الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de RELIZANE
Faculté des Sciences de la Nature et de la vie
Département des Sciences Biologiques



MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :

Biochimie appliquée

Intitulé

Etude des activités antioxydant et anti-inflammatoire de l'huile essentielle de l'espèce végétale *Smyrnium olusatrum* originaire de la région de Relizane

Présenté par :

Mlle : BELLELOUCHE Lamia

Devant les membres de jury :

Présidentex : Mlle KEBAL Leila	Maître de conférence (B)	(U. Relizane)
Encadreur : Mr MALTI Charafeddine	Maître de conférence (A)	(U. Relizane)
Examinateur : Mr REGUIEG YSAAD Athemen	Maître de conférence (B)	(U. Relizane)

Année universitaire : 2025/2026

Dédicaces

Alhamdulillah avant toute chose, louange à Allah pour Ses bienfaits et pour nous avoir accordé la force et la persévérance nécessaires afin d'achever ce travail.

Je dédie le fruit de ce modeste travail :

À la personne la plus chère à mon cœur, ma très chère mère, dont les prières m'ont accompagnée à chaque étape de mon parcours. Merci d'avoir été mon soutien, ma force et ma source d'espoir tout au long de ce chemin.

À mon cher père, symbole de générosité et modèle de patience, de persévérance et de dévouement.

À mes frères et sœurs, qui ont toujours été une source de joie, d'affection et d'encouragement.
À mon amie et compagne de parcours, **Safia**, qui a partagé avec moi les moments de fatigue comme les instants de joie. Merci pour ton soutien et ta présence.

À mon encadreur, **Dr Malti C.**, pour son accompagnement, sa disponibilité et les précieux conseils qu'il m'a prodigués tout au long de la réalisation de ce travail. Je lui exprime ma profonde gratitude et mes sincères remerciements pour tous les efforts qu'il a consacrés à l'aboutissement de cette recherche.

Enfin, à tous les honorables professeurs qui ont contribué à ma formation, je tiens à adresser mes plus sincères remerciements pour leur dévouement, leurs enseignements et tous les efforts qu'ils déploient au service du savoir.

Remerciements

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ ۚ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ﴾

Louange à Allah en toute chose, et ma réussite ne dépend que de Lui.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes plus sincères remerciements à mon encadreur, **Dr MALTI Charafeddine,** Maître de Conférences à l'Université de Relizane, pour son accompagnement constant, sa disponibilité, ses précieux conseils ainsi que pour les connaissances scientifiques qu'il m'a transmises. Son encadrement rigoureux, sa patience et ses encouragements tout au long de la réalisation de ce mémoire ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail.

J'adresse également mes remerciements respectueux à **Dr KEBAL Leila,** Maître de Conférences à l'Université de Relizane et Présidente du jury, pour l'honneur qu'elle me fait en acceptant de présider ce jury de soutenance. Je lui suis reconnaissant(e) pour le temps consacré à l'évaluation de ce travail ainsi que pour l'intérêt qu'elle lui porte.

Mes sincères remerciements vont également à **Dr REGUIEG YSAAD Athemen**, Maître de Conférences à l'Université de Relizane pour avoir accepté de faire partie du jury et d'examiner ce mémoire. Je lui exprime toute ma gratitude pour l'attention portée à ce travail ainsi que pour les remarques et suggestions constructives qu'il pourra apporter.

Je tiens aussi à exprimer ma reconnaissance à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation universitaire. Grâce à leur dévouement, leur savoir et leur engagement, ils ont participé à l'acquisition des connaissances et des compétences qui m'ont permis d'atteindre cette étape de mon parcours académique.

Je remercie infiniment ma chère famille, qui a toujours constitué mon premier soutien. Leur confiance, leur patience, leurs sacrifices et leurs encouragements permanents m'ont permis de poursuivre mes études dans les meilleures conditions et de mener ce travail à son terme.

Enfin, j'adresse mes remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire et à la réussite de ce projet.

ملخص

يُعدّ النبات Smyrnium olusatrum L. (الفصيلة الخيمية Apiaceae)، المعروف باسم المَكْسَرون، نوعًا عطريًّا متوسّطيًّا زُرع طويلًا كخضار ثمّ أُهمل، ولا يزال زيته الأساسي قليل الدراسة، لا سيما في الجزائر. هدف هذا العمل إلى المساهمة في دراسة مردود الزيت الأساسي لهذا النوع ونشاطاته البيولوجية، انطلاقًا من نبات جُمع من منطقة غليزان شمال غرب الجزائر. استُخلصت الزيوت الأساسية لمختلف الأعضاء، السيقان والأوراق، والثمار، والأزهار، على حدة بطريقة التقطير المائي، وحُسب مردودها منسوبًا إلى المادة الجافة. قُيّم النشاط المضاد للأكسدة مخبريًّا بطريقة اقتناص الجذر الحر DPPH●، والنشاط المضاد للالتهاب باختبار تثبيط التمسّخ الحراري لألبومين مصل البقر (BSA). كانت المردودات المحصّل عليها منخفضة (من 0.045 إلى 0.058 %)، وكانت الأزهار الأعلى إنتاجًا. وتبيّن أن النشاط المضاد للأكسدة معتدل، إذ كان زيتا الثمار والأزهار (تركيز مثبّط نصفي 32.01 و 33.32 ملغ/مل) أكثر فاعلية من زيت السيقان والأوراق (68.40 ملغ/مل)، لكنها تبقى أضعف بكثير من حمض الأسكوربيك. أمّا النشاط المضاد للالتهاب فكان متجانسًا نسبيًّا (تركيز مثبّط نصفي من 228.14 إلى 260.79 ميكروغرام/مل)، وبلغ ذروته في الثمار، مع بقائه دون الإيبوبروفين. وتمثّل هذه النتائج أول تقييم مخبري للنشاط المضاد للالتهاب للزيت الأساسي الكامل لهذا النوع، وتؤكّد امتلاكه إمكانات بيولوجية حقيقية لكنّها معتدلة، تتفاوت بحسب العضو المدروس.

الكلمات المفتاحية: Smyrnium olusatrum؛ الزيت الأساسي؛ التقطير المائي؛ المردود؛ النشاط المضاد للأكسدة؛ النشاط المضاد للالتهاب؛ DPPH؛ غليزان.

Résumé

Smyrnium olusatrum L. (Apiacées), communément appelé maceron, est une espèce aromatique méditerranéenne longtemps cultivée comme légume puis tombée en désuétude, dont l'huile essentielle reste peu étudiée, en particulier en Algérie. Ce travail visait à contribuer à l'étude des rendements et des activités biologiques de l'huile essentielle de cette espèce récoltée dans la région de Relizane, au nord-ouest de l'Algérie. Les huiles essentielles des différents organes, tiges et feuilles, fruits et fleurs, ont été obtenues séparément par hydrodistillation, et leurs rendements, rapportés à la matière sèche, ont été déterminés. Le pouvoir antioxydant des huiles a été évalué *in vitro* par la méthode de piégeage du radical DPPH●, et leur activité anti-inflammatoire par le test d'inhibition de la dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine (BSA).

Les rendements obtenus sont faibles (0,045 à 0,058 %), les fleurs se révélant les plus productives. L'activité antioxydante est apparue modérée : les huiles de fruits et de fleurs (CI_{50} de 32,01 et 33,32 mg/mL) se sont montrées plus actives que celle des tiges et feuilles (68,40 mg/mL), mais très inférieures à l'acide ascorbique. L'activité anti-inflammatoire, relativement homogène (CI_{50} de 228,14 à 260,79 µg/mL), était la plus marquée pour les fruits, tout en demeurant en deçà de l'ibuprofène. Ces résultats, qui constituent la première évaluation *in vitro* de l'activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle entière de l'espèce, confirment un potentiel biologique réel mais modéré, variable selon l'organe considéré.

Mots-clés : *Smyrnium olusatrum* ; huile essentielle ; hydrodistillation ; rendement ; activité antioxydante ; activité anti-inflammatoire ; DPPH ; Relizane.

Abstract

Smyrnium olusatrum L. (Apiaceae), commonly known as Alexanders, is a Mediterranean aromatic species long cultivated as a vegetable and later neglected, whose essential oil remains little studied, particularly in Algeria. This work aimed to contribute to the study of the yields and biological activities of the essential oil of this species collected in the Relizane region, north-western Algeria. The essential oils of the different organs, stems and leaves, fruits and flowers, were obtained separately by hydrodistillation, and their yields, expressed relative to dry plant material, were determined. The antioxidant capacity of the oils was assessed *in vitro* using the DPPH● radical-scavenging method, and their anti-inflammatory activity using the bovine serum albumin (BSA) thermal denaturation inhibition assay. The yields obtained were low (0.045 to 0.058 %), the flowers being the most productive. Antioxidant activity was moderate: the fruit and flower oils (IC_{50} of 32.01 and 33.32 mg/mL) were more active than the stem-and-leaf oil (68.40 mg/mL), yet far less active than ascorbic acid. Anti-inflammatory activity, relatively homogeneous (IC_{50} of 228.14 to 260.79 µg/mL), was strongest for the fruits while remaining lower than ibuprofen. These results, which represent the first *in vitro* evaluation of the anti-inflammatory activity of the whole essential oil of this species, confirm a real but moderate biological potential that varies with the organ considered.

Keywords: *Smyrnium olusatrum*; essential oil; hydrodistillation; yield; antioxidant activity; anti-inflammatory activity; DPPH; Relizane.

Table des matières

Introduction 11

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 *S. olusatrum* 7

II.1. Description botanique 7

II.2. Systématique de l'espèce *S. olusatrum* 8

II.3. Répartition géographique, origine et habitat 9

III. Usages traditionnels et ethnobotaniques 10

IV. Données bibliographiques sur la composition chimique et les activités biologiques de l'huile essentielle 10

IV.1. Composition chimique de l'huile essentielle de *S. olusatrum* 11

IV.2. Activités biologiques de l'huile essentielle de *S. olusatrum* 13

IV.2.1. Activité antioxydante 13

IV.2.2. Activité anti-inflammatoire 13

IV.2.3. Autres activités biologiques 14

Deuxième partie Matériels et méthodes 16

I. Matériel végétal 17

II. Extraction des huiles essentielles 19

III. Calcul des rendements en huile essentielle 19

IV. Étude des activités biologiques de l'huile essentielle de *S. olusatrum* 19

IV.1. Activité antioxydante de l'huile essentielle 20

IV.2. Activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle 21

Troisième partie Résultats et discussion 23

I. Extraction des huiles essentielles 24

II. Calcul des rendements 24

III. Étude des activités biologiques de l'huile essentielle de *S. olusatrum* 25

III.1. Étude de l'activité antioxydante 25

III.2. Étude de l'activité anti-inflammatoire 29

Conclusion 35

Références bibliographiques 38

Table des illustrations

Liste des figures

Figure 1 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des tiges et feuilles de *S. olusatrum* **26**
Figure 2 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des fruits de *S. olusatrum* **27**
Figure 3 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des fleurs de *S. olusatrum* **27**
Figure 4 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de la BSA en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des tiges et feuilles de *S. olusatrum* **30**
Figure 5 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de la BSA en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des fruits de *S. olusatrum* **31**
Figure 6 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de la BSA en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des fleurs de *S. olusatrum* **31**

Liste des tableaux.

Tableau 1 : Rendements en huile essentielle des différentes parties de la plante *S. olusatrum* **24**
Tableau 2 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH des huiles essentielles des différentes parties (tiges et feuilles, fruits, fleurs) de S. olusatrum **26**
Tableau 3 : Valeurs des CI_{50} de l'activité antioxydante des huiles essentielles des différentes parties (Tiges et feuilles, Fruits, Fleurs) de la plante *S. olusatrum* **28**
Tableau 4 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de la BSA des huiles essentielles des différentes parties (tiges et feuilles, fruits, fleurs) de *S. olusatrum* **30**
Tableau 5 : Valeurs des CI_{50} de l'activité anti-inflammatoire des huiles essentielles des différentes parties (Tiges et feuilles, Fruits, Fleurs) de la plante *S. olusatrum* **32**

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 (*bovine serum albumin*)
CI_{50}	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 (*ferric reducing antioxidant power*)
HE	huile essentielle
IL-1β	interleukine-1β
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 (*nuclear factor-kappa B*)
TNF-α	facteur de nécrose tumorale alpha (*tumor necrosis factor-alpha*)
v/v	rapport volume sur volume

Introduction

Depuis les origines de la médecine, les plantes ont fourni à l'homme une part essentielle de son arsenal thérapeutique, et elles demeurent aujourd'hui encore un réservoir privilégié de molécules bioactives. L'intérêt porté aux produits naturels n'a du reste cessé de croître au cours des dernières décennies, sous l'effet conjugué d'une défiance grandissante à l'égard de certaines substances de synthèse, de la montée des résistances microbiennes et d'une demande sociale de plus en plus orientée vers des solutions d'origine végétale. Parmi ces produits, les huiles essentielles occupent une place singulière : mélanges complexes de composés volatils, surtout terpéniques, élaborés par les plantes aromatiques au titre de métabolites secondaires, elles concentrent une grande diversité d'activités biologiques, antioxydante, antimicrobienne, anti-inflammatoire, antiparasitaire ou insecticide, qui justifient leur large emploi dans les domaines alimentaire, pharmaceutique et cosmétique.

La famille des Apiacées (anciennement Ombellifères) compte, à cet égard, parmi les plus remarquables. Riche de plusieurs milliers d'espèces réparties à travers le monde, elle se distingue par la présence, dans l'ensemble de l'appareil végétatif et reproducteur, de canaux sécréteurs renfermant des huiles essentielles et des oléorésines, caractère qui fonde son importance économique et médicinale **(Heywood, 1971 ; Judd *et al.*, 2002)**. Elle fournit ainsi nombre de légumes et de condiments familiers, mais aussi un large éventail de plantes aromatiques et médicinales dont les huiles essentielles font l'objet d'une attention soutenue.

C'est dans cette famille que se range *Smyrnium olusatrum* L., communément appelé maceron. Espèce d'affinité méditerranéenne, elle fut cultivée et consommée comme légume potager depuis l'Antiquité avant de tomber en désuétude au profit du céleri, au point d'être aujourd'hui rangée parmi les « légumes oubliés ». Elle connaît néanmoins un net regain d'intérêt, tant pour sa valeur nutritionnelle que pour les propriétés biologiques prêtées à ses extraits et à son huile essentielle **(Spinozzi *et al.*, 2024)**. Cette dernière se signale par une fraction volatile dominée par des furanosesquiterpènes, au premier rang desquels l'isofuranodiène, régulièrement présenté comme le principal vecteur des activités décrites pour l'espèce **(Quassinti *et al.*, 2013)**.

En dépit de cet intérêt, *S. olusatrum* demeure une espèce relativement peu étudiée sur le plan phytochimique, et les données disponibles se caractérisent par une forte hétérogénéité. La composition de l'huile essentielle, comme les activités qui en découlent, varie en effet considérablement selon l'organe analysé, le stade de développement de la plante et son origine géographique, si bien que les valeurs publiées pour une population ne sauraient être transposées sans réserve à une autre. En Algérie, les travaux consacrés à cette espèce restent rares ; les quelques études disponibles, menées notamment dans l'ouest du pays, font état d'un profil à

dominante furanosesquiterpénique **(Merad *et al.*, 2021)**, mais la connaissance des rendements et des activités biologiques de l'huile à l'échelle régionale demeure fragmentaire. Plus précisément, si quelques données existent sur l'activité antioxydante **(Messaoud *et al.*, 2013 ; Quassinti *et al.*, 2013)**, aucune évaluation *in vitro* de l'activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle entière n'avait, à notre connaissance, été rapportée jusqu'ici.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent mémoire, qui se propose de contribuer à l'étude des rendements et des activités biologiques de l'huile essentielle de *S. olusatrum* récoltée dans la région de Relizane, au nord-ouest de l'Algérie. Le travail poursuit trois objectifs complémentaires : extraire, par hydrodistillation, les huiles essentielles des différents organes de la plante (tiges et feuilles, fruits et fleurs) et en déterminer les rendements rapportés à la matière sèche ; évaluer *in vitro* le pouvoir antioxydant de ces huiles par la méthode de piégeage du radical DPPH● ; et apprécier leur activité anti-inflammatoire par le test d'inhibition de la dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine. Les résultats sont systématiquement comparés entre organes et confrontés aux données de la littérature, afin de mieux cerner le potentiel biologique de l'espèce dans cette région encore peu explorée.

Pour répondre à ces objectifs, le mémoire s'organise en trois parties. La première propose une synthèse bibliographique consacrée à la famille des Apiacées, à la description de *S. olusatrum*, à ses usages traditionnels et aux données disponibles sur la composition chimique et les activités biologiques de son huile essentielle. La deuxième expose le matériel végétal et les méthodes mises en œuvre pour l'extraction et l'évaluation des activités biologiques. La troisième présente et discute les résultats obtenus, avant qu'une conclusion générale n'en dégage les principaux enseignements et n'esquisse quelques perspectives.

Première partie

Synthèse bibliographique

Avant d'examiner en détail l'espèce retenue, il importe de la situer dans son cadre taxonomique et botanique. *S. olusatrum* L. relève de la famille des Apiacées (autrefois Ombellifères), un ensemble particulièrement fourni en espèces aromatiques et médicinales. Cette famille se distingue par un fond commun de caractères morphologiques et anatomiques, touchant notamment les appareils végétatif et reproducteur, et par l'abondance fréquente de métabolites secondaires caractéristiques, au rang desquels les huiles essentielles et divers composés terpéniques. Appréhender les traits généraux des Apiacées offre ainsi un meilleur accès aux particularités biologiques, chimiques et écologiques de l'espèce étudiée, et permet d'inscrire *S. olusatrum* dans un cadre scientifique cohérent avant d'en aborder la description détaillée.

I. La famille des Apiacées (Ombellifères)

I.1. Généralités

Les Apiacées (Apiaceae Lindl.), longtemps connues sous l'appellation d'Ombellifères (Umbelliferae), nom toujours recevable et tiré de la forme caractéristique de leur inflorescence en ombelle, comptent parmi les familles d'Angiospermes les plus étendues. Elles réunissent plus de 430 à 450 genres et environ 3 700 à 3 800 espèces, ce qui les range parmi les familles de plantes à fleurs les plus diversifiées **(Judd *et al.*, 2002)**. Leur répartition est quasi cosmopolite, avec une nette dominance dans les régions tempérées et subtropicales de l'hémisphère Nord ainsi que sur les reliefs des zones tropicales, tandis qu'elles se font rares dans les milieux désertiques et arctiques.

Sur le plan systématique, la famille se rattache à l'ordre des Apiales, au sein du clade des Astéridées (Eudicotylédones), et entretient une étroite parenté avec les Araliacées. Les classifications phylogénétiques récentes y reconnaissent plusieurs sous-familles, la plus riche en genres étant celle des Apioideae **(APG, 2016)**.

Dans leur très grande majorité, les Apiacées sont des plantes herbacées, annuelles, bisannuelles ou vivaces, et plus rarement quelque peu ligneuses. Leur caractère le plus constant tient sans doute à leur nature aromatique, qui découle de la présence, dans toute la plante, de canaux sécréteurs renfermant des huiles essentielles et des oléorésines **(Heywood, 1971)**. Cette propriété rend compte de la grande importance économique de la famille, pourvoyeuse de nombreux légumes et condiments courants, carotte (*Daucus carota* L.), céleri (*Apium graveolens* L.), persil, fenouil, anis, cumin, coriandre ou carvi, de même que de diverses plantes médicinales et aromatiques **(Judd *et al.*, 2002)**. Le groupe renferme néanmoins aussi des espèces hautement toxiques, telle la grande ciguë (*Conium maculatum* L.), et plusieurs taxons

élaborant des furanocoumarines photosensibilisantes, ce qui témoigne de sa remarquable diversité chimique.

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

I.2. Appareil végétatif

L'appareil végétatif des Apiacées affiche une organisation assez uniforme. Le système racinaire est le plus souvent pivotant : la racine principale, parfois charnue, peut remplir une fonction de réserve, comme l'illustre de manière emblématique la carotte, et s'accompagne de racines latérales fibreuses. Dressée et généralement ramifiée, la tige se reconnaît à sa section fréquemment striée ou cannelée et à ses entre-nœuds creux (fistuleux), les nœuds restant quant à eux pleins ; elle demeure le plus souvent herbacée **(Judd *et al.*, 2016 ; Simpson, 2019)**.

Les feuilles sont en règle générale alternes et disposées en spirale. Le plus souvent composées, elles vont de pennées à plusieurs fois divisées, voire ternées ou profondément découpées ; plus rarement, elles demeurent simples, mais sont alors nettement lobées. Un trait distinctif tient à la base du pétiole, élargie en une gaine plus ou moins engainante qui enserre la tige, les stipules faisant habituellement défaut. D'un point de vue anatomique, l'ensemble de l'appareil végétatif est parcouru de canaux sécréteurs schizogènes, où s'accumulent les huiles essentielles et les composés aromatiques **(Heywood, 1971)**. C'est précisément cette particularité qui fonde l'intérêt de la famille en tant que source d'huiles essentielles.

I.3. Appareil reproducteur

C'est l'appareil reproducteur qui livre les caractères les plus diagnostiques de la famille. L'inflorescence type est une ombelle, le plus souvent composée : de l'extrémité de l'axe rayonnent des rayons primaires, chacun portant à son sommet une ombellule de fleurs. La base de l'ombelle principale peut s'orner d'un involucre de bractées, et celle de chaque ombellule d'un involucelle de bractéoles ; chez certains genres, l'inflorescence se réduit à une ombelle simple ou se ramasse en capitule, comme on l'observe chez les *Eryngium* **(Judd *et al.*, 2002)**.

Petites et nombreuses, les fleurs sont généralement actinomorphes, même si les fleurs périphériques peuvent présenter une légère zygomorphie due à l'agrandissement des pétales externes. Le plus souvent hermaphrodites, la polygamie n'étant cependant pas rare, elles sont pentamères et épigynes. Le calice se réduit à cinq petites dents, parfois quasi nulles ; la corolle réunit cinq pétales libres, souvent blancs ou jaunes et pourvus d'un sommet infléchi ; l'androcée se compose de cinq étamines qui alternent avec les pétales. Infère, le gynécée résulte de la soudure de deux carpelles délimitant deux loges, chacune renfermant un unique ovule pendant ;

il est coiffé 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 scinde à maturité en deux méricarpes monospermes indéhiscents, lesquels restent ordinairement suspendus à un fin axe central bifide, le carpophore. Chaque méricarpe est pourvu de côtes longitudinales et, logées dans les sillons ou dans l'épaisseur du péricarpe, de bandelettes, c'est-à-dire de canaux sécréteurs où s'accumule l'huile essentielle. La morphologie du fruit, et singulièrement l'agencement des côtes et des bandelettes, fournit le principal critère de classification au sein de la famille, ce qui met une fois encore en lumière le lien intime entre les Apiacées et leur production d'huiles essentielles. La pollinisation, enfin, est essentiellement entomophile, les ombelles à sommet aplati attirant une grande diversité d'insectes **(Pimenov et Leonov, 1993 ; Judd *et al.*, 2002)**.

II. Description de l'espèce *S. olusatrum*

Les caractères généraux de la famille ayant été exposés, l'attention se porte désormais sur l'espèce au cœur de ce travail, *S. olusatrum* L., dont on précisera tour à tour la morphologie, la position systématique, puis la répartition et l'habitat.

II.1. Description botanique

S. olusatrum est une herbacée vigoureuse, glabre et fortement aromatique, dont l'odeur évoque celle du céleri. Bisannuelle, parfois qualifiée de bisannuelle facultative, et monocarpique, elle forme la première année une rosette de feuilles et une racine de réserve, avant de fleurir et de fructifier la seconde année, puis de dépérir. Sa racine est un pivot tubérisé susceptible d'atteindre 50 à 60 cm de longueur, flanqué de racines latérales plus fines proches de la surface du sol. Dressée et robuste, la tige mesure de 50 à 150 cm, exceptionnellement jusqu'à 180 cm, pour un diamètre voisin de 2 cm ; d'abord pleine, elle devient creuse et cannelée à la fructification, ses rameaux supérieurs étant souvent opposés **(Randall, 2003)**.

Les feuilles sont composées, divisées deux à trois fois de façon pennée ou ternée, et 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 portés par un pétiolule. Élargi en une gaine engainante, le pétiole est renflé, charnu et strié de pourpre, à marges membraneuses vers sa base ; les feuilles caulinaires supérieures se montrent 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 ; lorsqu'il existe, l'involucre se borne à quelques petites bractées peu apparentes, et chaque ombellule ne compte

que de rares bractéoles. Petites et actinomorphes, les fleurs réunissent cinq pétales jaunâtres à jaune verdâtre, cinq sépales minuscules, cinq étamines et, chez les fleurs fertiles, deux styles. L'espèce est andromonoïque : un même pied porte simultanément des fleurs hermaphrodites et des fleurs mâles, ces dernières étant nettement prédominantes ; dans les ombelles terminales, le rapport des fleurs mâles aux fleurs hermaphrodites avoisine quatre pour une, tandis que les ombelles latérales sont essentiellement mâles **(Lovett-Doust et Harper, 1980 ; Randall, 2003)**.

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

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

S. olusatrum a fait l'objet d'une description par Linné en 1753, dans le *Species Plantarum* ; le binôme n'a pas varié depuis, les dénominations ultérieures, tel *S. maritimum* Salisb., étant considérées comme des synonymes **(Linné, 1753 ; Randall, 2003)**. Le nom de genre, *Smyrnium*, procède du grec *smyrna* (« myrrhe ») et renvoie à l'arôme de la plante, cependant que l'épithète spécifique *olusatrum*, composée de *olus* (« plante potagère ») et d'*atrum* (« noir »), fait écho à la couleur sombre de ses graines.

L'espèce *S. olusatrum* L. se range dans le genre *Smyrnium*, rattaché à la tribu Smyrnieae au sein de la sous-famille Apioideae, laquelle représente la plus importante sous-famille des Apiaceae. D'après la classification phylogénétique moderne **APG IV (2016)**, sa position systématique peut se résumer ainsi :

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

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

Le genre *Smyrnium* ne rassemble qu'un nombre restreint d'espèces, réparties dans la région méditerranéenne et en Asie du Sud-Ouest, parmi lesquelles *S. perfoliatum, S. cordifolium* ou *S. rotundifolium*. De toutes, *S. olusatrum* demeure de loin la mieux étudiée, en particulier pour ce qui concerne la composition de son huile essentielle **(Spinozzi *et al*., 2024)**.

► **Nom vernaculaire en français**

- Maceron
- Persil alexandre ou Persil de Macédoine

En botanique comme en ethnobotanique, c'est l'appellation de Maceron qui prévaut.

► **Nom vernaculaire en arabe**

- المَكْسَرون
- Dans certains usages populaires ou régionaux : كرفس بري, terme toutefois employé de manière non spécifique pour désigner plusieurs Apiacées sauvages.

II.3. Répartition géographique, origine et habitat

S. olusatrum est une espèce d'affinité méditerranéenne. Son aire couvre les pays riverains du bassin méditerranéen et remonte jusqu'à sa limite septentrionale en Europe : présente en Europe occidentale et centrale, elle gagne l'Écosse au nord et a pour borne continentale septentrionale le Danemark, tout en étant absente de la Fennoscandie **(Randall, 2003)**. En Afrique du Nord, elle se restreint aux régions méditerranéennes et atlantiques. En Algérie, elle est signalée dans la frange septentrionale du pays, soumise au climat méditerranéen **(Quézel et Santa, 1963)** ; c'est au sein de cette zone, et plus exactement dans la région de Relizane, qu'a été prélevé le matériel étudié ici.

L'origine géographique de l'espèce prête encore à discussion. La tradition la rapporte à la Méditerranée orientale et à la région d'Alexandrie, ce dont témoignent ses anciennes dénominations de « persil d'Alexandrie » ou d'« Alexanders », et plusieurs sources lui prêtent une provenance égyptienne, sans que cette origine soit solidement attestée. Quoi qu'il en soit, la plante était connue dès l'Antiquité, évoquée par Théophraste puis par Dioscoride ; c'est aux Romains que revient 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, *S. olusatrum* se plaît dans 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 jouit d'une certaine protection contre les fortes gelées **(Spinozzi *et al*., 2024)**. Dans une large part de son aire d'introduction, elle se rencontre volontiers sur d'anciens sites de culture, dont elle demeure un témoin persistant. Son statut de conservation est tenu pour préoccupation mineure.

III. Usages traditionnels et ethnobotaniques

L'attention portée à *S. olusatrum* est d'abord d'ordre alimentaire et plonge ses racines dans l'Antiquité. Connue de Théophraste, puis décrite par Dioscoride dans sa *Materia medica*, la plante a longtemps été cultivée comme légume potager, notamment par les Romains, qui en consommaient les diverses parties : feuilles, pétioles charnus, jeunes pousses, boutons floraux, racines et graines sont tous comestibles et offrent une saveur aromatique voisine de celle du céleri **(Randall, 2003 ; Maggi *et al*., 2012)**. Présente dans les jardins jusqu'au Moyen Âge et à la Renaissance, elle a peu à peu cédé la place au céleri cultivé (*Apium graveolens* L.), au point de tomber en grande partie en désuétude **(Spinozzi *et al*., 2024)**.

À ces emplois culinaires se superpose une longue tradition d'usage médicinal. La plante a été réputée antiscorbutique, diurétique, stomachique, laxative et dépurative **(Quassinti *et al*., 2013)** ; on a en outre attribué à ses différentes parties des vertus anti-inflammatoires et carminatives, ainsi qu'une utilité dans la prise en charge de divers troubles digestifs et urinaires. Elle a notamment servi contre les hémorragies **(Sekkout *et al*., 2024)**. Sa réputation d'antiscorbutique, ancienne et singulièrement répandue parmi les gens de mer, trouve un fondement dans sa richesse en acide ascorbique, que soulignent des travaux phytochimiques récents **(Sekkout *et al*., 2024)**.

Longtemps cantonnée au rang de « légume oublié », *S. olusatrum* suscite aujourd'hui un regain d'intérêt, tant pour sa valeur nutritionnelle que pour les activités biologiques prêtées à ses extraits et à son huile essentielle **(Sekkout *et al*., 2024 ; Spinozzi *et al*., 2024)**. Ce sont précisément ces propriétés, à l'origine de l'étude entreprise, qu'examine 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 (*S. olusatrum* L.) jouisse d'une longue histoire d'emploi alimentaire et médicinal, il reste, sur le plan phytochimique, une espèce relativement peu explorée comparée à d'autres Apiacées aromatiques mieux connues. Les études consacrées à son huile essentielle se sont néanmoins multipliées au cours des trois dernières décennies, sous l'impulsion principale d'équipes italiennes, grecques et portugaises, et de façon plus sporadique de laboratoires algériens. Ces recherches ont permis d'affiner la connaissance de la composition

de l'huile, d'en repérer les constituants caractéristiques et d'en sonder les propriétés biologiques, avec un intérêt grandissant pour un furanosesquiterpène singulier, l'isofuranodiène. Un trait domine toutefois l'ensemble de cette littérature : une forte variabilité intraspécifique, tributaire de l'organe analysé, du stade phénologique et de la provenance géographique, qui détermine à la fois le profil chimique et 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 cadre que s'inscrivent les données réunies ci-après, destinées à offrir un référentiel comparatif à l'étude expérimentale menée sur le matériel végétal de la région de Relizane.

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

L'étude de référence sur la composition de l'huile essentielle de *S. olusatrum* demeure celle de **Mölleken *et al.* (1998)**, qui ont soumis à la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG-SM) et à la résonance magnétique nucléaire les huiles obtenues par hydrodistillation des différents organes : fruits verts et mûrs, parties aériennes, fleurs et racines. De leurs résultats se dégagent deux profils opposés. Les racines, les parties aériennes et les fleurs renferment une proportion élevée de sesquiterpènes oxygénés, en majorité des furanosesquiterpènes, tandis que les fruits, qu'ils soient verts ou mûrs, sont dominés par des hydrocarbures monoterpéniques, au premier rang desquels le β-phellandrène et l'α-pinène. Présents dans tous les organes, le furanodiène et l'isofuranogermacrène, ce dernier équivalant à l'isofuranodiène, constituent des marqueurs chimiques de l'espèce ; la furanorémophil-1-one représente le deuxième furanosesquiterpène des racines et des parties aériennes, alors que le 1β-acétoxyfurano-4(15)-eudesmène se distingue comme un composant notable des fruits. C'est également de ces derniers que les auteurs ont isolé un dérivé furanoeudesmanique inédit, le furano-4(15)-eudesmèn-1-one.

La dépendance de la composition à l'égard du stade de maturation a été corroborée par **Marongiu *et al.* (2012)**, qui ont mis en regard des huiles essentielles de parties aériennes issues 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 %) comptaient parmi les composés majoritaires des ombelles, mais leur teneur déclinait au cours de la maturation. À l'opposé, plusieurs furanosesquiterpènes, curzérène, germacrène B, germacrone, alexandrofurane et acétoxyfuranoeudesmènes, voyaient leur part s'accroître dans les ombelles fructifères. Ce glissement graduel d'un profil monoterpénique vers un profil sesquiterpénique au fil du développement souligne la nécessité de bien préciser le stade de récolte lorsque l'on caractérise cette huile.

Les travaux de l'équipe de Camerino apportent une mise au point méthodologique de premier ordre. **Maggi *et al*. (2012)**, puis **Quassinti *et al*. (2013)**, ont établi que les populations d'Italie centrale élaborent une huile riche en furanosesquiterpènes, dominée par l'isofuranodiène, et ont signalé un artefact analytique récurrent : thermolabile, l'isofuranodiène subit, lors de l'injection en chromatographie gazeuse, un réarrangement de Cope qui le convertit en curzérène. Une fraction du curzérène rapporté dans bon nombre d'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 impose le recours à la chromatographie liquide haute performance. Ce constat invite à interpréter avec circonspection les teneurs en curzérène publiées et rend compte d'une partie des écarts relevés entre études.

En Grèce, **Tsasi *et al*. (2016)** ont pareillement 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 pour constituants principaux la furanorémophil-1-one, le furanodiène et la germacrone. Ce profil recoupe, pour l'essentiel, celui relevé sur les organes végétatifs des populations italiennes.

Plus rares, les données algériennes font apparaître des profils sensiblement distincts et mettent en évidence 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 recensé 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, caractérisé par une forte teneur en sabinène, se démarque nettement des chémotypes italiens et grecs. Plus directement pertinente pour le présent travail, l'étude de **Merad *et al*. (2021)**, réalisée à l'Université de Tlemcen sur du matériel récolté dans l'ouest algérien, fait état d'une huile essentielle de *S. olusatrum* dominée par la furanorémophilone (31,5 %), l'ensemble furanodiène + curzérène (19,3 %) et le (E)-β-caryophyllène (11 %). Provenant de la région même qui fait l'objet du mémoire, cette huile présente donc un profil de type furanosesquiterpénique, ce qui en fait un point de comparaison de tout premier ordre pour nos propres résultats.

Au terme de ce panorama, deux grands types de profils se laissent distinguer : un profil à dominante monoterpénique, observé notamment dans les fruits et au sein de certaines populations méditerranéennes, et un profil à dominante furanosesquiterpénique, propre aux organes végétatifs et floraux ainsi qu'à plusieurs populations, dont celle de l'ouest algérien. La signature chimiotaxonomique de l'espèce repose avant tout sur ses furanosesquiterpènes, isofuranodiène, furanodiène, curzérène, germacrone, furanorémophil-1-one et

acétoxyfuranoeudesmènes, dont les proportions relatives fluctuent fortement selon l'organe, la phénologie, l'origine géographique et, on l'a vu, la technique analytique mise en œuvre. Cette hétérogénéité emporte une conséquence directe : les valeurs publiées ne sauraient être transposées telles quelles d'une population à l'autre, et toute huile essentielle nouvelle appelle sa propre caractérisation.

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

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

IV.2.1. Activité antioxydante

L'activité antioxydante de l'huile essentielle a surtout été appréciée par **Quassinti *et al.* (2013)**, qui ont soumis les huiles de différents organes à trois tests complémentaires, le piégeage du radical DPPH, le test ABTS et le pouvoir réducteur ferrique (FRAP), et y ont décelé une aptitude au piégeage des radicaux libres. Parmi les furanosesquiterpènes isolés puis testés isolément, l'isofuranodiène et le 1β-acétoxyfuranoeudesm-4(15)-ène se sont montrés les plus actifs. Cette activité reste néanmoins modérée, ce qui concorde avec le comportement habituel des huiles essentielles à dominante terpénique, en règle générale moins performantes à cet égard que les fractions riches en composés phénoliques. Il faut surtout relever que les données quantitatives comparables touchant le pouvoir antioxydant de l'huile entière demeurent peu abondantes et hétérogènes : sur cet axe précis, *S. olusatrum* reste insuffisamment étudié, et l'absence de valeurs de CI_{50} consolidées pour l'huile essentielle constitue une limite qu'il convient de signaler plutôt que de combler au moyen de 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 apporte une première justification ethnobotanique à la recherche d'une activité anti-inflammatoire. Les données expérimentales disponibles se rapportent toutefois à l'isofuranodiène isolé, examiné dans des modèles animaux. **Li *et al.* (2016)** ont montré que l'administration orale d'isofuranodiène (20 et 50 mg/kg) préservait le rat d'une atteinte hépatique provoquée par la D-galactosamine et le lipopolysaccharide : le composé atténuait l'élévation sérique des transaminases (ASAT et ALAT) et du malondialdéhyde, améliorait l'aspect histologique du foie et abaissait l'expression hépatique des ARN messagers de l'interleukine-1β, de l'interleukine-6 et de la NO-synthase inductible, signe 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 d'un accident vasculaire cérébral ischémique aigu, en réduisant les taux des cytokines pro-inflammatoires interleukine-1β et TNF-α, l'activation de la voie NF-κB et le malondialdéhyde, tout en favorisant une récupération neurologique plus satisfaisante ; les auteurs soulignent que le caractère lipophile et la faible taille de la molécule lui permettent de franchir la barrière hémato-encéphalique.

Ces résultats, encourageants, appellent néanmoins une réserve de taille : ils concernent le furanosesquiterpène isolé, et non l'huile essentielle complète, dont l'activité anti-inflammatoire propre n'a, à notre connaissance, pas été directement évaluée. Dans la mesure où l'isofuranodiène figure parmi les constituants, souvent majoritaires, de l'huile, ces données laissent présumer un potentiel anti-inflammatoire de cette dernière sans pour autant l'établir. Ce décalage entre l'activité bien documentée du composé isolé et l'absence d'étude sur l'huile entière représente une lacune marquante de la littérature, qui restreint 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 constaté un effet cytotoxique de l'huile sur plusieurs lignées tumorales humaines, avec des valeurs de CI_{50} de l'ordre de 8,5 µg/mL sur le carcinome colique (HCT116), 13,4 µg/mL sur le glioblastome et 14,8 µg/mL sur l'adénocarcinome mammaire, l'activité étant corrélée à la teneur en furanosesquiterpènes. **Quassinti *et al*. (2014)** ont apporté la précision que l'huile d'inflorescences et l'isofuranodiène provoquaient l'apoptose des cellules HCT116, avec des CI_{50} respectives de 10,71 et 15,06 µg/mL. Enfin, **Brunetti *et al*. (2019)** ont démontré que l'isofuranodiène agissait en synergie avec le témozolomide pour entraîner la mort de cellules de gliome, ce qui ouvre la voie à un éventuel intérêt en cancérologie.

L'activité antimicrobienne et antifongique de *S. olusatrum* a été examinée par plusieurs auteurs au moyen d'approches expérimentales variées. **Marongiu *et al*. (2012)** ont mis en évidence une activité antifongique des huiles essentielles provenant de populations italiennes et portugaises, éprouvées principalement contre des champignons phytopathogènes comme *Aspergillus niger* et *Candida albicans*, avec des effets inhibiteurs modulés par la composition chimique des huiles et les lots analysés. **Tsasi *et al*. (2016)**, en se penchant sur des souches fongiques comparables, ont montré que certains composés isolés, notamment le furanorémophil-1-one, le furanodiène et la germacrone, manifestaient une activité antifongique

supérieure à celle de l'huile essentielle brute, ce qui laisse supposer un effet de dilution ou d'antagonisme entre constituants au sein de l'huile entière.

Du point de vue antibactérien, **Daroui-Mokaddem *et al*. (2010)** ont noté une sensibilité plus prononcée des bactéries à Gram positif, en particulier *Staphylococcus aureus* et *Bacillus subtilis*, que des bactéries à Gram négatif telles qu'*Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*, ces dernières s'avérant globalement plus résistantes. **Merad *et al*. (2021)**, dans une étude menée sur une huile essentielle issue de l'ouest algérien, ont signalé une activité antibactérienne et antifongique appréciable, marquée par une inhibition significative de *Fusarium oxysporum* et de quelques souches bactériennes testées, encore que les niveaux d'activité aient fluctué selon les concentrations employées et les méthodes d'évaluation (diffusion sur disque et détermination de la concentration minimale inhibitrice, MIC).

Ces résultats demeurent toutefois hétérogènes d'une étude à l'autre, en raison des différences de composition chimique des huiles essentielles, mais aussi des protocoles microbiologiques retenus, des souches éprouvées et des conditions expérimentales.

L'huile et ses constituants offrent par ailleurs un intérêt antiparasitaire. **Petrelli *et al*. (2017)** ont éprouvé les huiles essentielles de *S. olusatrum* contre *Trypanosoma brucei*, agent de la trypanosomiase humaine africaine, et ont mesuré une activité inhibitrice notable (CI_{50} comprises entre 1,9 et 4,0 µg/mL), le constituant le plus actif étant l'isofuranodiène (CI_{50} de 0,65 µg/mL), tandis que la germacrone se révélait inactive. Auparavant, **El-On *et al*. (2009)** avaient rapporté une activité antileishmanienne au sein d'un ensemble de plantes israéliennes comprenant *S. olusatrum*.

Enfin, le potentiel insecticide et acaricide de l'huile a éveillé un intérêt particulier dans une perspective agronomique. **Benelli *et al*. (2017)** ont montré que l'isofuranodiène et la germacrone exerçaient une activité acaricide et freinaient la ponte de l'acarien *Tetranychus urticae*, ravageur polyphage de premier plan ; pour remédier à l'instabilité thermique et à 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 mis au point des microémulsions d'isofuranodiène destinées à servir de larvicides contre les moustiques vecteurs.

Un fil conducteur parcourt l'ensemble de ces travaux : l'isofuranodiène se présente comme le principal responsable de la plupart des activités décrites, lesquelles suivent globalement la teneur de l'huile en furanosesquiterpènes. Il n'en demeure pas moins que *S. olusatrum* reste 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

Cette partie présente et détaille le protocole expérimental mis en œuvre dans le cadre de l'étude de l'huile essentielle de *Smyrnium olusatrum* L., depuis son extraction jusqu'à son évaluation biologique. Dans un premier temps, la provenance du matériel végétal ainsi que les modalités de sa préparation sont exposées, afin de situer les conditions initiales de l'étude et de préciser le cadre dans lequel les échantillons ont été traités.

Par la suite, le procédé d'extraction de l'huile essentielle par hydrodistillation est présenté en détail, en mettant en évidence les différentes étapes du protocole expérimental utilisé. Ensuite, la méthode de calcul des rendements d'extraction est expliquée, permettant de quantifier l'efficacité du procédé appliqué aux différents organes végétaux étudiés.

Enfin, cette partie s'achève par la description des protocoles expérimentaux utilisés pour l'évaluation des activités biologiques, qui constituent le dernier volet de cette démarche méthodologique.

I. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans le cadre de cette étude est constitué de la partie aérienne de *Smyrnium olusatrum* L. (Apiacées), communément appelée maceron. Cette espèce a été récoltée à l'état spontané dans la région de Relizane, située au nord-ouest de l'Algérie. Plus précisément, les prélèvements ont été réalisés au niveau du douar Aïn Nsour, relevant administrativement de la commune d'Ouldja, dans la daïra d'Ammi Moussa. Le choix de cette station s'explique par la présence naturelle et relativement abondante de l'espèce dans cette localité, offrant ainsi des conditions favorables à la collecte d'un matériel végétal représentatif. Les individus sélectionnés pour l'étude ne présentaient aucun signe apparent d'altération ou d'attaque parasitaire susceptible d'influencer la qualité des échantillons destinés aux analyses ultérieures.

La récolte a été effectuée à la fin du mois de mars 2026, période au cours de laquelle les plants observés se situaient entre le stade de pleine floraison et celui du début de la fructification. Ce choix phénologique revêt une importance particulière dans les études portant sur les huiles essentielles, car la nature et la concentration des métabolites secondaires volatils varient considérablement au cours du cycle de développement des plantes aromatiques. De nombreuses investigations ont montré que la phase de floraison, ainsi que la transition vers la fructification, correspondent souvent à une activité biosynthétique intense, susceptible de se traduire par des rendements plus élevés et par une composition chimique spécifique des huiles essentielles. La réalisation des prélèvements à ce stade vise donc à optimiser la qualité du matériel végétal et à obtenir des extraits représentatifs du potentiel aromatique de l'espèce étudiée.

Après la récolte, les parties aériennes ont été soumises à une préparation préalable destinée à permettre l'étude comparative des différents organes de la plante. Ainsi, les tiges, les feuilles, les fleurs et les fruits ont été soigneusement triés et séparés manuellement. Cette étape a été réalisée avec une attention particulière afin d'éviter toute contamination croisée entre les organes, chaque fraction végétale étant ensuite traitée indépendamment. Une telle approche permet d'évaluer les éventuelles différences de rendement et de propriétés biologiques des huiles essentielles en fonction de l'organe considéré, les profils phytochimiques pouvant varier de manière significative au sein d'une même espèce végétale.

Immédiatement après cette phase de séparation, le matériel végétal a été soumis à une opération de séchage dans des conditions contrôlées. Les échantillons ont été étalés en couches fines et maintenus à température ambiante pendant une durée comprise entre deux et trois semaines, dans un local sec, bien aéré et protégé de la lumière directe du soleil. Le recours à un séchage naturel à l'ombre constitue une méthode couramment utilisée dans les études phytochimiques impliquant des composés aromatiques thermosensibles. En effet, les huiles essentielles sont composées majoritairement de substances volatiles dont la stabilité peut être affectée par des températures élevées, une exposition prolongée aux rayonnements lumineux ou encore par des phénomènes d'oxydation. Ces facteurs peuvent entraîner des pertes quantitatives, mais également des modifications qualitatives de la composition chimique des extraits obtenus.

L'adoption de ce mode de préparation vise donc à préserver, autant que possible, l'intégrité des constituants volatils présents dans les différents organes de *S. olusatrum* L. Le séchage permet également de réduire la teneur en eau des tissus végétaux, limitant ainsi le développement microbien et facilitant la conservation des échantillons avant leur utilisation. En outre, la standardisation des conditions de séchage contribue à améliorer la reproductibilité des résultats expérimentaux, en minimisant l'influence des variations liées à l'état hydrique initial du matériel végétal sur le rendement et les caractéristiques des huiles essentielles extraites. Une fois le séchage achevé, les échantillons ont été conservés dans des conditions appropriées jusqu'à leur utilisation pour les opérations d'extraction et les différentes analyses prévues dans le cadre de cette étude.

- Zone d'étude : La zone d'étude est située au niveau du douar Aïn Nsour, appartenant à la commune d'Ouldja, dans la daïra d'Ammi Moussa, au sud-est de la wilaya de Relizane. Cette région se caractérise par un climat méditerranéen à influence semi-aride, marqué par des étés chauds et secs et des hivers relativement doux et pluvieux. La végétation naturelle y est dominée par des formations herbacées et arbustives adaptées à ces conditions

écologiques. Les caractéristiques pédoclimatiques de cette zone peuvent exercer une influence sur la croissance des espèces végétales ainsi que sur la biosynthèse et l'accumulation des métabolites secondaires, notamment les composés constitutifs des huiles essentielles. Le choix de ce site s'explique par la présence spontanée de *S. olusatrum* et par la disponibilité de populations suffisamment abondantes pour permettre la réalisation des différentes analyses prévues dans le cadre de cette étude.

II. Extraction des huiles essentielles

L'extraction de l'huile essentielle a été assurée par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger **(Clevenger, 1928)**. Tenue pour la méthode de référence dans l'obtention des huiles essentielles, cette technique exploite l'entraînement des composés volatils par la vapeur d'eau : le matériel végétal, immergé dans l'eau portée à ébullition, libère des vapeurs chargées de molécules odorantes qui sont entraînées puis condensées ; non miscible à l'eau et le plus souvent moins dense qu'elle, l'huile essentielle se sépare par décantation et se rassemble dans la partie graduée de l'appareil.

L'extraction a été menée séparément en fonction des organes de la plante (tiges et feuilles, fruits, fleurs). Chaque hydrodistillation a été prolongée pendant deux heures. Afin de prévenir leur dégradation sous l'effet de l'air ou de la lumière, les huiles essentielles recueillies ont été conservées à 4 °C, à l'obscurité.

III. Calcul des rendements en huile essentielle

Le rendement en huile essentielle a été calculé pour chaque extraction, rapporté à la masse de matière végétale sèche, d'après la relation suivante :

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

où R représente 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).

Du fait que le rendement est rapporté à la matière sèche, les valeurs obtenues restent comparables d'un organe à l'autre. Les rendements concernant les tiges et feuilles, les fleurs et les fruits font l'objet d'une présentation et d'une discussion dans la troisième partie de ce mémoire.

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

Deux activités biologiques de l'huile essentielle de *Smyrnium olusatrum* ont fait l'objet d'une évaluation in vitro approfondie, afin d'explorer son potentiel fonctionnel. Il s'agit, d'une part, de son pouvoir antioxydant, qui a été apprécié par la méthode de piégeage du radical libre

DPPH●, et d'autre part, de son pouvoir anti-inflammatoire, évalué à travers l'inhibition de la dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine (BSA).

Dans ce cadre, les essais ont été réalisés sur les huiles essentielles obtenues à partir des différents organes de *S. olusatrum* L., récoltée dans la station d'Aïn Nsour. Cette approche a permis de prendre en considération la variabilité potentielle liée à la nature des organes végétaux étudiés.

Ainsi, trois huiles essentielles distinctes ont été préparées et analysées séparément. La première correspond aux organes végétatifs, regroupant les tiges et les feuilles. La deuxième provient des fleurs, tandis que la troisième est issue des fruits. Chaque huile essentielle a donc été évaluée de manière indépendante, afin de permettre une analyse comparative des activités biologiques selon l'organe d'origine, dans les conditions expérimentales adoptées.

IV.1. Activité antioxydante de l'huile essentielle

Le stress oxydant, qui découle d'une production excessive de radicaux libres, participe à l'altération de nombreuses biomolécules et à l'apparition de divers processus pathologiques ; apprécier le pouvoir antioxydant des huiles essentielles présente donc un intérêt notable. Dans le cadre de ce travail, ce pouvoir a été déterminé par la méthode de piégeage du radical libre DPPH●, conformément au protocole de **Benhammou *et al.* (2007)**.

- **Principe :** Le DPPH● (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) est un radical libre stable, d'une couleur violette intense en solution éthanolique, dont le maximum d'absorption se situe aux alentours de 515 nm. Lorsqu'il rencontre un composé apte à lui céder un atome d'hydrogène ou un électron, ce radical se réduit en sa forme stable non radicalaire (DPPH-H), phénomène qui se manifeste par le passage de la teinte violette au jaune pâle et, partant, par une baisse de l'absorbance. L'amplitude de cette diminution est proportionnelle à l'aptitude de l'échantillon à neutraliser le radical et fournit ainsi une mesure directe de son activité antiradicalaire.
- **Intérêt :** La méthode au DPPH● figure parmi les tests les plus largement utilisés 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. Appliquée à une gamme de concentrations, elle autorise l'établissement d'une relation dose-réponse, la comparaison des échantillons entre eux et la détermination de la concentration inhibitrice médiane (CI_{50}), définie comme la concentration d'huile essentielle qui réduit de moitié la quantité initiale de radical.
- **Réactifs et solutions :** Une solution éthanolique de DPPH● à 0,030 g/L a été préparée puis maintenue à l'abri de la lumière. Pour chaque huile essentielle, des dilutions successives

ont permis d'obtenir une gamme de huit concentrations décroissantes : 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 additionnés à 1,95 mL de la solution éthanolique de DPPH●. Un blanc, destiné à corriger l'absorbance propre de l'huile essentielle à 515 nm et dans lequel la solution de DPPH● était remplacée par de l'éthanol, a été associé à chaque concentration. En parallèle, un contrôle négatif, représentant l'absorbance maximale du radical en l'absence d'antioxydant, a été obtenu en mélangeant 50 µL d'éthanol et 1,95 mL de la solution éthanolique de DPPH●.
- **Incubation et mesure spectrophotométrique :** Les mélanges ont été laissés à incuber à l'obscurité et à température ambiante durant 30 minutes. L'absorbance a ensuite été relevée à 515 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.
- **Expression des résultats :** L'activité antiradicalaire a été traduite en pourcentage d'inhibition du radical DPPH●, déterminé d'après la relation suivante :

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

où $Abs_{contrôle}$ correspond à l'absorbance du contrôle négatif et $Abs_{échantillon}$ à l'absorbance de l'huile essentielle testée, corrigée de celle de son blanc. Les pourcentages d'inhibition relevés aux différentes concentrations ont servi à tracer la courbe dose-réponse, dont a été déduite la CI_{50} de chaque huile essentielle.

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

L'inflammation se traduit souvent par une dénaturation des protéines tissulaires, et la capacité d'une substance à s'opposer à cette dénaturation est tenue pour un indicateur de son potentiel anti-inflammatoire. Sur ce fondement, l'activité anti-inflammatoire *in vitro* des huiles essentielles a été appréciée par la méthode d'inhibition de la dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine (BSA), suivant le protocole de **Williams *et al.* (2008)**, assorti de légères modifications.

- **Principe :** Le test s'appuie sur le principe voulant que l'exposition de la BSA à une température modérée induise sa dénaturation, laquelle entraîne la perte de sa structure native et l'agrégation des protéines, source d'une augmentation de la turbidité du milieu réactionnel ; cette turbidité se manifeste par une hausse de l'absorbance mesurée au spectrophotomètre. Un milieu fortement trouble signale ainsi une dénaturation marquée de la BSA, donc une activité protectrice nulle ou faible, alors qu'un milieu clair ou peu trouble révèle une stabilisation de la structure protéique, c'est-à-dire une inhibition de la dénaturation et une activité anti-inflammatoire potentielle.

- **Réactifs et solutions :** Une solution de BSA à 2 % (m/v) a été obtenue 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), qui assurait une solubilisation satisfaisante tout en restreignant l'effet du solvant ; la gamme de concentrations suivante a été constituée : 1600, 800, 400, 200, 100, 50, 25 et 12,5 µg/mL. Dans le milieu réactionnel, la concentration finale de DMSO s'élevait à 1,67 % (v/v) pour l'ensemble des tubes, qu'il s'agisse des échantillons ou des contrôles.
- **Préparation des tubes réactionnels :** Quatre tubes ont été préparés pour chaque concentration. Le tube test combinait 0,5 mL de solution d'huile essentielle et 1,0 mL de solution de BSA à 2 %. Le blanc de l'échantillon, conçu pour corriger l'absorbance propre de l'huile, associait 0,5 mL de solution d'huile essentielle à 1,0 mL de tampon phosphate, sans BSA. Le contrôle négatif, qui figurait la dénaturation maximale en l'absence d'huile, se composait de 0,5 mL du mélange eau–DMSO (5 %) et de 1,0 mL de solution de BSA à 2 %. Le blanc du contrôle négatif réunissait enfin 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 tout d'abord été incubés à 37 °C pendant 10 minutes, de façon à favoriser les interactions entre les constituants de l'huile et la protéine. La dénaturation de la BSA a ensuite été provoquée par un chauffage à 57 °C pendant 5 minutes, condition fréquemment adoptée dans les essais de stabilisation protéique car elle garantit une dénaturation contrôlée et reproductible. Les tubes ont enfin été ramenés à température ambiante avant la lecture.
- **Mesure spectrophotométrique :** L'absorbance a été relevée à 660 nm au moyen d'un spectrophotomètre UV-visible, les blancs correspondants servant à corriger les interférences liées à la couleur ou à la turbidité propres aux échantillons et au solvant. La totalité des analyses a été conduite en double (n = 2).
- **Expression des résultats :** L'activité anti-inflammatoire a été exprimée en pourcentage d'inhibition de la dénaturation de la BSA, d'après la formule suivante :

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

où $Abs_{contrôle}$ correspond à l'absorbance du contrôle négatif (dénaturation maximale, sans huile essentielle) et $Abs_{échantillon}$ à l'absorbance de l'huile essentielle testée, corrigée de son blanc.

Troisième partie

Résultats et discussion

Cette section est dédiée à la présentation des résultats obtenus et à leur discussion au regard des données de la littérature scientifique. Sont d'abord exposés les résultats relatifs à l'extraction des huiles essentielles, puis le calcul des rendements d'extraction, qui permet d'apprécier l'efficacité du procédé d'hydrodistillation mis en œuvre. Une attention particulière est ensuite accordée aux activités biologiques de l'huile essentielle, à savoir ses propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. Les résultats sont analysés et confrontés aux données bibliographiques existantes, afin de situer l'activité de l'espèce étudiée et de mieux cerner son potentiel biologique.

I. Extraction des huiles essentielles

Les huiles essentielles de *S. olusatrum* ont été obtenues par hydrodistillation, conformément au protocole décrit dans la partie « Matériels et méthodes », à partir du matériel végétal récolté dans la région de Relizane. L'extraction a été conduite séparément selon les organes de la plante, d'une part les tiges et les feuilles, d'autre part les fruits et les fleurs.

Les huiles obtenues se présentaient sous la forme d'un liquide de couleur jaune clair. Après leur recueil, elles ont été pesées puis conservées à 4 °C, à l'abri de la lumière, jusqu'aux analyses. Les masses mesurées ont constitué la base du calcul des rendements exposé dans la section suivante.

II. Calcul des rendements

Le rendement en huile essentielle, exprimé en pourcentage de la masse de matière végétale, a été déterminé pour chacun des trois ensembles d'organes. Les valeurs obtenues sont rassemblées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Rendements en huile essentielle des différentes parties de la plante *S. olusatrum*

Parties de la plante	Rendements (%)
Tiges et feuilles	0,045
Fruits	0,049
Fleurs	0,058

Les rendements obtenus demeurent faibles et varient selon l'organe considéré. Les tiges et les feuilles fournissent le rendement le plus bas (0,045 %), tandis que les organes reproducteurs se révèlent légèrement plus productifs, avec 0,049 % pour les fruits et 0,058 % pour les fleurs, ces dernières affichant la teneur la plus élevée. Cette supériorité des organes reproducteurs sur les parties végétatives rejoint le constat, largement établi dans la littérature, d'une forte variabilité des huiles essentielles de *S. olusatrum* selon l'organe, le stade de

développement et l'origine géographique des plantes **(Marongiu *et al.*, 2012 ; Messaoud *et al.*, 2013)**.

Dans l'ensemble, les rendements mesurés restent modestes. Ils s'inscrivent dans le même ordre de grandeur, faible, que ceux rapportés pour l'espèce dans la région de Tlemcen par **Merad *et al.* (2021)**, dont les valeurs s'échelonnaient de 0,004 à 0,02 % pour des échantillons de racines et de tiges. En revanche, ils demeurent nettement inférieurs aux teneurs relevées sur d'autres organes ou d'autres populations : **Daroui-Mokaddem *et al.* (2010)** ont ainsi obtenu un rendement de 1,2 % pour l'huile essentielle des feuilles de *S. olusatrum*, tandis que **Marongiu *et al.* (2012)** rapportaient 0,4 % pour les fleurs et 0,5 à 0,6 % pour les fruits mûrs issus d'Italie et du Portugal, soit des valeurs plusieurs fois supérieures aux nôtres. Un tel écart peut tenir à divers facteurs, parmi lesquels l'organe analysé, les conditions pédoclimatiques, le patrimoine génétique des populations et l'état physiologique du matériel au moment de la récolte et de la distillation. Cette interprétation doit néanmoins rester prudente, l'espèce demeurant 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 *S. olusatrum*

Afin d'évaluer leur potentiel biologique, les huiles essentielles de *S. olusatrum* correspondant aux trois ensembles d'organes, tiges et feuilles, fruits et fleurs, 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 (CI_{50}), c'est-à-dire la concentration d'huile nécessaire pour réduire de moitié la quantité de radical libre présente dans le milieu réactionnel ; une CI_{50} faible traduit donc une activité antioxydante élevée. Les pourcentages d'inhibition relevés aux différentes concentrations sont rassemblés dans le tableau 2 et illustrés par les courbes dose-réponse des figures 2 à 4, tandis que les valeurs de CI_{50} correspondantes figurent dans le tableau 3.

Tableau 2 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH des huiles essentielles des différentes parties (tiges et feuilles, fruits, fleurs) de *S. olusatrum*

Concentrations (mg/mL)	% d'inhibition		
	Tiges et feuilles	Fruits	Fleurs
2	3,32	7,14	3,14
4	10,07	13,48	7,32
8	15,61	24,39	15,58
16	23,49	36,65	29,97
32	36,50	51,47	48,78
64	43,50	64,59	67,84
128	60,77	73,89	81,30
256	77,08	82,41	86,16

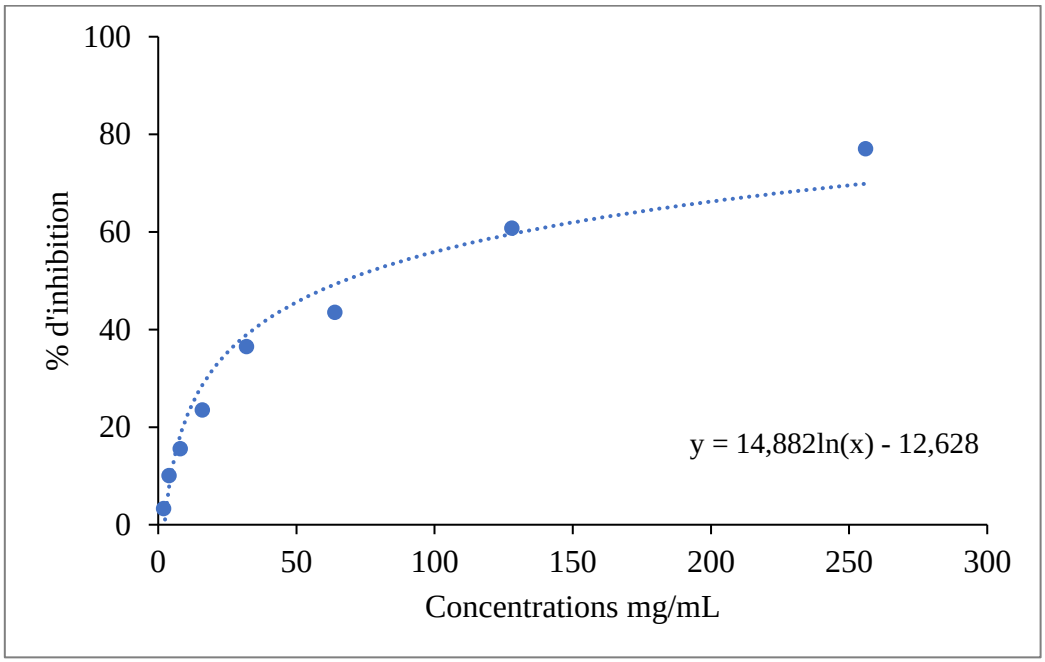


Figure 1 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des tiges et feuilles de *S. olusatrum*

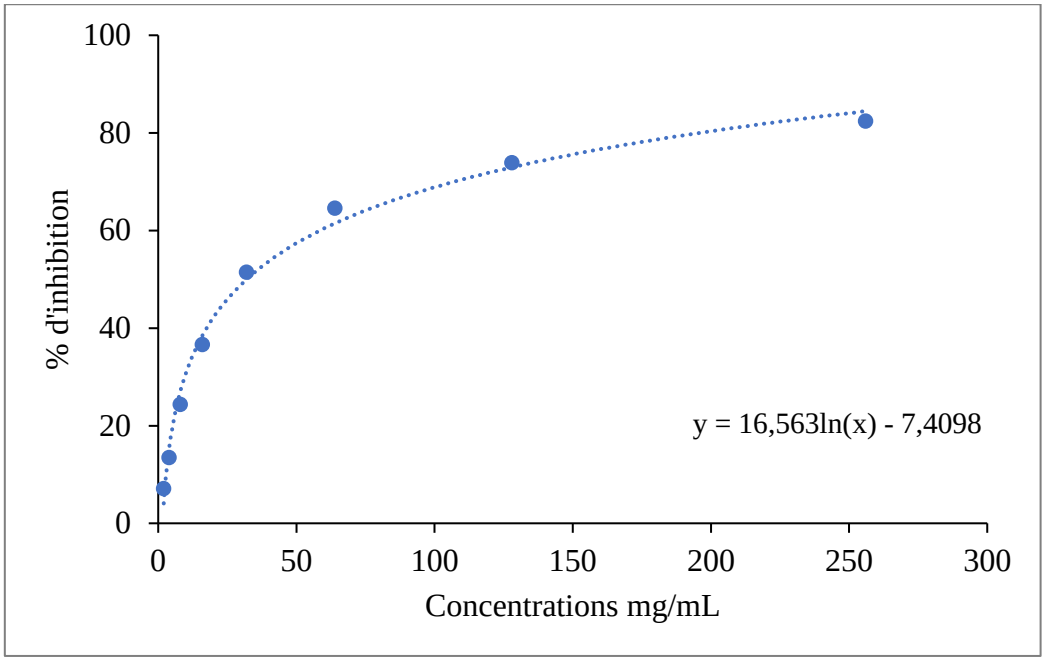


Figure 2 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des fruits de *S. olusatrum*

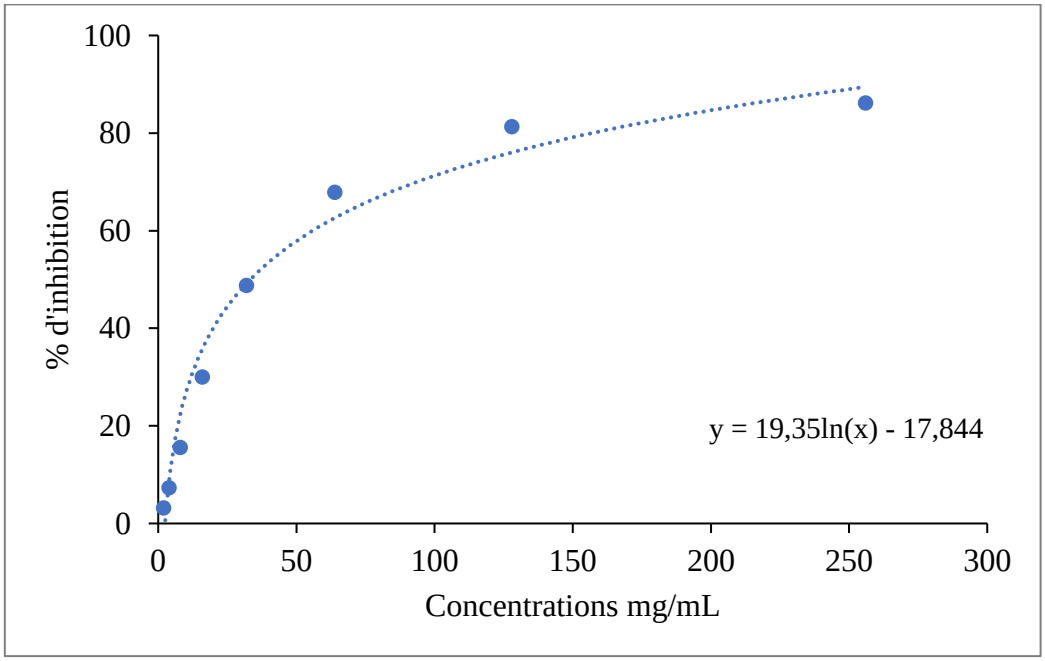


Figure 3 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des fleurs de *S. olusatrum*

Tableau 3 : Valeurs des CI_{50} de l'activité antioxydante des huiles essentielles des différentes parties (Tiges et feuilles, Fruits, Fleurs) de la plante *S. olusatrum*

Parties de la plante	CI_{50} mg/mL
Tiges et feuilles	68,40
Fruits	32,01
Fleurs	33,32
Acide ascorbique (Standard)	**0,00221 ± 0,00041**

L'examen des valeurs de CI_{50} met en évidence une activité antioxydante variable selon l'organe étudié. Les huiles essentielles des fruits et des fleurs se révèlent les plus actives, avec des CI_{50} respectives de 32,01 et 33,32 mg/mL, très proches l'une de l'autre. À l'inverse, l'huile des tiges et des feuilles présente la valeur la plus élevée (68,40 mg/mL), soit environ le double, traduisant une capacité nettement plus faible à piéger le radical DPPH. Cette hiérarchie se retrouve sur les courbes dose-réponse : à la concentration la plus élevée (256 mg/mL), les fleurs et les fruits atteignent les pourcentages d'inhibition les plus marqués (86,16 % et 82,41 % respectivement), contre 77,08 % pour les tiges et feuilles.

Ces résultats concordent, dans leur tendance générale, avec ceux rapportés par **Messaoud *et al.* (2013)**, qui ont évalué l'activité antioxydante de l'huile essentielle de *S. olusatrum* de Tunisie par le test DPPH. Ces auteurs avaient 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 se montrant la plus active. Comme dans la présente étude, les organes reproducteurs (fruits et fleurs) y apparaissaient plus actifs que les parties végétatives, ce qui conforte la fiabilité de la hiérarchie observée, même si les valeurs absolues diffèrent quelque peu d'une étude à l'autre.

La meilleure activité des huiles essentielles de fruits et de fleurs pourrait s'expliquer par leur composition chimique particulière. Chez *S. olusatrum*, plusieurs auteurs ont attribué l'activité antioxydante essentiellement aux furanosesquiterpènes, qui forment souvent la fraction majoritaire de l'huile, mais aussi à la présence de monoterpènes hydrocarbonés et à d'éventuels effets synergiques entre constituants **(Messaoud *et al.*, 2013 ; Quassinti *et al.*, 2013)**. Cette hypothèse reste néanmoins à confirmer par une caractérisation détaillée de la composition chimique des huiles étudiées au moyen de la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-SM).

La confrontation avec l'antioxydant de référence souligne clairement la faible efficacité relative des huiles essentielles étudiées. L'acide ascorbique présente en effet une CI_{50} de 0,00221 ± 0,00041 mg/mL, soit une activité très largement supérieure à celle des huiles de *S.*

olusatrum. Ainsi, même l'huile la plus active de cette étude, celle des fruits (CI_{50} = 32,01 mg/mL), demeure très en deçà de l'acide ascorbique. Cet écart considérable confirme le caractère modéré de l'activité antioxydante des huiles essentielles de *S. olusatrum*, dont les CI_{50} se chiffrent en dizaines de milligrammes par millilitre, là où les antioxydants de référence se situent à l'ordre du millième de milligramme par millilitre.

Il convient enfin de rappeler que les travaux consacrés à l'activité antioxydante de l'huile essentielle de *S. olusatrum* restent peu nombreux **(Messaoud *et al.*, 2013 ; Quassinti *et al.*, 2013)**, ce qui limite les possibilités de comparaison avec la littérature. Si cette rareté constitue une contrainte pour l'interprétation des résultats, elle confère également à la présente étude un intérêt particulier, en enrichissant les connaissances disponibles sur cette espèce dans la région de Relizane.

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

L'inflammation constitue une réponse physiologique de défense déclenchée à la suite d'une agression d'origine infectieuse, chimique ou physique. Lorsqu'elle se prolonge ou échappe à toute régulation, elle contribue cependant à l'installation de nombreuses affections chroniques. La recherche de substances naturelles capables de moduler ce processus s'est ainsi largement tournée vers les métabolites secondaires des plantes, et notamment vers les huiles essentielles riches en composés sesquiterpéniques.

L'huile essentielle de *S. olusatrum* se prête particulièrement à ce type d'investigation, sa fraction volatile étant dominée par des furanosesquiterpènes, isofuranodiène, curzérène, furanorémophil-1-one et 1β-acétoxyfuranoeudesm-4(15)-ène, accompagnés de germacrone **(Mölleken *et al.*, 1998 ; Maggi *et al.*, 2012 ; Quassinti *et al.*, 2013)**. C'est dans cette optique qu'a été évalué, dans le présent travail, le pouvoir anti-inflammatoire *in vitro* des huiles essentielles extraites des trois ensembles d'organes, tiges et feuilles, fruits et fleurs. L'activité est exprimée par la concentration inhibitrice médiane (CI_{50}), définie comme la concentration d'huile entraînant 50 % d'inhibition de la réponse mesurée ; plus cette valeur est faible, plus l'activité anti-inflammatoire est importante.

Il importe de souligner d'emblée que l'activité biologique de l'huile essentielle de cette espèce demeure peu explorée. Les données publiées concernent surtout 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 jusqu'ici. Les résultats présentés s'inscrivent donc dans un champ encore largement inexploré, ce qui restreint d'autant les possibilités de comparaison directe avec la littérature.

Les pourcentages d'inhibition de la dénaturation de la BSA obtenus aux différentes concentrations sont consignés dans le tableau 4 et représentés par les courbes des figures 5 à 7 ; les valeurs de CI_{50} correspondantes, exprimées en µg/mL, figurent dans le tableau 5.

Tableau 4 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de la BSA des huiles essentielles des différentes parties (tiges et feuilles, fruits, fleurs) de *S. olusatrum*

Concentration (µg/mL)	% d'inhibition		
	Tiges et feuilles	Fruits	Fleurs
12,5	2,58	4,28	3,43
25	7,60	10,91	9,25
50	15,64	18,35	17,00
100	30,12	34,79	32,45
200	44,65	47,83	46,24
400	62,44	61,60	62,02
800	72,21	73,84	73,02
1600	79,38	82,42	80,90

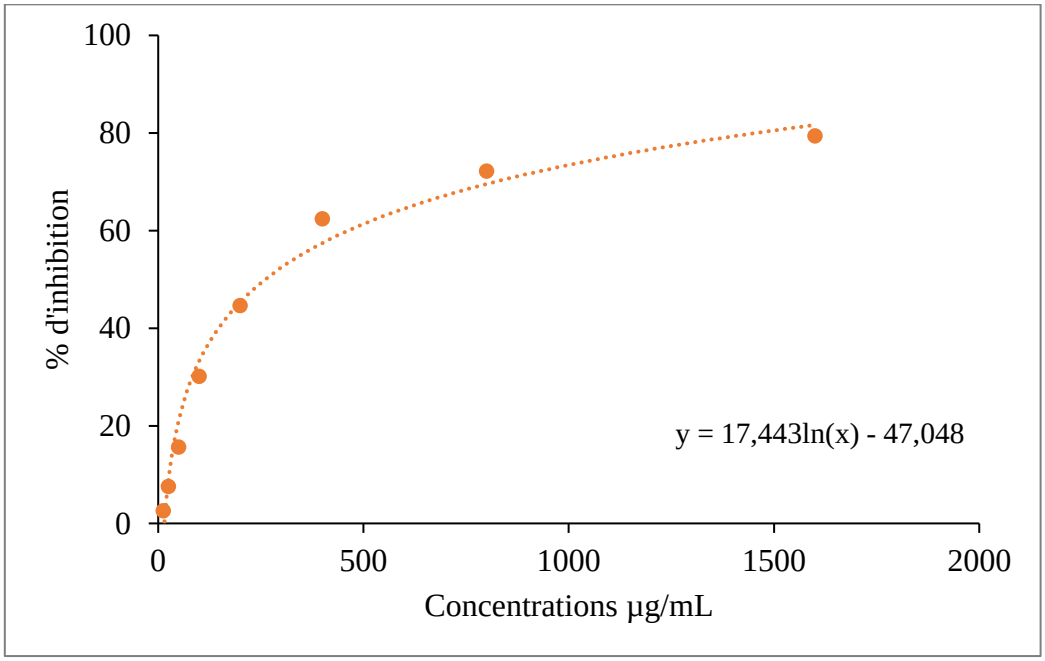


Figure 4 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de la BSA en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des tiges et feuilles de *S. olusatrum*

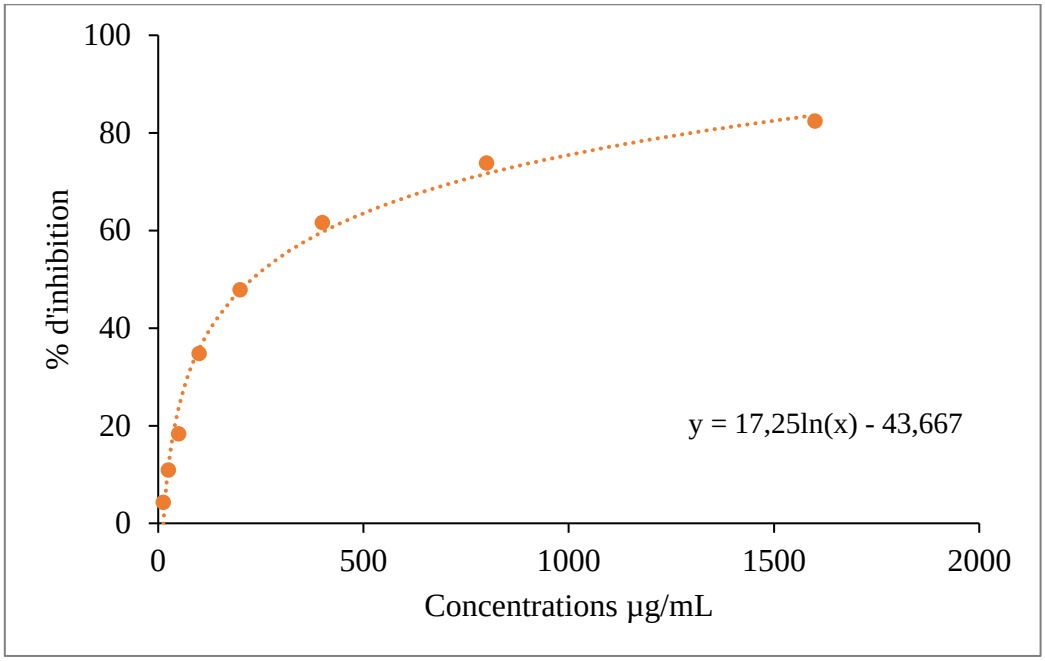


Figure 5 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de la BSA en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des fruits de *S. olusatrum*

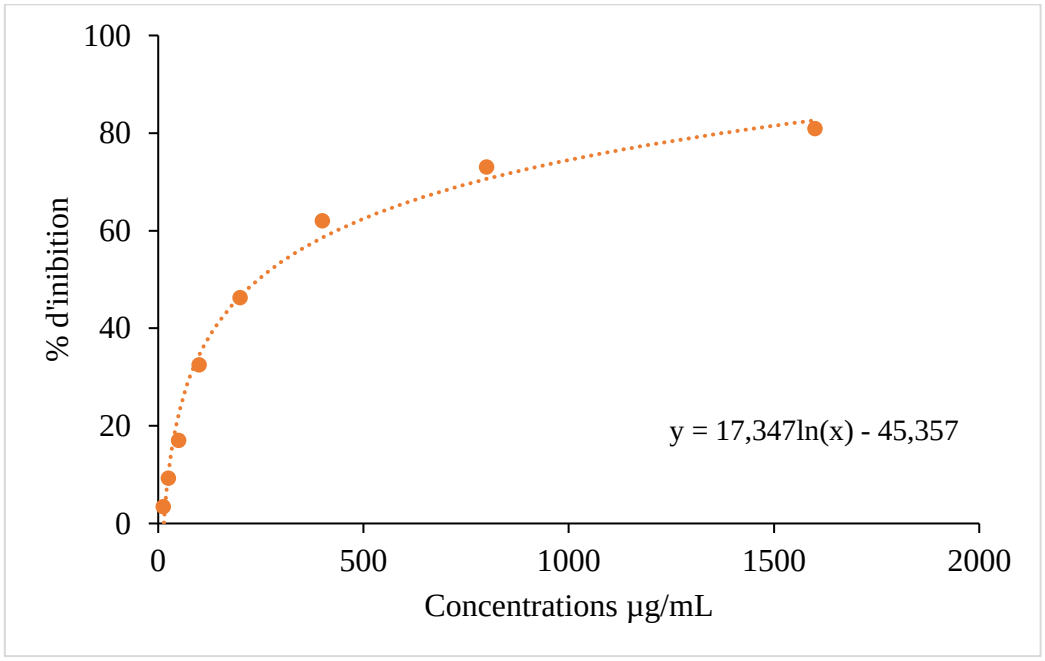


Figure 6 : Pourcentage d'inhibition de la dénaturation de la BSA en fonction des différentes concentrations des huiles essentielles des fleurs de *S. olusatrum*

Tableau 5 : Valeurs des CI_{50} de l'activité anti-inflammatoire des huiles essentielles des différentes parties (Tiges et feuilles, Fruits, Fleurs) de la plante *S. olusatrum*

Parties de la plante	CI_{50} µg/mL
Tiges et feuilles	260,79
Fruits	228,14
Fleurs	243,97
Ibuprofène (Standard)	**37,11 ± 0,56**

L'analyse des résultats présentés dans le tableau 5 met en évidence des valeurs de CI_{50} comprises entre 228,14 et 260,79 µg/mL pour les huiles essentielles des différents organes de *S. olusatrum* L. Ces données indiquent que les trois fractions étudiées possèdent une capacité à inhiber la dénaturation de l'albumine bovine, traduisant ainsi un certain potentiel anti-inflammatoire. Toutefois, les valeurs obtenues se situent dans une fourchette relativement étroite, suggérant une homogénéité globale de l'activité entre les organes analysés. En effet, les écarts observés demeurent modérés et ne témoignent pas de différences majeures d'efficacité dans les conditions expérimentales adoptées.

Néanmoins, lorsque ces résultats sont comparés à ceux du standard de référence utilisé dans cette étude, à savoir l'ibuprofène, des différences importantes apparaissent. Avec une valeur de CI_{50} de 37,11 ± 0,56 µg/mL, l'ibuprofène exerce une inhibition beaucoup plus marquée de la dénaturation protéique que les huiles essentielles testées. Les fractions végétales présentent ainsi des valeurs de CI_{50} environ six à sept fois supérieures à celle du médicament de référence, ce qui traduit une activité anti-inflammatoire plus modérée. Cette différence n'est toutefois pas surprenante, dans la mesure où l'ibuprofène est une molécule pure, spécifiquement développée pour son action pharmacologique, alors que les huiles essentielles constituent des mélanges complexes de nombreux composés dont les concentrations et les effets biologiques peuvent varier considérablement.

L'examen détaillé des résultats permet néanmoins de dégager certaines tendances intéressantes. Parmi les huiles étudiées, celle obtenue à partir des fruits présente la valeur de CI50 la plus faible (228,14 µg/mL), indiquant la meilleure capacité à prévenir la dénaturation de la BSA et, par conséquent, l'activité anti-inflammatoire la plus prononcée. Elle est suivie par l'huile essentielle des fleurs, dont la CI_{50} atteint 243,97 µg/mL. À l'inverse, l'huile issue des tiges et des feuilles se caractérise par la valeur la plus élevée (260,79 µg/mL), reflétant une efficacité moindre dans ce modèle expérimental. Bien que ces différences restent relativement

limitées, elles suggèrent l'existence d'une variabilité de l'activité biologique selon l'organe végétal considéré.

Cette hiérarchie entre les différentes fractions se retrouve également à travers l'analyse des courbes dose-réponse. Pour chacune des huiles essentielles testées, le pourcentage d'inhibition de la dénaturation protéique augmente progressivement avec l'élévation de la concentration, traduisant un comportement dose-dépendant. Ce phénomène constitue un argument supplémentaire en faveur de l'existence d'un effet biologique réel des extraits étudiés, même si leur puissance demeure inférieure à celle du témoin positif. L'augmentation graduelle de l'activité avec la dose est d'ailleurs fréquemment rapportée dans les études consacrées aux propriétés anti-inflammatoires des huiles essentielles.

L'interprétation des différences observées entre les organes doit cependant être envisagée avec prudence. Plusieurs travaux ont montré que la composition chimique de l'huile essentielle de *S. olusatrum* varie considérablement selon la partie de la plante étudiée, mais également en fonction de l'origine géographique des populations et des conditions environnementales **(Mölleken *et al*., 1998 ; Bertoli *et al*., 2004 ; Quassinti *et al*., 2013)**. Les parties végétatives aériennes, notamment les tiges, les feuilles et les fleurs, sont généralement caractérisées par une prédominance de sesquiterpénoïdes oxygénés, parmi lesquels figurent divers furanosesquiterpènes. En revanche, les fruits renferment souvent des proportions importantes d'hydrocarbures monoterpéniques, tels que le β-phellandrène et l'α-pinène **(Mölleken *et al*., 1998)**.

Dans la présente étude, le fait que les huiles essentielles issues des fruits présentent l'activité anti-inflammatoire la plus élevée, malgré leur profil chimique potentiellement différent de celui des autres organes, constitue une observation particulièrement intéressante. En effet, si les furanosesquiterpènes sont fréquemment considérés comme les principaux composés bioactifs de l'espèce, les résultats obtenus suggèrent que leur présence ne peut, à elle seule, expliquer l'ensemble de l'activité observée. Il apparaît donc probable que plusieurs constituants contribuent simultanément à l'effet anti-inflammatoire global, à travers des interactions de type additif ou synergique. Cette hypothèse rejoint les conclusions proposées par **Quassinti *et al.* (2013)**, selon lesquelles l'activité biologique des huiles essentielles de *S. olusatrum* résulterait davantage de la combinaison complexe de leurs différents métabolites que de l'action isolée d'un composé unique.

Les données mécanistiques disponibles dans la littérature concernent principalement l'isofuranodiène, considéré comme l'un des principaux constituants bioactifs de l'huile essentielle de cette espèce. Dans une étude menée par **Li *et al.* (2015)**, l'administration orale

d'isofuranodiène à des rats soumis à une hépatotoxicité induite par la D-galactosamine et le lipopolysaccharide a permis de mettre en évidence des effets anti-inflammatoires significatifs. Les auteurs ont rapporté une diminution notable des concentrations sériques des enzymes hépatiques ALT et AST, utilisées comme marqueurs des lésions tissulaires, ainsi qu'une réduction du taux de malondialdéhyde (MDA), indicateur du stress oxydatif. Par ailleurs, une baisse significative de l'expression de plusieurs médiateurs pro-inflammatoires, notamment l'interleukine-1β (IL-1β), l'interleukine-6 (IL-6) et la NO-synthase inductible (iNOS), a également été observée au niveau du tissu hépatique.

Ces effets étaient particulièrement marqués chez les animaux ayant reçu la dose de 50 mg/kg d'isofuranodiène, révélant ainsi une relation dose-réponse cohérente avec une activité pharmacologique réelle. Bien que cette étude ne fournisse pas de valeur de CI_{50} directement comparable à celles obtenues dans le cadre du test de dénaturation de l'albumine bovine, elle apporte néanmoins des preuves expérimentales solides du potentiel anti-inflammatoire des furanosesquiterpènes présents chez *S. olusatrum*. Toutefois, toute comparaison directe entre ces résultats et ceux de la présente étude doit être effectuée avec précaution. En effet, les deux approches reposent sur des modèles biologiques fondamentalement différents : d'une part, un modèle in vivo d'inflammation associée à une atteinte hépatique, intégrant la complexité des réponses physiologiques de l'organisme ; d'autre part, un essai in vitro évaluant la capacité des extraits à inhiber la dénaturation thermique d'une protéine. Malgré ces différences méthodologiques, l'ensemble des données disponibles converge vers l'existence d'un potentiel anti-inflammatoire réel chez *S. olusatrum*, justifiant la poursuite des investigations visant à identifier les composés responsables de cette activité et à mieux comprendre les mécanismes moléculaires impliqués.

Conclusion

Ce travail avait pour ambition de contribuer à la connaissance des rendements et des activités biologiques de l'huile essentielle de *Smyrnium olusatrum*, espèce de la famille des Apiacées encore peu étudiée, à partir d'un matériel végétal récolté dans la région de Relizane. Les huiles essentielles des différents organes, tiges et feuilles, fruits et fleurs, ont été obtenues par hydrodistillation, puis caractérisées du point de vue de leur rendement et de leurs activités antioxydante et anti-inflammatoire évaluées *in vitro*.

L'extraction a livré des rendements faibles, compris entre 0,045 % pour les tiges et feuilles et 0,058 % pour les fleurs, les organes reproducteurs se montrant légèrement plus productifs que les parties végétatives. Ces valeurs, modestes, s'accordent avec l'ordre de grandeur déjà rapporté pour l'espèce en Algérie, tout en demeurant inférieures à celles observées sur certaines populations méditerranéennes ; elles illustrent une fois encore la forte dépendance du rendement à l'égard de l'organe, des conditions pédoclimatiques et de l'état physiologique de la plante au moment de la récolte.

Sur le plan de l'activité antioxydante, appréciée par le test au DPPH●, les huiles des fruits et des fleurs se sont révélées les plus actives (CI_{50} respectives de 32,01 et 33,32 mg/mL), devant celle des tiges et feuilles (68,40 mg/mL). Cette supériorité des organes reproducteurs rejoint les tendances décrites dans la littérature. L'activité demeure néanmoins modérée, très en deçà de celle de l'acide ascorbique pris comme référence, ce qui est conforme au comportement habituel des huiles essentielles à dominante terpénique.

L'évaluation de l'activité anti-inflammatoire, fondée sur l'inhibition de la dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine, a fourni des valeurs de CI_{50} relativement homogènes d'un organe à l'autre (de 228,14 à 260,79 µg/mL), l'huile des fruits se montrant la plus active. Là encore, l'activité reste plus faible que celle de l'ibuprofène de référence. Ce volet revêt toutefois un intérêt particulier : à notre connaissance, il s'agit de la première évaluation *in vitro* de l'activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle entière de *S. olusatrum*, jusqu'ici essentiellement documentée pour ses propriétés antimicrobiennes et antiprolifératives.

Pris dans leur ensemble, ces résultats confirment que l'huile essentielle de *S. olusatrum* de la région étudiée possède des activités antioxydante et anti-inflammatoire réelles mais modérées, et que ces activités varient selon l'organe considéré. Ils enrichissent ainsi une connaissance encore lacunaire de l'espèce, en particulier à l'échelle algérienne et pour la région de Relizane, jusqu'ici inexplorée à cet égard.

Ce travail comporte néanmoins des limites qu'il convient de rappeler. La composition chimique des huiles étudiées n'a pas fait l'objet d'une caractérisation par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse ; les hypothèses avancées pour relier les

activités observées à la nature des constituants, notamment aux furanosesquiterpènes, restent donc à confirmer. Par ailleurs, le nombre restreint d'études antérieures portant spécifiquement sur l'huile essentielle entière, et non sur ses constituants isolés, limite les possibilités de comparaison directe avec la littérature.

Plusieurs perspectives se dégagent de ces constats. Il serait d'abord souhaitable de procéder à une analyse fine de la composition chimique des huiles, par CPG-SM et, pour les furanosesquiterpènes thermolabiles tels que l'isofuranodiène, par chromatographie liquide haute performance, afin d'établir le lien entre profil chimique et activité. L'éventail des activités biologiques évaluées pourrait en outre être élargi, activités antimicrobienne, antifongique, antiparasitaire ou cytotoxique, et complété par des approches *in vivo*. Enfin, un échantillonnage portant sur plusieurs stations et plusieurs périodes de récolte permettrait de mieux apprécier la variabilité de l'espèce et de préciser les conditions favorables à l'obtention d'une huile riche en composés actifs. Autant de pistes qui, en valorisant une plante longtemps oubliée, contribueraient à mieux exploiter le potentiel de la flore aromatique de la région.

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 *Smyrnium olusatrum* 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 *Smyrnium olusatrum* 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 *Smyrnium olusatrum* 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 (*Smyrnium olusatrum* 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, *Smyrnium 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 (*Smyrnium 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 *Smyrnium 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 *Smyrnium 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 *Smyrnium 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, *Smyrnium 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 *Smyrnium 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 (*Smyrnium 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: *Smyrnium olusatrum* 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 *Smyrnium olusatrum* 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 (*Smyrnium olusatrum* 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 *Smyrnium olusatrum* 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'Connar 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 (*Smyrnium olusatrum* L.), protects rats against acute ischemic stroke. *Pharmaceuticals*, 14 (4), 344.