

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université A. Mira de Bejaia



Faculté de Technologie
Département de Génie des procédés
Laboratoire Génie des procédés

Mémoire
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
Master

Domaine : Science et Technologie
Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie Pharmaceutique.

Présenté par

HAROUNI Melissa et MIOUCHE Melisa

Thème

Extraction et caractérisation de l'huile essentielle de
(*Lentisque pistachier l*)

Soutenue le 08 / 07 /2024

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Affiliation	Qualité
IHAMOUCHEN Chadia	MCA	Université de Bejaia	Examineur
BEDER Wassila	MCB	Université de Bejaia	Président
HAMOUR Noura	MCA	Université de Bejaia	Encadrant
CHIBANE Nazim	Doctorant	Université de Bejaia	Co- Encadrant

Année Universitaire : 2023-2024

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers Dieu le tout-Puissant, qui nous a accordé la santé, la volonté, et surtout le courage d'entreprendre et de mener à terme ce mémoire.

À nos chers parents, sans qui nous n'aurions jamais cru pouvoir atteindre ce jour, nous adressons nos sincères remerciements.

Nous souhaitons également exprimer nos sincères remerciements à toutes les personnes qui nous ont apporté leur aide et ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Ce projet a été réalisé au sein du Laboratoire de Génie des Procédés (LMPA) de l'Université A/MIRA de Bejaia. Nous tenons à remercier chaleureusement notre encadrante, Mme Hamour Noura, pour ses efforts inlassables, son soutien constant et ses encouragements qui nous ont permis d'accomplir ce travail avec succès.

Nous adressons également nos remerciements aux membres du laboratoire Bloc 11, Labo 5, pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de notre projet.

Nos remerciements vont également aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre travail et de l'enrichir de leurs suggestions.

Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance la plus distinguée envers tous nos enseignants pour leur dévouement et leur soutien tout au long de notre parcours académique.



- H.Melissa & M.Melisa -

Dédicaces

En ce moment chaleureux de ma vie, je tiens à remercier tout d'abord le bon Dieu le tout Puissant qui m'a procuré du courage et de la volonté pour réaliser ce modeste travail

À moi-même, en reconnaissance de mes efforts et de ma détermination constante à m'améliorer.

À mes chers grands-parents,

Votre amour et votre sagesse demeurent gravés dans mon cœur. Malgré votre absence, votre héritage continue de m'inspirer. Merci pour tout ce que vous avez fait. Votre amour est éternel.

À mes chers parents:

À ma merveilleuse maman,

Ton amour est ma lumière, ta tendresse ma force. Chaque jour, tu m'inspires par ta générosité et ton dévouement. Merci pour tout ce que tu fais. Je t'aime infiniment.

À mon formidable papa,

Ton courage et ta bienveillance sont mes piliers. Ta présence est un cadeau précieux que je chéris chaque jour. Merci pour ton soutien sans faille. Je t'aime de tout mon cœur.

À mes chers frères Ali, Ghilas, Mazigh, et ma sœur Lília,

Vous êtes les piliers de ma vie, mes compagnons de route à chaque étape. Votre amour, votre soutien inconditionnel et nos souvenirs partagés sont des trésors que je chérirai toujours. Cette réussite est aussi la vôtre, car chacun de vous a contribué à forger la personne que je suis aujourd'hui.

*"À ma binôme de mémoire et à ma douce copine Melissa,
Ta présence à la fois dans nos travaux académiques et dans ma
vie personnelle est un précieux cadeau. Merci d'être là, avec
ton soutien et ton amour, à chaque étape de notre parcours. Tu
es une source constante de bonheur et de force pour moi."*

*À mes adorables tantes Fatima, Malika, Khokha et Djidja.
Vous êtes les étoiles qui illuminent notre famille*

À ma chère famille Miouche et Galloul, vous êtes mon tout.

*À ma chère copine Lydia,
Ta présence illumine mes jours et rend chaque instant plus
spécial. Merci d'être une amie aussi merveilleuse. Je suis
reconnaissante pour toi chaque jour.*

*À mes amis Ghilas, Amar, Fazia et Hicham.
Votre amitié est un trésor précieux qui illumine ma vie. Merci
d'être toujours là pour moi, de partager les rires, les joies et les
défis de la vie*



- M.Melisa -

Dédicaces

Avec l'aide de Dieu le tout puissant et en guise de reconnaissance, Je dédie ce modeste travail à ton âme mon cher :

Salim Harouni



Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Sommaire

Liste d'abréviation

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction Générale..... 1

Chapitre I

Recherche bibliographique

I.1. Lentisque pistachier	4
I.1.1. Présentation de la plante.....	4
I.1.2. Appellation et classification systématique	4
I.1.2.1. Appellation.....	4
I.1.2.2. Classification.....	5
I.1.3. Description botanique	5
I.1.3.1. Feuilles	5
I.1.3.2. Fleurs.....	5
I.1.3.3. Fruits	6
I.1.3.4. Mastic ou résine	7
I.1.4. Origine et distribution de lentisque	7
I.1.4.1. Monde	7
I.1.4.2. Algérie.....	8
I.1.5. Usage médical	8
I.1.6. Composition chimique	10
I.1.6.1. Fruits	10
I.1.6.2. Feuilles	11
I.1.6.3. Résine.....	11
I.2. Huiles essentielles	11
I.2.1. Définitions de HE.....	11
I.2.2. Localisations des HE dans la plante.....	12
I.2.3. Composition Chimique des HE.....	13
I.2.3.1. Terpènes	13
I.2.3.1.1. Monoterpènes	13
I.2.3.1.2. Sesquiterpènes.....	14

Sommaire

I.2.4. Composés aromatiques ES	14
I.2.5. Domaines d'utilisation de L'huile essentielle	15
I.2.6. Problèmes de l'huile essentielle	18
I.3. Différents méthodes d'extractions	19
I.3.1. Distillation	19
I.3.2. Extraction par entraînement à la vapeur d'eau	20
I.3.3. Extraction par solvants volatils	21
I.3.4. Utilisation de l'expression à froid	21
I.3.5. Extraction par micro-onde	22
I.3.6. Extraction par ultrasons	22
I.3.7. Extraction par des gaz supercritiques	23
I.3.8. Extraction par hydrodistillation	23
I.4. Encapsulation	25
I.4.1. Généralité sur l'encapsulation	25
I.4.2. Histoire de l'encapsulation	25
I.4.3. Les différents types de procédés	26
I.4.4. Micro encapsulation	27
I.4.4.1. Micro encapsulation par coacervation simple	27
I.4.4.2. Micro encapsulation par coacervation complexe	28
I.4.5. Détermination de la quantité d'agent actif encapsulé	28
I.4.6. Plan d'expérience	29
I.4.6.1. Définition	29
I.4.6.2. Types des plans d'expériences	29
I.4.6.3. Plans composites centrés	30

Chapitre II

Méthodes et matériels

II.1. Matériels et méthodes	32
II.1.1. Matériel végétal	32
II.1.2. Extraction par hydrodistillation	33
II.1.3. Plan d'expérience	33
II.1.4. Encapsulation par coacervation complexe	35
II.1.5. Étude par spectroscopie infrarouge à transformée de fourier (IRTF) Erreur ! Signet non défini.	
II.1.6. Analyse chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse	39

Sommaire

II.1.7. Test de dissolution	40
-----------------------------------	----

Chapitre III

Résultats et discussions

III.1. Résultats de l'extraction de l'huile essentielle	43
III.2. Plan D'expérience	43
III.3. Résultats de l'analyse infrarouge à transforme de fourrier (IRTF)	45
III.4. Chromatographie en phase gazeuse couplé à une spectroscopie de masse (GC/MS)	46
III.5. Test de dissolution	48
Conclusion Générale	50
Références bibliographiques.....	52
Annexes.....	66

Liste d'abréviation

Liste d'abréviation

°C : Degré Celsius

CMC Na : Carboxyméthylcellulose de Sodium

g : Gramme

GC-MS: Chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse.

h : Heure

HDL-cholestérol : High-Density Lipoprotein Cholesterol

HE : Huiles Essentielles.

HPCL : La chromatographie liquide haute performance

HPMC : hydroxypropyl méthylcellulose

IR : Infra rouge.

IRTF : La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

KBR : Bromure de Potassium

LDL-cholestérol : Low-Density Lipoprotein Cholesterol

mL : Millilitre

P.L : Pistacia lentiscus . L

PCC : Plan Central Composite

pH : Potentiel hydrogène

TPC : Total Phenolic Content

UV-VI : Ultra-violet/Visible

µm : Micromètre

Liste des tableaux

Tableau I.1: Noms communs de Pistacia lentiscus	4
Tableau I.2: Classification botanique du Pistacia Lentiscus L	5
Tableau I.3: Composition en acides gras de l'huile de fruits de Pistacia lentiscus L.....	11
Tableau II.1: Tableau du plan d'expériences avec les différentes expériences et leurs paramètres.....	35
Tableau III.1: Rendement des extractions par hydrodistillation.....	43
Tableau III.2: Résultats de l'analyse de variance (ANOVA).....	44
Tableau III.3: Concentration des différents composés identifiés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectroscopie de masse des huiles essentielles de lentisque pistachier.....	47
Tableau III.4: Concentration des différents composés identifiés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectroscopie de masse des huiles essentielles de lentisque pistachier.....	69

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 : Photographie de La pistacia lentiscus L.....	4
Figure I.2 : Photo des feuilles de pistacia lentiscus	5
Figure I.3 : Fleurs de Pistacia lentiscus L., (a) Fleurs femelles	6
Figure I.4 : Fleurs de Pistacia lentiscus L., b) Fleurs mâles.....	6
Figure I.5 : Photos des fruits de pistacia lentiscus	7
Figure I.6 : Photos du mastic de pistacia lentiscus.....	7
Figure I.7 : Photographie de L'huile essentielle de lentisque pistachier.....	12
Figure I.8 : Différentes structures des monoterpènes.....	14
Figure I.9 : Différentes structures des sesquiterpènes.....	14
Figure I.10 : Différentes structures dérivés du phénylpropane	15
Figure I.11 : Parfum Lentisque de Serge Lutens.....	15
Figure I.12 : Photographie de Sérum Lentisque AntiÂge de KOS Paris	17
Figure I.13 : Photographie de Crème AntiÂge Pistachier de Phytos	17
Figure I.14 : Photographie de médicament warfarin (coumadin) Anticoagulants oraux ...	18
Figure I.15 : Photographie médicament Enoxaparine (Lovenox) Anticoagulants injectables	19
Figure I.16 : Montage d'entraînement à la vapeur d'eau	21
Figure I.17 : Montage d'extraction par solvants volatils	21
Figure I.18 : Montage d'expression à froid.....	21
Figure I.19 : Montage d'extraction par micro-onde.....	22
Figure I.20 : Montage d'extraction par ultrason	22
Figure I.21 : Montage d'extraction par des gaz supercritiques	23
Figure I.22 : Montage d'extraction par hydrodistillation.....	23
Figure I.23 : Le plan composite centré pour trois facteurs.....	30
Figure II.1 : Fruits de P L broyé à l'aide d'un mortier.....	32
Figure II.2 : Fruits de P L fraîche.....	32
Figure II.3 : Zone de prélèvement dans la région de Timezrit.....	32
Figure II.4 : Montage d'extraction par hydro distillation de type clevenger	33
Figure II.5 : Solution de la gélatine (a), solution de l'alginate (b)	36
Figure II.6 : Photographie des microcapsules formées.....	36
Figure II.7 : Placement du mélange échantillon-KBR dans le moule de presse à pastilles.	38
Figure II.8 : Compression du mélange dans la presse à pastilles.....	38

Liste des figures

Figure II.9 : Placement de la pastille dans le porte-échantillon de l'instrument IRTF pour l'analyse spectroscopique.....	39
Figure II.10 : Appareil de test de la dissolution.....	41
Figure III.1 : Spectre infrarouge de L'huile essentiel de lentisque (noire), coacervats chargés en huile essentiel (rouge) et de capsules préparées vide	46
Figure III.2 : structure chimique de myrcène	46
Figure I. 3 : Graphes représentant les pourcentages de libération d'huile essentielle au fil du Temps pour (1 ml ; 0.5ml ; 0.125ml ; 0.25 ml).....	47

Introduction Générale

Introduction Générale

Les plantes médicinales, telles que le *Pistacia lentiscus* L, jouissent depuis des siècles d'une grande valorisation en raison de leur utilité et des bienfaits qu'elles offrent à la santé humaine et animale, que ce soit pour la prévention ou le traitement. Les huiles essentielles, qui occupent une place centrale en phytothérapie, sont aujourd'hui considérées comme des alternatives prometteuses aux produits chimiques traditionnels.

Dans notre société, il est courant de consommer de l'huile de lentisque pour traiter les maux liés à l'estomac et à la digestion, bien que sa composition reste souvent méconnue. Afin de mieux exploiter cette plante, nous proposons de valoriser son huile essentielle par des techniques avancées d'extraction et d'encapsulation, suivies de diverses méthodes de caractérisation. Cette étude vise à déterminer la composition chimique de l'huile essentielle de lentisque, à optimiser les méthodes d'extraction, à améliorer la stabilité et l'efficacité de l'huile par encapsulation, et à approfondir les connaissances sur ses propriétés thérapeutiques. En améliorant la compréhension et l'utilisation de cette ressource naturelle, nous espérons ouvrir de nouvelles perspectives économiques et thérapeutiques.

Le *Pistacia lentiscus* L, un arbuste persistant de la famille des Anacardiaceae, prospère dans les climats chauds. Il se distingue par ses feuilles coriaces, ses fleurs rougeâtres et ses fruits ronds qui, à maturité, prennent une teinte noire, chaque fruit contenant une graine (*Zaouali et al, 2018*). Généralement, il atteint une hauteur de 2 à 3 mètres et dégage une forte odeur résineuse (*Belfadel, 2009; Julve, 1998*).

Depuis l'Antiquité, le *Pistacia lentiscus* a été utilisé à des fins médicales, culinaires et religieuses, apprécié pour ses multiples fonctions et son importance culturelle en Méditerranée. Les Grecs et les Romains utilisaient son huile essentielle pour traiter diverses affections, tandis que ses fruits faisaient partie intégrante de leur alimentation. Plusieurs études de recherche (*Bellili et al, 2021*) et (*Boudieb et al, 2020*) ont mis en évidence la richesse du *Pistacia Lentiscus* L sur le territoire algérien, notamment en ce qui concerne sa composition et ses propriétés. L'objectif principal de cette étude est d'exploiter le potentiel du *Pistacia Lentiscus*, largement répandu dans la région du Tell algérien. Pour ce faire, nous avons entrepris la caractérisation approfondie de ce fruit.

Afin d'atteindre cet objectif, ce travail de recherche est organisé en trois chapitres principaux :

Le premier chapitre offre une monographie détaillée de la plante, fournissant une analyse approfondie pour situer ce fruit dans le contexte de la classification taxonomique.

Introduction Générale

De plus, il aborde certaines utilisations pertinentes liées aux fruits du lentisque. En outre, ce chapitre explore en détail les huiles essentielles, leur composition, les différentes méthodes d'extraction, ainsi que les avancées dans le domaine de l'encapsulation complexe pour garantir leur protection.

Le second chapitre présente les travaux expérimentaux réalisés dans le cadre de cette étude. Il met l'accent sur l'extraction et l'encapsulation complexes, ainsi que sur les analyses qualitatives des huiles extraites à partir des fruits de lentisque. Ces analyses sont effectuées à l'aide de techniques sophistiquées telles que la chromatographie en phase gazeuse (CPG), la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF ou FT-IR), ainsi que la spectrophotométrie UV-Vis et les tests de dissolution.

Le troisième chapitre : Expose, interprète et discute les résultats obtenus de cette étude.

Ce manuscrit est clos par une **conclusion générale** résumant tous les résultats des travaux réalisés et dégage les principales perspectives qui feront suite à ce travail.

Par souci de clarté on a rassemblé en **annexe** les préparations et caractérisations spécifique.

Chapitre I
Synthèse bibliographique

I.1. Lentisque pistachier

I.1.1. Présentation de la plante

Le *Pistacia lentiscus* L, membre de la famille des Anacardiaceae, est un arbuste à feuillage persistant qui prospère dans les climats chauds. Ses petites feuilles elliptiques coriaces caractérisent son apparence. La plante produit des fleurs rougeâtres regroupées en grappes et des fruits ronds de la taille d'un pois qui virent au noir à maturité. Chaque fruit renferme une seule graine. Selon *Zaouali et al.(2018)*, les fruits de *Pistacia lentiscus* passent par différents stades de maturation tout au long de l'année : verts, puis rouges, et enfin noirs à maturité. Le pistachier, généralement de 2 à 3 mètres de hauteur, est dioïque, ce qui implique la présence d'individus mâles et femelles distincts. Il émet une forte odeur résineuse, comme l'ont observé (*Belfadel et al. 2009*)



Figure I.1 : Photographie de La pistacia lentiscus L

I.1.2. Appellation et classification systématique

I.1.2.1. Appellation

Le lentisque, appartenant au genre *Pistacia*, compte environ 70 genres et plus de 600 espèces. D'après la classification bien connue de (*Zohary et al. 1952*), mentionnée par (*Al Saghir et al. 2012*), le genre *Pistacia* englobe 4 espèces en Algérie : *Pistacia lentiscus*, *Pistacia terebinthus*, *Pistacia vera* et *Pistacia atlantica* (*Boukeloua.2009*). Le tableau suivant énumère les différentes appellations de la plante *Pistacia lentiscus* :

Tableau I.1: Noms communs de *Pistacia lentiscus* (*Benmehdi. 2012*)

Nom scientifique	<i>Pistacia lentiscus</i> L
Nom français	Pistachier Lentisque ou arbre mastic
Nom anglais	Chios mastic tree
Nom arabe	Addraw
Nom kabyle ou berbère	Tidekth, Amadagh
Nom dans l'est algérien	Gadhoun

1.1.2.2. Classification

La classification des lentisques dans le règne végétal est décrite selon *Ghalem et al. (2007)* en se référant à l'arbre phylogénétique présenté dans le **Tableau I.2**

Tableau I.2: Classification botanique du Pistacia Lentiscus L

Taxonomie	Description
Règne	Plantae
Famille	Anacardiacees
Genre	Pistacia
Espèce	Lentiscus
Ordre	Sapindales
Nom binomial	Pistacia lentiscus L

1.1.3. Description botanique

D'après *Rameau et al.(2008)*, Pistacia lentiscus est classé comme un nanophanérophyte, Cette plante est caractérisée par une odeur résineuse forte et désagréable, ainsi qu'une écorce d'un brun rougeâtre, d'abord lisse puis écailleuse. Voici d'autres aspects botaniques qui la définissent :

1.1.3.1. Feuilles

Feuilles persistantes de Pistacia lentiscus, à quatre à dix folioles assez étroites, coriaces, composées, elliptiques et lisses, vert. La durée de vie des feuilles du Pistacia lentiscus est de 2 ans (*Onay et al. 2000*)



Figure I.2 : Photo des feuilles de pistacia lentiscus

1.1.3.2. Fleurs

Les fleurs du pistachier lentisque, tant mâles que femelles, se trouvent sur divers arbustes. Elles sont toutes très petites, de 2-3 mm de large, vertes ou rougeâtres et denses. Les feuilles de pistachier sont disposées en épis courts, serrés, latéraux à l'envers des feuilles.

Selon *Jordano .(1989)*, les fleurs femelles sont d'un vert jaune et les fleurs mâles sont d'un rouge foncé. Selon *Somon et al .(1987)*, la plante est dioïque :

- La fleur de la femelle ♀ : est composée d'un calice avec 3 ou 4 lobes et d'un ovaire avec 3 carpelles convergents et 3 stigmates arqués aux extrémités.



Figure I.3 : Fleurs de *Pistacia lentiscus* L., (a) Fleurs femelles

- La fleur mâle ♂ : est composée d'un calice avec 5 sépales au fond duquel sont insérées 5 étamines, avec des filets courts soudés à la base et des anthères rouges, tétragones. La floraison de lentisque se déroule de mars jusqu'en mai.



Figure I.4 : Fleurs de *Pistacia lentiscus* L., b) Fleurs mâles.

1.1.3.3. Fruits

Selon *Ait Youssef .(2006)*, les fruits de l'arbre *Pistacia lentiscus* se présentent sous la forme de drupes comestibles et arrondies de 5 mm. Ils sont globuleux et contiennent un noyau avec une seule graine. Ces fruits sont initialement rouges puis deviennent noirs à la maturité.



Figure I.5 : Photos des fruits de pistacia lentiscus

I.1.3.4. Mastic ou résine

Une substance résineuse d'un jaune clair (transparente) obtenue par l'incision répétée des tiges, qui dégage une forte odeur balsamique qui se durcit au contact de l'air, est connue sous le nom de mastic ou de gomme-mastic, d'où son nom répandu d'arbre à mastic. En général, la production est d'environ 4 à 5 kilos par arbuste (*Castola et al. 2000*)



Figure I.6 : Photos du mastic de pistacia lentiscus

I.1.4. Origine et distribution de lentisque

I.1.4.1. Monde

Pistacia lentiscus L. est une espèce sauvage qui se trouve largement répartie dans les écosystèmes extrêmes de la région méditerranéenne. Elle est également présente en Europe, en Asie et en Afrique. Cette plante s'adapte aux conditions climatiques semi-arides de la Méditerranée ainsi qu'aux sols désertiques et salins (*Rauf et al. 2017*)

- Afrique du Nord : Maroc, Algérie, Tunisie, Libye, Égypte.
- L'Europe du Sud comprend le Portugal, l'Espagne, la France, l'Italie, la Grèce et Malte.

– Le Proche-Orient comprend la Turquie, la Syrie, le Liban, la Palestine et certaines régions du Moyen-Orient.

1.1.4.2. Algérie

Pistacia lentiscus L. occupe une place prépondérante dans la végétation méditerranéenne et nord-africaine, notamment dans le bassin de la Soummam en Algérie, où il est fréquemment associé au pin d'Alep, au chêne vert et au chêne-liège (*Belhadj. 2000*)

Les recherches approfondies de botanistes éminents comme *Pierre Quézel et Simon Santa*, consignées dans leur ouvrage "**Flore de l'Algérie**" (1958), ont permis d'établir la répartition géographique de cette espèce dans le pays. Le lentisque pistachier prospère largement dans le nord de l'Algérie, dans les maquis, les garrigues et les forêts claires, avec une altitude maximale d'environ 1 500 mètres.

En somme, la préservation de cette espèce revêt une importance cruciale pour la biodiversité algérienne, exigeant une collaboration intégrée afin d'assurer sa survie à long terme.

1.1.5. Usage médical

Le lentisque pistachier (*Pistacia lentiscus* L.), plante emblématique du bassin méditerranéen, a une histoire séculaire d'utilisation à des fins médicinales, aussi bien dans les pratiques traditionnelles que dans la médecine moderne. Traditionnellement, Hippocrate, dans l'Antiquité grecque, recommandait l'infusion des feuilles de lentisque pistachier pour soulager les troubles digestifs, tandis qu'aujourd'hui, en Algérie, cette pratique persiste encore pour apaiser les maux d'estomac. Ses feuilles et ses fruits étaient également employés en infusions pour soulager les inflammations, tandis que son huile essentielle était appliquée localement pour apaiser les douleurs articulaires et les infections cutanées, et le mastic, sa résine emblématique, était mâché pour ses propriétés antiseptiques (*Soulaidopoulos et al., 2022*). Cette pratique ancienne est désormais soutenue par une validation scientifique moderne. Des études comme celles de (*Bozorgi et al. 2013*) confirment les propriétés anti-inflammatoires du lentisque pistachier, tandis que (*Djerrou et al. 2013*) mettent en lumière son action antimicrobienne, et (*Bruno .2015*) souligne sa richesse en antioxydants. De plus, des recherches in vitro, telles que celles de (*Soulaidopoulos et al. 2022*), renforcent l'efficacité de ses extraits contre diverses bactéries et champignons, tandis que des études

ont également confirmé les propriétés cicatrisantes et antibactériennes de son huile essentielle (*Assimopoulou et al. 2005*), soulignant ainsi sa pertinence dans les soins cutanés. Cette synergie entre les connaissances traditionnelles et les avancées scientifiques positionne le lentisque pistachier comme un élément prometteur dans le domaine de la médecine moderne. Cependant, une supervision médicale est essentielle pour son utilisation à des fins thérapeutiques, afin d'adapter la posologie et la durée du traitement à chaque individu en fonction de ses besoins spécifiques et de son état de santé.

Les témoignages et les expériences scientifiques confirment l'efficacité du lentisque pistachier dans les soins cutanés, mettant en lumière ses propriétés bénéfiques pour la peau. Des recherches *in vitro*, menées par (*Soulaidopoulos et al. 2022*) et publiées dans le journal "**Frontiers in Microbiology**", ont démontré que l'extrait de lentisque pistachier possède une activité antimicrobienne étendue, y compris contre les bactéries résistantes aux antibiotiques. Cette validation scientifique est appuyée par des témoignages concrets, comme celui d'une naturopathe qui a partagé son succès dans le traitement d'une plaie infectée avec de l'huile essentielle de lentisque pistachier. De plus, une étude conduite par (*Assimopoulou et al. 2005*), publiée dans "**Phytotherapy Research**", a révélé les propriétés cicatrisantes et antibactériennes de l'huile essentielle de lentisque pistachier, accélérant la guérison des plaies et réduisant la croissance bactérienne. Ces découvertes sont soutenues par des références dans des ouvrages de renom, tels que "**Plantes médicinales du Maghreb**" par *Mohamed Nadjjar (2007)* et "**L'aromathérapie**" par (*Gary Young et Robert Young 1995*), qui explorent les utilisations traditionnelles et les bienfaits scientifiquement prouvés du lentisque pistachier pour la peau. **Un article publié dans le journal "International Journal of Dermatology" (2008)** a rapporté le cas d'une femme qui a utilisé l'huile essentielle de lentisque pistachier pour traiter une infection cutanée fongique. L'huile essentielle a permis d'éliminer l'infection et de soulager les symptômes, tels que les rougeurs, les démangeaisons et les douleurs.

En conclusion, le lentisque pistachier offre un potentiel prometteur pour les soins cutanés, mais son utilisation doit être guidée par des conseils professionnels et une sélection judicieuse de produits.

I.1.6. Composition chimique

Il existe une relation entre toutes les activités thérapeutiques et les composés phytochimiques bioactifs, notamment les phénoliques (*Boudieb et al. 2019*). Ces derniers constituent l'un des groupes majeurs de composés qui jouent le rôle d'antioxydants primaires ou de radicaux libres (*Belhachat et al. 2017*)

Différents composés sont présents dans cette plante, notamment le myrcène (19-25%) ; l' α -pinène (16%), le terpinène-4-ol (22%), le d-3-carène (65%), le myrcène, le limonène, le terpinène-4-ol, l' α -phellandrène, le sabinène, le para-cymène et le g-terpinène (*Benhammou et al. 2007*)

I.1.6.1. Fruits

La bonne qualité nutritionnelle de l'huile de lentisque réside dans sa composition en : acides Gras saturés palmétique + gras = 25,8%) ; acides gras insaturés (oléique + linoléique = 73%) (*Benhammou et al. 2008*) gras monoinsaturés (oméga 3, bêta-sitostérol, alpha-tocophérols) ; Les minéraux présentent une teneur en sodium de 0,46%, en calcium de 0,37%, en phosphore de 0,004% et en potassium avec une teneur la plus élevée de 2,67% (*Chaabani et al. 2019*). Selon les analyses, les extraits de fruits de *P. lentiscus* contiennent principalement des flavonoïdes, des tanins, des anthocyanes et du triterpène (*Belhachat et al. 2017*). Certains antioxydants naturels, tels que les polyphénols, les stérols et les tocophérols, sont présents dans ces aliments (*Elgubbi et al. 2017*). Le tableau ci-dessous présente les compositions en acide gras cimes suit :

Tableau I.3: Composition en acides gras de l'huile de fruits de Pistacia lentiscus L
(Messaoude et al. 2016)

Acide gras (%)	Selon Charef et al.(2008)	Selon Mezni et al.(2012)
Acide palmitique	16,3	25
Acide Oliéque	55,3	56
Acide linoléique	17,6	15

1.1.6.2. Feuilles

Il a été démontré par de nombreuses recherches que l'extrait éthanoïque des feuilles de lentisque est une source importante de flavonoïdes, d'acides phénoliques et de tanins, avec une concentration élevée de composés phénoliques (Aziba et al. 2019). Son contenu en polyphénols composés est également élevé. On a identifié des dérivés de la myricétine qui représentent 20% de la quantité totale de polyphénols présents dans les feuilles de P. lentiscus. La β -caryophylline (31,38%), le germaerène (12,05%) et le γ -cadinène (6,48%) sont présents dans l'huile essentielle de feuilles. L'analyse GC-MS de l'huile hydrodistillée a révélé la présence d' α -pinène, de γ -terpène et de terpène4-ol (Elgubbi et al. 2017)

1.1.6.3. Résine

En analysant la composition phytochimique de la gomme de mastic, il a été constaté qu'elle renferme une proportion importante (30%) d'un polymère insoluble (poly- β -myrcène), une fraction acide principalement composée d'acides triterpéniques et une fraction neutre de mastic contenant plusieurs composés triterpéniques neutres ayant une structure de type phytostérol (Derong et al. 2016). Il est composé de 90% d'hydrocarbure monoterpénique, 79 % d' α -pinène et 3 % de β myrcène (Elgubbi et al. 2017), R-Pinene, alpha-myrcene, alpha-pinene, limonène et alpha-caryophyllene (Koutsoudaki et al. 2005)

I.2. Huiles essentielles

I.2.1. Définitions de HE

L'huile de lentisque pistachier, un liquide précieux extrait des feuilles, des fruits et des branches du Pistacia lentiscus, arbuste méditerranéen aux multiples vertus, se distingue par ses propriétés remarquables (Verma et al. 2015). Cette essence aromatique, volatile et aux couleurs chatoyantes, allant du jaune pâle au rouge foncé en passant par le vert émeraude, possède une densité inférieure à celle de l'eau (entre 0,750 et 0,990) (Guenther. 1950)

Insoluble dans l'eau elle se dissout aisément dans l'alcool, l'éther, le chloroforme, les huiles, les émulsifiants et la plupart des solvants organiques (*Lawless. 2017*). Sa production s'effectue par distillation des parties de la plante, permettant d'isoler ses composés volatils et aromatiques.

L'huile de lentisque pistachier se caractérise par une fragrance distinctive, fraîche et légèrement piquante, dont les nuances varient en fonction de son origine géographique (*Babus et al. 2018*). Son utilisation remonte à l'Antiquité, où elle était déjà appréciée pour ses propriétés médicinales (*Bekkara et al. 2008*). De nos jours, de nombreuses études scientifiques confirment les multiples bienfaits de cette huile essentielle pour la santé.

Parmi ses vertus les plus remarquables, on retrouve ses propriétés anti-inflammatoires, efficaces pour soulager les douleurs articulaires, musculaires et inflammatoires, ainsi que pour apaiser les irritations cutanées (*Bekkara et al. 2008*). Elle est également reconnue pour ses propriétés antioxydantes, aidant à neutraliser les radicaux libres responsables du vieillissement cellulaire et de diverses maladies chroniques (*Verma et al. 2015*). Son action antibactérienne et antifongique permet de lutter contre les infections cutanées, les mycoses et les infections respiratoires (*Babus et al. 2018*). De plus, elle stimule la circulation sanguine et lymphatique, contribuant à soulager les jambes lourdes, les varices et les hémorroïdes (*Bekkara et al. 2006*)



Figure I.7 : Photographie de L'huile essentielle de lentisque pistachier

I.2.2. Localisations des HE dans la plante

Les huiles essentielles, véritables trésors de la vie végétale, sont le résultat d'un processus biologique complexe et fascinant. Découvertes depuis l'Antiquité et utilisées à des fins médicinales, elles prennent naissance au sein du protoplasme des cellules sécrétrices des plantes, comme l'explique Valérie Rouvière dans son ouvrage "**Aroma & Phytothérapie :**

Guide pratique" (2016). Ces cellules, présentes dans divers organes végétaux, orchestrent l'élaboration des molécules aromatiques, qui se regroupent ensuite dans des structures spécialisées telles que les poches sécrétrices et les canaux sécréteurs. Ainsi, des parties variées de la plante, des fleurs aux feuilles, en passant par les écorces, les bois, les racines et les graines, peuvent abriter ces huiles essentielles, comme le détaille également (Rouvière .2016). Cette diversité de localisation souligne l'ubiquité de ces précieuses substances dans le règne végétal et témoigne de leur importance dans le métabolisme végétal, ainsi que de leurs interactions essentielles avec l'environnement.

I.2.3. Composition Chimique des HE

Les huiles essentielles peuvent renfermer une variété de composés chimiques provenant de deux groupes distincts qui se distinguent par leurs origines biogénétiques spécifiques : les terpènes et les dérivés des phénylpropanes, principalement fabriqués à partir de l'acide Shiki Mique (Bruneton.1993)

I.2.3.1. Terpènes

Les huiles essentielles se composent d'une variété de composés terpéniques, souvent les plus volatils et dont la masse moléculaire est faible. Ces composants sont issus de l'isoprène avec la formule générale (C₅ H₈ N), ils sont également connus sous le nom d'isoprénoïdes ou de terpénoïdes. Selon Baser et al.(2010), le terme « terpénoïde » désigne l'ensemble des terpènes oxygénées, tandis que le terme « terpène » ne prend pas en compte la présence d'oxygène. Le nombre de carbone permet donc de distinguer : monoterpènes (C 10), sesquiterpènes (C 15), et moins souvent diterpènes (C 20), triterpènes (C 30), and tétraterpènes (C 40). e carbone permet donc de distinguer: monoterpènes (C 10), sesquiterpènes (C 15), et moins souvent diterpènes (C 20), triterpènes (C 30), and tétraterpènes (C 40). Certaines substances terpéniques peuvent être nocives, répulsives, ou attractantes pour d'autres êtres vivants, ce qui explique leur rôle dans les interactions entre les plantes et les animaux.

I.2.3.1.1. Monoterpènes

Il y a des monoterpènes acycliques (comme la myrcène et l'ocimène), monocycliques bicycliques (comme les pinènes, la 3-carène, la camphène et la sabinène). Grâce au caractère réactif des cations intermédiaires de ces terpènes, elles ont la capacité de se fixer à différentes molécules (Bruneton. 2008)

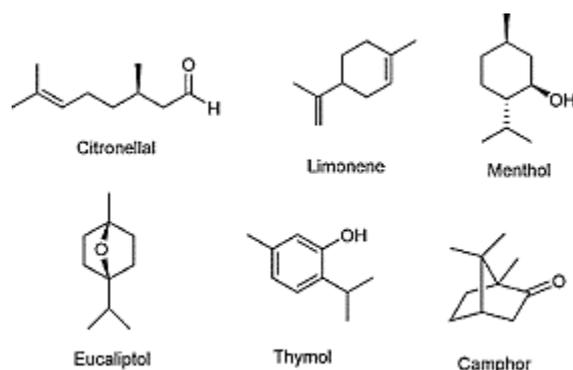


Figure I.8 : Différentes structures des monoterpènes (*Baser et al. 2010*)

I.2.3.1.2. Sesquiterpènes

Avec l'allongement de la chaîne des sesquiterpènes, le nombre de cyclisations possibles augmente, avec plus d'une centaine de squelettes différents décrits. Des sesquiterpènes avec des propriétés chimiques spécifiques seront également présents : l'alcool (farnésol, carotol), les carbures (β -caryophyllène), les cétones et les esters.

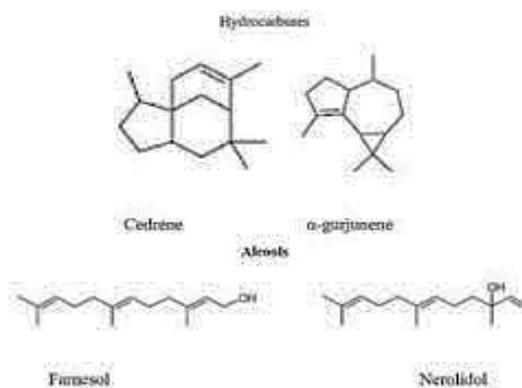


Figure I.9 : Différentes structures des sesquiterpènes (*Baser et al. 2010*)

I.2.4. Composés aromatiques ES

Les dérivés du phénylpropane (C₆-C₃), également connus sous le nom de composés phénoliques, sont principalement constitués d'allyl ou de propénylphénols, ainsi que d'aldéhydes. La production de phénylpropanoïdes commence par des composés aromatiques tels que la phénylalanine et la tyrosine, qui se distinguent généralement par la présence d'un groupement hydroxyle fixé à un cycle phényle. De plus, pour fabriquer ces composants, il est nécessaire d'utiliser différents acides, tels que l'acide shikimique et l'acide cinnamique. Selon *Bruneton .(1999)*, les phénylpropanoïdes sont moins présents dans les huiles essentielles que les terpènes, mais elles sont présentes dans certaines huiles essentielles

d'Apiaceae telles que l'anis, le fenouil et les cannelles (eugénol, myristicine, asarones, cinnamaléhyde).

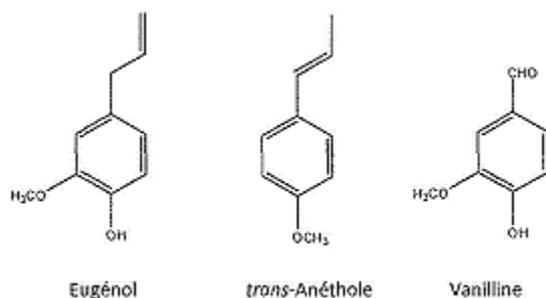


Figure I.10 : Différentes structures dérivés du phénylpropane (*Baser et al. 2010*)

I.2.5. Domaines d'utilisation de L'huile essentielle

L'huile essentielle de lentisque pistachier offre une diversité de propriétés précieuses dans divers domaines :

En aromathérapie, elle diffuse un parfum boisé et résineux favorisant la relaxation (*Valnet .1988*). Cette huile est un ingrédient phare dans plusieurs fragrances renommées telles que "Lentisque" de Serge **Lutens**, "**Pistacia**" de L'Artisan Parfumeur, Ce parfum unisexe, lancé en 2000, présente une interprétation saisissante de l'huile essentielle de lentisque pistachier. Avec ses notes de cèdre, de cuir et de labdanum, il dévoile un caractère aromatique puissant et enveloppant, idéal pour les soirées d'automne ou d'hiver, créé par le célèbre parfumeur Serge Lutens. Et autres parfum tel que : "Bois de Lentisco" de Annick Goutal, "Lentisque Noir" de Perris Montebello, et "Essence of Pistacia" de The Different Company.



Figure I.11 : Parfum Lentisque de Serge Lutens

Ces parfums offrent des variations captivantes de l'huile essentielle, créant des expériences olfactives riches et enveloppantes. Par ailleurs, elle est également présente dans de nombreux autres parfums de niche, ajoutant une touche distinctive et relaxante à diverses compositions. En somme, cette huile essentielle est un élément précieux en parfumerie, avec une palette olfactive diversifiée qui attire les amateurs de parfums boisés, aromatiques ou orientaux.

Sur la peau, ses vertus anti-inflammatoires et antibactériennes apaisent les irritations et contribuent à une peau saine. Des exemples réels mettent en lumière les bienfaits de l'huile essentielle de lentisque pistachier pour la peau. Une femme de 32 ans, luttant contre l'eczéma chronique, a constaté une amélioration significative de ses symptômes en utilisant une dilution d'huile essentielle dans de l'huile d'amande douce, tandis qu'un adolescent de 17 ans a vu ses boutons d'acné diminuer en utilisant l'huile essentielle associée au gel d'aloé vera (*Kouider et al. 2018*)

Pour le système digestif, elle stimule la digestion et soulage les troubles digestifs. Les expériences pratiques avec l'huile essentielle de lentisque pistachier offrent un aperçu de ses bénéfices potentiels. Une femme de 50 ans, aux prises avec des problèmes digestifs récurrents, a constaté une amélioration notable de ses symptômes en utilisant une dilution d'huile essentielle dans de l'huile d'olive, tandis qu'un homme de 35 ans a favorisé la cicatrisation rapide d'une blessure en appliquant l'huile essentielle directement sur la plaie (*Pénoel et al. 2006*)

En tant qu'antiseptique, elle combat efficacement les germes et favorise la cicatrisation (*Dahmani et al. 2014*)

Dans le domaine de la beauté, elle est réputée pour ses propriétés régénérantes et anti-âge. Les données issues d'études scientifiques et les opinions d'experts convergent vers les bénéfices anti-âges de l'huile essentielle de lentisque pistachier. Une recherche publiée dans **Phytothérapie Research** par (*Uysal et al. 2014*) a révélé que l'huile essentielle favorisait la cicatrisation des plaies et réduisait l'inflammation chez le rat. De même, une étude par (*Erdem et al. 2016*). Dans **Dermatological Research** a démontré une réduction significative des rides et une amélioration de l'élasticité cutanée chez les participantes après 12 semaines d'application topique de l'huile. Les opinions d'experts, telles que celles de (*Robert. 2016*) dans son livre sur l'aromathérapie, soulignent les propriétés régénératrices de l'huile, tandis

que (*Julia. 2016*) dans son ouvrage sur les huiles essentielles, met en lumière sa capacité à stimuler la régénération cellulaire et à réduire l'inflammation, contribuant ainsi à une peau plus jeune et plus saine et dans ce secteur-là, deux produits se démarquent :

Le "**Sérum Lentisque Anti-Âge**" de **KOS Paris**, concentré en huile essentielle de lentisque pistachier (10%), qui vise à atténuer les rides et ridules, améliorer l'élasticité cutanée et booster l'éclat du teint.



Figure I.12 : Photographie de Sérum Lentisque AntiÂge de KOS Paris

La "**Crème Anti-Âge Pistachier**" de **Phytos**, riche en huile essentielle de lentisque pistachier (2%) et en actifs naturels nourrissants, qui hydrate intensément, lisse les rides et protège la peau du vieillissement cutané.



Figure I.13 : Photographie de Crème AntiÂge Pistachier de Phytos

I.2.6. Problèmes de l'huile essentielle

Problèmes liés à l'huile essentielle de lentisque pistachier (*Pistacia lentiscus*) :

Problèmes de conservation : L'huile essentielle de lentisque pistachier est sensible à l'oxydation, comme le confirme une étude menée par (*Tessema et al. 2017*), qui a montré une dégradation significative des composés volatils de l'huile après six mois de stockage dans des conditions défavorables. Pour garantir une conservation optimale, les résultats des tests de stabilité présentés dans l'étude de (*Garcia et al. 2019*) ont montré que l'huile essentielle de lentisque pistachier stockée dans des conditions d'humidité élevée a subi une dégradation accélérée de ses constituants volatils, compromettant ainsi sa qualité et son potentiel thérapeutique. Il est important de conserver l'huile dans un flacon hermétique, à l'abri de la lumière et de la chaleur, comme le recommande (*Labbé .2018*)

Problèmes de toxicité : Le potentiel irritant de l'huile essentielle de lentisque pistachier a été mis en évidence par (*Sampy et al. 2011*) dans une étude portant sur 20 volontaires sains. Des réactions cutanées légères ont été observées chez 20% des participants après une application topique d'une dilution à 5% de l'huile. Il est donc crucial de toujours diluer l'huile dans une huile végétale avant de l'appliquer sur la peau et de réaliser un test cutané préalable, comme le préconise (*AFSH .2017*)

Interactions médicamenteuses : Des cas d'interactions médicamenteuses impliquant l'huile essentielle de lentisque pistachier ont été rapportés, notamment avec des anticoagulants tel que : **warfarin (coumadin)** qui est un **Anticoagulants oraux** (*Brun et al. 2016*)



Figure I.14 : Photographie de médicament warfarin (coumadin) Anticoagulants oraux

- Enoxaparine (Lovenox) qui est un Anticoagulants injectables (*Brun et al., 2016*)



Figure I.15 : Photographie médicament Enoxaparine (Lovenox) Anticoagulants injectables

Il est essentiel de consulter un médecin avant d'utiliser l'huile essentielle si vous prenez des médicaments comme le souligne (*Anses .2017*)

L'huile essentielle de lentisque pistachier, bien que vantée pour ses propriétés bénéfiques, n'est pas exempte de risques potentiels. Sa composition complexe en composés terpéniques, tels que le limonène et l'alpha-pinène, peut entraîner des effets indésirables s'elle n'est pas utilisée avec prudence.

I.3. Différentes méthodes d'extractions

Selon *Baser et al. (2010)*, il existe différentes méthodes d'extraction des huiles essentielles, mais la distillation demeure la méthode la plus courante et la plus ancienne. Toutefois, il existe également d'autres méthodes. Plusieurs éléments influencent la sélection entre ces méthodes, tels que la partie de la plante utilisée, le rendement souhaité, la durée d'extraction et les dépenses liées. La composition moléculaire de l'huile essentielle doit rester constante tout au long du processus, peu importe la méthode choisie (*Kaloustian et al. 2012*)

I.3.1. Distillation

La distillation consiste à séparer et à purifier les liquides en utilisant les variations de points d'ébullition des différents éléments d'un mélange (*Treybal .1963*). La séparation des composants qui se vaporisent et se condensent à des températures différentes se fait en chauffant le liquide pour former de la vapeur, puis en le refroidissant pour le condenser en liquide pur (*Speight. 2006*). La distillation simple, la distillation fractionnée et la distillation à la vapeur sont des méthodes couramment employées dans différents domaines tels que le

génie chimique le raffinage du pétrole, la fabrication de boissons alcoolisées et l'extraction d'huiles essentielles (*Lide. 1990*)

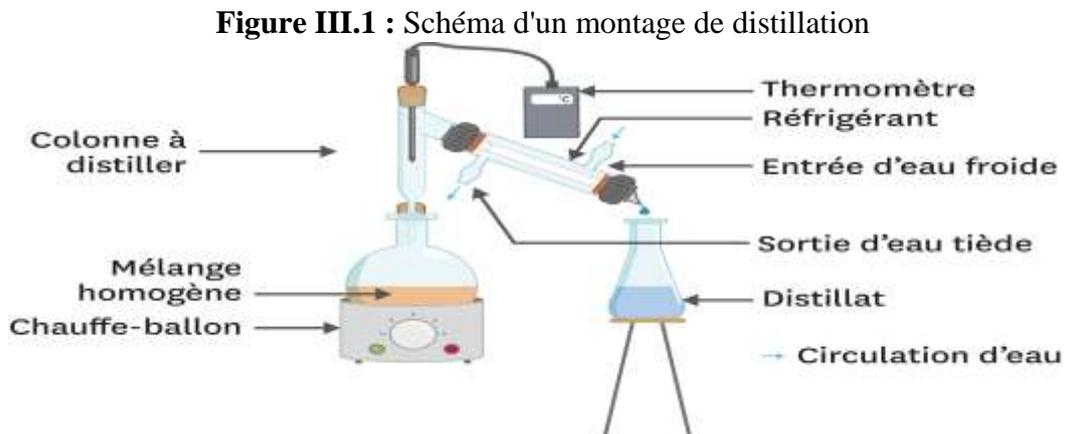


Figure I.16 : Schéma d'un montage de distillation

I.3.2. Extraction par entraînement à la vapeur d'eau

Est une technique classique pour extraire des huiles essentielles. Placer le matériau végétal au-dessus de l'eau bouillante dans un alambic permet de libérer les composés aromatiques grâce à la vapeur d'eau saturée. Ces huiles essentielles sont mélangées à de la vapeur d'eau, puis elles sont refroidies et condensées pour les séparer (*Mnayer, 2014*). Cette approche permet d'éviter les réactions indésirables entre les éléments, assurant ainsi la stabilité de la composition finale (*Nixon et al. 2001*)

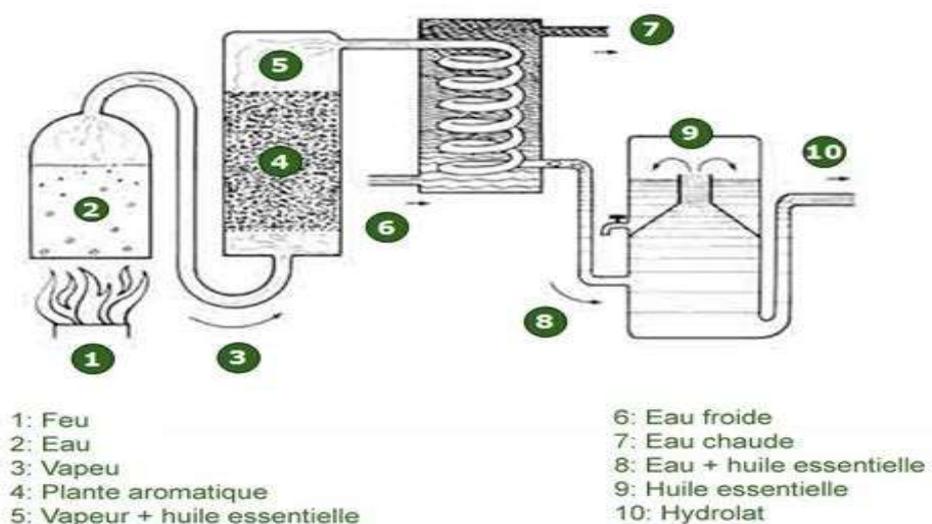


Figure I.16 : Montage d'entraînement à la vapeur d'eau

I.3.3. Extraction par solvants volatils

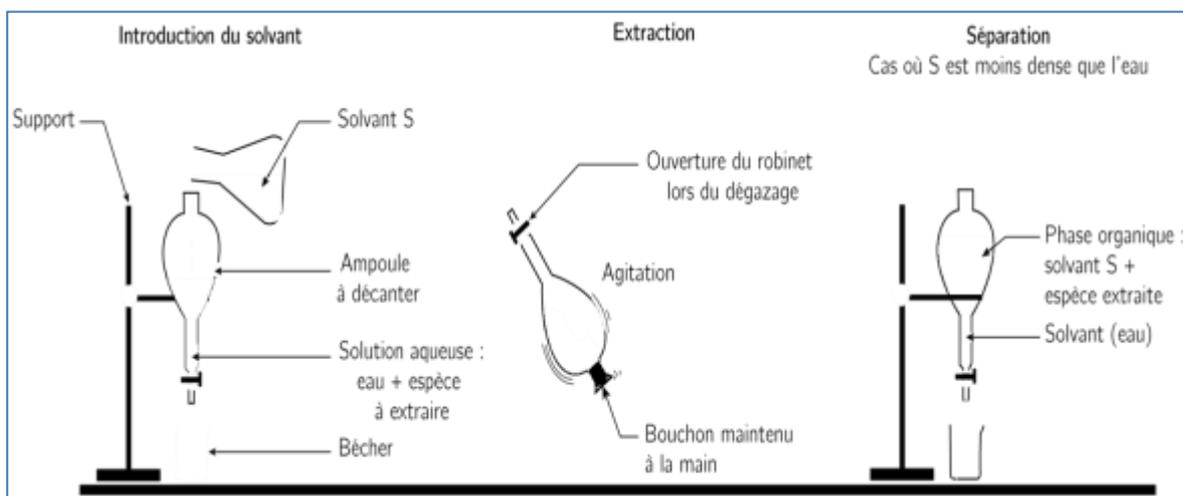


Figure I.17 : Montage d'extraction par solvants volatils

Implique la mise en contact du matériel végétal avec un solvant, puis l'évaporation du solvant pour obtenir une substance tangible. Par la suite, on procède à un traitement à froid avec de l'alcool absolu afin d'obtenir une huile essentielle absolue. Toutefois, cette approche présente des contraintes en raison de son prix élevé, des problèmes de sécurité et de toxicité, des réglementations environnementales (*Mohammedi. 2012*)

I.3.4. Utilisation de l'expression à froid

Est particulièrement adaptée aux agrumes. La méthode mécanique implique l'utilisation d'eau. Selon *Baser et al. (2010)*, l'essence n'est pas altérée chimiquement par la chaleur et est souvent associée à la production de jus de fruit.

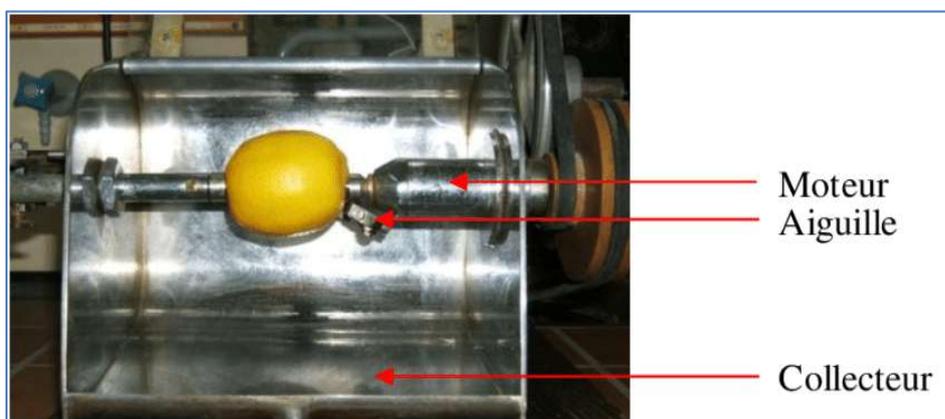


Figure I.18 : Montage d'expression à froid

I.3.5. Extraction par micro-onde

Dans l'extraction permet d'extraire rapidement les composés volatils des plantes. Cette technique est à la fois rapide et peu énergivore, mais peut entraîner des fluctuations dans la composition des huiles essentielles obtenues (*Scheffer. 1996*)

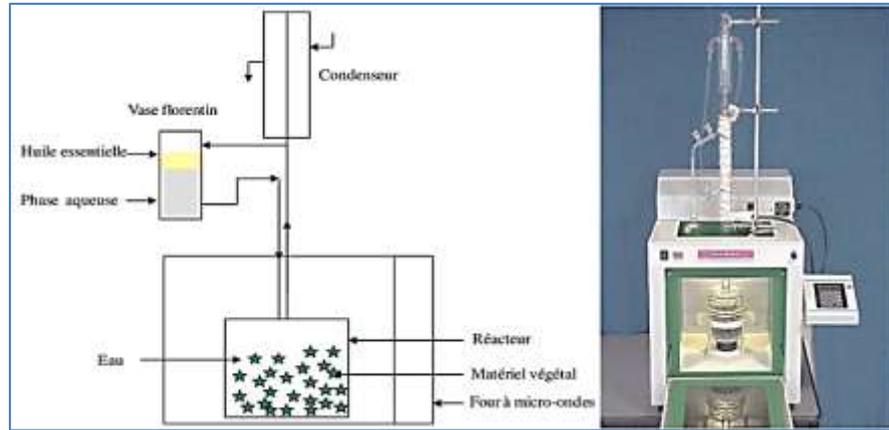


Figure I.19 : Montage d'extraction par micro-onde

I.3.6. Extraction par ultrasons

Permet de briser les membranes cellulaires et de libérer les composés actifs des plantes. On utilise cette technique afin de dépasser les contraintes de la distillation traditionnelle (*Dolatowski et al. 2007*)

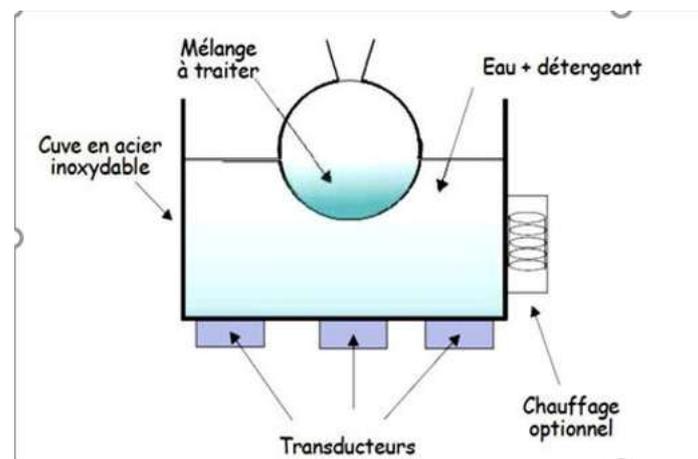


Figure I.20 : Montage d'extraction par ultrason

I.3.7. Extraction par des gaz supercritiques

Pour extraire les huiles essentielles, on utilise du dioxyde de carbone dans un état supercritique. Cette méthode offre de nombreux bénéfices, tels que sa sécurité, sa précision et son prix abordable (*Safaralie et al. 2008*)

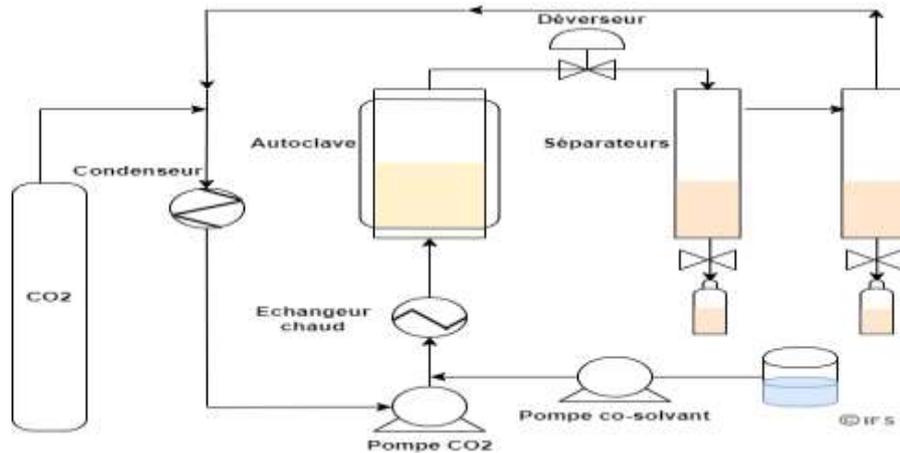


Figure I.21 : Montage d'extraction par des gaz supercritiques

I.3.8. Extraction par hydrodistillation

L'hydrodistillation est une méthode qui consiste à immerger le matériau végétal dans un bain d'eau, puis à le vaporiser et à le condenser afin d'obtenir l'huile essentielle. On utilise fréquemment cette méthode pour séparer les huiles essentielles de l'eau (*Mohammedi. 2012*)

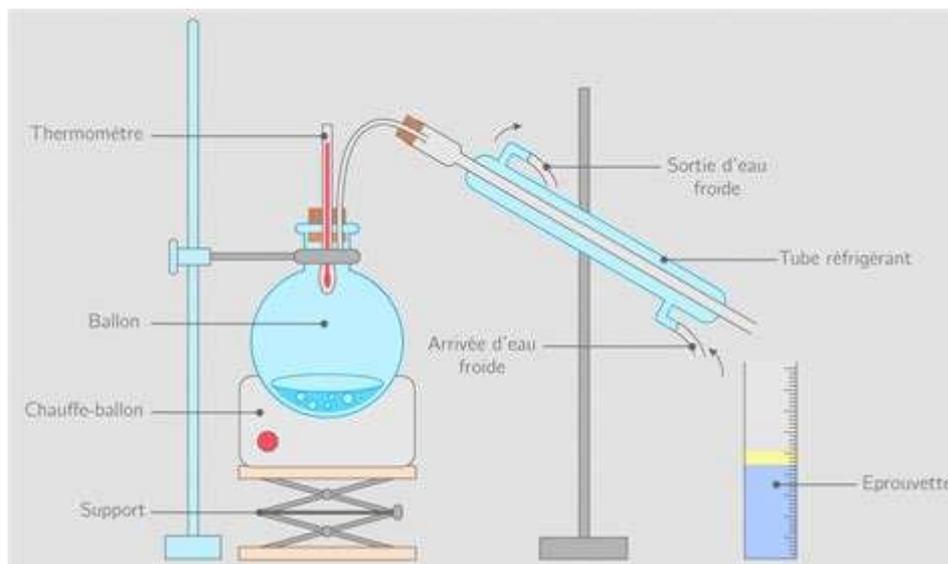


Figure I.22 : Montage d'extraction par hydrodistillation

L'hydrodistillation est une méthode traditionnelle utilisée pour extraire les huiles essentielles des plantes. Cette technique consiste à immerger le matériau végétal dans un bain d'eau, puis à le chauffer pour le vaporiser. Une fois vaporisée, la vapeur contenant les composés aromatiques de la plante est ensuite refroidie et condensée pour obtenir l'huile essentielle. Cette méthode, largement utilisée en phytothérapie et en aromathérapie, permet de séparer les huiles essentielles de l'eau de manière efficace (*Mohammedi. 2012*)

Le montage de Clevenger, une innovation dans l'hydrodistillation du nom de son inventeur Joseph Franklin Clevenger en 1928, est une évolution significative dans le processus d'hydrodistillation. Ce montage utilise une pièce de verrerie modifiée, souvent observée au-dessus du ballon, pour faciliter l'extraction des huiles essentielles. Le ballon, de différentes tailles, contient de l'eau chauffée et la plante à extraire. La vapeur produite se dirige vers un condensateur, puis le condensat retourne dans une burette placée à droite. L'eau, plus dense que l'huile, se sépare naturellement et l'huile est renvoyée progressivement dans le ballon chauffé par un conduit en diagonale. Après une période d'extraction généralement de 2 heures, le volume d'huile collectée peut être mesuré avec précision dans la burette, offrant ainsi un contrôle sur le processus d'extraction.

Le fait de sélectionner cette méthode permet d'obtenir un rendement élevé en huile essentielle, tout en assurant une huile essentielle de qualité supérieure avec un profil aromatique équilibré et une composition chimique constante.

En outre, l'hydrodistillation conserve les propriétés thérapeutiques des huiles essentielles, comme leurs propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires et relaxantes, grâce à sa méthode douce. La technique est populaire dans l'industrie en raison de son coût initial abordable pour les producteurs d'huiles essentielles et de sa polyvalence. L'hydrodistillation permet d'optimiser le processus d'extraction en réglant de manière précise les paramètres de température, de pression et de temps. Enfin, elle est spécialement adaptée aux plantes fragiles telles que le lentisque, proposant une approche délicate tout en assurant une huile essentielle de haute qualité.

I.4. Encapsulation

I.4.1. Généralité sur l'encapsulation

L'encapsulation est une technique qui consistant à enfermer une substance active dans une autre, offre de multiples avantages, notamment en matière de protection et de libération contrôlée des substances (*Guilbert. 1989*). En formant une barrière protectrice autour de la substance active, elle protège contre les interactions chimiques indésirables et les agressions environnementales (*Reis et al. 200*), ce qui est crucial pour des substances fragiles telles que les produits pharmaceutiques, les arômes et les nutriments.

Un des grands atouts de l'encapsulation réside dans sa capacité à contrôler la libération de la substance active (*Schneeberger et al. 2005*). Cette libération contrôlée, déclenchée par des conditions spécifiques comme la température ou le pH, permet une utilisation plus efficace de la substance active tout en minimisant les effets secondaires indésirables.

De plus, l'encapsulation peut modifier les caractéristiques physiques de la substance active (*Benita. 2016*), ce qui facilite sa manipulation, son administration ou sa transformation.

Un exemple concret de l'efficacité de l'encapsulation est l'huile essentielle de lentisque, encapsulée par coacervation complexe (*Román et al., 2017*). Cette méthode forme des complexes polymériques autour des gouttelettes d'huile, protégeant ainsi contre la dégradation (*López et al. 2010*) et permettant une libération contrôlée (*Fontecha et al., 2015*). De plus, elle modifie les caractéristiques physiques de l'huile, élargissant ainsi son champ d'application (*Irigoyen et al. 2014*)

I.4.2. Histoire de l'encapsulation

L'histoire de l'encapsulation témoigne d'une innovation sans cesse croissante, depuis ses modestes débuts dans les années 1950 jusqu'à son rôle central dans divers domaines aujourd'hui. Originellement utilisée dans l'industrie de l'imprimerie pour produire du papier autocopiant sans carbone, cette technique a rapidement élargi son champ d'application, offrant des solutions novatrices dans des secteurs variés (*Benita. 2016*)

Les premiers pas de l'encapsulation ont été marqués par des applications pionnières. Dans les années 1960, la micro-encapsulation a révolutionné la pharmacie en permettant la fabrication de médicaments à libération prolongée, tandis que d'autres industries telles que

celle des colles ont bénéficié de produits plus performants et durables (*Vandamme et al. 2002*)

L'avènement de la communication olfactive dans les années 1980 a ouvert de nouveaux horizons pour l'encapsulation. Les encarts parfumés dans les magazines, utilisant des encres spéciales dotées de microcapsules, ont permis une diffusion efficace de fragrances, propulsant ainsi des produits comme les parfums, les savons et les détergents (*Fontecha et al. 2015*)

Dans l'industrie alimentaire, l'encapsulation a révolutionné la transformation des liquides en solides, le masquage des saveurs désagréables et la protection contre l'oxydation ou l'humidité (*Irigoye et al. 2014*). Cette technologie a ouvert la voie à des produits à haute valeur ajoutée tels que les arômes encapsulés, les compléments alimentaires et les aliments fonctionnels.

Aujourd'hui, l'encapsulation est omniprésente, principalement dans l'industrie pharmaceutique, suivie de près par l'industrie alimentaire et la cosmétique (*López et al. 2010*). Bien que ses applications dans d'autres secteurs comme l'électronique demeurent plus limitées, le potentiel de l'encapsulation reste immense et en constante évolution (*Román et al. 2017*)

En conclusion, l'histoire de l'encapsulation est une histoire d'innovation et de progrès constants, répondant à des défis variés et ouvrant la voie à de nouveaux produits et services dans divers domaines. Son avenir promet de nouvelles applications et développements passionnants.

I.4.3. Les différents types de procédés

Les différentes techniques d'encapsulation offrent des approches variées pour envelopper une substance active dans une enveloppe protectrice, chacune avec ses avantages spécifiques dans divers domaines. Parmi ces méthodes, on distingue les procédés physico-chimiques, les méthodes chimiques et les techniques mécaniques, qui explorent respectivement les variations de solubilité, les réactions chimiques simultanées et l'application de forces mécaniques pour former les capsules.

Les procédés physico-chimiques exploitent les différences de solubilité pour former les capsules, comme c'est le cas avec la coacervation simple et complexe (*Vanderstoppen et al. 2003*). La coacervation simple déstabilise les macromolécules par l'ajout d'un agent anti solvant, formant ainsi deux phases distinctes où l'agent actif est encapsulé dans le coacervat. La coacervation complexe implique l'interaction entre deux polymères pour former des complexes insolubles encapsulant l'agent actif. L'émulsification-évaporation du solvant, quant à elle, permet de disperser la substance active dans une émulsion aqueuse et de solidifier la paroi de la capsule par évaporation du solvant (*Clements. 2015*)

Les méthodes chimiques, telles que la polymérisation par radicalaires in situ et la réaction de gélification, permettent la formation de la membrane et l'encapsulation simultanée de l'actif (*Schneeberger et al. 2005*). Ces méthodes sont particulièrement adaptées aux substances sensibles à la chaleur ou aux solvants.

Enfin, les techniques mécaniques, telles que l'extrusion et l'enrobage par pulvérisation, utilisent l'application de forces mécaniques pour former les capsules (*Irigoyen et al., 2014*). L'extrusion permet de former des gouttelettes solides à partir d'une matrice mélangée à la substance active, tandis que l'enrobage par pulvérisation crée une enveloppe protectrice autour de l'actif.

I.4.4. Micro encapsulation

I.4.4.1. Micro encapsulation par coacervation simple

La coacervation simple est une méthode d'encapsulation efficace qui consiste à utiliser un seul polymère pour former des enveloppes protectrices autour de substances actives, telles que des médicaments, des ingrédients cosmétiques ou des arômes. Cette technique, introduite par (*Bungenberg .1932*), repose sur des changements dans les propriétés du polymère, comme la température ou le pH, induisant une séparation de phase et la formation de coacervats riches en polymère. Les microcapsules résultantes peuvent être contrôlées en taille et en morphologie en ajustant les paramètres du processus (*Richard et al. 2000*). La coacervation simple offre plusieurs avantages, notamment sa simplicité, sa polyvalence et sa douceur, la rendant adaptée aux matériaux sensibles. Elle trouve des applications variées dans la livraison de médicaments, l'industrie cosmétique et des parfums. En résumé, la coacervation simple représente une technique d'encapsulation précieuse pour diverses applications industrielles (*Madene et al. 2006*)

1.4.4.2. Micro encapsulation par coacervation complexe

La coacervation complexe, introduite par (*Dubin. 1984*), est une méthode d'encapsulation efficace qui repose sur l'interaction électrostatique entre deux polymères de charges opposées pour former des coacervats autour des matériaux encapsulés. Ce processus permet un contrôle précis de la taille et de la libération des principes actifs. Comparée à d'autres techniques, la coacervation complexe est simple, polyvalente et douce, adaptée aux matériaux sensibles. Elle trouve des applications diverses dans la livraison de médicaments, l'industrie cosmétique, l'alimentation, l'agriculture et le textile, offrant une libération contrôlée et améliorant les performances des produits.

La coacervation complexe requiert l'utilisation de deux polymères : l'un chargé négativement et l'autre chargé positivement. La désolvation se produit lorsque les charges sont neutralisées, ce qui est généralement causé par une modification du pH. Au départ, on disperse le matériau à encapsuler dans une solution aqueuse de poly électrolyte chargé négativement, puis on introduit dans l'émulsion une solution aqueuse contenant le deuxième polymère (chargé opposé). L'interaction entre les polymères entraîne la formation de coacervats à la surface des gouttelettes lorsque les charges sont neutralisées par la modification du pH. Ce procédé de micro encapsulation est fréquemment utilisé dans différents secteurs tels que la pharmacutique, la médecine et l'alimentation, en raison de la capacité des parois à se dégrader naturellement, permettant un relargage prolongé et contrôlé. Les protéines animales comme la gélatine, les protéines végétales comme la gliadine et les dérivés cellulosiques comme l'hydroxypropyl méthylcellulose (HPMC) ou l'alginate sont les agents enrobant les plus fréquemment employés (*Richard et al. 2000*)

1.4.5. Détermination de la quantité d'agent actif encapsulé

La détermination de la quantité d'agent actif encapsulé est un processus rigoureux qui repose sur plusieurs étapes cruciales. Tout d'abord, le choix de la méthode d'analyse revêt une importance primordiale, étant donné son influence sur le type d'agent actif et le mode d'encapsulation. Par la suite, la préparation des échantillons implique l'extasiations de l'agent actif encapsulé, suivie du calibrage de la méthode d'analyse pour la conversion des signaux mesurés en concentrations d'agent actif. L'analyse des échantillons permet alors de déterminer la quantité d'agent actif encapsulé en se référant à la courbe de calibration établie. Enfin, la validation et la vérification de la qualité des résultats s'avèrent essentielles pour assurer la fiabilité des données obtenues. Pour cette démarche, plusieurs techniques sont

disponibles, telles que la spectrophotométrie (*Beerlambert. 1852*), la chromatographie liquide haute performance (CLHP) (*James et al. 1975*), le dosage par titrage (*Karl. 1855*), le dosage par radio-marquage (*George. 1913*), ainsi que les techniques spectroscopiques (*John. 1813*). Le choix de la méthode appropriée dépend de divers facteurs, notamment la nature de l'agent actif, le système d'encapsulation utilisé et le niveau de précision requis. Il convient également de prendre en considération les procédures de préparation et de stockage, susceptibles d'influer sur la quantité d'agent actif encapsulé. La rigueur et la conformité aux normes méthodologiques sont garanties pour assurer l'exactitude et la précision des résultats obtenus.

I.4.6. Plan d'expérience

I.4.6.1. Définition

Un plan d'expérience constitue une stratégie de planification d'expériences afin d'obtenir des conclusions solides et adéquates de manières efficaces et économique. La méthodologie des plans d'expériences est basée sur le fait qu'une expérience convenablement organisée, conduira fréquemment à une analyse et à une interprétation statistique relativement simple des résultats. (*BELKADI et al. 2016*)

I.4.6.2. Types des plans d'expériences

Il existe de nombreux types de plans d'expériences qui permettent de s'adapter à la plupart des situations. Le principe de ce choix est de sélectionner le plan le plus rentable, présentant le moins d'expériences possible pour obtenir le plus d'informations possible :

- Les plans factoriels complets
- Les plans factoriels fractionnaires ;
- Les plans de Plackett et Burman ;
- Les plans de Taguchi ;
- Les plans pour surfaces de réponse : plan centrale composite, plan de Box-benhken..
- Les plans de mélanges ;
- Les plans complètement randomisés
- Les plans des plans randomisés.

1.4.6.3. Plans composites centrés

Les plans composites centrés constituent une méthodologie puissante, qui permet d'aller plus loin dans la modélisation des phénomènes que les plans factoriels, en fournissant à l'expérimentateur les lois de variation précises des paramètres opératoires. Ces plans de structure particulière ont été proposés par (*Box et al. 1951*) en vue d'estimer avec un maximum de précision des surfaces de réponse quadratiques et, par leur intermédiaire, des conditions optimales d'une étude. Ils sont constitués de trois parties essentielles

- Un plan factoriel dont les facteurs prennent deux niveaux ;
- Au moins, un point expérimental situé au centre du domaine d'étude ;
- Des points axiaux. Ces points expérimentaux sont situés sur les axes de chacun des facteurs.

Les plans composites prennent facilement la suite d'un premier plan factoriel dont les résultats insuffisamment expliqués par un modèle du premier degré. Il suffit d'effectuer les expériences correspondant aux points en étoile et de faire les calculs adaptés à une acquisition progressive des résultats.

Le nombre total d'essais, N , à réaliser est la somme de (*Sado et al. 2000*) :

- N_f essais d'un plan factoriel ;
- N_α essais du plan en étoile ;
- N_0 essais au centre ;

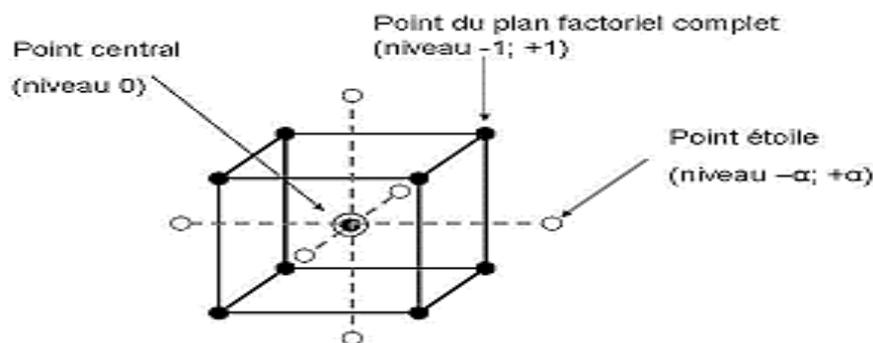


Figure I.23 : Le plan composite centré pour trois facteurs

Les plans composites centraux ont l'avantage de nécessiter moins d'essais que les plans factoriels complet, et aussi de pouvoir mener les expériences séquentiellement. Mais, cependant ils présentent l'inconvénient d'exiger cinq niveaux différents ($-\alpha, -1, 0, +1, +\alpha$) pour chacun des facteurs au lieu de trois ($-1, 0, +1$) dans les plans factoriels complets (*Goupy et al. 2006*)

Chapitre II
Méthodes et matériels

II.1. Matériels et méthodes

Notre travail a été réalisé au sein du laboratoire de chimie organique (faculté des sciences et technologies) et au laboratoire des matériaux polymères avancés de l'université de Bejaïa. Cette partie de notre recherche met en lumière les différentes techniques et procédés utilisés pour l'extraction, la caractérisation et l'encapsulation des huiles essentielles de lentisque pistachier (*L.*).

II.1.1. Matériel végétal

En février 2024, dans la commune de Timezrit située dans la wilaya de Bejaïa en Algérie. Les graines de *Pistacia lentiscus* ont été récoltées. Ces graines, issues de fruits mûrs et Sombres, ont été cueillies dans la forêt pendant la saison des pluies. Après cette récolte, les graines ont été lavées et délicatement broyées à la main à l'aide d'un mortier.



Figure II.1 : Fruits de lentisque pistachier broyé à l'aide d'un mortier

Figure II.2 : Fruits de lentisque pistachier fraîche



Figure II.3 : Zone de prélèvement dans la région de Timezrit.

II.1.2. Extraction par hydrodistillation

L'extraction de l'huile essentielle par hydrodistillation a été réalisée conformément au protocole de (*Elyemni et al, 2019*) en bref des masses des graines de lentisque pistachier (préalablement broyé) allant de 100 à 200 grammes ont été engagés dans un erlenmeyer de 1 litre. A cela on y ajoute un volume fixe d'eau distillé qui est de 500ml et on met à chauffer sous une plaque chauffante. La distillation s'est déroulée sur une période flexible, variant entre 3 et 5 heures.

À la fin du processus, deux phases distinctes sont apparues : une phase aqueuse, contenant l'eau aromatique, et une phase organique constituée de l'huile essentielle moins dense que l'eau. Cette dernière a été récupérée, puis stockée dans des flacons hermétiquement scellés, préservés de la lumière et maintenus à une température de 4°C, en vue de son utilisation future. Chaque variante expérimentale a été reproduite trois fois pour garantir la reproductibilité des résultats obtenus.



Figure II.4 : Montage d'extraction par hydro distillation de type clevenger

II.1.3. Plan d'expérience

Nous avons procédé à l'optimisation en utilisant un plan composite centré (PCC). Pour la conception expérimentale et l'analyse statistique, nous avons utilisé JMP V.14.3. Pour évaluer les effets de deux variables, nous avons utilisé un PCC à deux facteurs et deux niveaux. Les deux variables indépendantes étudiées étaient le temps (X1) et la masse (X2). Ce plan comprend 10 expériences, avec une réplification du point central, et toutes les autres expériences réalisées en double.

Variables Étudiées :

- Temps (X1) : Bas (-1), Haut (+1)
- Masse (X2) : Bas (-1), Haut (+1)

Donc :

- Temps : 3h (-1), 5h (+1)
- Masse : 100g (-1), 200 g (+1)
- Le point central sera à 4h et 150g.

Les variables ont été codées selon l'équation :

$$Z_i = \frac{X_i - X_0}{\Delta x}$$

Où :

Z_i : Est la valeur codée (sans dimension) de la variable x ;

X_i : Est la valeur de x au point central ;

Δx : Est le changement d'étape ;

Le nombre d'expériences requis a été déterminé par l'équation :

$$\text{Nombre d'expérience} = 2^K + 2k + N$$

Où :

$K=2$ (nombre de facteurs) et $N=2$ (nombre de points centraux répliqués), nous avons :

$$\text{Nombre d'expériences} = 2^2 + 2(2) + 2 = 4 + 4 + 2 = 10$$

Donc, le nombre d'expériences total est de 10.

Une équation polynomiale de second ordre (modèle quadratique) a été ajustée aux données expérimentales. Cette équation a été utilisée pour prédire les conditions optimales du processus :

$$Y = B_y = B_0 + \sum_{i=1}^K B_i X_i + \sum_{i=1}^k B_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k B_{ij} X_i X_j + E$$

Y : Représente la fonction de réponse (dans notre cas, le rendement TPC) ;

B_0 : Est un coefficient constant ;

B_i, B_{ii}, B_{ij} : Sont les coefficients des termes linéaires, quadratiques et interactifs, respectivement ;

X_i et X_j : Représentent les variables indépendantes codées ; et E représente l'erreur ;

Tableau II.1: Tableau du plan d'expériences avec les différentes expériences et leurs paramètres

N°	Variables codées	Temps(h)	Masse(g)
1	a ₀	3	150
2	0 ₀	4	150
3	A ₀	5	150
4	0 ₀	4	150
5	+-	5	100
6	--	3	100
7	0 _A	4	100
8	++	5	200
9	0 _a	4	200
10	-+	3	200

Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée pour déterminer les différences significatives des conditions d'extraction appliquées. La validité du modèle empirique quadratique a été testée en utilisant l'analyse de variance et le test d'absence d'ajustement. Le niveau de confiance utilisé était de 95%.

Ce plan d'expérience nous a permis d'explorer les effets du temps et de la masse sur le rendement en huile essentiel et d'identifier les conditions optimales pour maximiser ce rendement.

II.1.4. Encapsulation par coacervation complexe

L'encapsulation de l'huile de lentisque a été effectuée en suivant le protocole de (*Edwin Elard et al, 2020*) Avec certaines modifications.

Nous commençons par préparer la solution de polysaccharides contenant les alginates de sodium et le carboxyméthylcellulose (CMC) comme suit :

- Dans un bécher, nous versons 20 ml d'eau distillée et nous mettons en route l'agitation magnétique. Ensuite, nous ajoutons 0,2 g d'alginates et 0,05 g de CMC. Nous chauffons le mélange à une température de 45°C.

Par la suite, nous préparons la solution de gélatine comme suit :

- Dans un autre bécher, nous versons 20 ml d'eau distillée et nous mettons en route l'agitation magnétique. Nous y introduisons ensuite 0,3 g de gélatine et nous le portons à une température de 50 degrés.

La prochaine étape consiste à former une émulsion en introduisant la phase organique comme suit :

- Dans une éprouvette, nous mélangeons un volume d'huile essentielle avec 0,3 ml de Tween 80 jusqu'à obtenir un liquide homogène. Nous l'introduisons alors dans la solution de gélatine et augmentons l'agitation au maximum jusqu'à obtenir notre émulsion.

Maintenant vient l'étape de la coacervation proprement dite où nous procédons comme suit :

- Dans un plus grand bécher, nous n'ajoutons goutte à goutte la solution de polysaccharides à la solution de protéines. Nous réduisons le chauffage et laissons agiter pendant un certain temps. Une fois que la solution est bien agitée, nous y ajoutons une solution acide, dans notre cas une solution d'acide acétique à 5 %, jusqu'à atteindre un pH de 4,5. Nous observons alors l'apparition des coacervats.

La dernière étape est le durcissement ou la réticulation de ces coacervats. En effet, les coacervats formés sont assez fragiles, et pour y remédier, nous introduisons 0,5 ml d'une solution de glutaraldéhyde à 10 %. Après filtration et lavage à l'eau, les microcapsules sont ensuite lavées rapidement à l'hexane pour éliminer toute huile résiduelle en surface.

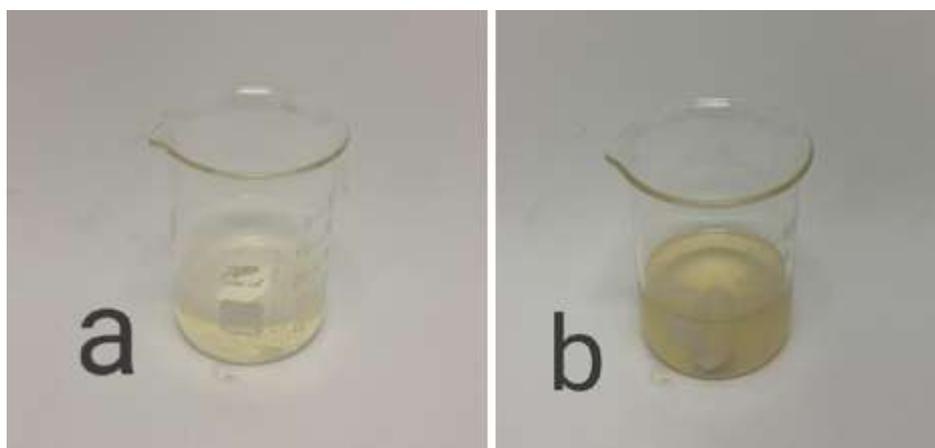


Figure II.5 : Solution de la gélatine (a), solution de l'alginate (b)

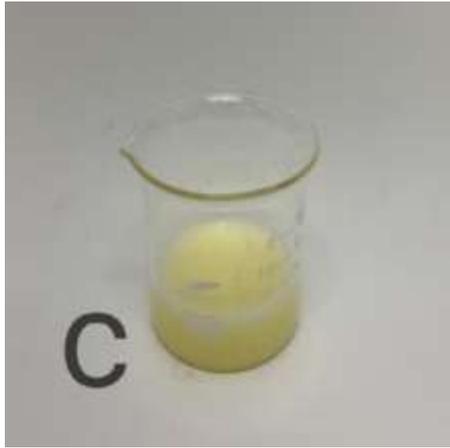


Figure II.6 : Solution de la gélatine après l'ajout l'huile essentielle de P L



Figure II.7 : Solution (c) après l'ajout de l'alginate (d)

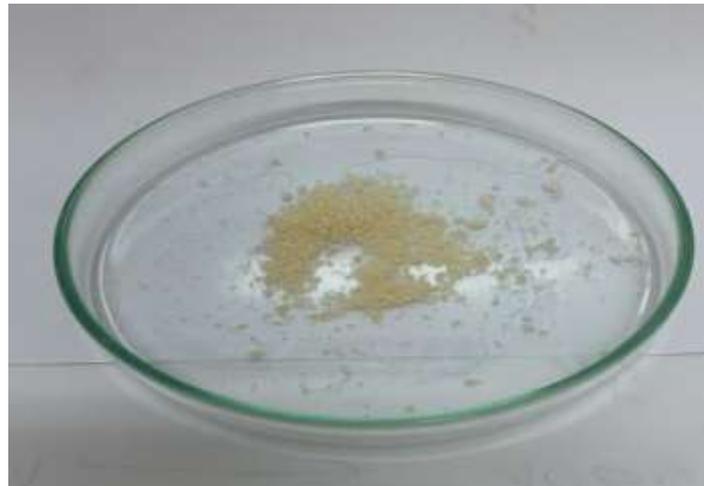


Figure II.8 : Photographie des microcapsules formées

II.1.5. Étude par spectroscopie infrarouge à transformée de fourier (IRTF)

Le but de cette étude en spectroscopie infrarouge est d'obtenir une idée des groupements fonctionnels présents dans notre huile. Cela nous permettra également d'avoir une idée des familles de composés volatils ou phénoliques présents. D'autre part, l'étude vise à confirmer l'encapsulation de notre huile essentielle en comparant le spectre IR de l'huile essentielle dans les capsules contenant l'huile et celui des capsules préparées dans les mêmes conditions mais sans huile essentielle, c'est-à-dire les capsules vides.

L'analyse a été réalisé suivant la méthodologie établie par (*Devi et al, 2012*). Les échantillons ont été soigneusement préparés en mélangeant 0,08 g de bromure de potassium (KBR) qui est transparent aux rayons infrarouges et ne présente pas de pics d'absorption interférents dans la région d'analyse et 0,002 g de poudre d'échantillon, Les poudres ont d'abord été placées dans un mortier et mélangées minutieusement jusqu'à obtention d'un mélange homogène, ce mélange a ensuite été transféré dans un moule de compression. Comme elle montre dans la (**Figure II.9**).



Figure II.9 : Placement du mélange échantillon-KBR dans le moule de presse à pastilles.

Une presse équipée d'une pompe a été utilisée pour éliminer l'air du mélange, en appliquant une pression de 60 bars pendant 2 minutes. Cette étape a permis de former des pastilles solides et uniformes, prêtes pour l'analyse infrarouge.



Figure II.10 : Compression du mélange dans la presse à pastilles

Après avoir relâché la pression, la pastille formée a été retirée délicatement et placée dans le spectromètre infrarouge pour l'analyse des spectres. Les spectres IRTF ont été enregistrés à l'aide d'un spectromètre IRAffinity-1.



Figure II.11 : Placement de la pastille dans le porte-échantillon de l'instrument IRTF pour l'analyse spectroscopique.

II.1.6. Analyse chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse

Afin d'obtenir une composition plus précise de notre huile extraite, nous avons procédé à une GC-MS (chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse).

L'analyse des échantillons a été réalisée sur la Plateforme Technique d'Analyse Physico-Chimique (PTAPC) à Laghouat, en Algérie, en utilisant un instrument SHIMADZU GCMS-QP2020, équipé d'une colonne capillaire Rxi®-5ms (Phase : Crossbond® 5 % diphenyl /95 % diméthyl polysiloxane) ayant les dimensions suivantes : 30 m × 0,25 mm et 0,25 µm d'épaisseur de film.

Un volume de 0,5 µl d'échantillon dilué dans du n-hexane a été injecté en mode split (1:50). Les températures de l'injecteur et du détecteur ont été maintenues respectivement à 250°C et 310°C. La température de la colonne a été programmée comme suit : 50°C maintenu pendant 2 minutes, puis augmentée à 310 °C avec un incrément de 3 °C/min, et enfin maintenue à 310°C pendant 2 minutes. Le gaz porteur utilisé était l'hélium (pureté 99,995 %) avec un débit de 1 ml/min. Les conditions du spectromètre de masse étaient les suivantes : tension d'ionisation de 70 eV, température de la source d'ions à 200°C, et les spectres de masse en ionisation électronique ont été acquis sur une gamme de masse de 45-600 m/z

Pour le calcul des indices de rétention, vous devez utiliser la formule suivante (formule de Kovats) :

$$\text{LRI} = 100 \times \left(n + \frac{t_x - t_n}{t_{n+1} - t_n} \right)$$

Où :

LRI : Indices de rétention linéaires.

t_x : Temps de rétention du composant ciblé.

t_n : Temps de rétention de l'alcane C_n (alcane de limite inférieure).

t_{n+1} : Temps de rétention de l'alcane C_{n+1} (alcane de limite supérieure).

La série d'alcanes utilisée dans cette analyse était (n-C7-C33).

II.1.7. Test de dissolution

Après formulation de nos coacervats, nous avons voulu simuler et étudier leur libération dans le corps humain. Nous avons donc procédé à un test de dissolution en simulant le milieu intestinal à un pH de 6,8, en préparant un tampon phosphate (5,8 g de KH_2PO_4 + 1,2 g de NaOH pour un litre d'eau distillée), et également étudié l'effet de la variation de la teneur en huile essentielle sur cette libération.

Pour cela, nous avons suivi le protocole décrit dans la pharmacopée européenne. Nous avons initialement préparé quatre formulations en utilisant le protocole décrit précédemment, en variant à chaque fois le volume d'huile essentielle utilisé (1, 0,5, 0,25, 0,125 ml d'huile essentielle).

Par la suite, nous avons procédé à remplir les bacs de l'appareil avec notre solution de tampon phosphate à 500 ml, puis mis l'appareil en marche en réglant la température à 37°C et la vitesse de rotation à 100 tours par minute. L'appareil a alors progressivement chauffé jusqu'à atteindre une stabilisation à 37°C.

Une fois la température stable, nous avons simultanément mais séparément introduit 0,1 g de coacervats dans les bacs : ceux préparés avec 1 ml d'huile dans le bac 1, ceux avec 0,5 ml dans le bac 2, et ainsi de suite.

À intervalles réguliers de temps (3,5, 7, 10, 20, 30, 45 minutes, 1 h 10, 1 h 30, 2 h), nous avons prélevé un volume de 5 ml, filtré ce volume en utilisant un filtre seringue (0,45 μm) et récupéré le filtrat dans des tubes propres en attente d'analyse. Après chaque prélèvement, le même volume de tampon phosphate a été ajouté dans les bacs afin de maintenir les concentrations.

Le principe actif que nous dosons est l'huile essentielle, qui n'est pas soluble dans le milieu (tampon phosphate). Nous avons alors procédé à une extraction liquide-liquide en introduisant dans chaque volume prélevé 5 ml de n-hexane.

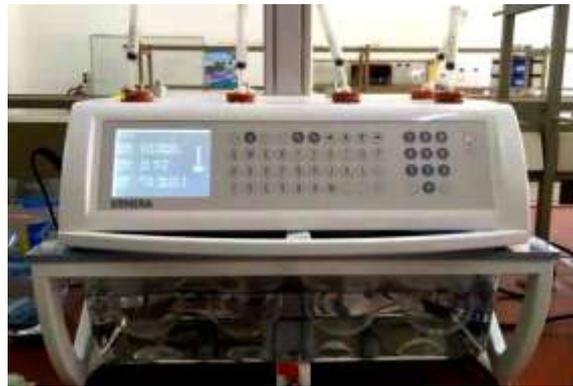


Figure II.12 : Appareil de test de la dissolution

Chapitre III
Résultats et discussions

III.1. Résultats de l'extraction de l'huile essentielle

L'analyse des données d'extraction d'huile essentielle de lentisque pistachier montre une variation significative des rendements en fonction des paramètres expérimentaux, à savoir le temps d'extraction (temps) et la masse de graines utilisée. Les résultats obtenus révèlent que les rendements varient notablement, allant de 0,13 % à 0,35 %. Par exemple, pour une masse de 150 grammes de graines, les rendements observés sont de 0,19 %, 0,23 %, et 0,13 % pour des temps d'extraction de 3, 4, et 5 heures respectivement.

En comparant différentes masses de graines pour un même temps d'extraction, les données montrent également une variabilité significative. Par exemple, pour un temps d'extraction de 5 heures, les rendements varient de 0,13 % à 0,27 % pour des masses de graines de 100 à 200 grammes respectivement. De même, pour un temps d'extraction de 3 heures, les rendements vont de 0,20 % à 0,30 % pour des masses de graines de 100 à 200 grammes.

Ces observations concordent avec les études antérieures menées par (*Zrira et al. 2003*), qui ont réalisé des expériences similaires dans des conditions géographiques pratiquement identiques. Leurs résultats ont également montré des rendements comparables, renforçant ainsi la robustesse de nos propres conclusions malgré les variations expérimentales.

Tableau III.1: Rendement des extractions par hydrodistillation

Nº	Symbol code	Le temps(h)	La masse(g)	La masse extrait (g)	Rendement(%)
1	a ₀	3	150	0,2863744	0,190916267
2	0	4	150	0,3469536	0,2313024
3	A ₀	5	150	0,20486784	0,13657856
4	0	4	150	0,37972144	0,253147627
5	+—	5	100	0,27773498	0,27773498
6	—	3	100	0,30165688	0,30165688
7	0a	4	100	0,3534934	0,3534934
8	++	5	200	0,27239988	0,13619994
9	0 _A	4	200	0,51967316	0,25983658
10	-+	3	200	0,39940968	0,19970484

III.2. Plan D'expérience

Les effets des variables d'extraction d'huile essentielle sur le rendement en huile essentielle ont été évalués à l'aide d'un plan composite central. Les résultats sont présentés dans le Tableau III.2 tandis que les équations mathématiques décrivant la corrélation du rendement en huile essentielle avec les variables d'extraction sont données ci-dessous :

$$R = 0,26990 - 0,02813 X_1 + 0,02577 X_2 + - 0,0975 X_1^2 + 0,057796 X_2^2 - 0,01871 X_1 * X_2$$

Pour confirmer la significativité du modèle, une ANOVA a été réalisée (les résultats sont présentés dans le Tableau). Les valeurs F et les valeurs P confirment la significativité du modèle quadratique avec un niveau de confiance de 95%. Des valeurs élevées de R^2 (0,96) indiquent un ajustement solide du modèle, soutenues par des valeurs ajustées de R^2 proches de 0,91 ce qui suggère une explication efficace de la variance.

Tableau III.2: Résultats de l'analyse de variance (ANOVA)

Absence d'ajustement		
R^2	0,96245	
R^2 ajusté	0,91772	
L'effet des paramètres étudiés		
	Valeur F	Valeur p
X_1 (le temps d'extraction)	12,5783	0,02349
X_2 (la masse engagée)	10,5413	0,03156
X_1^2	58,7034	0,0016
X_2^2	20,6193	0,01053
$X_1 * X_2$	3,2671	0,1253

Les deux paramètres étudiés ont montré des effets significatifs. Notamment, le temps d'extraction a eu l'impact le plus marqué, comme le montre son effet linéaire (valeur P = 0,023, valeur F = 12,57) et son effet quadratique (valeur P = 0,0016, valeur F = 58,70).

De plus, la masse engagée a également montré une influence significative, principalement à travers son effet linéaire (valeur P = 0,0315, valeur F = 10,54) et son effet quadratique (valeur P = 0,0105, valeur F = 20,62).

Cependant, l'effet d'interaction entre ces deux facteurs s'est avéré non significatif.

En outre, notre étude a permis d'identifier les paramètres optimaux pour l'extraction d'huile essentielle : un temps d'extraction de 3,875 heures et une masse engagée de 133,408 grammes.

III.3. Résultats de l'analyse infrarouge à transformée de fourrier (IRTF)

L'analyse par spectrométrie IRTF des échantillons d'huile essentielle, de capsule vide et de capsule contenant l'huile essentielle révèle des informations importantes sur les groupes fonctionnels présents et l'efficacité de l'encapsulation.

Le spectre de l'huile essentielle pure (E.O, en noir) montre un pic intense aux alentours de 3000 cm^{-1} , attribuable aux vibrations d'étirement des liaisons C-H des alcanes (*Azzi et al. 2012*). Ce pic est également présent dans le spectre de la capsule contenant l'huile essentielle (CAP EO, en rouge), bien que son intensité soit réduite par rapport à celui de l'huile essentielle pure, indiquant une encapsulation réussie où les groupes C-H sont partiellement masqués par la matrice de la capsule. Le spectre de la capsule vide (CAP EMPTY, en bleu dans la figure III.1) ne présente pas de pic significatif dans cette région, confirmant l'absence d'huile essentielle. Les vibrations des liaisons C-H dans les alcanes, observées entre 2800 et 2900 cm^{-1} , sont également présentes dans ces spectres.

En revanche, les pics autour de 1700 cm^{-1} , associés aux vibrations d'étirement des groupes carbonyle (C=O) présents dans les cétones et les aldéhydes (*Flamini et al. 2004*), ne montrent pas de variation significative entre la capsule vide et la capsule contenant l'huile essentielle. Cela indique que l'incorporation de l'huile essentielle n'a pas été suffisante pour altérer les caractéristiques spectrales de ces groupes fonctionnels.

Les vibrations entre 1600 et 1500 cm^{-1} , associées aux doubles liaisons C=C des composés aromatiques (*Bakkali et al. 2008*), sont également présentes dans le spectre de l'huile essentielle pure mais ne montrent pas de signes d'incorporation significative dans la capsule, car les spectres de la capsule vide et de la capsule contenant l'huile essentielle sont similaires dans cette région.

Enfin, les vibrations des liaisons C-O et C-H dans les éthers et esters, détectées entre 1300 et 1000 cm^{-1} (*Tounsi et al. 2011*), sont visibles dans les spectres de l'huile essentielle et de la capsule contenant l'huile essentielle, mais ne montrent pas de différence notable entre les deux échantillons, ce qui suggère une encapsulation partielle.

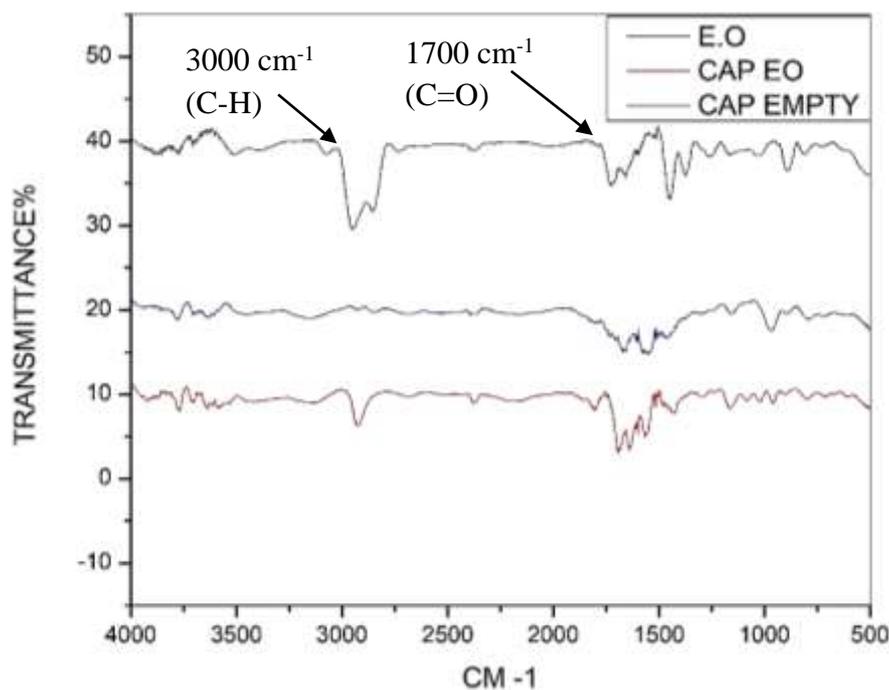


Figure III.1 : Spectre infrarouge de L'huile essentielle de lentisque (noire), coacervats chargés en huile essentielle (rouge) et de capsules préparées vide

En conclusion, l'analyse IRTF confirme que certains composés clés de l'huile essentielle de lentisque pistachier sont encapsulés, validant ainsi partiellement la méthode d'encapsulation utilisée. Cependant, l'absence de variation significative autour de 1700 cm^{-1} et entre 1600 et 1500 cm^{-1} suggère que l'encapsulation n'est pas totalement efficace pour tous les groupes fonctionnels (*Azzi et al. 2012*)

Néanmoins, la préservation des principaux groupes fonctionnels lors de l'encapsulation indique la fiabilité du processus d'encapsulation employé (*Bakkali et al. 2008*)

III.4. Chromatographie en phase gazeuse couplé à une spectroscopie de masse (GC/MS)

L'analyse chromatographique de l'huile essentielle extraite des fruits de *Pistacia lentiscus* a révélé une composition complexe comprenant 49 composés distincts, dominés par les monoterpènes ce qui vient expliquer les bandes d'absorbances correspondantes aux liaisons C=C carbonyle, qui représentent 77,55 % de la composition totale. Comme il montre le tableau ci-dessous.

Tableau III.3: Concentration des différents composés identifiés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectroscopie de masse des huiles essentielles de lentisque pistachier

N°	Composés	TR	%
1	Myrcene	11,051	24,72
2	(1R)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene	8,691	23,47
3	β -pinène	10,308	7,95
4	3-carène	11,731	3,24
5	Cymene <para->	12,341	3,73
6	Camphene	9,165	1,15
7	sabinène	10,182	0,27
8	γ -terpinène	13,880	0,47
9	Phellandrene <alpha->	11,497	6,53
10	2-Nonanone	15,386	0,36
11	p-Camphorene	50,728	0,23
12	Cymene <para->	12,341	3,73
14	Ocimene <(E)-, beta->	13,438	3,71

Parmi les principaux monoterpènes identifiés, on trouve le myrcène (24,72 % à 11,051 minutes), le (1R)-2,6,6-triméthylbicyclo[3.1.1]hept-2-ène (23,47 % à 8,691 minutes), le β -pinène (7,95 % à 10,308 minutes), le 3-carène (3,24 % à 11,731 minutes), le p-cymène (3,73 % à 9,165 minutes), le camphène (1,15 % à 9,165 minutes), le sabinène (0,27 % à 10,182 minutes), le γ -terpinène (0,47 % à 13,880 minutes), l' α -thujène (0,19 % à 10,437 minutes), l'ocimène (3,71 % à 10,568 minutes) et l' α -terpinène (0,27 % à 12,240 minutes).

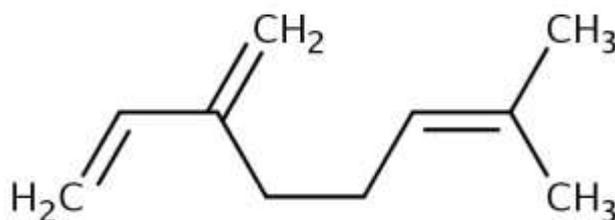


Figure III.2 : structure chimique de myrcène

La comparaison des temps de rétention obtenus avec ceux rapportés dans la littérature scientifique démontre une grande similitude, validant ainsi la composition chimique de l'huile essentielle et confirmant la fiabilité des analyses. Par exemple, pour le myrcène, nos

résultats montrent un temps de rétention de 11,051 minutes, comparé à 11,094 minutes selon *Arab et al. (2014)*. Le β -pinène affiche un temps de rétention de 10,308 minutes, tandis qu'*Arab et al. (2014)* rapportent 10,437 minutes. Le γ -terpinène présente un temps de rétention de 13,880 minutes, comparé à 13,163 minutes selon *Aouinti et al. (2014)*. Pour le 3-carène, nos résultats indiquent 11,731 minutes contre 10,14 minutes selon *Aouinti et al. (2014)*. Le camphène montre un temps de rétention de 9,165 minutes, en comparaison à 9,49 minutes selon *Aouinti et al. (2014)*, et le sabinène affiche 10,182 minutes contre 10,06 minutes et le phellandène α montre un temps de rétention de 11,497 minutes, comparé à 11,16 minutes rapporté par la même source. Toutes les références qui ont été citées parlent des composants de l'huile essentielle de l'lentisque pistachier.

D'autres composés ont également été comparés, tels que le 2-nonanone avec un temps de rétention de 15,386 minutes, le p-camphorène avec un temps de rétention de 50,72 minutes, l'ocimène (E, β) avec un temps de rétention de 13,438 minutes, et le cymène para avec un temps de rétention de 12,341 minutes. Ces résultats se comparent aux données (*Dalila et al. 2023*), qui rapportent respectivement 15,843 minutes, 51,779 minutes, 13,446 minutes et 11,58 minutes.

En résumé, cette comparaison démontre que les temps de rétention obtenus par notre étude sont très proches de ceux rapportés dans la littérature scientifique, validant ainsi la composition chimique de notre huile essentielle et confirmant la fiabilité de nos analyses.

III.5. Test de dissolution

En analysant les courbes du pourcentage de libération d'huile essentielle prises individuellement, on remarque qu'elles ont sensiblement la même allure, c'est-à-dire une forme parabolique ascendante en général. Cependant, on peut tout de même remarquer certaines différences, notamment dans la courbe du graphique nommé 1ml, où l'on observe une augmentation rapide dans les premières unités de temps, passant de 7,53 % à 28,65 % entre 3,5 et 7 minutes. Cette croissance rapide est suivie d'un ralentissement entre 7 et 10 minutes, où le pourcentage n'augmente que de 1,34 % pour atteindre 30 %.

Cette évolution est beaucoup moins remarquable dans les autres courbes, où la libération est plus régulière. En particulier, la courbe du graphique nommé 0,5 ml montre une augmentation rapide, atteignant environ 60 % entre 3,5 et 40 minutes. La même tendance est observée dans les graphiques 0.25 ml et 0.125 ml, où l'augmentation rapide du

pourcentage de libération est également notée entre 3,5 et 40 minutes, atteignant respectivement 66,4 % et 63,8 %. Un point commun peut cependant être relevé : la stagnation ou la stabilisation du pourcentage de libération à partir de 1 h 10.

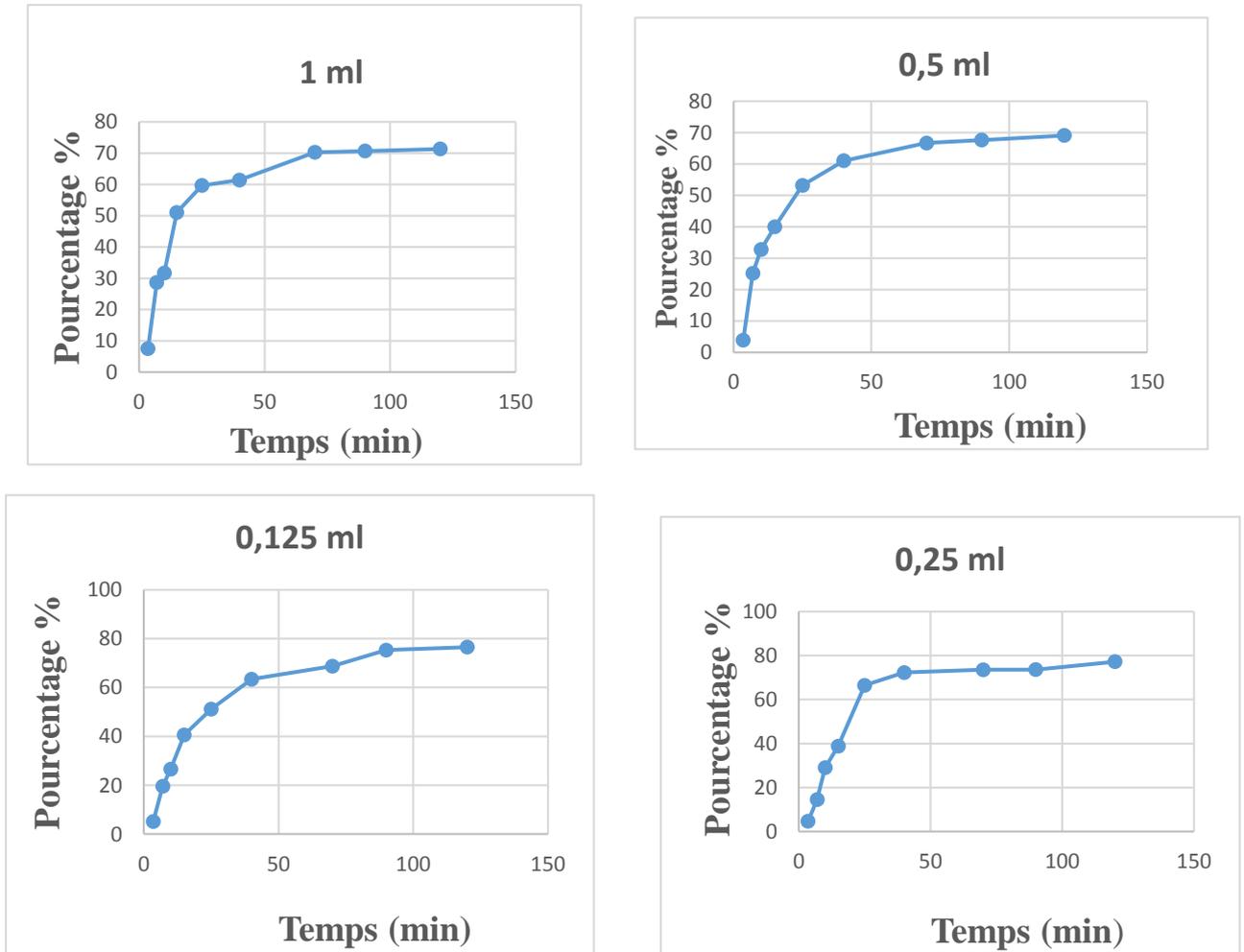


Figure III. 3 : Graphes représentant les pourcentages de libération d'huile essentielle au fil du Temps pour (1 ml ; 0.5ml ; 0.125ml ; 0.25 ml)

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Cette étude visait à extraire, optimiser, caractériser pour pouvoir enfin exploiter l'huile essentielle du lentisque en l'encapsulant dans une matrice polymérique.

Nous avons réalisé une extraction efficace grâce à la méthode d'hydrodistillation, obtenant des rendements compris entre 0,19% et 0,35%. Cette technique a montré son efficacité pour extraire cette huile essentielle.

Pour optimiser le rendement, un plan composite centré a été employé. Les variables étudiées incluaient la quantité de graines de lentisque (100 g, 150 g, et 200 g) et la durée d'extraction (3 h, 4 h, et 5 h). On obtient alors les conditions optimales, soit 133,408 g de graines et 3,875 heures d'extraction, qui donnent un rendement maximal théorique de 0,36%.

On a procédé à l'encapsulation de cette huile par coacervation complexe. Cette méthode a impliqué l'utilisation de protéines comme la gélatine et des polysaccharides tels que l'alginate et la carboxyméthylcellulose (CMC), ainsi que des agents de réticulation comme l'acide tannique et le glutaraldéhyde. Des microcapsules ont été formées.

Les analyses IRTF ont confirmé la présence des principaux groupes fonctionnels caractéristiques de l'huile essentielle de lentisque pistachier dans les capsules. Cela indique que les composants de l'huile essentielle de lentisque pistachier sont partiellement encapsulés, attestant ainsi du succès de l'encapsulation.

De plus l'analyse GCMS a confirmé la présence de composé présentant des groupements fonctionnels vus précédemment dans l'analyse infrarouge.

Pour finir un test de dissolution nous a permis de simuler la dissolution et la libération de notre huile essentielle dans un milieu intestinal, on a aussi conclu que la masse de l'huile encapsulé avait un impact sur la dissolution de nos capsules.

Références bibliographiques

A

1. **Abdallah, J. F., Okoth, S. A., Fontecha, G. A., Torres, R. E. M., Banegas, E. I., Matute, M. L., ... & Udhayakumar, V. (2015).** Prevalence of pfhrp2 and pfhrp3 gene deletions in Puerto Lempira, Honduras. *Malaria journal*, 14, 1-9.
2. **Abdelguerfi a (2003).** Mises en œuvre des mesures générales pour la conservation in situ et ex situ et l'utilisation durable de la biodiversité en Algérie. Alger, Plan d'Action et Stratégie Nationale sur la Biodiversité; p : 39
3. **Abu Ammar, A., Raveendran, R., Gibson, D., Nassar, T., & Benita, S. (2016).** A lipophilic Pt (IV) oxaliplatin derivative enhances antitumor activity. *Journal of medicinal chemistry*, 59(19), 9035-9046.
4. **Aït Youssef, Mohand (2006).** "Plantes médicinales de Kabylie." Éditions Ibispress, Paris, France.
5. **Al-Saghir, M. Al. (2006).** Phylogenetic analysis of the genus Pistacia (Anacardiaceae). Dissertation submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy In Biological Sciences. 113p.
6. **AL-Saghir, M. G., & Porter, D. M. (2012).** Taxonomic revision of the genus Pistacia L.(Anacardiaceae). *American Journal of plant sciences*, 3(1), 12.
7. **Aouani, N., Salhi, S., Garcia, G., & Ksouri, M. (2017).** Robust control strategy for a wind energy conversion system. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 55(3), 191-201.
8. **Assimopoulou A.N, Zlatanov S.N, Rapageorgiou VP(2005).** Antioxidant activity of natural resins and bioactive triterpenes in oilsubstrate. *Food chemistry*; 92 (4): 721 -727.
9. **Aziba, L et al. (2019).** Pistacia lentiscus leaves extract and its major phenolic compounds reverse aluminium-induced neurotoxicity in mice. *Industrial Crops & Products*, 137, 576–584.
10. **Aziba, Peter I., et al (2001).** "Analgesic activity of Peperomia pellucida aerial parts in mice." *Fitoterapia* 72.1: 57-58.
11. **Azzi, S., Ben Hassine, A., Slama, M. K., & Haouas, M. (2012).** Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of Pistacia lentiscus L. from Tunisia. *Journal of Essential Oil Research*, 24(6), 417-423.

B

12. **Babus, Ana, and Péter Kondor (2018).** "Trading and information diffusion in over-the-counter markets." *Econometrica* 86.5; 1727-1769.
13. **Bakkali, F., Aouissi, M., Vertet, N., Ibrahim, A., & Hassani, A. (2008).** Biological activities of essential oils of some Moroccan plants against the fungal agent of citrus black spot. *Journal of Essential Oil Research*, 20(11), 803-807.
14. **Bammou M., Daoudi A., Slimani I., Najem M., Bouiamrine El. H., Ibijbjen, J., Nassiri, L. (2015).** Valorisation du lentisque «*Pistacia lentiscus L.*»: Étude ethnobotanique, Screening phytochimique et pouvoir antibactérien. *Journal of Applied Biosciences*, 86:7966– 7975.
15. **Başer, K. H. C., and G. Buchbauer (2010).** "Handbook of Essential Oils: Science." *Technology and Applications*: 994.
16. **Bekhechi, C., F. Atik-Bekkara, and D. E. Abdelouahid (2008).** "Composition et activité antibactérienne des huiles essentielles d'*Origanum glandulosum* d'Algérie." *Phytothérapie* 3.6 : 153-159.
17. **Belfadel, F., (2009).** Huile de fruits de *Pistacia lentiscus* Caractéristiques physico-chimiques et effets biologiques (Effet cicatrisant chez le rat). Mémoire magister en chimie organique, Université Constantine.
18. **Belhachat, D. Fatihab, A.Lakhdara, M. Belhachat (2017), M.** Phytochemical screening and in vitro antioxidant activity of *Pistacia lentiscus* berries ethanolic extract growing in Algeria. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 10, 273–285.
19. **Belhadj, S., (2000).** Les pistacheraies algériennes: Etat actuel et dégradation, Centre Universitaire de Djelfa, Algérie.
20. **Belkadi, T., & Maked, L. (2016).** Traitement des margines d'olives par co-précipitation en utilisant les plans d'expériences (Doctoral dissertation, UMMTO).
21. **Bellili, Tinhinane, and Amel Kebladj (2021).** Extraction des composés phénoliques depuis les feuilles de pistachier lentisque, *Pistacia lentiscus L.* de deux régions d'Algérie. Diss.
22. **Ben Gharbia, Hela, et al (2017).** "New insights on the species-specific allelopathic interactions between macrophytes and marine HAB dinoflagellates." *PLoS One* 12.11 e0187963.

23. **Benhammou, N. Bekkara, F.Panovska,T. K (2007).** Antiradical capacity of the phenolic compounds of Pistacia lentiscus and Pistacia atlanticaDesf. *Advances in food sciences*, 29, 155-161.
24. **Benhammou, N., Atik B.F., Panovska T.K (2008).** Antioxidant and antimicrobial activities of the Pistacia lentiscus and Pistacia atlantica extracts. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2, 23-27.
25. **Benita, S. (2016).** *Microencapsulation: Methods and Applications*. CRC Press.
26. **Benmehdi, H., et al (2012).** "Phytochemical investigation of leaves and fruits extracts of Chamaerops humilis L." *J Mater Environ Sci* 3; 320-337.
27. **Bernardi, Raffaella, et al (2016).** "Automatic description generation from images: A survey of models, datasets, and evaluation measures." *Journal of Artificial Intelligence Research* 55 : 409-442.
28. **Bouberka, Z., Benabbou, K. A., Khenifi, A., & Maschke, U. (2014).** Degradation by irradiation of an Acid Orange 7 on colloidal TiO₂/(LDHs). *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 275, 21-29.
29. **Boudieb, K. AitSlimane-Ait Kaki, S. Amellal-Chibane, H (2019).** Effect of Maturation Degree on the Fixed Oil Chemical Composition, Phenolic Compounds, Mineral Nutrients and Antioxidant Properties of Pistacia lentiscus Fruits. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47, 1842-4309.
30. **Boudieb, Kaissa (2020).** Valorisation et caractérisations physicochimique et phytochimique du pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus* L.) d'Algérie et l'incorporation de la poudre des fruits dans une préparation laitière. Diss. Université de Boumerdès-M'hamed Bougara, Département Bio.
31. **Boukeloua, A. H. M. E. D., Belkhiri, A. B. D. E. L. M. A. L. I. K., Djerrou, Z., Bahri, L., Boulebda, N., & Pacha, Y. H. (2012).** Acute toxicity of *Opuntia ficus indica* and *Pistacia lentiscus* seed oils in mice. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 9(4), 607-611.
32. **Boullard B., (2001).** *Plantes médicinales du monde: croyances et réalités*. Ed: FSTEM, 636 p.
33. **Box, G. E. P., & Wilson, K. B. (1951).** "On the Experimental Attainment of Optimum Conditions.
34. **Bozorgi, M et al (2013).** Five *Pistacia* species (*vera*, *P. atlantica*, *P. terebinthus*, *P. khinjuk*, and *P. lentiscus*): A Review of Their Traditional Uses, Phytochemistry, and Pharmacology. *The Scientific World Journal*, 10, 2-28.

Références bibliographiques

- 35. Bruneton, J. (1993).** Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 2e édition, Tec et Doc., Lavoisier, Paris, 915 p.
- 36. Bruneton, J (2009).** Pharmacognosie : phytochimie, plantes médicinales. 4ème Edition. Paris Technique & Documentation .
- 37. Buchbauer, G., and K. H. C. Başer (2010).** "Handbook of Essential oils." Science, Technology and Applications, KHC Baser, G. Buchbauer (eds). CRC Press, Taylor and Francis 235-280.
- 38. Bungenberg de Jong, H. G., H. R. Kruyt, and J. Lens (1932).** "Zur Kenntnis der lyophilen Kolloide: XVI. Mitteilung. Viskosität und Solkonzentration." Kolloid-Beihefte 36.11: 429-462.
- 39. Bürgi, Matthias, Anna M. Hersperger, and Nina Schneeberger (2005).** "Driving forces of landscape change-current and new directions." Landscape ecology 19: 857-868.
- 40. Bustos, Mauricio M., et al (1989).** "Regulation of beta-glucuronidase expression in transgenic tobacco plants by an A/T-rich, cis-acting sequence found upstream of a French bean beta-phaseolin gene." The Plant Cell 1.9: 839-853.

C

- 41. Castola, Vincent, Ange Bighelli, and Joseph Casanova (2000).** "Intraspecific chemical variability of the essential oil of *Pistacia lentiscus* L. from Corsica." Biochemical Systematics and Ecology 28.1 : 79-88.
- 42. Castro-Gómez, P., Garcia-Serrano, A., Visioli, F., & Fontecha, J. (2015).** Relevance of dietary glycerophospholipids and sphingolipids to human health. Prostaglandins, leukotrienes and essential fatty acids, 101, 41-51..
- 43. Chaabani, E. AbertVian, M.Dakhlaoui, S. Bourgou, S. Chemat, F. and Ksouri, R (2019).** *Pistacia lentiscus* L. edible oil: green extraction with bio-based solvents, metabolite profiling and in vitro anti-inflammatory activity. Oilseeds & fats Crops and Lipids, 25, 1-10.
- 44. Charef, M., et al (2008).** "Determination of the fatty acid composition of acorn (*Quercus*), *Pistacia lentiscus* seeds growing in Algeria." Journal of the American Oil Chemists' Society 85: 921-924.
- 45. Chouder CH., Drici O (2019).** Etude de l'activité insecticide des extraits du pistachier *lentisque pistacia lentiscus* l. contre *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera :Bostrichidae), Mémoire de Master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi, Bordj Bou Arreridj.

D

- 46. Da Porto, C., Decio, M. L., & Pastorelli, G. (2009).** Influence of extraction parameters on volatile profile and biological activity of *Laurus nobilis* L. leaves by ultrasound-assisted extraction. *Journal of Food Engineering*, 94(4), 597-601
- 47. Dahmani, Souhayl, Honorine Delivet, and Julie Hilly (2014).** "Emergence delirium in children: an update." *Current Opinion in Anesthesiology* 27.3: 309-315.
- 48. Dahmoune, F et al (2014).** Pistacia lentiscus leaves as a source of phenolic compounds: Microwave-assisted extraction optimized and compared with ultrasound-assisted and conventional solvent extraction. *Industrial Crops and Products*, 61, 31–40.
- 49. Delazar A., Reid RG., Sarker SD., (2004).** GC-MS analysis of the essential oil from the oleoresin of *Pistacia atlantica* var. *mutica*. *Chemistry of Natural Compounds* 40(1): 24-27.
- 50. Derong, L et al (2016).** An Overview of Plant Phenolic Compounds and Their Importance in Human Nutrition and Management of Type 2 Diabetes. *Journal of molecules*, 21, 1-19.
- 51. Devi, Nirmala et al. (2012).** Méthodologie pour la transmission des échantillons en utilisant la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR).
- 52. Djerrou Z., Djaalab, H., Riachi F., Serakta M., Chettoum A., Maameri Z., Boutobza B., Hamdi P.Y. (2013).** Irritancy potential and sub-acute dermal toxicity study of pistacia lentiscus fatty oil as a topical traditional remedy. *Jorunal Tradit Complement Altern Medicine*, 480-489.
- 53. Dolatowski, Z. J., Guyot, S., & Aubin, E. (2007).** Use of ultrasound in the extraction of flavours and fragrances. In *Flavours and fragrances: Handbook of flavour and fragrance technology* (pp. 357-380). Woodhead Publishing
- 54. Dubin, Robin (1991).** "Commuting patterns and firm decentralization." *Land economics* 67.1: 15-29.
- 55. Duru-Bellat, Marie (2003).** "Les apprentissages des élèves dans leur contexte: les effets de la composition de l'environnement scolaire." *Carrefours de l'éducation* 2: 182-206.

E

- 56. E. Biémont (2008),** Spectroscopie Moléculaire : Structures moléculaires et analyse spectrale, 1th éd, Bruxelles.

Références bibliographiques

- 57. Elgubbi, H et al (2017).** Pistacia lentiscus Tree and its Role in Riddance of some Environmental Polluters. ECronicon Open access, 10, 8-14.
- 58. Elyemni, Majda, et al (2019).** "Extraction of essential oils of Rosmarinus officinalis L. by two different methods: Hydrodistillation and microwave assisted hydrodistillation." The Scientific World Journal 3659432.

F

- 59. Flamini, G., Lanzotti, A., Cioni, P., & Pepi, M. (2004).** Analysis of aromatic and oxygenated compounds in virgin olive oil by Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52(10), 3892-3896
- 60. Fontecha, G., et al. (2015).** Chitosan-coated nanoliposomes for delivery of β -carotene: Influence of chitosan molecular weight on loading, stability and in vitro release. Journal of Colloid and Interface Science, 452, 137-146.
- 61. France Ida, R. (1996).** Les huiles essentielles: Extraction, analyse et applications. Tec & Doc - Lavoisier.

G

- 62. G. Sado, M. CH. Sado (2000) ;** « plans d'expérience, de l'expérience à l'assurance de qualité », Edition Afnor.
- 63. Gardeli C, Vassiliki P, Athanasios M, Kibouris T, Komaitis M (2008).** Essential oil composition of Pistacia lentiscus L. and Myrtus communis L.: Evaluation of antioxidant capacity of methanolic extracts. Food chemistry 107(3), 1120-1130
- 64. Ghalem, B (2007).** and Hachemi Benhassaini. "Etude des phytostérols et des acides gras de Pistachia atlantica." Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie 3.3.
- 65. Giddings, Michael C., et al (1997).** "Tributes to J. Calvin Giddings." Journal of Microcolumn Separations 9.3: 123-150.
- 66. Guenther, William C (1964).** "A generalization of the integral of the circular coverage function." The American Mathematical Monthly 71.3: 278-283.
- 67. Guilbert, Stéphane, and B. Biquet (1989).** "Les films et enrobages comestibles."

H

- 68. Hadj Abdallah, Najet, et al (2018).** "Zinc mitigates renal ischemia- reperfusion injury in rats by modulating oxidative stress, endoplasmic reticulum stress, and autophagy." *Journal of cellular physiology* 233.11: 8677-8690.
- 69. Hamma-adama, Mansur, Huda Salman, and Tahar Kouider (2018).** "Diffusion of innovations: the status of building information modelling uptake in Nigeria." *Journal of scientific research and reports* 17.4.
- 70. Hammami, M., Haouas, Z., & Bechikh, T. (2011).** Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Pistacia lentiscus* L. from Tunisia. *International Journal of Food Microbiology*, 149(3), 274-278.
- 71. Herman, J., Lerut, E., Van Damme-Lombaerts, R., Emonds, M. P., & Van Damme, B. (2005).** Capillary deposition of complement C4d and C3d in pediatric renal allograft biopsies. *Transplantation*, 79(10), 1435-1440.
- 72. Herschel, John Frederick William (1813).** "On a remarkable application of Cotes's theorem." *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 103 : 8-26.
- 73. Hevesy, George von (1913).** "Diffusion und Valenz der Radioelemente." *Phys. Zeitschr* 14 : 1202.
- 74. Hirigoyen, Gérard (2014).** "Valeur et évaluation des entreprises familiales." *Revue française de gestion* 5 : 119-134.
- 75. Hölzle, Dominique (2017).** *Le Roman libertin au XVIIIe siècle*. Voltaire Foundation.
- 76. Hu, Kun, and David Julian McClements (2015).** "Fabrication of biopolymer nanoparticles by antisolvent precipitation and electrostatic deposition: Zein-alginate core/shell nanoparticles." *Food Hydrocolloids* 44: 101-108.

I

- 77. I.Boris, C.V. Jacques(1988),** les techniques physiques d'étude des catalyseurs, Editions Technip – paris.
- 78. Irigoyen, A., et al. (2014).** Effect of chitosan coating and storage conditions on quality of fresh-cut 'Fuji' apples. *Postharvest Biology and Technology*, 85, 36-42.
- 79. Isrin P., (2001).** *Encyclopédie des plantes médicinales, identification, préparation, soin*. Ed : Larousse/ VUEF, 336 p.

J

80. **J. Goupy, L. Creighton (2006)**, « Introduction aux plans d'expériences » 3^{ième} Ed, Dunod, J. Goupy.
81. **J.D. Barnes, R.C. Denney, J. Mendham, M.J.K. Thomas (2005)**, Analyse chimique quantitative de Vogel, 1stéd.
82. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), 13(1), 1-45
83. Journal of Wood Chemistry and Technology, 8(4), 561–573, 1988
84. **Julve, Ph., (1998)**. Base flore. Index botanique, écologique et chronologique de la flore de France.

K

85. **Kaloustian, Jacques, and Francis Hadji-Minaglou (2012)**. La connaissance des huiles essentielles: qualilogie et aromathérapie; Entre science et tradition pour une application médicale raisonnée. Springer .
86. **Koutsoudaki, Christina, Martin Krsek, and Alison Rodger (2005)**. "Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil and the gum of Pistacia lentiscus Var. chia." Journal of agricultural and food chemistry 53.20: 7681-7685.
87. **Kristensen, M., et al. (2000)**. Physical properties of encapsulated orange aroma compounds. Journal of Food Engineering, 42, 317-323.

L

88. **Lawless, Erin, and Katalin Medvedev (2016)**. "Assessment of sustainable design practices in the fashion industry: Experiences of eight small sustainable design companies in the Northeastern and Southeastern United States." International Journal of Fashion Design, Technology and Education 9.1: 41-50.
89. **Lawless, W. F (2017)**. "The entangled nature of interdependence. Bistability, irreproducibility and uncertainty." Journal of Mathematical Psychology 78 : 51-64.
90. **Lide, Vanessa (1990)**. "The perils of pollution." China Business Review 17.4.
91. **Ljubuncic P, Azaizeh H., Portnaya I, Cogan U, Said O, Abu-Saleh A, Bomzon (2005)**. antioxidant activity and cytotoxicity of eight plants used in traditional Arab medicine in Israel. J. Ethnopharmacol 99 (1), 43–47.

92. **López-Rubio, Ezequiel (2010)**. "Restoration of images corrupted by Gaussian and uniform impulsive noise." *Pattern Recognition* 43.5 : 1835-1846.
93. **López-Rubio, M., et al. (2010)**. Nanoencapsulation of essential oils and volatiles from aromatic plants using supercritical CO₂: A review. *Journal of Supercritical Fluids*, 52, 405-420.
94. **Lv, Y., Yang, F., Li, X., Zhang, X. and Abbas, S.,(2014)**. Formation of heat-resistant nanocapsules of jasmine essential oil via gelatin/gum arabic based complex coacervation. *Food hydrocolloids*, 35, pp.305-314.

M

95. **M. Marie-Thérèse, G. L. Jacqueline, G. Max (2009)**, *Toxicologie nucléaire environnementale et humaine*, paris.
96. **Madene, Atmane, et al (2006)**. "Flavour encapsulation and controlled release—a review." *International journal of food science & technology* 41.1: 1-21.
97. **Mardones, O., Devia, E., Labbé, B. S., Oyarzún, R., Vargas-Chacoff, L., & Muñoz, J. L. P. (2018)**. Effect of L-tryptophan and melatonin supplementation on the serotonin gastrointestinal content and digestive enzymatic activity for *Salmo salar* and *Oncorhynchus kisutch*. *Aquaculture*, 482, 203-210.
98. **Marouani, N., Tebourbi, O., Mahjoub, S., Yacoubi, M. T., Sakly, M., Benkhalifa, M., & Rhouma, K. B. (2012)**. Effects of hexavalent chromium on reproductive functions of male adult rats. *Reproductive biology*, 12(2), 119-133.
99. **Messaoude, A., & Kessbia, A. (2016)**. Etude ethnobotanique, screening phytochimique et évaluation du pouvoir antimicrobien des polyphénols des grains de *lentiscuspistacia L.* *Der Pharma Chemica*, 8(10), 246-252.
100. **Mezni, Faten, et al (2012)**. "Fatty acid composition, antioxidant and antibacterial activities of *Pistacia lentiscus L.* fruit oils." *Journal of Medicinal Plants Research* 6.39: 5266-5271. **Meznia, F et al.** Diversity of Sterol Composition in Tunisian *Pistacia lentiscus* Seed Oil. *Chem. Biodiversity*, 13, 544 – 548.
102. **Miotto, P., Tessema, B., Tagliani, E., Chindelevitch, L., Starks, A. M., Emerson, C., Rodwell, T. C. (2017)**. A standardised method for interpreting the association between mutations and phenotypic drug resistance in *Mycobacterium tuberculosis*. *European Respiratory Journal*, 50(6).

Références bibliographiques

103. Mnayer, Dima (2014). "Eco-Extraction des huiles essentielles et des arômes alimentaires en vue d'une application comme agents antioxydants et antimicrobiens." Avignon.

104. Mohhamedi, Zohra, and Fawzia ATIK (2012). "Pouvoir antifongique et antioxydant de l'huile essentielle de *Lavandula stoechas* L." Revue «Nature & Technologie». n 6 : 34-39.

O

105. Onay, A., et al (2000). "Analysis of the effects of maturation treatments on the probabilities of somatic embryo germination and plantlet regeneration in pistachio using a linear logistic method." *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 60: 121-129.

106. O'Neil, J., Benita, Y., Feldman, I., Chenard, M., Roberts, B., Liu, Y. Shumway, S. D. (2016). An unbiased oncology compound screen to identify novel combination strategies. *Molecular cancer therapeutics*, 15(6), 1155-1162.

107. Oshina, Ilze, and Janis Spigulis (2021). "Beer–Lambert law for optical tissue diagnostics: current state of the art and the main limitations." *Journal of biomedical optics* 26.10 : 100901-100901.

108. Ouelmouhoub S (2005). Gestion multi-usage et conservation du patrimoine forestier casdes subéraies du Parc National d'El Kala (Algérie).

P

109. Palevitch D, Yaniv Z (2000). Medicinal plants of the Holy Land. Modan Publishing House, Tel Aviv, Israel.

110. Paré, J. R. (1997). *Microwaves in organic chemistry: Methods and applications.* John Wiley & Sons.

111. Penoel, D (2006). "fragonia The latest promising aromatic gift from Australia." *Aromatherapy Today* 36 : 12.

112. Pingret, D., Fabiano-Tixier, A. S., & Chemat, F. (2013). Use of ultrasound for the extraction of essential oils from aromatic plants. In *Modern methods of plant analysis* (pp. 525-544). Springer Berlin Heidelberg

Q

113. Quézel P. et Santa S., (1962-1993). Nouvelle Flore de l'Algérie et des régions désertiques Méridionales. Paris C.N.R.S., 2 volumes. 1170p.

R

114. Rameau J.C., Mansion D., Dumé G. et Gauberville C., (2008). Flore forestière française, guide écologique illustré 3 régions méditerranéennes. Ed IDF, 2426 p.

115. Rathje, J., Kristensen, M., & Pedersen, J. E. (2000). Continuous anneal method for characterizing the thermal stability of ultraviolet Bragg gratings. *Journal of Applied Physics*, 88(2), 1050-1055.

116. Rauf, A., Benayache, F., Hamza, M., Bellakhdar, Z., & Rehman, A. (2017). Phytochemical, ethnomedicinal uses and pharmacological profile of genus Pistacia. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 86, 393-404.

117. Richard, Benoît (2000). Les mycocoenoses des pelouses calcicoles du Barrois lorrain: analyse inventoriale, patrimoniale et conservatoire. Diss. UHP-Université Henri Poincaré.

118. Román, A., et al. (2017). Chitosan-coated nanoliposomes loaded with β -carotene: Physicochemical characterization and stability study. *Food Hydrocolloids*, 61, 17-24.

119. Román, Javier, and Ignacio Trujillo (2017). "Ultra-diffuse galaxies outside clusters: clues to their formation and evolution." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 468.4: 4039-4047.

120. Rouvière, L. Rousset, et al (2016). "Sysiphe, an airborne hyperspectral system from visible to thermal infrared." *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*.

S

121. Safaralie, Asghar, Shohreh Fatemi, and Fatemeh Sefidkon (2008). "Essential oil composition of *Valeriana officinalis* L. roots cultivated in Iran: Comparative analysis between supercritical CO₂ extraction and hydrodistillation." *Journal of Chromatography A* 1180.1-2 : 159-164.

122. Sampy, P., De Franceschi, C., & Menichini, J. (2011). Irritant potential of *Pistacia lentiscus* essential oil. *Fitoterapia*, 82(2), 226-229

Références bibliographiques

- 123.Santini, Edwin, Marian Sepulveda-Orengo, and James T. Porter (2012).** "Muscarinic receptors modulate the intrinsic excitability of infralimbic neurons and consolidation of fear extinction." *Neuropsychopharmacology* 37.9: 2047-2056.
- 124. Santos, A. L., Siqueira Jr, J. F., Rocas, I. N., Jesus, E. C., Rosado, A. S., & Tiedje, J. M. (2011).** Comparing the bacterial diversity of acute and chronic dental root canal infections. *Plos one*, 6(11), e28088.
- 125.Scherrer A.M, Motti R, Weckerie C.S (2005).** Traditional plant use in the areas of mon tevesoleandascea, cliente national park (compania, southernItaly).*Journal of Ethnopharmacology*; 97 :129-143.
- 126. Scott, John Mark (1950).** "Karl Friedrich Mohr, 1806-1879 Father of Volumetric Analysis." 191-203.
- 127. Simard, C., Dufays, J. L., Dolz, J., & Garcia-Debanc, C. (2019).** Didactique du français langue première. De Boeck Supérieur.
- 128.Simard, S., Hachey, J., & Collin, G. J.** The Variations of Essential Oil Composition During the Extraction Process. The Case of Thujaoccidentalis L.And Abiesbalsamea (L).Mill.
- 129.Soulaidopoulos S., Tsiogka A., Chrysohoou Ch., Lazarou E., Aznaouridis K., Doundoulakis I., Tyrovola D., Tousoulis D., Tsioufis K., Vlachopoulos, Ch.,Lazaros, G. (2022).** Overview of chios mastic gum (*Pistacia lentiscus*) effects on human health. *Nutrients Review*, 25, 285-309
- 130. Speight, Julian, and Mark Sanders (2006).** "Pericardial tamponade with a positive abdominal FAST scan in blunt chest trauma." *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 61.3 : 743-745.

T

- 131.Tounsi, M., Harrath, H., Khalil, M. A., & Mighri, M. (2011).** Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of *Pistacia lentiscus* L. from Tunisia .*Journal of Ethnopharmacology*, 135(1), 73-77.

U

- 132.Uysal, Murat, and Hatf Nouri (2014).** "Optical wireless communications An emerging technology." 16th international conference on transparent optical networks (ICTON).

V

- 133.Valnet, J. (1988).** L'aromathérapie : Traité complet des huiles essentielles. Editions Joël Clancy ;
- 134.Vandamme, T., et al. (2002).** Microencapsulation for the textile industry: Review of recent progress. *Journal of Applied Polymer Science*, 84, 2757-2774.
- 135.Veillet, J., Chemat, F., & Gunjal, S. (2010).** **Ultrasounds in green chemistry.** In *Green chemistry: Principles and applications* (pp. 347-377). Royal Society of Chemistry.
- 136. Veis, Arthur, and Catherine Aranyi (1960).** "Phase separation in polyelectrolyte systems. I. Complex coacervates of gelatin." *The Journal of Physical Chemistry* 64.9: 1203-1210.
- 137.Verma, Sujit Kumar, Arun Kumar Tiwari, and Durg Singh Chauhan (2017).** "Experimental evaluation of flat plate solar collector using nanofluids." *Energy conversion and Management* 134 : 103-115.

Z

- 138.Zhou, M., Hannah, L., Dunson, D. & Carin, L. (2012).** Beta-Negative Binomial Process and Poisson Factor Analysis. *Journal of Machine Learning Research*. 22:1462-1471.
- 139.Ziqiang, Zhu, and Xu Derong (2016).** "The Discovery of Children: The Origins of Zhou Zuoren's Thoughts on "Humane Literature"." *Representing Children in Chinese and US Children's Literature*. Routledge, . 63-74.
- 140.Zohary, Michael (1952).** "Ecological Studies in the Vegetation of the Near Eastern Deserts: I—Environment and Vegetation Classes." *Israel Exploration Journal* 24 : 201-215.
- 141. Zrira, S.; Elamrani, A.; Benjilali, B (2003).** Chemical composition of the essential oil of *Pistacia lentiscus* L. from Morocco—a seasonal variation. *Flavour and fragrance journal* 18.

Annexes

Annexe A

1. Les produits utilisés

1. Gélatine



Figure 2: Photo d'alginate de sodium

2. Alginate



Figure1: Photo de la gélatine

3. CMC (carboxyméthylcellulose)

4. Tween 80

5. Glutaraldéhyde

2 . Les appareils utilisés

- Ph mètre,
- L'appareil chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG-MS),
- Test de dissolutions,



Figure 3 : La spectrophotométrie UV-visible



Figure 4 : Spectroscopie infrarouge à Transformée de Fourier (IRTF)

Annexes B



Figure 5 : Le matériel nécessaire Pour former une pastille

Tableau III.4: Concentration des différents composés identifiés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectroscopie de masse des huiles essentielles de lentisque pistachier

Peak#	R.Time	Area%	Similarity	Name
1	3.455	0.32	97	Pyrrrole <ethyl->
2	4.517	0.06	92	Octane
3	8.164	0.21	98	Tricyclo[2.2.1.0 _{2,6}]heptane, 1,7,7-trimethyl-
4	8.367	0.19	97	Thujene <alpha->
5	8.691	23.47	97	(1R)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene
6	9.165	1.15	97	Camphene
7	10.182	0.27	96	Sabinene
8	10.308	7.95	97	Pinene <beta->
9	11.051	24.72	96	Myrcene
10	11.497	6.53	97	Phellandrene <alpha->
11	11.731	3.24	97	3-Carene
12	12.006	0.27	97	Terpinene <alpha->
13	12.341	3.73	97	Cymene <para->
14	12.563	9.63	92	Cyclohexene, 3-methylene-6-(1-methylethyl)-
15	12.973	1.85	97	(3E)-3,7-dimethylocta-1,3,7-triene
16	13.438	3.71	97	Ocimene <(E)-, beta->
17	13.632	0.14	91	2-Octene, 2-methyl-6-methylene-
18	13.778	0.08	96	Butyrate <isoamyl->
19	13.880	0.47	96	gamma-Terpinene
20	15.217	0.69	90	Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-
21	15.386	0.36	91	2-Nonanone
22	15.807	0.35	79	2-Nonanol
23	15.948	0.16	95	Pelargonaldéhyde
24	19.307	0.17	96	3-Cyclohexen-1-ol, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-, (R)-
25	22.720	0.39	81	(1R,2S,4S,5R,7R)-5-isopropyl-1-methyl-3,8-dioxatricyclo[5.1.0.0 _{2,4}]octane
26	24.636	0.72	87	Nonyl methyl ketone
27	24.988	0.11	94	2-Undecanol
28	25.586	0.33	84	2-Oxabicyclo[2.2.2]octan-6-ol, 1,3,3-trimethyl-
29	27.411	0.54	97	3-Allyl-6-methoxyphenol
30	28.060	0.08	94	Ylangene
31	28.898	0.10	75	(1S,2S,3R,5S)-(+)-Pinaediol
32	30.096	1.31	96	Caryophyllene
33	31.315	0.16	94	1H-Benzocycloheptene, 2,4a,5,6,7,8,9,9a-octahydro-3,5,5-trimethyl-9-methylene-, (4aS-cis)-
34	31.504	0.16	93	alpha-Humulene
35	32.474	0.38	94	gamma-Murolene
36	32.736	0.14	91	1R,3Z,9s-4,11,11-Trimethyl-8-methylenebicyclo[7.2.0]undec-3-ene
37	33.443	0.23	91	Tricyclo[5.4.0.0(2,8)]undec-9-ene, 2,6,6,9-tetramethyl-, (1R,2S,7R,8R)-
38	33.980	0.15	95	Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1.alpha.,4a.beta.,8a.alpha.)-
Peak#	R.Time	Area%	Similarity	Name
39	34.355	0.32	94	Cadinene <delta->
40	36.660	0.12	96	5-Oxatricyclo[8.2.0.0 _{4,6}]dodecane, 4,12,12-trimethyl-9-methylene-, (1R,4R,6R,10S)-
41	49.632	0.39	94	m-Camphorene
42	49.896	0.32	95	n-Hexadecanoic acid
43	50.728	0.23	93	p-Camphorene
44	55.345	0.36	92	Oleic Acid
45	65.432	0.16	93	Hexadecanoic acid, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethyl ester
46	65.540	0.11	72	Anisole, p-allyl-
47	69.848	0.15	84	(Z)-3-(1Heptadec-10-en-1-yl)phenol
48	69.947	0.44	92	9-Octadecenoic acid (Z)-, 2,3-dihydroxypropyl ester
49	71.336	2.90	96	1,4-Benzenedicarboxylic acid, 1,4-bis(2-ethylhexyl) ester
		100.00		

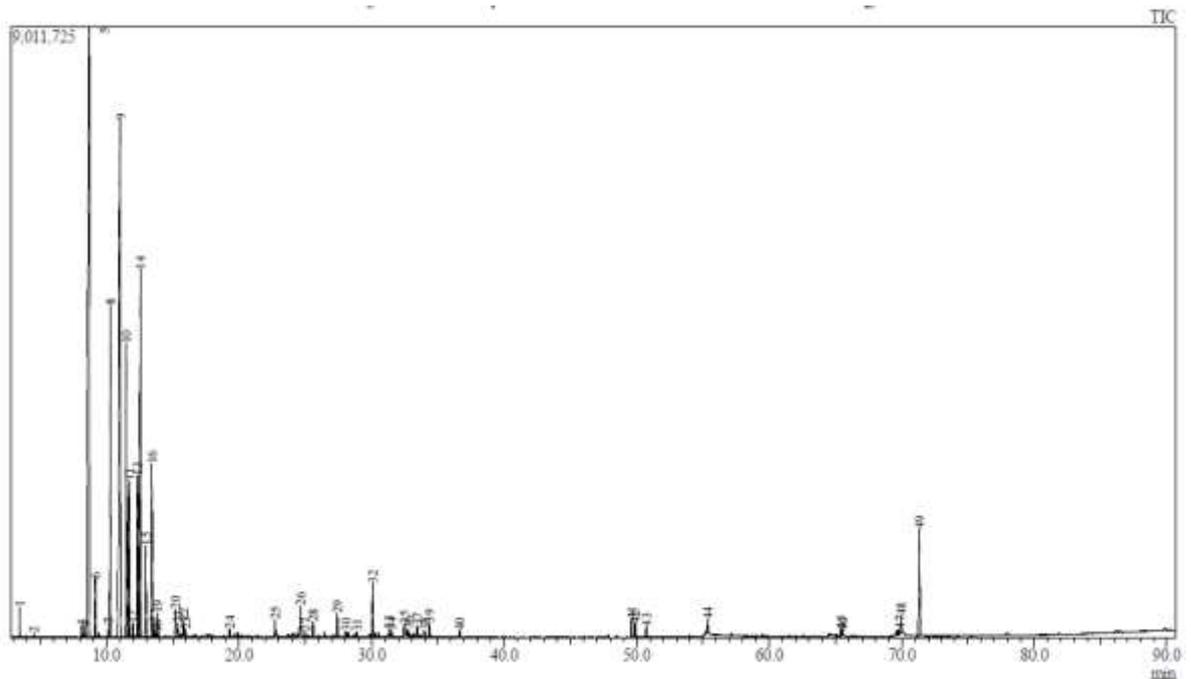


Figure 6 : Chromatogramme de l'huile essentielle du lentisque pistachier

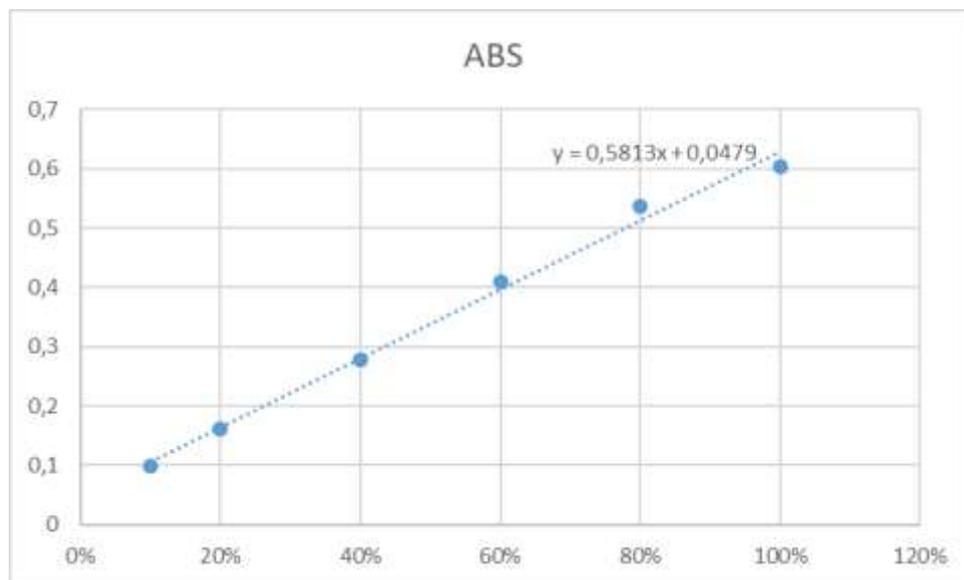


Figure 7 : Courbe d'étalonnage de l'huile essentielle du lentisque pistachier

Pour mieux comprendre la cinétique de libération de l'huile essentielle en fonction de temps Cette figure illustre la libération des quatre spectres de l'huile essentielle en fonction du temps. Pour la courbe 1 ml (ligne bleue), la dissolution initiale est faible à 3,5 minutes (7,53 %) mais augmente rapidement jusqu'à 15 minutes (51,6 %), puis continue de manière plus lente pour atteindre environ 71,35 % à 120 minutes. La courbe 0,5 ml (ligne orange) commence avec une dissolution plus faible (3,89 % à 3,5 minutes) par rapport à 1 ml, augmentant progressivement de façon similaire mais restant légèrement en dessous, atteignant 69,09 % à 120 minutes. La courbe 0,25 ml (ligne grise) commence plus bas (4,64 % à 3,5 minutes) mais augmente rapidement après 15 minutes, atteignant la dissolution la plus élevée parmi toutes les concentrations à 120 minutes (77,22 %). La courbe 0,125 ml (ligne jaune) débute à 5,08 % à 3,5 minutes, avec une montée progressive similaire aux autres courbes, atteignant 76,51 % à 120 minutes. En comparant l'efficacité de dissolution, la concentration 0,25ml atteint la plus haute dissolution finale (77,22 %), tandis que les autres concentrations montrent des taux de dissolution finaux proches mais légèrement inférieurs (environ 69 % à 71 % pour 1ml et 0,5 ml, et 76,51 % pour 0,125 ml). Concernant la vitesse de dissolution initiale, toutes les concentrations montrent une augmentation rapide au début (jusqu'à 15 minutes), suivie d'une augmentation plus lente. Cela implique que la concentration 0,25ml pourrait être la plus efficace pour atteindre une dissolution maximale plus rapide et plus élevée. Les différences observées peuvent être dues à la formulation ou aux conditions spécifiques du test de dissolution. En conclusion, les données montrent que la concentration et le volume affectent le taux et le pourcentage final de dissolution, avec 0,25ml étant la plus performante dans ces conditions de test.

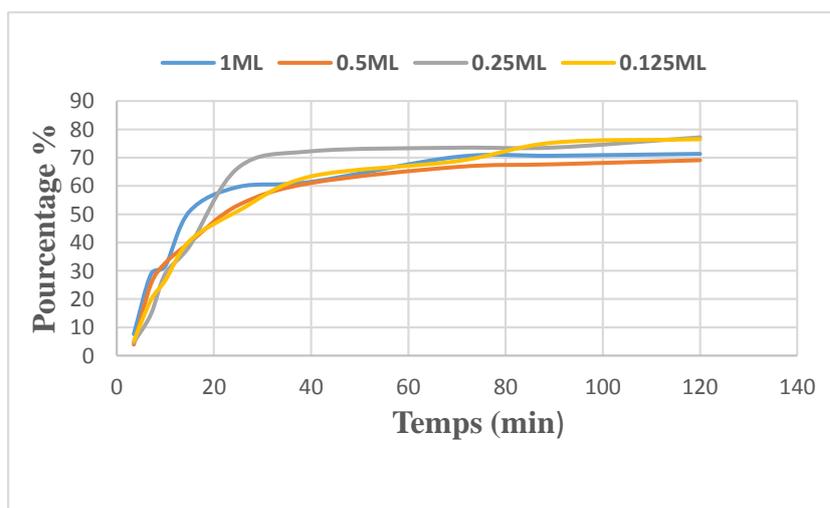


Figure 7: Graphes représentant les pourcentages de libération d'huile essentielle au fil du temps pour différentes quantités (1 ml, 0,5 ml, 0,25 ml, 0,125 ml).

.

Extraction et caractérisation de l'huile essentielle de lentisque pîstachier L

Résumé

Pistacia lentiscus L., appartenant à la famille des Anacardiacées, est une plante utilisée en médecine traditionnelle pour traiter diverses pathologies, notamment les inflammations, les infections, ainsi que la diarrhée et les maladies respiratoires. Cette recherche vise à extraire l'huile essentielle présente dans les fruits de cette plante en optimisant le processus d'hydrodistillation selon la méthode de Clevenger. Le projet de recherche se concentre sur l'étude approfondie de ces huiles essentielles encapsulées dans des microcapsules pour garantir leur stabilité et préserver leur intégrité chimique. Grâce à un plan d'expériences, les conditions optimales d'extraction ont été déterminées (133,408 g de graines, 3,875 h), permettant d'obtenir un rendement de 0,36%. L'encapsulation par coacervation complexe, utilisant des biopolymères, a conduit à la formation de microcapsules stables.

L'objectif principal est de caractériser précisément les composants chimiques et les propriétés des huiles essentielles à l'aide de techniques analytiques avancées telles que la spectrométrie infrarouge, UV-visible et la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CGMS). Le contrôle de la libération sera aussi effectué selon le test de dissolution. Ces analyses permettront d'explorer le vaste potentiel d'application des huiles essentielles de *Pistacia lentiscus* L. dans divers secteurs, notamment la médecine, la cosmétique et d'autres industries spécialisées.

Mots clés : *Pistacia lentiscus* L., huile essentielle, extraction, hydrodistillation de type clevenger, coacervation complexe.

Abstract

Pistacia lentiscus L., belonging to the Anacardiaceae family, is a plant used in traditional medicine to treat various ailments, including inflammation, infections, diarrhea, and respiratory diseases. This research aims to extract the essential oil present in the fruits of this plant by optimizing the hydrodistillation process using the Clevenger method. The research project focuses on an in-depth study of these essential oils encapsulated in microcapsules to ensure their stability and preserve their chemical integrity.

The main objective is to precisely characterize the chemical components and properties of the essential oils using advanced analytical techniques such as infrared spectroscopy, UV-visible spectroscopy, and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Release control will also be conducted using the dissolution test. These analyses will allow us to explore the vast application potential of *Pistacia lentiscus* L. essential oils in various sectors, including medicine, cosmetics, and other specialized industries.

Extraction et caractérisation de l'huile essentielle de lentisque pistachier L

Keywords : Pistacia lentiscus L., essential oil, extraction, Clevenger-type hydrodistillation, complex coacervation.