li et al., 2015**). Ces effets étaient particulièrement marqués à la dose de 50 mg/kg, démontrant une réponse dose-dépendante. Bien que cette étude n'ait pas déterminé de valeur de CI₅₀ directement comparable à celles obtenues dans le test de dénaturation de l'albumine bovine, elle apporte une preuve expérimentale du potentiel anti-inflammatoire des furanosesquiterpènes présents dans *S. olusatrum*. Néanmoins, la comparaison entre les deux approches doit être interprétée avec prudence, l'une reposant sur un modèle in vivo de toxicité hépatique tandis que l'autre évalue in vitro l'inhibition de la dénaturation protéique.

Conclusion

Ce travail avait pour objet de caractériser l'huile essentielle de *Smyrniololus atrum* de la région de Tlemcen, sous l'angle de ses rendements et de ses activités antioxydante et anti-inflammatoire. L'huile a été extraite par hydrodistillation, séparément pour les tiges et feuilles, les fruits et les fleurs, à partir de matériel récolté dans six stations différentes (Aïn Defla, Aïn Fezza, Aïn Kebira, Mansourah, Remchi, Zarifet) ; ses rendements ont été déterminés, puis son pouvoir antioxydant et son potentiel anti-inflammatoire ont été évalués *in vitro*.

Les rendements se sont révélés faibles dans l'ensemble, mais nettement modulés par l'organe et par la station. Les organes reproducteurs ont fourni les meilleures teneurs, jusqu'à 0,124 % pour les fruits de Remchi, et des valeurs régulières, comprises entre 0,058 et 0,074 %, pour les fleurs, tandis que les tiges et feuilles sont restées plus modestes, de 0,034 à 0,057 % en moyenne. Les stations d'Aïn Kebira et de Remchi se sont distinguées par les rendements les plus élevés, Zarifet et Mansourah par les plus faibles. Ces valeurs, du même ordre que celles rapportées pour la même espèce à Tlemcen, demeurent inférieures à celles observées sur d'autres organes ou d'autres populations méditerranéennes, écart imputable à la fois à l'organe considéré, aux conditions pédoclimatiques.

L'activité antioxydante, mesurée par le test au DPPH, s'est avérée modérée et, elle aussi, dépendante de l'organe. Les huiles de fleurs et de fruits ont été les plus actives, celles de Zarifet la plus importante, avec des concentrations inhibitrices médianes de 25,39 mg/mL pour les fleurs et de 29,40 mg/mL pour les fruits, alors que les tiges et feuilles présentaient les capacités de piégeage les plus faibles. Quelle que soit l'huile considérée, l'activité est restée très en deçà de celle de l'acide ascorbique pris comme référence. Cette hiérarchie entre organes, comme l'ordre de grandeur des valeurs, rejoint les observations faites sur du matériel tunisien et s'accorde avec l'idée d'une activité portée surtout par la fraction furanosesquiterpénique et par d'éventuels effets de synergie.

L'activité anti-inflammatoire, appréciée par l'inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine, a constitué, à notre connaissance, la première évaluation *in vitro* menée sur l'huile entière de cette espèce. Les trois ensembles d'organes ont montré des niveaux d'activité voisins, les fruits se signalant par la réponse la plus régulière et la plus marquée, et la station d'Aïn Kebira par les meilleures performances, Mansourah par les plus faibles. Là encore, l'activité est demeurée nettement inférieure à celle de l'ibuprofène de référence, ce qui la situe à un niveau modéré. Ce résultat, bien que préliminaire, reste cohérent avec le potentiel

anti-inflammatoire prêté aux furanosesquiterpènes de l'espèce, et à l'isofuranodiène en particulier.

Pris dans leur ensemble, ces résultats confirment que le rendement comme l'activité biologique de l'huile essentielle de *Smyrnum olusatrum* dépendent étroitement de l'organe considéré et, dans une moindre mesure, de la station de récolte, conformément à la variabilité intraspécifique largement documentée pour cette espèce. Ils enrichissent une connaissance encore lacunaire de l'espèce en Algérie et fournissent, pour la région de Tlemcen, un premier jeu de données sur deux activités peu ou pas explorées jusqu'alors.

Plusieurs limites doivent néanmoins être rappelées. La composition chimique des huiles étudiées n'a pas été déterminée, de sorte que les activités observées ne peuvent être rapportées avec certitude à des constituants précis ; la rareté des données comparables, plus marquée encore en Algérie, restreint par ailleurs la portée des comparaisons. Dans le prolongement de ce travail, une caractérisation par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse s'impose, complétée, pour la quantification de l'isofuranodiène thermolabile, par une analyse en chromatographie liquide haute performance. Il serait également utile d'étendre l'évaluation antioxydante à d'autres tests, tels que l'ABTS et le FRAP, d'explorer d'autres activités comme les pouvoirs antimicrobien et antiparasitaire, et de suivre l'influence du stade phénologique, afin de mieux cerner le potentiel de valorisation de cette ressource locale.

Références bibliographiques

- APG (Angiosperm Phylogeny Group) (2016).** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181 (1), 1–20.
- Benelli G., Pavela R., Canale A., Nicoletti M., Petrelli R., Cappellacci L., Galassi R. & Maggi F. (2017).** Isofuranodiene and germacrone from *Smyrniololus* essential oil as acaricides and oviposition inhibitors against *Tetranychus urticae*: impact of chemical stabilization of isofuranodiene by interaction with silver triflate. *Journal of Pest Science*, 90 (2), 693–699.
- Benhammou N., Atik Bekkara F. & Kadifkova Panovska T. (2007).** Antiradical capacity of the phenolic compounds of *Pistacia lentiscus* L. and *Pistacia atlantica* Desf. *Advances in Food Sciences*, 29 (3), 155–161.
- Bertoli A., Pistelli L., Morelli I., Fraternale D., Giamperi L. & Ricci D. (2004).** Volatile constituents of different parts (roots, stems and leaves) of *Smyrniololus* L. *Flavour and Fragrance Journal*, 19, 522–525.
- Brunetti A., Marinelli O., Morelli M. B., Iannarelli R., Amantini C., Russotti D., Santoni G., Maggi F. & Nabissi M. (2019).** Isofuranodiene synergizes with temozolomide in inducing glioma cells death. *Phytomedicine*, 52, 51–59.
- Daroui-Mokaddem H., Kabouche A., Bouacha M., Soumati B., El-Azzouny A., Bruneau C. & Kabouche Z. (2010).** GC/MS analysis and antimicrobial activity of the essential oil of fresh leaves of *Eucalyptus globulus*, and leaves and stems of *Smyrniololus* from Constantine (Algeria). *Natural Product Communications*, 5 (10), 1669–1672.
- El-On J., Ozer L., Gopas J., Sneir R., Enav H., Luft N., Davidov G. & Golan-Goldhirsh A. (2009).** Antileishmanial activity in Israeli plants. *Annals of Tropical Medicine & Parasitology*, 103 (4), 297–306.
- Heywood V. H. (éd.) (1971).** *The Biology and Chemistry of the Umbelliferae*. Academic Press, Londres.
- Judd W. S., Campbell C. S., Kellogg E. A., Stevens P. F. & Donoghue M. J. (2002).** *Plant Systematics: A Phylogenetic Approach* (2e éd.). Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Judd W. S., Campbell C. S., Kellogg E. A., Stevens P. F. & Donoghue M. J. (2016).** *Plant Systematics: A Phylogenetic Approach* (4e éd.). Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Li W., Shi J., Papa F., Maggi F. & Chen X. (2016).** Isofuranodiene, the main volatile constituent of wild celery (*Smyrniololus* L.), protects D-galactosamine/lipopolysaccharide-induced liver injury in rats. *Natural Product Research*, 30 (10), 1162–1165.

- Linné C. (1753).** *Species Plantarum*. Impensis Laurentii Salvii, Stockholm.
- Lovett-Doust J. & Harper J. L. (1980).** The resource costs of gender and maternal support in an andromonoecious umbellifer, *Smyrniololus olusatrum* L. *New Phytologist*, 85, 251–264.
- Maggi F., Barboni L., Papa F., Caprioli G., Ricciutelli M., Sagratini G. & Vittori S. (2012).** A forgotten vegetable (*Smyrniololus olusatrum* L., Apiaceae) as a rich source of isofuranodiene. *Food Chemistry*, 135 (4), 2852–2862.
- Marongiu B., Piras A., Porcedda S., Falconieri D., Frau M. A., Maxia A., Gonçalves M. J., Cavaleiro C. & Salgueiro L. (2012).** Antifungal activity and chemical composition of essential oils from *Smyrniololus olusatrum* L. (Apiaceae) from Italy and Portugal. *Natural Product Research*, 26 (11), 993–1003.
- Merad N., Andreu V., Chaib S., de Carvalho Augusto R., Duval D., Bertrand C., Boumghar Y., Pichette A. & Djabou N. (2021).** Essential oils from two Apiaceae species as potential agents in organic crops protection. *Antibiotics*, 10 (6), 636.
- Messaoud C., Benabdallah A. & Boussaid M. (2013).** Phytochemicals, antioxidant and α -amylase inhibitory activities of *Smyrniololus olusatrum* L. leaf, flower and fruit. *Scientific Bulletin Series F Biotechnologies*, 17, 212–220.
- Mölleken U., Sinnwell V. & Kubeczka K. H. (1998).** Essential oil composition of *Smyrniololus olusatrum*. *Phytochemistry*, 49 (6), 1709–1714.
- Pavela R., Pavoni L., Bonacucina G., Cespi M., Kavallieratos N. G., Cappellacci L., Petrelli R., Maggi F. & Benelli G. (2019).** Rationale for developing novel mosquito larvicides based on isofuranodiene microemulsions. *Journal of Pest Science*, 92 (2), 909–921.
- Petrelli R., Ranjbarian F., Dall’Acqua S., Papa F., Iannarelli R., Ngahang Kamte S. L., Vittori S., Benelli G., Maggi F., Hofer A. & Cappellacci L. (2017).** An overlooked horticultural crop, *Smyrniololus olusatrum*, as a potential source of compounds effective against African trypanosomiasis. *Parasitology International*, 66 (2), 146–151.
- Pimenov M. G. & Leonov M. V. (1993).** *The Genera of the Umbelliferae: A Nomenclator*. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Quassinti L., Bramucci M., Lupidi G., Barboni L., Ricciutelli M., Sagratini G., Papa F., Caprioli G., Petrelli D., Vitali L. A., Vittori S. & Maggi F. (2013).** In vitro biological activity of essential oils and isolated furanosesquiterpenes from the neglected vegetable *Smyrniololus olusatrum* L. (Apiaceae). *Food Chemistry*, 138 (2–3), 808–813.
- Quassinti L., Maggi F., Barboni L., Ricciutelli M., Cortese M., Papa F., Garulli C., Kalogris C., Vittori S. & Bramucci M. (2014).** Wild celery (*Smyrniololus olusatrum* L.)

- oil and isofuranodiene induce apoptosis in human colon carcinoma cells. *Fitoterapia*, 97, 133–141.
- Quézel P. & Santa S. (1963).** *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*, tome II. Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
- Randall R. E. (2003).** Biological Flora of the British Isles, n° 228: *Smyrniololus L.* *Journal of Ecology*, 91 (2), 325–340.
- Sekkout Z., El Hamsas El Youbi A., Boudaia O., Radallah D. & El Amrani N. (2024).** Phytochemistry and pharmacological activities of essential oils, flavonoids, and ascorbic acid in *Smyrniololus L.*: a comprehensive review. *European Journal of Medicinal Chemistry Reports*, 12, 100201.
- Simpson M. G. (2019).** *Plant Systematics* (3e éd.). Academic Press, Londres.
- Spinozzi E., Ferrati M., Baldassarri C., Petrelli R., Cappellacci L., De Fazi L., Benelli G. & Maggi F. (2024).** Unlocking the potential of Alexanders (*Smyrniololus L.*, Apiaceae): a neglected species with future crop prospect. *Industrial Crops and Products*, 218, 118847.
- Tsasi G., Soković M., Ćirić A., Eriotou E., Sakadani E., Samaras Y. & Skaltsa H. (2016).** Antifungal compounds isolated from *Smyrniololus L.* essential oil, growing wild in Cephalonia, Greece. Chemical analysis and structure elucidation. *Records of Natural Products*, 10 (1), 93–102.
- Williams L. A. D., O'Connor A., Latore L., Dennis O., Ringer S., Whittaker J. A., Conrad J., Vogler B., Rosner H. & Kraus W. (2008).** The in vitro anti-denaturation effects induced by natural products and non-steroidal compounds in heat treated (immunogenic) bovine serum albumin (BSA) is proposed as a screening assay for the detection of anti-inflammatory compounds, without the use of animals in the early stages of the drug discovery process. *West Indian Medical Journal*, 57 (4), 327–331.
- Yousefi-Manesh H., Dehpour A. R., Shirooie S., Bagheri F., Farrokhi V., Mousavi S. E., Ricciutelli M., Cappellacci L., López V., Maggi F. & Petrelli R. (2021).** Isofuranodiene, a natural sesquiterpene isolated from wild celery (*Smyrniololus L.*), protects rats against acute ischemic stroke. *Pharmaceuticals*, 14 (4), 344.