
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Akli MOHAND OULHADJ-Bouira

Faculté des Sciences & des Sciences Appliquées
Département de Génie des Procédés



Mémoire

Présenté par

SAOUDI Wissam

TOUMI Manel

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie chimique



**Potentiel de valorisation de l'huile
essentielle des plantes aromatiques
et médicinales de la région de
Bouira**



Déposé le 07 / 12 / 2020 Evalué par le jury composé de :

Mme ARBIA L.	MCB, Univ. Bouira	Examineur
M ^{me} TALBI O.	MAA, Univ. Bouira	Examineur
Mme HADIOUCHE D.	MCB, Univ. Bouira	Encadrant

Année universitaire 2019/2020

Remerciements

Avant toutes choses, nous remercions dieu le tout puissant, qui nous avoir donné la force le courage la patience et la volonté afin d'arriver à la finalité de ce modeste travail.

Au terme de ce travaille il nous est agréable de remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travaille.

Nos remerciements vont particulièrement :

- A notre promotrice M^{me}: **Hadiouche D.** Nous vous remercions d'avoir accepté, de diriger notre mémoire. Merci pour votre disponibilité à chaque fois qu'on avait besoin de conseils ou d'aide et surtout pour votre patience pendant la rédaction de ce travail. Nous vous sommes sincèrement reconnaissantes.*
- Aux membres de jury ; Mme **Arbia L.** et **Talbi O.** qui nous fond le grand honneur d'avoir acceptées d'évaluer ce travail. Nous tenons à vous remercier sincèrement.*

*Nous tenons à remercier également M^{me} **Taibi Hassina** pour ses efforts, sur son service et sa disponibilité durant toutes ces années scolaires.*

Nos pensées vont à tous les enseignants qui ont participé à notre formation.

Nous avons bénéficié de vous tous les enseignements de qualités et nous éprouvons pour vous un grand respect et une profonde admiration.

Veillez accepter, l'expression de nos sentiments d'estime, et soyez rassurés de notre profonde gratitude et de notre profond respect.

Merci

Dédicace

*Avec les sentiments de gratitude les profondes
Je dédie ce travail :*

A mes parents que dieu leur procure une bonne santé et longue vie

*A mon très cher **PAPA**, la personne la plus digne de mon estime et de mon respect
l'homme de ma vie, mon exemple éternel par les inestimables sacrifices que tu as
consenti pour moi, tu as tant souhaité que je parvienne à ce but je t'offre le fruit de
tes sacrifices.*

*A la lumière de mes yeux, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et
mon bonheur; **Maman** que j'adore.*

*A mes deux frères **Yassine et Syphax** que dieu les protèges.*

*A toute ma famille sans exception, tantes et oncles, cousins et cousines, pour votre
présence et pour l'amour qu'ils témoigné a mon égard*

*A ma chère sœur collègue **Manel** que ses lignes ne seront pas suffisantes pour exprimé
l'étendue de mes remerciements pour le soutiens durant toutes ces années, dans les bon
moments, comme dans les périodes de découragement, Je te souhaite une longue vie
pleine de réussite.*

*A mon âme sœur **Ahlem**, qui m'a toujours aidée et encourager, qui était toujours a mes
cotés, qui m'a accompagnée depuis l'enfance, je lui souhaite tout le bonheur*

*A mes cher(e)s ami(e)s : Thiziri, Radia, Nessrine, Cylia, Wahiba et Nounou et à toutes
les personnes qui me connaissent et qui m'aiment.*

*A tous mes collègues de promo en 2^{ème} Année
Master Génie chimique.*

WISSAM



Dédicaces

Au début, je dédie ce travail A mes chers et respectueux parents. Vraiment aucune dédicace ne saurait exprimer mon attachement, mon amour et mon affection

❖ *Mon cher père : en témoignage de ses sacrifices pour mon éducation et pour mes études. Je lui dois beaucoup et je lui suis plus que reconnaissante merci de m'avoir encouragé à réaliser mes rêves que dieu te garde pour nous cher papa*

❖ *Ma chère mère : qui a œuvré a ma réussite par son amour, ses prières, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et présence dans ma vie, que dieu te protège je te souhaite une longue vie*

A ma grande sœur Nesrine et son mari Haysem : à qui je souhaite que de bonheurs et de joie et de réussites dans leur vie

A mon frère Fares à qui je souhaite le succès et de réussites dans ses études et un meilleur avenir

A mon frère Rayane et ma sœur Narimene : pour la joie et l'ambiance qui règne grâce à vous

A toutes les personnes qui nous ont quitté : puisse dieu les accueillir dans son infinie miséricorde

A ma collègue et copine Wissam et ma copine Ahlem : avec qui j'ai partagé les bons et les durs moments et qui on toujours été présente dans les bonnes et les durs moments

A mes amis : qui m'ont prodigué des encouragements et m'ont toujours soutenu.

A tous ceux qui m'ont soutenus de près ou de loin, et toutes les personnes qui m'ont accompagnée tous au long de mon parcours

A toute la famille de près ou de loin

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux et le fruit de votre soutien infailible.

Merci d'être toujours là pour moi.

Manel



Table des matières

List of Figures	viii
List of Tables	ix
Introduction générale	1
1 Généralités sur les huiles essentielles	4
1.1 Notions Générales sur les huiles essentielles	4
1.1.1 Aperçu historique	4
1.1.2 Définitions	5
1.1.2.1 Huiles essentielles	5
1.1.2.2 Chémotype ou chimiotype	7
1.1.3 Intérêt des Huiles essentielles	7
1.1.4 Propriétés physico-chimiques des huiles essentielles	9
1.1.5 Composition chimiques des huiles essentielles	9
1.1.6 Activités biologiques des HE et leurs rôles thérapeutiques	11
1.1.6.1 Activité antibactérienne	11
1.1.6.2 Activité antioxydante	14
1.1.6.3 Activité anti-inflammatoire	14
1.1.6.4 Activité antifongique	15
1.1.6.5 Activité chimioprotectrice du cancer	15
1.1.6.6 Cytotoxicité des huiles essentielles	15
1.1.6.7 Activité allélopathique	16
1.1.6.8 Activité répulsive et insecticide	16
1.1.7 Classification des huiles essentielles	16
1.1.8 Critères déterminants la qualité des huiles essentielles	17
1.1.8.1 Domaines d'applications	18
1.1.8.2 Secteur de parfumeries et cosmétologies	18
1.1.8.3 Secteur agro-alimentaire	18
1.1.8.4 Secteur de pharmacologie et médical	18
1.1.8.5 Secteur aromathérapie	19
1.1.8.6 Secteur agricole	20
1.1.8.7 Secteur industriel	20
1.1.8.8 Toxicité des huiles essentielles	20
1.1.9 Production mondiale des huiles essentielles	21

1.2	Techniques d'extraction des huiles essentielles	23
1.2.0.1	Hydrodistillation	24
1.2.1	Entraînement à la vapeur d'eau	26
1.2.1.1	Hydrodiffusion	28
1.2.1.2	Turbo hydro-distillation	28
1.2.1.3	Extraction par expression à froid (ou par pression à froid)	29
1.2.1.4	Extraction par fluide supercritique	29
1.2.1.5	Extraction par micro-ondes	30
1.2.1.6	Extraction par un solvant organique volatil	31
1.2.1.7	Extraction par solvants	32
2	Caractérisation des huiles essentielles	33
2.1	Caractérisation des huiles essentielles	33
2.1.1	Techniques de caractérisation	34
2.1.1.1	Chromatographie en phase gazeuses (CPG)	35
2.1.1.2	Spectrométrie de masse (SM)	36
2.1.1.3	Couplage chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse (CPG/SM)	37
2.1.1.4	Chromatographie sur couches minces (CCM)	38
2.1.1.5	Spectroscopie infrarouge (IR)	40
2.1.1.6	Résonance magnétique nucléaire (RMN)	40
2.1.1.7	Chromatographie liquide à haute performance (HPLC)	41
2.1.2	Caractérisation physicochimique des huiles essentielles	41
2.1.2.1	Analyses chimiques	42
2.1.2.2	Propriétés physiques	44
2.1.3	Caractéristiques organoleptiques	47
2.2	Activité des huiles essentielles	48
2.2.1	Méthodes d'évaluation de l'activité antibactérienne	48
2.2.1.1	Méthode de diffusion en milieu solide	48
2.2.1.2	Méthode de dilution en milieu liquide	49
2.2.2	Activité liée à la composition chimique	49
3	Synthèse bibliographique sur les plantes choisies	50
3.1	Déscription des plantes	50
3.1.1	<i>Inula viscosa</i>	50
3.1.1.1	Description botanique	51
3.1.1.2	Taxonomie	52
3.1.1.3	Répartition géographique	53
3.1.1.4	Aspects photochimique	53
3.1.1.5	Usage traditionnelle et propriétés pharmaceutiques d' <i>inula viscosa</i>	54
3.1.1.6	Les huiles essentielles d' <i>inula viscosa</i>	56
3.1.2	Eucalyptus	56
3.1.2.1	Définition	58
3.1.2.2	Taxonomie	58
3.1.2.3	Description Botanique	58
3.1.2.4	Aspects photochimique	59

3.1.2.5	Les huiles essentielles d' <i>eucalyptus</i>	59
3.1.2.6	Usage traditionnelle et propriétés pharmaceutiques d' <i>eucalyptus</i>	60
3.2	Synthèse bibliographique des travaux antérieurs	61
3.2.1	Travaux réalisés sur <i>Inula viscosa</i>	61
3.2.2	Travaux réalisés sur <i>Eucalyptus globulus</i>	64
3.2.3	Etudes comparative des modes d'extraction des huiles essentielles	65
	Conclusion	67
	Bibliographie	69

Table des figures

1.1	Illustration du métabolisme primaire et secondaire [1]	8
1.2	Principaux composés des huiles essentielles [2]	11
1.3	Mécanisme antimicrobien des huiles essentielles sur les microbes [3]	12
1.4	Découverte et premières utilisations cliniques des principaux antibiotiques d'origine naturelle (couleur orange) et d'origine synthétique (couleur bleu) [4]	13
1.5	Production mondiale des huiles essentielles (2008) [5]	21
1.6	Opérations d'extraction des huiles essentielles [2]	24
1.7	Schéma d'un alambic	26
1.8	Hydrodistillation : (a) montage de distillation simple ; (b) appareil de type Clevenger	26
1.9	Obtention de l'huile essentielle par entraînement à la vapeur dans un appareil industriel alambic	27
1.10	Montage d'entraînement à la vapeur de laboratoire	28
1.11	Schéma du montage turbo hydro-distillation	29
1.12	Équipement d'extraction assisté par ultrasons [6]	30
1.13	Montage d'une distillation par micro-ondes [7]	31
2.1	Schéma de principe de la chromatographie en phase gazeuse.	36
2.2	schéma de principe de la spectrométrie de masse	37
2.3	Schéma de principe de couplage chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse(CPG/SM)	38
2.4	Démarches à suivre pour l'identification des constituants d'une huile essentielle par combinaison des techniques de CPG et de CPG/SM [8]	39
3.1	Image de la plante <i>Inula viscosa</i>	51
3.2	Métabolisme secondaire	53
3.3	Principales classes des composés phénoliques	54
3.4	Feuilles et fleurs d'eucalyptus	59

Liste des tableaux

1.1	Huiles essentielles les plus demandées sur le marché mondial[9]	22
1.2	Exemples de plantes utilisées en médecine traditionnelles en Algérie[9] . .	23
1.3	Paramètres mise en oeuvre dans les opérations d'extraction[10]	25
2.1	Rendements de la distillation de quelques drogues courantes [11]	47
3.1	Mode d'utilisation d' <i>inula viscosa</i> dans la médecine traditionnelle	55
3.2	Composants majoritaires d'huiles essentielles de l'espèce <i>Inula viscosa</i> récoltées dans différents pays du monde [12]	56
3.3	Spécifications physico-chimiques de l'huile essentielle d' <i>Eucalyptus globulus</i> [13]	60

Introduction Générale

De tout temps et sur les cinq continents, les hommes ont utilisé les plantes pour prévenir ou guérir des maladies. En effet, les plantes ont toujours fait partie de la vie quotidienne de l'homme qui a pu compter sur la nature pour subvenir à ses besoins de base : nourriture, abris, vêtements. Et à travers le temps les hommes se sont soignés avec les plantes qu'ils avaient à leur disposition. Une plante médicinale est dotée des propriétés thérapeutiques, cela signifie qu'au moins une de ses parties (feuille, tige, racine etc.) peut être employée dans le but de se soigner.

La plus part des espèces végétales qui poussent dans le monde entier possèdent des vertus thérapeutiques grâce à leurs principes actifs qui agissent directement sur l'organisme. Ces vertus sont utilisées aussi bien en médecine classique qu'en phytothérapie. Elles présentent en effet des avantages dont les médicaments sont souvent dépourvus. Elles sont utilisés dans les différents domaines (pharmaceutique, cosmétique, parfumerai, agroalimentaire...) [14–16].

De nos jours, l'utilisation de la médecine traditionnelle comme une thérapie alternative complémentaire a pris de l'ampleur [17]. En effet, plus 20.000 plantes sont utilisées dans la pharmacopée humaine où 75% des médicaments ont une origine végétale et 25% d'entre eux contiennent au moins une molécule active d'origine végétale [18]. L'extraction des différents produits se font sous différentes formes dont les plus importantes sont : les tisanes, infusion, les gélules, les suspensions intégrales et les huiles essentielles.

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de composés volatils produits par des organismes vivants et isolés par des moyens physiques uniquement (pressage et distillation) à partir d'une plante entière ou d'une partie de la plante d'origine taxonomique connue. Les principaux composés respectifs sont principalement dérivés de la biosynthèse uniquement. Néanmoins, il existe un nombre presque incalculable de substances uniques et une énorme variation dans la composition des huiles essentielles.

Les applications des huiles essentielles sont vastes, cela concerne à la fois le bien-être, la santé en passant par la beauté. Les huiles essentielles sont extraites des fleurs, écorces, tiges, feuilles, racines, fruits et autres parties de la plante par diverses méthodes. Elles sont devenues une matière première et une base de diverses industries pour la fabrication des médicaments, des produits cosmétiques et des produits agricoles....

Plusieurs méthodes d'extraction ont été développées en raison de la grande importance des huiles essentielles. Parmi ces méthodes l'hydro-distillation, l'hydro-diffusion, extraction par microonde et l'extraction par entrainement à la vapeur d'eau qui est la plus utilisée car elle convient pour la majorité des plantes.

L'immensité du territoire algérien (2.381.741 Km²) et la spécificité du climat de chaque région favorisent la diversité des ressources végétales. La mise en valeur des ressources naturelles peut avoir des avantages économiques importants pour notre pays. Récemment des projets de production des plantes aromatiques et médicinales ont vu le jour et sont essentiellement orientés vers l'exportation des plantes fraîches, d'huiles essentielles et d'huiles concrètes.

Considérant l'importance de ce potentiel naturel dont une partie des plantes connues sont réputées pour leur pouvoir thérapeutique, nous nous sommes intéressées, dans ce travail, à l'étude de deux plantes particulières, dénommées *Inula viscosa* et *eucalyptus globulus*, qui sont très répandues en Algérie et principalement dans la région de Bouira deux exemples de sources inépuisables de remède traditionnelle et efficace grâce aux principes actifs qu'elles contiennent.

Ces considérations nous ont amené à envisager les possibilités de valoriser les essences de ces plantes, à travers une recherche bibliographique. Ces huiles sont-elles-efficaces dans divers domaines ?

Dans ce contexte, nous avons fixé deux objectifs pour notre étude :

- ▶ Evaluer l'efficacité des procédés d'extraction des huiles essentielles,
- ▶ Evaluer la valeur thérapeutique des deux plantes choisies.

Notre travail est subdivisé en trois chapitres : Le premier chapitre est consacré aux notions générales sur les huiles essentielles comportant les définitions nécessaires, les différents effets et intérêts des huiles essentielles, les domaines d'application et les techniques d'extraction. Le deuxième chapitre est dédié à la caractérisation des huiles essentielles notamment les techniques de caractérisations chromatographiques, la caractérisation physicochimique et la détermination de l'activité biologique. Le troisième chapitre est consacré à l'étude des deux plantes choisies et à une synthèse des travaux antérieurs réalisés sur ces plantes avec différentes techniques d'extraction des huiles essentielles. Et nous clôturons cette étude par une conclusion générale.

Chapitre 1

Généralités sur les huiles essentielles

1.1 Notions Générales sur les huiles essentielles

1.1.1 Aperçu historique

Depuis toujours, l'homme cherche dans les plantes de quoi s'alimenter et se soigner. En effet, Les végétaux furent pendant des millénaires utilisés pour combattre les maladies. Toutes les civilisations les ont étudiées et utilisées. L'utilisation des huiles essentielles et la connaissance de ses propriétés curatives remontent aux civilisations chinoises et égyptiennes qui sont considérées comme une des plus anciennes formes de la médecine et de la cosmétique. L'un des premiers "ouvrages", traitant les propriétés des plantes, a été rédigé en Chine, environ 1500 ans avant J.-C., intitulé Pen Tsao. Les plantes aromatiques étaient brûlées, ou infusées ou macérées dans des huiles végétales [18].

Les égyptiens ont fait des pommades miraculeuses à partir de l'extraction de l'huile essentielle des plantes aromatiques. Ces huiles essentielles étaient utilisées afin d'embaumer les morts dans le cadre spirituel, médicinal et cosmétique [18–21].

Les Grecs ont également compris les effets miraculeux de l'arôme de certaines fleurs et de plantes. Ils ont acquis la plupart de leurs connaissances avec les égyptiens qui étaient d'excellents connaisseurs de leurs propriétés. Le médecin grec Hippocrate, connu comme

père de la médecine, recommandait plusieurs fois les massages avec des huiles essentielles et il faisait référence à un grand nombre de plantes médicinales dans ses écrits [18].

Les Romains et plus tard les Arabes ont amélioré les connaissances acquises avec les civilisations qui les ont précédées. L'alchimiste Avicenne a contribué dans la civilisation arabe à cette amélioration vu qu'il a été le pionnier de la méthode de la distillation de plantes médicinales avec un alambic. Même si d'autres méthodes très sophistiquées sont apparues, celle-ci est la plus utilisée et conseillée [19]. En effet, Avicenne (980 après J.-C.) relate qu'en étudiant les plantes médicinales, il découvre le moyen de préparer par distillation des essences volatiles d'herbes et de fleurs. Avicenne fût donc l'inventeur de la distillation et son Canon de la médecine demeura longtemps un ouvrage de référence dans toute la civilisation médiévale [17].

La connaissance des pouvoirs curatifs des plantes a commencé à se perdre de nombreux siècles après. En effet, les progrès incroyables de la chimie et de la synthèse des molécules a éclipsé les pouvoirs curatifs des huiles essentielles durant le siècle dernier. Pour autant, depuis une vingtaine d'années, les huiles essentielles reviennent sur le devant de la scène, poussées par l'évolution des consciences et les scandales sanitaires. Les différentes cultures utilisaient toujours les plantes de génération en génération afin de soulager ou de guérir certaines maladies. L'étude de ces anciennes connaissances a été fréquemment la base de nombreux progrès dans la médecine. Actuellement, les scientifiques trouvent plus d'ingrédients vitaux dans la nature, ce qui confirme les traditions pratiquées depuis plusieurs siècles. Diverses estimations sont faites qui indiquent que 70 à 80% des populations des pays en développement dépendent en partie ou entièrement des remèdes à base de plantes médicinales, au moins pour plus de la moitié de la population mondiale [22].

1.1.2 Définitions

1.1.2.1 Huiles essentielles

Les huiles essentielles (HE), également appelées huiles odoriférantes volatiles, sont des liquides huileux aromatiques extraits de différentes parties de plantes, par exemple des

feuilles, des écorces, des racines, des fleurs, des tiges, des graines, etc. Elles sont des mélanges complexes de composés volatils produits par des organismes vivants et isolés par des moyens physiques uniquement à partir d'une plante entière ou d'une partie végétale d'origine taxonomique connue. Les principaux composés respectifs sont principalement dérivés de trois voies de biosynthèse uniquement, la voie du mévalonate menant aux sesquiterpènes, la voie du méthyl-érythrytol conduisant aux mono- et diterpènes, et la voie de l'acide shikimique aboutissant les phénylpropènes. Néanmoins, il existe un nombre presque incalculable de substances uniques et une énorme variation dans la composition des huiles essentielles. Beaucoup de ces substances volatiles ont diverses fonctions écologiques [5, 23].

Les huiles essentielles peuvent être extraites de matières végétales par plusieurs méthodes, distillation à la vapeur, expression, etc. Les huiles essentielles présentes dans de nombreuses plantes différentes, en particulier les plantes aromatiques, varient en odeur et en saveur, qui sont régies par les types et la quantité de constituants présents dans les huiles [23].

De plus, la quantité d'huile essentielle de différentes plantes est différente. Outre les composés aromatiques, les pigments contribuent à varier les couleurs de l'huile essentielle. Cela peut affecter les applications en tant qu'ingrédient dans certains aliments particuliers. Les huiles essentielles sont connues pour posséder des activités antioxydantes et antimicrobiennes, servant ainsi d'additifs naturels dans les aliments et les produits alimentaires. Il peut être utilisé comme composés actifs dans des matériaux d'emballage, dans lesquels les propriétés de ces matériaux, en particulier la propriété de barrière à la vapeur d'eau associée à l'hydrophobicité dans la nature des huiles essentielles, peuvent être améliorées [23]. Différents types d'huiles essentielles existent [1, 23] :

- huile essentielle déterpénée. C'est une huile essentielle partiellement ou totalement privée des hydrocarbures monoterpéniques ;
- huile essentielle déterpénée et désesquiterpénée. C'est une huile essentielle partiellement ou totalement privée des hydrocarbures mono- et sesquiterpéniques.

Selon l'Association Française de Normalisation (AFNOR), les Huiles essentielles sont des extraits volatiles d'aspect fluide à épais et de couleur variable [24]. Une huile essentielle est un mélange de molécules, qui ont une structure biochimique particulière : des alcools, des terpènes, des phénols, des éthers, des cétones, des acétates. Chaque huile essentielle

contient plusieurs centaines de molécules, et c'est l'ensemble de ces molécules qui va donner à l'huile essentielle ses propriétés thérapeutiques. Elles ne sont pas solubles dans l'eau et sont plus légères que l'eau, c'est pourquoi la vapeur d'eau va permettre de les transporter sans se mélanger[25].

1.1.2.2 Chémotype ou chimiotype

La notion de chémotype (chimiotype ou encore race chimique) est une notion clé en aromathérapie. Terme utilisé pour la première fois en 1968, le chémotype est alors défini comme un groupe chimiquement défini au sein d'une population d'individus morphologiquement indiscernables. Le concept de chémotype permet de distinguer deux ou plusieurs huiles essentielles de composition chimique différente produites à partir de plantes de la même espèce, définie par sa dénomination scientifique et non à partir de sa dénomination commune. Pour la même espèce, une composition chimique en huile essentielle différente, selon l'échantillon sélectionné. Il s'agit de chimiotypes ou de chémotypes ou de races chimiques ou même de variétés différentes. La variabilité chimique est d'ordre génétique, mais peut aussi dépendre de la période de récolte, des conditions climatiques, de la localisation géographique, de la nature du sol et des méthodes d'obtention. Le nom du chémotype en fonction du constituant principal de l'huile essentielle [18, 26].

1.1.3 Intérêt des Huiles essentielles

Les huiles essentielles sont par définition des métabolites secondaires produits par les plantes comme moyen de défense contre les ravageurs phytophages [2]. Étant la protection de la plante, elles sont polyvalentes et permettent de faire face à toutes les agressions, de soutenir le processus de guérison et de stimuler les défenses de la plante mais aussi de la soulager. Et ce pouvoir n'est pas réservé seulement aux plantes, mais également pour tout être sur cette terre. Elles vont donc nous permettre de nous aider à soutenir et stimuler notre organisme de manière naturelle, sans les inconvénients des substances chimiques : pas d'effets secondaires (si elles sont utilisées correctement) ni d'accoutumance. Elle s'adapte aux besoins de l'organisme sans remplacer ses fonctions [1].

La plante aromatique utilise l'énergie solaire via la photosynthèse et active son métabolisme primaire afin de produire des sucres (aussi lipides et protides), Le métabolisme secondaire élabore à partir de ces sucres par divers processus d'oxydoréduction des structures moléculaires complexes et variables selon les caractéristiques génétiques propres à l'espèce végétale (Fig.1.1)[1, 2].

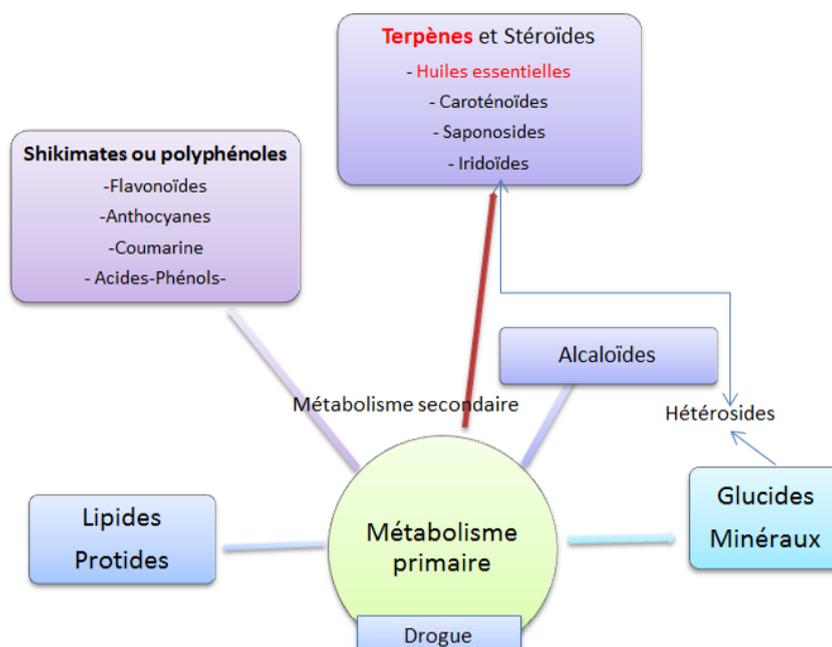


FIGURE 1.1: Illustration du métabolisme primaire et secondaire [1]

Les axes thérapeutiques sont :

- Allopathie : méthode thérapeutique qui vise à provoquer dans l'organisme des effets contraires à ceux provoqués par la maladie. L'utilisation de médicaments issus de synthèse hémisynthèse reproduisant souvent des molécules isolées issues des plantes.
- Phytothérapie : usage préventif de toute ou une partie de la plante en vue d'atténuer soulager les symptômes ou corriger le terrain. Allégations de bénéfices reposant sur l'usage traditionnel.
- Aromathérapie : usage de la seule fraction aromatique des plantes afin de parfumer, prévenir, soulager des symptômes d'ordre physique ou nerveux ; discipline souvent assimilée à une branche de la phytothérapie, bien qu'elle soit régie par des règles significativement différentes pour être traitée comme une thérapeutique à part entière. Seule ou en association d'autres traitements.
- Homéopathie : méthode de traitement dont le principe de base est d'administrer contre une maladie des remèdes susceptibles de produire des effets semblables ; mais à des

doses infinitésimales. Partant de l'idée que l'information ainsi véhiculée potentialisera l'activité thérapeutique.

1.1.4 Propriétés physico-chimiques des huiles essentielles

Malgré leurs différences de constitution, les huiles essentielles possèdent un certain nombre de propriétés physiques communes [27]. Les huiles essentielles :

- sont généralement sous formes liquides à la température ambiante.
- ont une densité est généralement inférieure à 1.
- ont un indice de réfraction souvent élevé.
- sont douées d'un pouvoir rotatoire.
- sont peu solubles dans l'eau et solubles dans la plupart des solvants organiques.
- peuvent être incolores ou colorées et sont sensibles à l'altération.
- ont tendance à se polymériser pour former des produits résineux.

De nombreux facteurs peuvent modifier les essences provenant du végétal. Les huiles essentielles sont des composés altérables car ils renferment des composés oxydables sous l'action de l'air et de la lumière. Ils s'altèrent et se résinifiant, ce qui entraîne une modification de leur parfum. Elles sont constituées de molécules à squelette carboné, le nombre d'atomes de carbone étant compris entre 5 et 22 (le plus souvent 10 ou 15) [2].

1.1.5 Composition chimiques des huiles essentielles

D'un point de vue chimique, les composés produits par les plantes sont subdivisés en deux groupes de molécules [1, 27] :

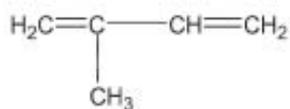
- Les métabolites primaires se trouvent dans toutes les cellules végétales. Ils sont indispensables pour la vie de la plante : sucre, lipides, protéines, acides aminés.
- Les métabolites secondaires n'ont qu'une répartition limitée dans la plante et ne font pas partie des matériaux de base de la cellule. Ces composés ne se trouvent normalement que dans des tissus ou organes particuliers à des stades précis du développement. Leur action est déterminante pour l'adaptation de la plante au milieu

naturel : agents protecteurs contre les stress physiques, défense contre les agressions extérieures, pigmentation de la plante pour capter l'énergie solaire ou à l'opposé protéger l'organisme contre les effets nocifs induits par les radiations solaires...

Il existe différentes classes de métabolites secondaires dont trois dominent la phytochimie des plantes (Fig.1.2) [1, 2, 25, 27] :

- Les alcaloïdes comme la morphine, la caféine, la nicotine, la cocaïne, l'atropine
- Les terpènes, c'est la plus grande catégorie de métabolites secondaires avec plus de 22 000 molécules. Ils sont de nature antiseptique, anti-inflammatoire, bactéricide et antivirale. Elle contient les hormones végétales, les pigments, les stérols, les hétérosides et une grande partie d'huiles essentielles. Ils dérivent d'une structure de base à cinq carbones (C_5H_8), communément appelée isoprène les terpénoïdes sont classés en [28] :
 - Monoterpénoïdes (C_{10})
 - Sesquiterpénoïdes (C_{15})
 - Diterpénoïdes (C_{20})

Dans la composition de la plupart des huiles essentielles les monoterpénoïdes et les sesquiterpénoïdes forment la majeure partie [2, 14]. L'isoprène est la principale unité d'hydrocarbure de base trouvée dans les huiles essentielles. La structure chimique de l'isoprène est la suivante :



- Les substances phénoliques (phénylpropanoïdes) comme les flavonoïdes, les tanins, la lignine, les coumarines. Les huiles essentielles et les essences sont donc des métabolites secondaires appartenant principalement à la classe des terpènes et des composés présentant un noyau aromatique. Ils sont constitués d'une chaîne carbonée liée à un noyau aromatique à six carbones. Ils sont moins fréquents par rapport aux terpénoïdes. Néanmoins, certaines plantes possèdent ces composés avec des proportions significatives. Les phénylpropanoïdes dérivent majoritairement de la phénylalanine [1, 15].

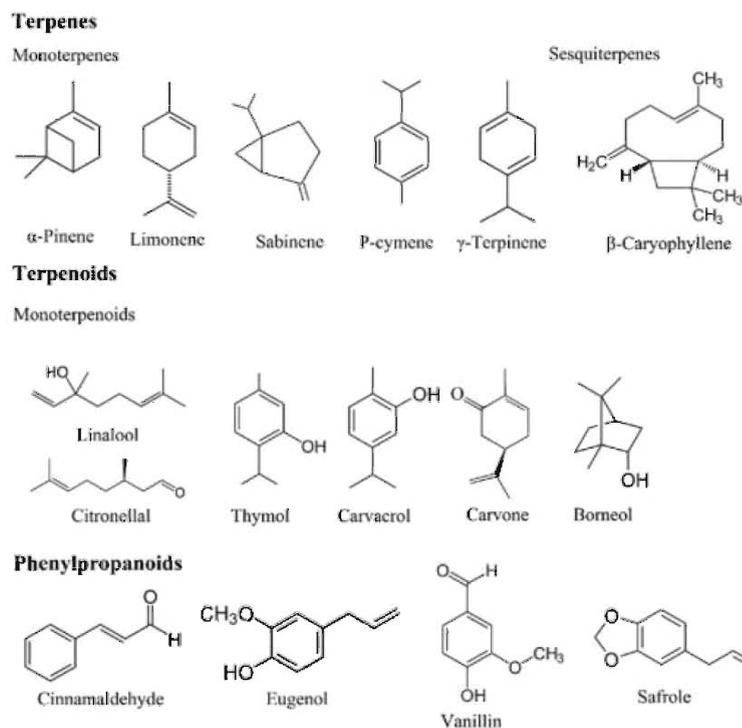


FIGURE 1.2: Principaux composés des huiles essentielles [2]

1.1.6 Activités biologiques des HE et leurs rôles thérapeutiques

Les huiles sont connues et utilisées depuis les plus grandes civilisations pour leur action thérapeutiques. Elles sont dotées de toute une gamme de propriétés biologiques (antibactérienne, antivirale, antifongiques, antiseptiques) [25], et chaque huile possède des vertus spécifiques liées aux différents composants qu'elle contient. Parmi les principales utilisations thérapeutiques on trouve : utilisation analgésique, antalgique, anesthésique (camomille, pin, lavande, menthe), anti-inflammatoire (citron, géranium), tonifiante (menthe, romarin, bois de santal, sauge), calmantes (camomille, myrrhe, orange), régulatrice de l'organisme (camomille, lavande), cicatrisantes (eucalyptus, carthames)[28].

1.1.6.1 Activité antibactérienne

Les huiles essentielles présentent des propriétés antimicrobiennes remarquables. La caractéristique principale des huiles essentielles est leur hydrophobicité qui leur permet de se répartir dans les lipides de la membrane cellulaire bactérienne en raison de laquelle la structure bactérienne est perturbée et rendue plus perméable [29]. Par conséquent, différents ions et de nombreuses autres molécules cellulaires de la cellule bactérienne

furent [30].

L'activité antibactérienne de l'huile essentielle a un effet sévère car elle peut saisir la croissance des bactéries (bactériostatique) ou tuer les cellules bactériennes (bactéricides). La concentration minimale d'agents antimicrobiens qui inhibe complètement la croissance de l'organisme des agents pathogènes microbiens. La propriété antimicrobienne des huiles essentielles dépend principalement de leurs constituants chimiques et de la quantité de composés uniques majeurs. Chaque composé peut présenter un mécanisme d'action antibactérienne différent est médiée par une série de réactions biochimiques dans la cellule bactérienne, qui dépendent du type de constituants chimiques présents dans l'huile essentielle. De plus, l'activité antibactérienne des huiles essentielles diffère également en raison de l'architecture bactérienne différente, telle que les bactéries Gram-positives et Gram-négatives, qui diffèrent dans leurs compositions de membrane cellulaire. Généralement, les composés phénoliques présents dans les huiles essentielles comme l'eugénol, le thymol et le carvacrol sont responsables des activités antibactériennes des huiles essentielles. Ces composés peuvent provoquer coagulation du contenu cellulaire et perturbation de la membrane cytoplasmique / flux d'électrons / force motrice du proton / transport actif [28, 30–33].

La figure (Fig.1.3) illustre le mécanisme antimicrobien des huiles essentielles sur les microbes.

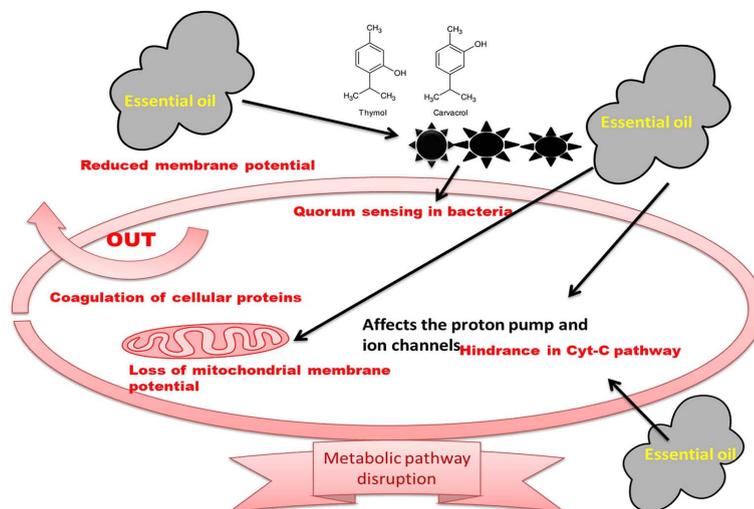


FIGURE 1.3: Mécanisme antimicrobien des huiles essentielles sur les microbes [3]

L'activité antibactérienne peut être comparée à un antibiotique. Les antibiotiques sont par définition, des produits microbiens, ou leurs dérivés, capables de tuer les microorganismes sensibles ou d'inhiber leur croissance. L'étendue de l'activité antibactérienne d'un antibiotique définit son spectre d'action. Plus un antibiotique agit sur des espèces bactériennes différentes, plus son spectre est large [3, 4, 34]. Les antibiotiques sont majoritairement représentés par des molécules d'origine naturelle et leurs dérivés. Ils peuvent aussi être d'origine synthétique ou semi-synthétique (Fig.1.4). Les antibiotiques synthétiques sont obtenus, soit à partir de dérivés totalement artificiels, soit en recréant des substances initialement extraites de microorganismes. Les antibiotiques semi-synthétiques sont issus de la modification, en laboratoire, de substances produites par des microorganismes [4, 34, 35].

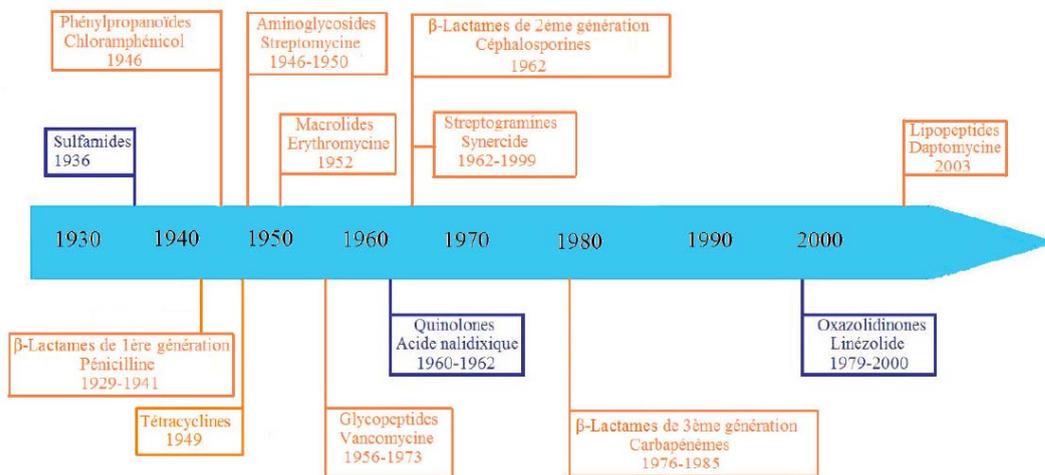


FIGURE 1.4: Découverte et premières utilisations cliniques des principaux antibiotiques d'origine naturelle (couleur orange) et d'origine synthétique (couleur bleu) [4]

Les différents agents pathogènes bactériens sont traités en utilisant les antibiotiques courants. Mais de nos jours, les pathogènes bactériens deviennent résistants à ces antibiotiques multidrogues, ce qui a conduit à une augmentation de la gravité des maladies et, par conséquent, les scientifiques sont maintenant confrontés au défi de trouver une voie alternative pour le traitement de ces maladies. En outre, les bactéries ont la capacité de former un biofilm associé à une tolérance médicamenteuse et également une faible immunité dans la cellule hôte conduit à une augmentation du nombre d'infections bactériennes potentiellement mortelles dans le corps humain. Par conséquent, aujourd'hui, les principaux agents responsables du nombre de décès humains sont dus aux infections bactériennes. De plus, des doses plus élevées de plusieurs médicaments antibactériens entraînent une toxicité chez les êtres humains. Ces dernières années, il y a eu un intérêt

croissant pour la recherche et l'exploration de molécules clés nouvelles et alternatives provenant de diverses sources pour lutter contre les souches bactériennes de tolérance aux médicaments. Selon eux, les huiles essentielles obtenues à partir des plantes et leur composition chimique majeure sont des candidats potentiels pour lutter contre les infections bactériennes [agents antibactériens]. Le tableau 1 montre les différents types d'huiles essentielles et leurs principaux constituants chimiques obtenus à partir de diverses plantes aromatiques qui ont été rapportés et possèdent un important potentiel d'inhibition bactérienne [3].

1.1.6.2 Activité antioxydante

Les huiles essentielles présentent d'excellentes propriétés antioxydantes. Le potentiel antioxydant des huiles essentielles dépend de leur composition. Les composés phénoliques et autres métabolites secondaires présents dans les huiles essentielles (contenant des doubles liaisons conjuguées) présentent généralement des propriétés antioxydantes considérables. Les huiles essentielles obtenues à partir de noix de muscade, de thym, de cannelle, de menthe, de basilic, de clou de girofle, d'origan et de persil sont caractérisées par les propriétés antioxydantes les plus vitales [28, 36]. Les composés actifs présentant des propriétés antioxydantes sont le carvacrol et le thymol. L'activité de ces composés est liée à leur structure phénolique. En raison des propriétés redox des composés phénoliques, ils jouent un rôle essentiel dans la neutralisation des radicaux libres et également dans la décomposition des peroxydes [1, 36]. L'activité antioxydante des huiles essentielles est également due à d'autres composés présents dans les huiles essentielles comme les alcools, les cétones, les aldéhydes, les éthers et les monoterpènes. Des exemples courants de ces composés sont : le linalol, le géraniol / néral, le 1,8-cinéole, l'isomenthone, la menthone, le citronellal, l' α -terpinolène, l' α -terpinène et le β -terpinène [28, 37].

1.1.6.3 Activité anti-inflammatoire

L'inflammation est une réponse protectrice ordinaire qui est induite par l'infection ou toute lésion tissulaire et fonctionne pour lutter contre les envahisseurs tels que les micro-organismes ou les cellules étrangères présentes dans le corps et pour éliminer les cellules

hôtes endommagées ou mortes. De plus, l'inflammation stimule également le métabolisme de l'acide arachidonique et l'activité de diverses enzymes (oxyde nitrique synthases, oxygénases, peroxydases). Les huiles essentielles sont utilisées comme agents anti-inflammatoires pour le traitement de maladies inflammatoires comme l'arthrite, les allergies ou les rhumatismes. Les composés anti-inflammatoires actifs présents dans les huiles essentielles agissent comme inhibiteurs de la libération de l'histamine ou réducteur pour la production de tout médiateur de l'inflammation [28, 37].

1.1.6.4 Activité antifongique

Les infections fongiques sont très fréquentes dans notre société. Cette extension est largement favorisée par la prescription de manière abusive des antibiotiques, issus en premier lieu de champignons microscopiques. Les groupes de molécules aromatiques citées comme antibactériens sont également actifs sur les champignons. Les constituants actifs sont : les phénols monoterpéniques et aromatiques, les alcools monoterpéniques, des aldéhydes aromatiques et monoterpéniques, les lactones...[38]

1.1.6.5 Activité chimioprotectrice du cancer

Les huiles essentielles présentent une activité potentielle pour le traitement du cancer. Elles contiennent des produits naturels anticancéreux qui jouent un rôle essentiel dans la prévention et la guérison du cancer. Certains aliments comme le curcuma et l'ail sont considérés comme de bonnes sources d'agents anticancéreux. L'huile essentielle obtenue à partir de l'ail contient des composés soufrés comme le trisulfure de diallyle, le sulfure de diallyle et le disulfure de diallyle qui présentent un effet préventif contre le cancer [28, 37, 39].

1.1.6.6 Cytotoxicité des huiles essentielles

En tant que mélanges lipophiles, les huiles essentielles ont la capacité de dégrader les couches membranaires cellulaires de phospholipides, d'acides gras et de polysaccharides. De plus, les huiles essentielles peuvent coaguler le cytoplasme et également endommager les protéines et les lipides présents dans le cytoplasme. Les dommages à la paroi et à la membrane cellulaire peuvent entraîner la fuite de macromolécules et la lyse.

L'augmentation de la perméabilité de la membrane entraîne la mort de la cellule par le processus de nécrose et d'apoptose [28, 37, 40].

1.1.6.7 Activité allélopathique

Selon "International Allelopathy Society" (IAS), l'allélopathie est définie comme "la science qui étudie tout processus impliquant des métabolites secondaires produits par des plantes, des algues, des bactéries et des champignons qui influence la croissance et le développement des systèmes agricoles et biologiques". Les interactions allélopathiques sont dérivées de la production de métabolites secondaires par les plantes et de nombreux autres micro-organismes. La fonction principale des métabolites secondaires est d'établir un large éventail de systèmes de défense pour les plantes et les micro-organismes. Les métabolites secondaires qui présentent des activités allélopathiques sont appelés allélochimiques. Les terpénoïdes bioactifs jouent un rôle important dans les mécanismes défensifs et également dans le domaine agricole [28, 37, 39, 41, 42].

1.1.6.8 Activité répulsive et insecticide

Les huiles essentielles ont divers composés chimiques structurellement diversifiés avec une variété de mécanismes répulsifs et insecticides. Les HE ont un effet toxique pour les insectes des greniers et les insectes volants. Les huiles d'eucalyptus (Myrtaceae) et de Gaultheria (Ericaceae) ont montré un effet toxique très élevé pour tuer les insectes. En général, les HE peuvent être ingérés, inhalés ou absorbés par la peau des insectes. Les HE montrent également une toxicité des fumigants. Par exemple, *Anopheles funestus* (Culicidae : Diptera), *Pediculus capitis* (Pediculidae : Anoplura), *Periplaneta orientalis* (Dictyoptera : Blattidae) et *Cimex lectularius* (Cimicidae : Hemiptera) sont tués par l'utilisation d'huiles essentielles obtenues à partir d'*Eucalyptus saligna* (Myrtaceae) dans les 2 à 30 min [43–45].

1.1.7 Classification des huiles essentielles

Grace à la cratérisation et la composition aromatique des huiles essentielles et leur pouvoir spécifique sur les germes microbiens, les huiles essentielles sont classées en trois groupes [9, 38] :

1. Germicides majeurs : Action antiseptique forte et constante (peu dépendante du terrain). Ces HE agissent sur les bactéries Gram + et -, ainsi que sur les champignons (*Candida albicans*). Elles plûtôt une action bactéricide que bactériostatique. Cela concerne les aldéhydes aromatiques (cannelle) et Les phénols monoterpéniques et aromatiques (carvacrol :origan, sarriette, thym, girofle).
2. Germicides médiums : Ce groupe comporte des HE actives sur de nombreux germes et présentent l'avantage d'être plus facile d'emploi que les HE du groupe 1. Cela concerne les alcools monoterpéniques (géraniol : géranium ; linalol : géranium ; citronnellol : eucalyptus....) et les aldéhydes monoterpéniques : citrals (géraniol et néral : géranium ; citronellal : eucalyptus...).
3. HE "aléatoires" dites de terrain : Elles ne présentent pas de réponse antiseptique constante et agissent en fonction du terrain. Ce sont de bons antiseptiques atmosphériques en limitant la prolifération des germes pathogènes aéroportés. Elles concernent les carbures monoterpéniques : limonène (citron, lavande aspic), alpha-pinène (cyprès, genévrier, santal, gingembre), terpinène (citron)..., les carbures monoterpéniques : limonène , alpha-pinène (cyprès, genévrier, santal, gingembre), terpinène (citron) et les époxydes monoterpéniques : 1-8 cinéole (hysope, laurier noble, lavande aspic, verveine, romarin) ; oxyde de linalol

1.1.8 Critères déterminants la qualité des huiles essentielles

Les huiles essentielles doivent répondre à des normes analytiques, établis par des commissions nationales et internationales d'experts et imposés par les pays importateurs ou exportateurs. Les points de contrôle à effectuer pour se prémunir de la falsification des huiles essentielles et éviter les confusions entre les différentes espèces concernent l'origine géographique, l'espèce botanique, l'organe producteur (feuilles, fleurs, fruits, écorces...) et les caractéristiques physico-chimiques (couleur, odeur, densité et indice de réfraction). Tout ceci permettra d'utiliser une appellation présente dans la nomenclature botanique et valable dans le monde entier [46, 47].

Les huiles essentielles sont précieuses en raison de leur entité biologique, et grâce à leur composition chimique apportent des résultats exceptionnels dans tous leurs domaines d'application. Afin d'en tirer le maximum de bénéfices de ces huiles on doit utiliser

les essences 100% pures et naturelles. Cela dépend de plusieurs facteurs pouvant être résumés comme suit [9, 46, 47] :

- La qualité des plantes (cueillir hors de la pollution, issues de culture biologique certifiée, exemptes d'impuretés, et riche en énergies).
- Les conditions de vie spécifiques de la plante (le climat, le sol, l'exposition des végétaux, les facteurs phytosociologiques)
- La période de récolte (au moment où les principes actifs produits par la plante sont à leur concentration maximale).
- la partie de la plante dont l'huile est extraite (racine, feuilles, fleur, graine).

1.1.8.1 Domaines d'applications

1.1.8.2 Secteur de parfumeries et cosmétologies

L'industrie des cosmétiques, savonneries, et parfums constitue le plus gros consommateur des huiles essentielles comme des matières premières de base dans divers fabrications grâce à leurs activités antiseptiques tout en leur une odeur agréable[28, 48]

1.1.8.3 Secteur agro-alimentaire

En vertu de leurs propriétés antiseptiques et aromatiques les huiles essentielles employées pour rehausser le goût des aliments. Leur pouvoir antioxydant leur permet de conserver les aliments en évitant les moisissures [25, 28].

1.1.8.4 Secteur de pharmacologie et médical

Grâce à leurs propriétés aromatiques les huiles essentielles utilisées pour masquer l'odeur désagréable des médicaments absorbés par voie orale. En vertu de leurs actions thérapeutiques beaucoup de médicaments vendus en pharmacie sont à base de ces derniers (crèmes, les élixirs, les gel...Les huiles essentielles jouent un rôle important dans le domaine médical en raison de leurs propriétés médicinales extraordinaires. Plusieurs HE montrent un effet fongicide, antidépresseur, antibactérien, stimulant et relaxant et

peuvent être utilisés comme agent thérapeutique efficace. Les huiles essentielles présentant des propriétés thérapeutiques remarquables, c'est pourquoi ces huiles sont utilisées efficacement pour le traitement de plusieurs infections causées par des maladies pathogènes ou non. Les maladies pathogènes causées par des virus, des champignons et des bactéries peuvent être traitées avec l'utilisation d'huiles essentielles respectives. Les maladies non pathogènes sont également traitées avec l'utilisation appropriée d'huiles essentielles. Par exemple, l'huile essentielle obtenue à partir d'ail a montré une diminution significative du cholestérol sérique et des triglycérides (TG) en augmentant le niveau de lipoprotéines (haute densité) chez les patients atteints de maladies coronariennes. Certains HE possèdent une activité hypotensive et sont utilisés pour le traitement de l'hypertension. Les HE et leurs constituants aromatiques individuels ont montré des propriétés anticancéreuses et sont utilisés dans le traitement du cancer du sein, des tumeurs, de la leucémie, du gliome et bien d'autres. Les éléments d'hydrocarbures sesquiterpéniques présents dans les HE en très petites quantités sont efficaces pour le traitement du gliome (tumeurs humaines malignes). La thérapie antiangiogénique est considérée comme l'une des méthodologies les plus prometteuses pour lutter contre le cancer [28].

1.1.8.5 Secteur aromathérapie

Le mot aromathérapie est un terme créé en 1928 par le chimiste René-Maurice Gattefossé qui vient du latin *aroma*, *aromate* et du grec *therapeia*, traitement, soin. Signifie littéralement "soin par odeurs" c'est une thérapie (médecine douce) basée sur l'utilisation des huiles essentielles (les infections, les problèmes articulaire et musculaires, les troubles psychique et du sommeil... L'aromathérapie se fonde sur des connaissances botaniques précises. Elle correspond, à l'utilisation de la seule fraction aromatique des plantes afin de parfumer, prévenir ou soulager des symptômes d'ordre physique ou nerveux. Elle se différencie de la phytothérapie qui elle, utilise l'ensemble de la plante. C'est une biochimio-thérapie naturelle qui repose sur la relation existant entre les composants chimiques des huiles essentielles et les activités thérapeutiques qui en découlent. L'aromathérapie scientifique ou aromatologie est l'étude des huiles essentielles. Il s'agit d'une science qui recourt à une méthodologie rigoureuse et se base sur des données scientifiques solides, confirmées par la clinique et par de nombreux tests en laboratoire. C'est une thérapie naturelle de qualité, très efficace et qui complète très bien toutes les autres approches alternatives ou allopathiques [28, 38, 49].

1.1.8.6 Secteur agricole

Les huiles essentielles ont un certain nombre d'applications dans l'agriculture durable en raison de leur activité antibactérienne contre les bactéries nuisibles aux aliments et les agents pathogènes d'origine alimentaire. Les HE sont réputés avoir des propriétés insecticides essentiellement comme larvicides, ovicides, anti-nourrissants, répulsifs et inhibiteurs de croissance [38, 50].

1.1.8.7 Secteur industriel

L'utilisation des huiles essentielles au niveau industriel est un domaine très prometteur pour le développement de tout pays. Le développement rapide de l'industrie des arômes et des parfums au XIXe siècle était en grande partie basé sur les HE et d'autres produits naturels connexes. En 1876, Haarman et Reimer ont commencé à synthétiser la vanilline (produits chimiques aromatiques synthétiques), puis l'anisaldéhyde, la coumarine, le terpinéol et l'héliotropine. Même si les produits chimiques aromatiques ont révolutionné les arômes et les parfums avec des découvertes majeures au XXe siècle, pendant plusieurs décennies, les parfums et les arômes ont été synthétisés avec des éléments d'origine naturelle, qui étaient presque tous des HE [28].

1.1.8.8 Toxicité des huiles essentielles

Les huiles essentielles (HE) ont des propriétés très concentrées de la plante ou de l'herbe dont elles sont issues. Une très petite quantité des HE a souvent les qualités de plusieurs tasses de tisane de la même plante. Par exemple, une goutte d'HE de menthe poivrée équivaut à 26 à 28 tasses de thé à la menthe poivrée. Cela ne veut pas dire que les HE ne doivent pas être utilisés, mais ces huiles doivent être utilisées avec beaucoup de soin et en toute sécurité. Cependant, il existe plusieurs huiles essentielles qui ne sont pas conseillées à une utilisation interne, et d'autres doivent vraiment être utilisées avec beaucoup de prudence. Il existe de nombreux avertissements concernant l'utilisation sûre des HE. Les HE sont d'excellents remèdes naturels lorsqu'ils sont utilisés correctement [28, 38].

1.1.9 Production mondiale des huiles essentielles

A l'échelle mondiale, la production des huiles essentielles est d'environ 30 tonnes par an. Les principaux pays producteurs sont les Etats-Unis, la Chine, le Maroc, la Bulgarie, l'Inde, la France, l'Egypte et l'Espagne [16](Fig.1.5).

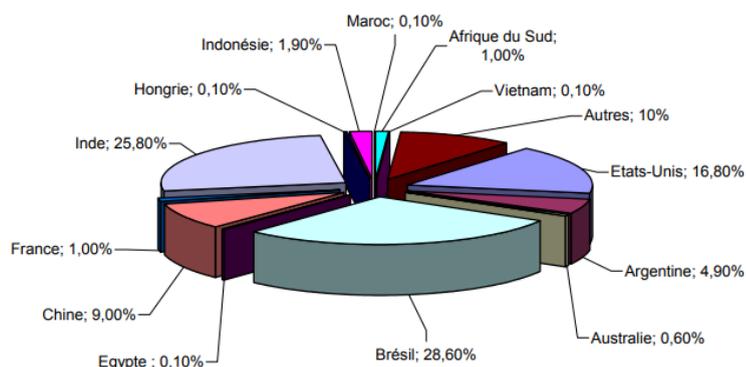


FIGURE 1.5: Production mondiale des huiles essentielles (2008) [5]

L'Algérie se hisse à la 10ème place avec 8000 dollars de capitaux générés par l'exportation d'huile essentielle, à la fin des années 70. Les huiles essentielles exportées par l'Algérie provenaient soit des cultures familiales ou des plantes spontanées, tels que la menthe, le jasmin, le rosier, le géranium, la lavande, le romarin, l'origan, le thym, la sauge... Actuellement, la production d'huiles essentielles est limitée à quelques producteurs privés artisanaux qui ne subvient pas au marché national [9, 51].

Le Tableau 1.1 donne, selon les données de 2008, les huiles essentielles les plus demandées sur le marché international. Pour certaines huiles, la demande dépasse largement l'offre [9].

Même avec les principaux fabricants de produits de consommation adoptant des "produits naturels" dans leurs campagnes de marketing, l'utilisation des huiles essentielles dans les composés de parfum, en pourcentage de la formule, a diminué au cours des dernières décennies. Cela s'explique en partie par le fait que les fabricants sont autorisés à qualifier les produits chimiques aromatiques synthétiques de "nature identique", s'ils sont chimiquement identiques à ceux que l'on trouve dans la nature. Ceci est un facteur

TABLE 1.1: Huiles essentielles les plus demandées sur le marché mondial[9]

Huiles essentielles	Volume (tonne)	Pays producteur
Citronnelle	1 800	Chine, Sri Lanka
Menthe des bois	32 000	Inde, Chine, Argentine
Eucalyptus type cinéole	4 000	Inde, Chine, Argentine
Orange	51 000	USA, Brésil, Argentine
Menthe poivrée	2 367	Inde, USA, Chine
Citron	9 200	Argentine, Italie, Espagne
Eucalyptus (type citronellal)	1 000	Chine, Brésil, Inde, Vietnam
Feuille de clou de girofle	1 800	Indonésie, Madagascar
Verveine exotique	1 200	Chine
Menthe verte	1 800	USA, Chine
Bois de cèdre (Chine)	1 650	USA, Chine
Lavandin	1 100	France
Patchouli	1 200	Indonésie, Inde

réduisant une plus grande utilisation d'huile essentielle dans les formulations d'arômes. Cependant, il y a toujours une croissance de la quantité globale des huiles essentielles fournies au secteur des arômes et des parfums en raison de la croissance globale de la demande mondiale de produits parfumés et aromatisés [43].

L'Algérie de par sa situation géographique, possède une flore riche et variée. Cette richesse s'explique par l'étendue de sa surface constituée par des éco systèmes de types méditerranéen, steppique et saharien [9]. Ils existent de nombreux herboristes, il y a ceux qui conditionnent et vendent leurs produits dans les pharmacies et d'autres qui vendent leurs produits sans emballages. Les deux catégories sont approvisionnées par des plantes médicinales et aromatiques cultivées ou collectées à partir du couvert végétal naturel. Le savoir thérapeutique traditionnel, thésaurisé et transmis de génération en génération chez les populations rurales, est un héritage familial oral, dominant en particulier chez les femmes âgées et illettrées. La préservation de ce patrimoine ancestral en voie d'érosion est plus qu'indispensable. Sa perte serait irrémédiable pour l'humanité, si aucun effort n'est déployé pour sa transcription fidèle et urgente [52]. Selon l'inventaire de la Direction Générale des Forêts, on trouve une liste non exhaustive de 420 plantes qui sont utilisées en médecine traditionnelle sur l'ensemble du territoire national. Dans le Tableau 1.2, sont donnés quelques exemples de plantes utilisées dans la médecine traditionnelle [9].

TABLE 1.2: Exemples de plantes utilisées en médecine traditionnelles en Algérie[9]

Wilaya	Exemples d'espèces	Usage locale
Alger	<i>Melissa officinalis</i> L. (Mélilésse)	Troubles digestifs, crampes d'estomac d'origine nerveuse, vomissement et insomnie
	<i>Geranium robertianum</i> L. (R'guemaya)	Action collutoire, vulnéraire, tonique diurétique, antihémorragique et résolutive.
Tamanrasset	<i>Euphorbia granulata</i> forsk (Tellakh)	Morsures des serpents et scorpions
	<i>Artemisia judaica</i> L. (Taharadjelé)	Troubles digestifs et contre la grippe anti diarrhéique et vermifuge.
	<i>Fagonia bruguieri</i> DC. (Afassur)	Jaunisse et troubles du foie.
Batna	<i>Erica arborea</i> L. (Bouhadad)	Diurétiques et antiseptique.
	<i>Cynodondactylon</i> L. (Afar)	Diurétique, dépurative du sang et cholagogue.
	<i>Tamarix gallica</i> L. (Tarfa)	Astringent, anti diarrhéique, diurétique, bon pour insuffisance hépatique.
Tindouf	<i>Zizyphus lotus</i> L. (Sedra)	Adoucissante, gorge et broncho pulmonaire, anti-inflammatoire, analgésique.
	<i>Calotropis procera</i> (Toudja)	Antibiotique (carries dentaires et dermatoses) et antalgique.
	<i>Accacia raddiana</i> Savi. (Talh, Abser)	Vermifuge, antifongique, anti-oedémateux
Médéa	<i>Pistacia lentiscus</i> L. (Dhrou)	Antiseptique, astringents, expectorant, détersif, diurétique, hémostatique, stimulant.
	<i>Arbutus unedo</i> L. (Lendj)	Anti-diarrhéique, anti-inflammatoire, antiseptique, urinaires, astringentes, dépurative
	<i>Erica afrborea</i> L. (Khelnedj)	Astrident, diurétique, antiseptique, uro-génitale, dépuratif

1.2 Techniques d'extraction des huiles essentielles

Il existe diverses méthodes pour extraire les huiles essentielles, celle la plus utilisée étant la distillation par entrainement à la vapeur. L'extraction des huiles essentielles peut être réalisée à partir des fleurs, des feuilles, des racines ou encore des graines de la plante. La diversité et la complexité des huiles essentielles rendent le choix des processus d'obtention délicat. La méthode choisie ne doit pas conduire à la discrimination entre les composés polaires et apolaires, ni induire de réactions biochimiques, de dégradations thermiques, d'oxydation, de réduction, d'hydrolyse, de changement de pH ou entraîner une perte de composés volatils. Pour cela, différents paramètres et propriétés sont à

prendre en compte[10]. Les principaux paramètres à prendre en compte dans les opérations fondamentales d'extraction de matières premières naturelles aromatiques sont : la volatilité, la solubilité, la taille et la forme des molécules constitutives, l'adsorption [53]. Le choix de la méthode d'extraction dépendra donc de :

- La nature de matériel végétal.
- La nature des composés et du rendement en huile.

Les principales opérations industrielles ont été résumées dans la Figure 1.6 ci-dessous :

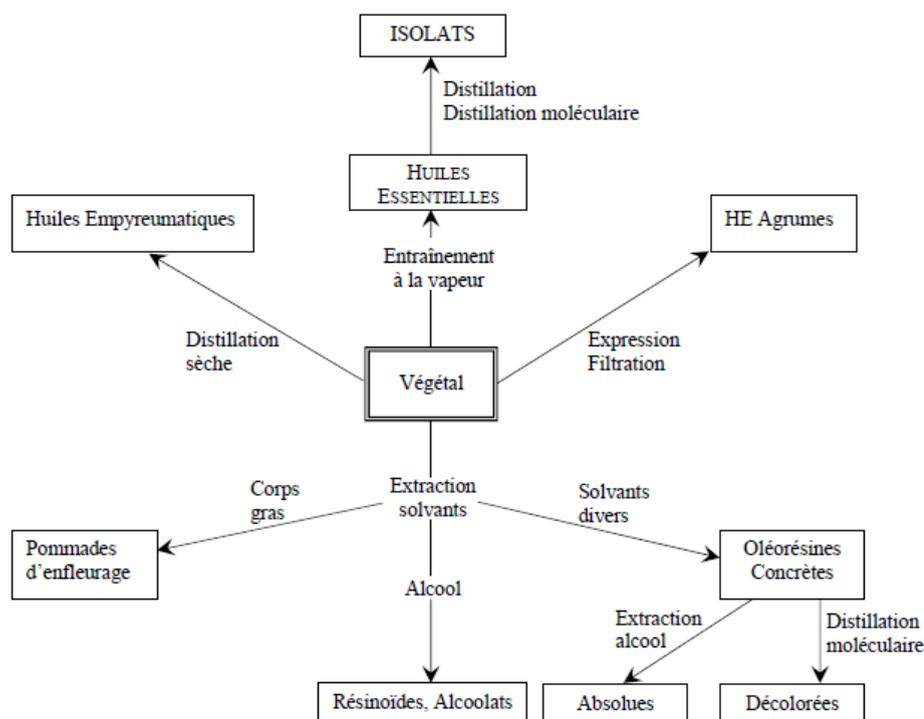


FIGURE 1.6: Opérations d'extraction des huiles essentielles [2]

Le Tableau 1.3 résume les techniques les plus couramment utilisées et quelques types de produits fabriqués. Ces techniques d'extraction mettent en oeuvre, en ligne la plupart du temps, plusieurs types d'opérations fondamentales [10].

1.2.0.1 Hydrodistillation

Le principe général (représenté dans la figure 1.7) de l'hydrodistillation est le suivant : On chauffe dans un alambic jusqu'à ébullition une suspension d'une matière première végétale dans l'eau de sorte que la vapeur d'eau entraîne les substances volatiles de la plante. Cette vapeur est récupérée et condensée. L'huile essentielle constituée de ces

TABLE 1.3: Paramètres mise en oeuvre dans les opérations d'extraction[10]

Techniques	Propriétés	Produits fabriqués
Evaporation Déshydratation - Séchage Concentration de miscella (S/pres. atm. ou réduite) Concentration de jus de fruits	Volatilité	Résinoïdes, concrètes Oléorésines
Distillation Rectification (S/pres. atm. ou réduite) Distillation sèche		Isolats, déterpénés Huile empyreumatique
Co-distillation Avec eau (S/pres. atm. ou en surpression) Hydrodistillation et à vapeur humide Vapeur sèche Avec un autre fluide (S/pres. atm. ou réduite) Alcool Polyols		Huiles essentielles Eaux aromatisées Alcoolats Distillats moléculaires
Extraction liquide / solide Solvant conservé : Corps gras Alcool Solvant éliminé: Fluide liquide Fluide liquéfié (ou supercritique)	Solubilité	Pommade Infusion – Teinture } Concrète, résinoïde
Extraction liquide / liquide Discontinue Continue		Essences déterpénées
Cristallisation après concentration partielle et refroidissement		Menthol – Anéthol
Broyage – tamisage	Formes et taille des particules	Huiles essentielles d'agrumes
Expression – Filtration		
Glaçage – Filtration		
Séparation au moyen de membranes		
Séparation chromatographique Décoloration	Adsorption	Huiles essentielles Absolues

différentes substances volatiles se sépare par gravité de l'eau à laquelle elle n'est pas miscible. La chaleur permet l'éclatement des cellules et la libération des molécules contenues. Il se forme un mélange azéotrope comprenant l'eau et les molécules volatiles dont la température d'ébullition est proche des $100^{\circ}C$ alors que la température d'ébullition des molécules aromatiques seules est souvent très supérieure. L'hydrodistillation permet donc de limiter le chauffage à appliquer sur la matière première [26, 54].

L'hydrodistillation au laboratoire, peut être utilisée avec un appareil de type Clevenger, illustré dans la figure Fig.1.8 ci-dessous. L'eau et la matière végétale sont toutes deux chauffées dans un premier ballon, puis la vapeur et les extraits végétaux sont condensés dans un réfrigérant à eau et récupérés en fin de parcours dans un vase à décanter. La mise en contact de l'eau et du végétal pendant la chauffe favorise l'altération des composés aromatiques, particulièrement des esters.

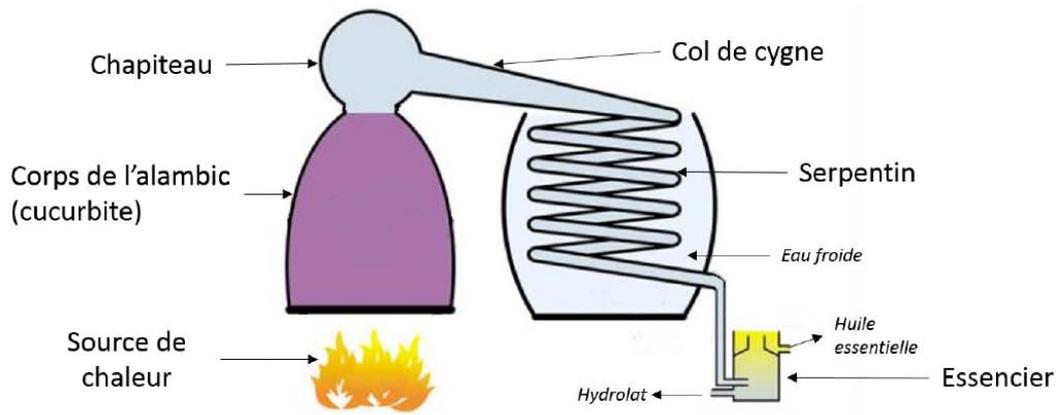


FIGURE 1.7: Schéma d'un alambic

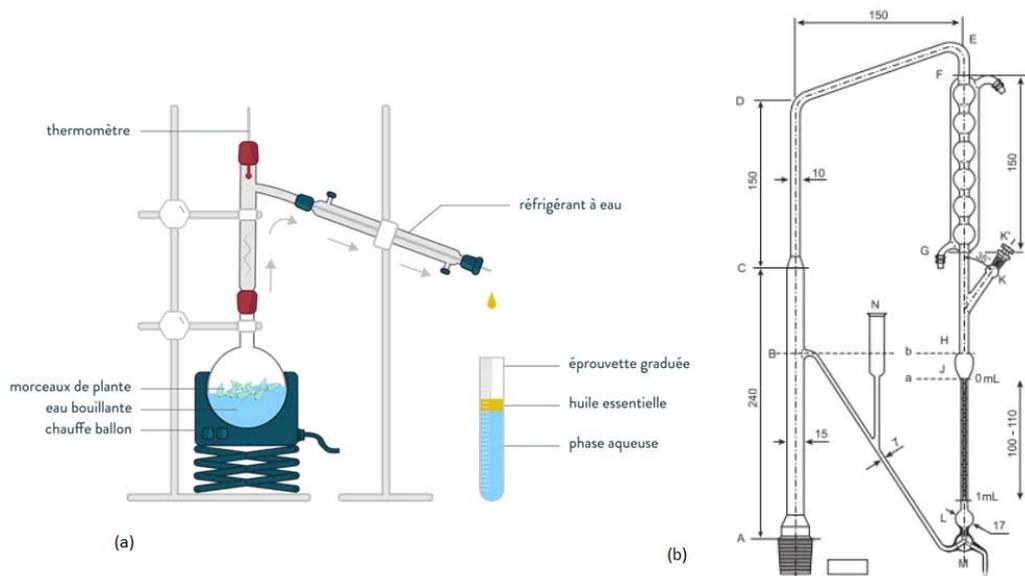


FIGURE 1.8: Hydrodistillation : (a) montage de distillation simple ; (b) appareil de type Clevenger

L'appareil Clevenger a plus d'avantages que le montage de distillation à savoir les pertes plus faibles avec un rendement en huile essentielle plus important.

1.2.1 Entraînement à la vapeur d'eau

L'entraînement à la vapeur est l'une des méthodes les plus utilisées pour l'obtention des huiles essentielles, son principe est simple. Premièrement, cette technique ne met pas en contact direct la matière végétale et l'eau. Une chaudière fournit de la vapeur d'eau qui va traverser la matière végétale, les cellules éclatent et libèrent l'huile essentielle qui se vaporise (du fait de leur point d'ébullition relativement bas) sous l'action de la

chaleur pour former un mélange eau - huile. Le mélange de vapeurs est condensé sur une surface froide et l'huile essentielle se sépare par décantation. La méthode est basée sur un entraînement mécanique des composés volatils (phase organique) par un courant de vapeur (phase aqueuse). Les deux phases n'étant pas miscibles, il y a formation d'un azéotrope. Ainsi, les composés volatils et l'eau distillent simultanément à une température inférieure à $100^{\circ}C$ sous pression atmosphérique normale. En fonction de sa densité, elle peut être recueillie à deux niveaux [5, 43] :

- au niveau supérieur du distillat, si elle est plus légère que l'eau, ce qui est fréquent ;
- au niveau inférieur, si elle est plus dense que l'eau.

Les principales variantes de l'extraction par l'entraînement à la vapeur d'eau sont l'hydrodistillation, la distillation à vapeur saturée et l'hydrodiffusion.

L'entraînement à la vapeur d'eau et l'hydrodistillation sont accomplies traditionnellement dans un alambic (Fig.1.9). L'entraînement à la vapeur constitue la technique la plus utilisée et la plus aisée à mettre en oeuvre pour la production des huiles essentielles et elle reste sans doute la plus rentable.

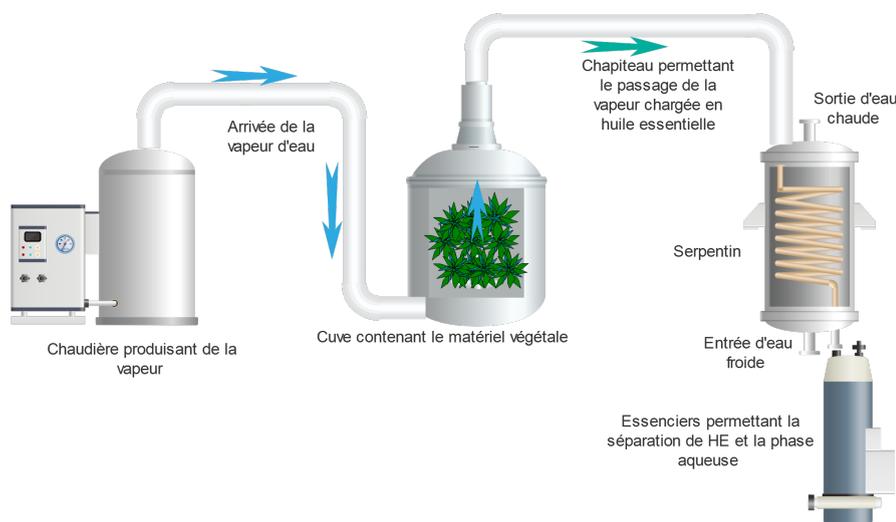


FIGURE 1.9: Obtention de l'huile essentielle par entraînement à la vapeur dans un appareil industriel alambic

Une autre variante à mi-chemin entre l'hydrodistillation et l'entraînement à la vapeur, appelée vapo-hydrodistillation, dans laquelle la matière végétale et l'eau se trouvent dans la même enceinte mais ne sont pas en contact. L'eau est portée à ébullition par le chauffage de la cuve, se transforme en vapeur et passe au travers de la plante, posée sur une grille au-dessus de l'eau [26].

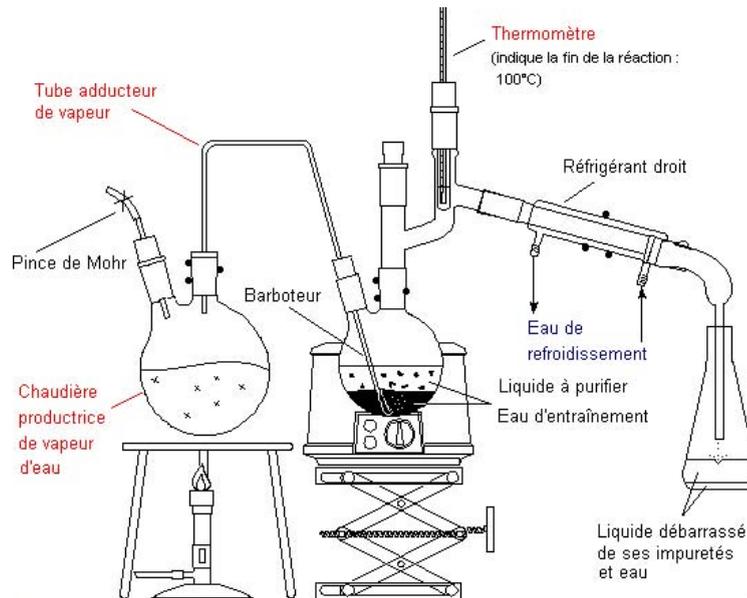


FIGURE 1.10: Montage d'entraînement à la vapeur de laboratoire

1.2.1.1 Hydrodiffusion

À l'image de la distillation par entraînement à la vapeur d'eau, ce procédé utilise la vapeur d'eau pour entraîner les composés qui nous intéressent, mais à l'inverse de la distillation, la vapeur est ici injectée de haut en bas, à faible pression, à travers la masse végétale. Ainsi le flux de vapeur traversant la biomasse végétale est descendant contrairement aux techniques classiques de distillation dont le flux de vapeur est ascendant. L'avantage de cette technique est traduit par l'amélioration qualitative et quantitative de l'huile récoltée, l'économie du temps, de vapeur et d'énergie. Il en résulte une extraction de certaines substances non volatiles appelées "essence de percolation". L'hydrodiffusion permet une extraction plus rapide et moins coûteuse en énergie, mais au détriment de la qualité du produit final [26, 43].

1.2.1.2 Turbo hydro-distillation

L'hydro-distillation peut être optimisée par l'installation d'un agitateur électrique dans le mélange d'eau et le matériel végétale durant tout le processus d'extraction (Fig.1.11). Il est équipé de lames pour cisailer et déstructurer la matrice végétale. L'agitation sera donc favorisée, permettant la réduction du temps de distillation d'un facteur de $\beta\omega\gamma$, ce qui engendre une réduction de la consommation de vapeur de chauffe et ainsi une réduction de la consommation énergétique. Par ailleurs, cette technique offre l'avantage

d'extraction des huiles essentielles des plantes difficilement séparables (bois, racines, bulbes ...) [5, 43, 55].

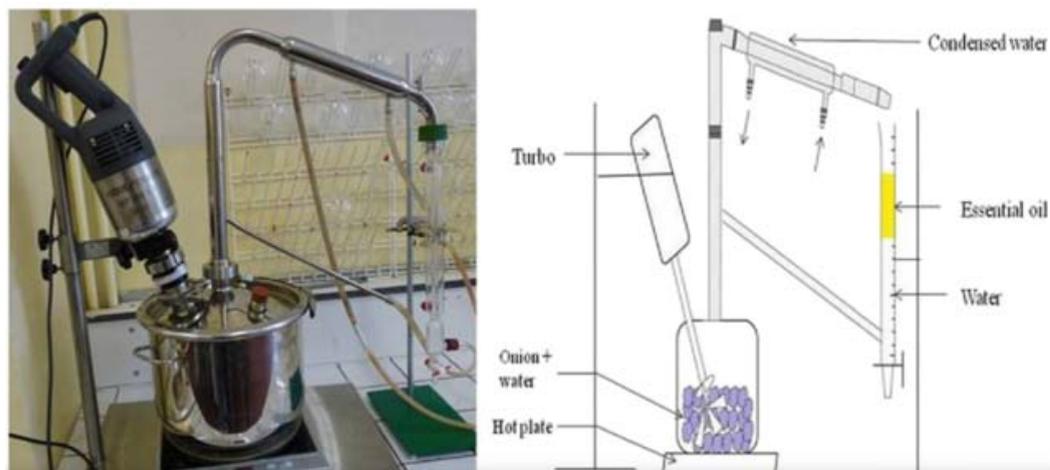


FIGURE 1.11: Schéma du montage turbo hydro-distillation

1.2.1.3 Extraction par expression à froid (ou par pression à froid)

Elle constitue le plus simple des procédés, mais ne s'applique qu'aux agrumes dont l'encore des fruits comporte des poches sécrétrices d'essences. Ce procédé consiste à broyer, à l'aide de presses, les zestes frais pour détruire les poches afin de libérer l'essence. Le produit ainsi obtenu porte le nom d'essence, car il n'a subi aucune modification chimique

1.2.1.4 Extraction par fluide supercritique

Cette technique se rapproche énormément de l'extraction par solvant, le CO_2 supercritique a la même fonction qu'un solvant sauf qu'il n'est pas nocif et qu'il ne reste plus aucune trace de celui-ci dans l'huile essentielle obtenue. L'état supercritique d'un élément s'obtient à le soumettant à forte pression ou température. On utilise l'état super critique du CO_2 car il est très facile de l'obtenir : il suffit de le chauffer à une température égale à 31°C ou bien de le mettre sous pression de 74 bars. Mais n'importe qu'elle autre fluide à l'état supercritique pourrait être utilisé [43, 50].

Ce procédé consiste à placer les végétaux préalablement broyés dans un extracteur puis les mettre en contact avec le CO_2 super critique qui vient d'être comprimé et chauffé à une température maximale de 40°C . Ainsi, l'huile essentielle est dissoute et le CO_2 , ici

à l'état supercritique redevient gazeux et se sépare très facilement de l'huile essentielle obtenue (Fig.??). Cette huile est pure et reste très proche de la substance d'origines produite par la plante grâce à l'absence totale du dioxyde de carbone. Cependant, son utilisation est très peu répandue car les prix de l'équipement sont très élevés [5, 26, 43, 55, 56].

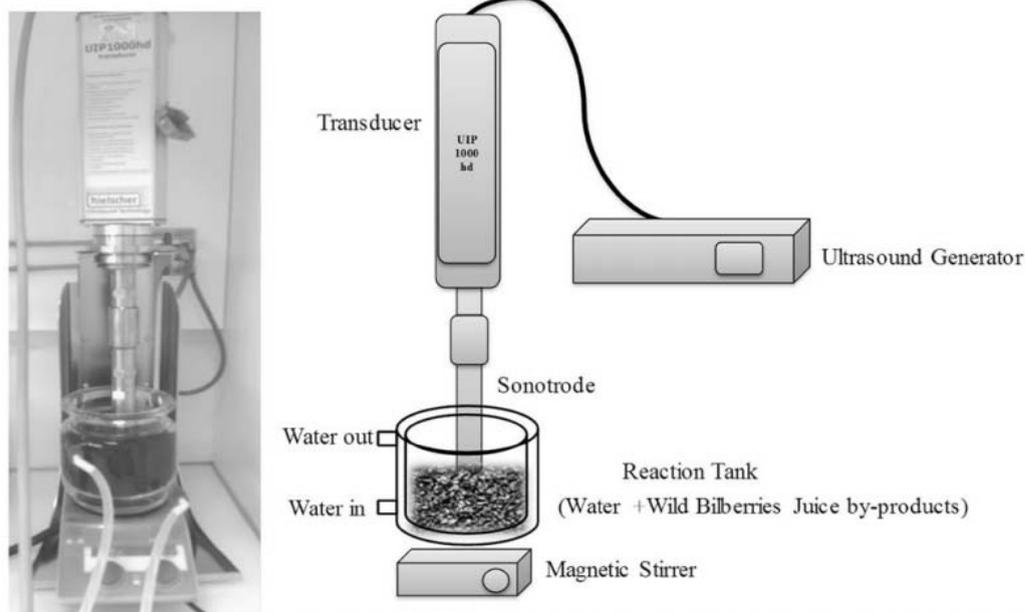


FIGURE 1.12: Équipement d'extraction assisté par ultrasons [6]

1.2.1.5 Extraction par micro-ondes

Le procédé d'extraction par micro-ondes appelée Vacuum Microwave Hydrodistillation consiste à extraire l'huile essentielle à l'aide d'un rayonnement micro-ondes d'énergie constante et d'une séquence de mise sous vide. Seule l'eau de constitution de la matière végétale traitée entre dans le processus d'extraction des essences. Sous l'effet conjugué du chauffage sélectif des micro-ondes et de la pression réduite de façon séquentielle dans l'enceinte de l'extraction, l'eau de constitution de la matière végétale fraîche entre brutalement en ébullition. Le contenu des cellules est donc plus aisément transféré vers l'extérieur du tissu biologique, et l'essence est alors mise en oeuvre par la condensation, le refroidissement des vapeurs et puis la décantation des condensats (Fig.1.13). Cette technique présente les avantages suivants : rapidité, économie du temps d'énergie et d'eau, extrait dépourvu de solvant résiduel [6, 7, 57, 58].

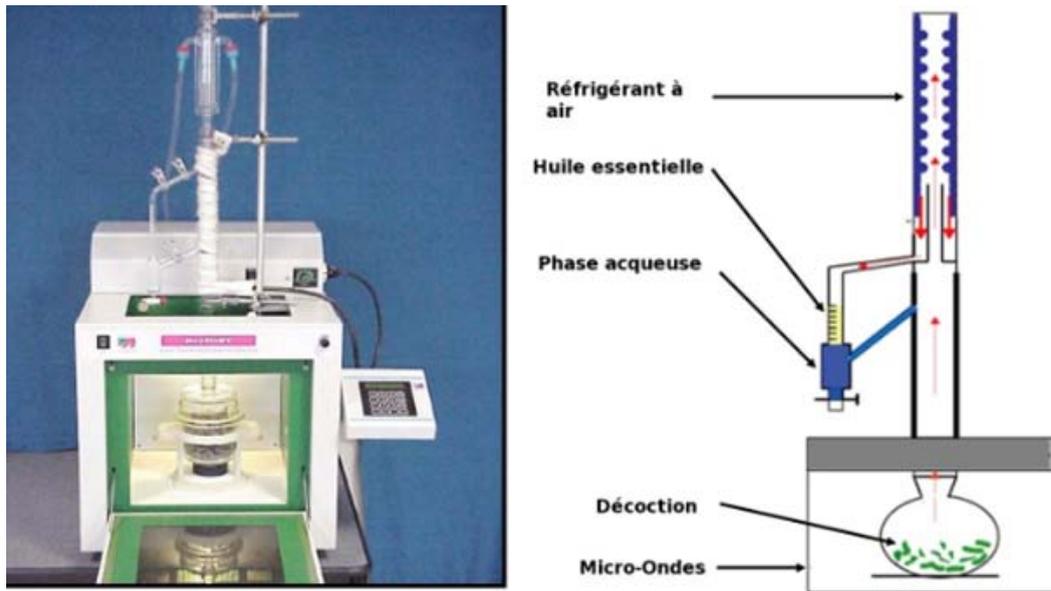


FIGURE 1.13: Montage d'une distillation par micro-ondes [7]

L'Extraction par micro-ondes existe sous différentes forme :

- soit on peut réaliser une hydro distillation ou une extraction par solvant classique, mais en chauffant le mélange par micro-ondes pour diminuer le temps de l'extraction.
- soit, pour utiliser toutes les avantages de micro-ondes, on peut utiliser de nouvelles techniques comme l'extraction sans solvant assistées par micro-ondes ou une hydro distillation aux micro-ondes sous vide, c'est à dire sans eau.

1.2.1.6 Extraction par un solvant organique volatil

Cette technique est la plus pratiquée avec l'hydrodistillation. Elle consiste à épuiser la matière première de ses constituants odorants au moyen d'un solvant, puis à chasser celui-ci de l'extrait par évaporation sous vide. Il existe deux cas particuliers, les hydrolats (extraction par solvant en présence d'eau) et les alcoolats (extraction avec de l'éthanol dilué) pour lesquels on récupère les composés odorants conjointement avec le solvant lors de la distillation pratiquée pour éliminer l'eau présente dans les isolats. Le choix du solvant dépend de nombreux paramètres techniques et économiques, notamment [5, 28, 43, 52] :

- la sélectivité (pouvoir solvant)
- la température d'ébullition (stabilité thermique des constituants)

- la miscibilité dans l'eau
- la facilité de recyclage
- la sécurité de manipulation : les solvants choisis seront, dans la mesure du possible, non toxiques tant pour le manipulateur que pour le consommateur

Les solvants les plus utilisés à l'heure actuelle sont surtout des hydrocarbures aliphatiques (hexane, éther de pétrole), des hydrocarbures aromatiques (toluène), des alcools ou des solvants carbonylés, et moins fréquemment des hydrocarbures halogénés (dichlorométhane). La méthode d'extraction mise en oeuvre dépend aussi de la nature de la matière première végétale. L'extraction se conduit soit à chaud, c'est-à-dire à température proche de la température d'ébullition du solvant, soit à température ambiante. En général, on utilise un extracteur statique afin d'éviter la dégradation de la matrice végétale et la solubilisation concomitante de composés indésirables [10, 26, 28, 43].

L'extraction par les solvants est très coûteuse à cause du prix de l'équipement et de la grande consommation des solvants. Un autre désavantage de cette extraction par les solvants est leur manque de sélectivité ; de ce fait, de nombreuses substances lipophiles (huiles fixes, phospholipides, caroténoïdes, cires, coumarines, etc.) peuvent se retrouver dans le mélange pâteux et imposer une purification ultérieure [10, 59].

1.2.1.7 Extraction par solvants

La méthode de cette extraction est basée sur le fait que les essences aromatiques sont solubles dans la plupart des solvants organiques. L'extraction se fait dans des extracteurs de construction variée, en continu, semi-continu ou en discontinu. Le procédé consiste à épuiser le matériel végétal par un solvant à bas point d'ébullition qui par la suite, sera éliminé par distillation sous pression réduite. L'évaporation du solvant donne un mélange odorant de consistance pâteuse dont l'huile est extraite par l'alcool. L'extraction par les solvants est très coûteuse à cause du prix de l'équipement et de la grande consommation des solvants. Un autre désavantage de cette extraction par les solvants est leur manque de sélectivité ; de ce fait, de nombreuses substances lipophiles (huiles fixes, phospholipides, caroténoïdes, cires, coumarines, etc.) peuvent se retrouver dans le mélange pâteux et imposer une purification ultérieure [5, 43]

Chapitre 2

Caractérisation des huiles essentielles

2.1 Caractérisation des huiles essentielles

Les propriétés des huiles essentielles dépendent de nombreux facteurs. Les huiles essentielles sont des composés très altérables car ils renferment des composés oxydables sous l'action de l'air et de la lumière. Ils s'altèrent en se résinifiant, ce qui entraîne une modification de leur parfum, leur saveur et leurs constantes physiques et chimiques en les rendant impropres à l'utilisation [51].

La normalisation des huiles essentielles concerne :

- Les propriétés organoleptiques : odeur, couleur, aspect, saveur ;
- Les caractéristiques chimiques : indice d'acide et d'ester ;
- Le profil chromatographique et la quantification relative des différents constituants

La valorisation des huiles essentielles, quel que soit leur secteur d'application, passe nécessairement par une étape de caractérisation (analyse chimique) afin d'en contrôler la qualité et de mettre en évidence une éventuelle spécificité. Afin d'identifier et de quantifier les constituants des HE, le choix des techniques analytiques utilisées dépend de l'objectif fixé et de la complexité du mélange (nombre et nature des constituants).

Dans ce chapitre, nous allons donc exposer les techniques les plus importantes utilisées pour l'analyse des huiles essentielles. Ces analyses concernent l'identification qualitative

et quantitative des différents constituants d'une huile essentielle. Plusieurs méthodes sont utilisées à savoir : caractérisations physicochimiques et organoleptiques, caractérisations chromatographiques (chromatographie en phase gazeuse (CPG), chromatographie en phase gazeuse/ spectrométrie de masse (CG/SM), chromatographie liquide à haute pression (HPLC), spectrométrie de résonance magnétique nucléaire (RMN), infrarouge(FTIR),...) [5, 8] et l'activité biologique.

2.1.1 Techniques de caractérisation

La plupart des méthodes analytiques appliquées aux huiles essentielles sont basées sur les techniques chromatographiques qui aident à l'identification des composants ainsi qu'à leur séparation. Cependant, la complexité de la structure des huiles essentielles a rendu cette tâche analytique difficile. Le nombre de composants identifiés dans les huiles essentielles a considérablement augmenté avec l'amélioration de la chimie analytique instrumentale. Dans l'analyse chromatographique en phase gazeuse (CPG), les constituants de l'échantillon sont vaporisés et élués à l'aide de la phase mobile gazeuse tandis qu'en cas d'analyse chromatographique liquide (HPLC), les constituants de l'échantillon sont élués par phase mobile liquide. En général, la CPG est utilisée pour l'analyse des constituants volatils présents dans les huiles essentielles, et la chromatographie en phase liquide est utilisée pour l'analyse des constituants non volatils présents dans les huiles essentielles. La chromatographie donne des informations à la fois qualitatives et quantitatives concernant l'échantillon analysé[28].

L'analyse des huiles essentielles comporte généralement plusieurs étapes [8] :

- la première étapes consiste à analyser les huiles essentielles par Chromatographie en Phase gazeuse (CPG) ; cette technique chromatographique permet l'individualisation des constituants, leur quantification et le calcul de leurs indices de rétention (Ir), puis à les analyser par le couplage "en ligne" d'une technique chromatographique, généralement la CPG, avec une technique d'identification spectrale, généralement la spectrométrie de masse (SM) ou, quelques fois, la Spectrométrie Infrarouge par Transformée de Fourier (FTIR). L'identification est ensuite réalisée par comparaison des indices de rétention (Ir) et des données spectrales (spectres de masse ou infrarouge) des constituants individualisés avec les caractéristiques de

produits de référence contenus dans des bibliothèques de spectres. Cette étape est habituellement suffisante dans les cas d'une simple analyse d'huiles essentielles.

- une deuxième étape est mise en oeuvre lorsque l'huile essentielle est complexe ou qu'elle contient des composés pouvant coéluer ou encore lorsque l'analyse est réalisée dans une optique de recherche. Un fractionnement de l'huile essentielle est alors effectué, le plus souvent par chromatographie liquide sur colonne ouverte de silice ou d'alumine.
- la troisième étape peut être mise en oeuvre lorsqu'un ou plusieurs constituants de l'huile essentielle sont inconnus des bibliothèques de comparaison et qu'ils ne sont pas décrits dans la littérature. Il est alors nécessaire de les purifier par distillation fractionnée ou par des techniques chromatographiques telles la Chromatographie sur Couche Mince (CCM), la Chromatographie liquide sur Colonne ouverte (CC), la Chromatographie Liquide Haute Performance (HPLC) ou encore la Chromatographie en Phase Gazeuse (CPG). L'objectif est d'aboutir à leur identification structurale par les techniques spectroscopiques usuelles : Résonance Magnétique Nucléaire du proton (RMN- ^1H) et du carbone-13 (RMN ^{13}C), SM, FTIR, etc.

2.1.1.1 Chromatographie en phase gazeuses (CPG)

La chromatographie en phase gazeuses (CPG)(Fig.2.1)est une technique physico-chimique permettent de séparer les molécules d'un mélange complexe. C'est la technique la plus utilisée pour les huiles essentielles. Elle permet l'individualisation des constituants, leur quantification et le calcul de leurs indices de rétention (Ir). Le principe est basé sur la séparation des différents solutés gazeux par migration différentielle le long de la phase stationnaire. La phase mobile est un gaz (hélium, azote, argon ou hydrogène), appelé gaz vecteur [51]. Son principe est simple, les éléments gazeux ou volatils d'un échantillon sont placés et vaporisés à l'entrée d'une colonne d'où ils sont emportés via un gaz porteur vers une phase stationnaire, substance solide ou liquide, pour qu'ils y soient séparés. Les différentes molécules du mélange vont se séparer et sortir de la colonne les unes après les autres. Plus un élément a d'affinité avec la phase stationnaire, plus il prendra de temps pour sortir de la colonne de chromatographie. Les éléments sont alors identifiés mais aussi quantifiés [5, 8].

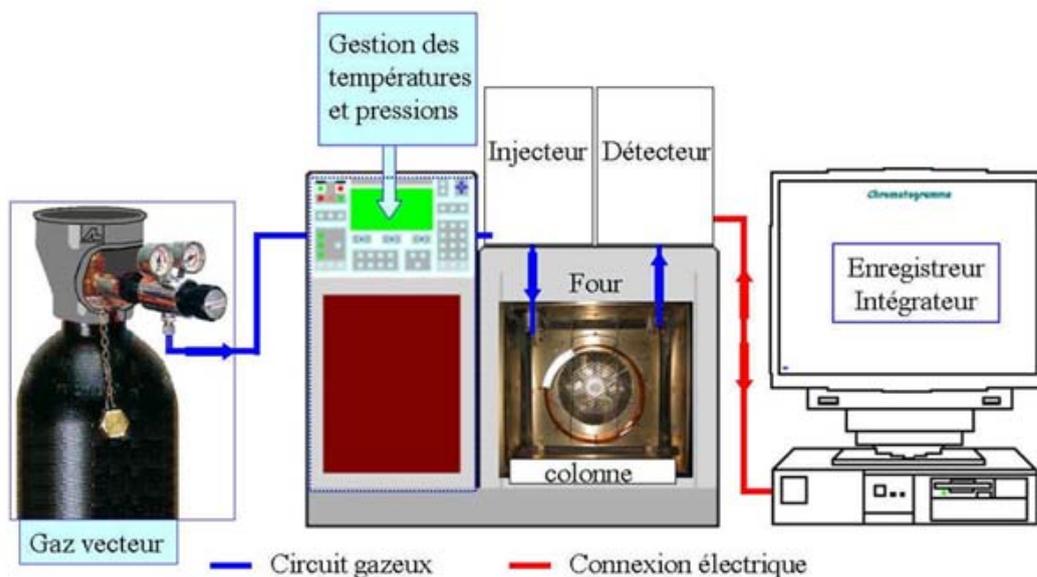


FIGURE 2.1: Schéma de principe de la chromatographie en phase gazeuse.

L'identification des constituants de l'huile essentielle se fait par comparaison du spectre de masse de chaque pic séparé par CG avec ceux reportés comme références dans des bibliothèques spécialisées de spectrométrie de masse. La fiabilité de la reconnaissance est principalement, donnée par un taux de vraisemblance (supérieur à 90 %) du spectre de masse du soluté inconnu par rapport à celui de la banque de données. Cette présence est confirmée par le calcul des indices de rétention propres à ce composant [19].

Et lorsque on réalise une CPG on lui adjoint souvent, et ce en particulier pour les huiles essentielles, une spectrométrie de masse

2.1.1.2 Spectrométrie de masse (SM)

La spectrométrie de masse (Fig.2.2) est une technique d'analyse physique permettant d'identifier des molécules en mesurant leur masse et de caractériser leur structure chimique des molécules chargées (ions) en fonction de leur rapport masse/charge. C'est une technique de détection très sensible d'où la possibilité d'obtenir une quantification fiable sur un large domaine [8].



FIGURE 2.2: schéma de principe de la spectrométrie de masse

2.1.1.3 Couplage chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie de masse(CPG/SM)

La recherche de nouvelles sources d'huiles végétales et des huiles essentielles nécessite l'identification structurale des composés des huiles investiguées. Les méthodes classiques de CPG-SM ne permettent pas de connaître la position des doubles liaisons des acides gras insaturés. En effet, dans le spectromètre de masse, composés subissent un réarrangement des double liaisons sous l'effet de l'ionisation par impact électronique[60].

L'une des faiblesses de la chromatographie en phase gazeuse est que la séparation des composés présente souvent des pics qui se chevauchent, ce qui rend les composés difficiles à identifier. Grâce au couplage d'un spectromètre de masse à l'extrémité d'une colonne capillaire d'un chromatographe en phase gazeuse, le détecteur peut capturer et ioniser (bombarder d'électrons) chaque molécule et l'identifier en fonction de la charge relative des fragments de molécules ionisées (ions). En combinant le temps de rétention et les détections d'ionisation, la plupart des molécules peuvent être identifiées avec précision. Les composés sont identifiés en comparant le spectre à une base de données de bibliothèque de spectres composés dans un ordinateur connecté (Fig.2.3). La GC-MS quantifie les molécules dans le mélange en comparant les concentrations relatives parmi les masses atomiques dans le spectre généré. L'avènement du spectromètre de masse à chromatographe en phase gazeuse (GC-MS) est une méthode qui a révolutionné l'analyse et l'identification des composés dans les huiles essentielles [18, 43].

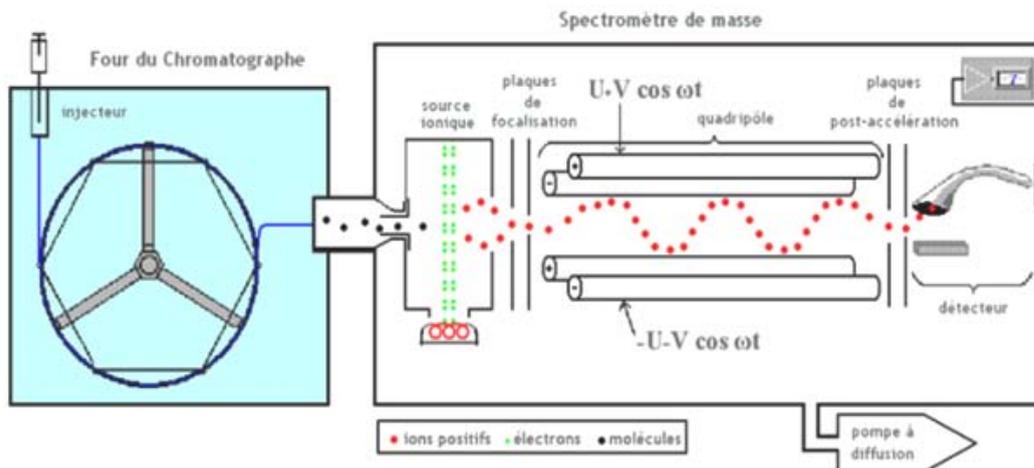


FIGURE 2.3: Schéma de principe de couplage chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG/SM)

Le couplage de la chromatographie en phase gazeuse avec la spectrométrie de masse en tandem est un des plus puissants outils d'identification de l'instrumentation analytique. Grâce à sa sélectivité et à sa sensibilité cette technique connaît un développement croissant dans la recherche alimentaire, l'analyse de contaminants, l'identification d'acides gras et la caractérisation de molécules aromatiques volatiles [60].

La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse est une technique d'analyse permet d'identifier et de quantifier de nombreuses substances. Possèdent des limites de sensibilité voisines. Leur association permet de disposer d'un outil analytique très performant. L'identification de produit est réalisable pour des quantités de l'ordre du nanogramme, la détection par fragmentométrie est possible jusqu'au picogramme [5, 43]. Les applications de la CPG-SM comprennent le dosage de médicaments ou de stupéfiants, l'analyse analyse environnementale, la médecine légale et l'identification de toutes substances inconnues même sous forme de traces. La CPG-SM est d'ailleurs présentée comme étant la référence absolue des analyses en médecine légale. la figure 2.4 résume les principales étapes de la technique CPG-SM.

2.1.1.4 Chromatographie sur couches minces (CCM)

Cette technique est utilisée pour séparer les composés chimiques et identifier le nombre de composés dans un mélange. C'est également une bonne méthode pour vérifier un composé. La CCM implique une phase stationnaire de matériau absorbant, généralement du gel de silice sur une lame de verre plate où une phase liquide dissoute dans un solvant

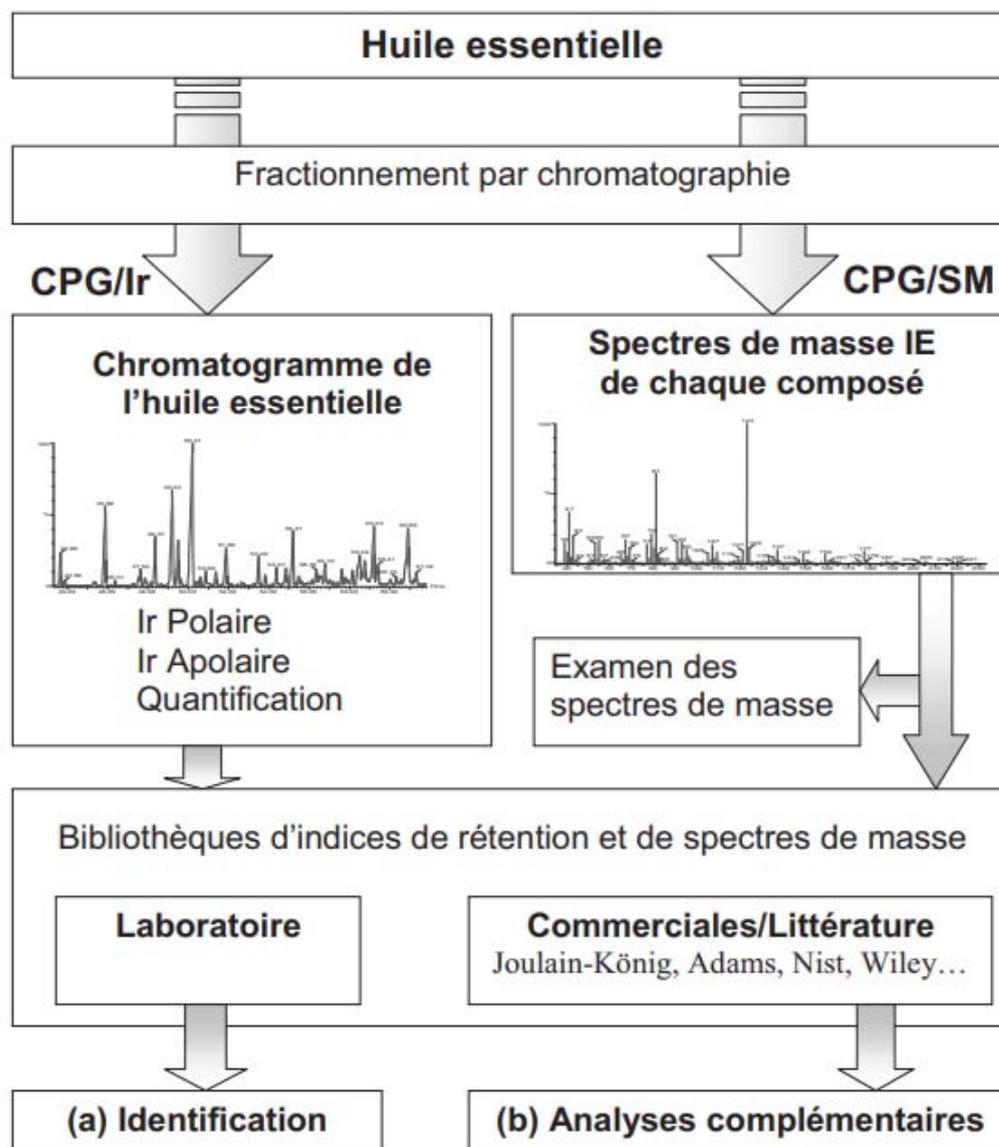


FIGURE 2.4: Démarches à suivre pour l'identification des constituants d'une huile essentielle par combinaison des techniques de CPG et de CPG/SM [8]

est aspirée sur la lame par action capillaire, séparant les composants par la polarité différente des composants dans le composé. La plaque sera ensuite analysée avec une lumière UV pour détecter les changements de couleur dans le gel. La CCM a d'abord été utilisée pour déterminer les pigments dans les plantes et est maintenant utilisée dans la détection des pesticides dans les aliments [43].

2.1.1.5 Spectroscopie infrarouge (IR)

La spectroscopie est un terme général pour désigner les instruments qui détectent des informations structurales sur les molécules. La spectroscopie infrarouge implique le passage d'une lumière infrarouge à travers un échantillon pour détecter une vibration composée unique en raison du niveau d'énergie de la molécule. La fréquence de résonance à laquelle une molécule vibre est déterminée par la forme moléculaire et la force de la liaison entre chaque atome dans la molécule particulière. La longueur d'onde déformée de la lumière qui est détectée est vérifiée par rapport à une base de données qui fournira une identification du composé. La spectroscopie IR est utilisée pour déterminer rapidement différents chémotypes végétaux, le contrôle de la qualité et la détermination des adultérants des huiles essentielles, l'identification des constituants non volatils dans les huiles essentielles (en particulier les huiles d'agrumes pressées à froid), l'identification des composants spécifiques des composés dans les fruits et légumes, et l'évaluation qualitative et quantitative du matériel végétal, comme les feuilles de thé [43].

2.1.1.6 Résonance magnétique nucléaire (RMN)

La résonance magnétique nucléaire (RMN) détecte les rayonnements de faible énergie dans le spectre radioélectrique émis par les noyaux atomiques d'une molécule. La plupart des noyaux atomiques présentent un champ magnétique externe. Lorsqu'une molécule est placée à l'intérieur d'un champ magnétique, sous une forme à faible énergie, elle s'aligne avec le champ et sous une forme à haute énergie, elle s'aligne contre le champ magnétique. La RMN exécute un fort champ magnétique statique avec un champ alternatif et la différence entre les niveaux d'énergie magnétique est mesurée. Cette mesure fournit des informations moléculaires structurales très spécifiques. Une variation de la RMN est la résonance magnétique nucléaire du proton, qui utilise des solvants pour permettre des déplacements chimiques et des couplages spin-spin où les noyaux des molécules s'influencent mutuellement, modifiant ainsi l'énergie et la fréquence des noyaux environnants. Les signaux de ces réactions sont détectés par la RMN et identifiés [43]. Une autre variante est la spectroscopie par résonance magnétique au carbone 13. La plupart des atomes de carbone sont ^{12}C , avec un petit pourcentage de ^{13}C , qui présentent une résonance magnétique qui peut être mesurée dans les composés organiques pour identifier le squelette carboné dans les molécules. Les méthodes RMN et CG et

GC-MS sont souvent utilisées comme système complémentaire dans l'analyse des huiles essentielles [5, 43].

2.1.1.7 Chromatographie liquide à haute performance (HPLC)

Cette technique est indiquée pour étudier les constituants non volatils des concrètes et des absolues ou pour effectuer des préfractionnements. Elle peut être couplée également à un analyseur de masse. La chromatographie liquide à haute performance utilise une phase stationnaire très fine et une phase mobile liquide circulant sous l'effet d'une haute pression. Après la séparation des différents constituants de l'échantillon, un ordinateur assure l'acquisition et le traitement des données [5, 46].

2.1.2 Caractérisation physicochimique des huiles essentielles

Les caractéristiques organoleptiques (apparence, couleur, odeur, goût) étaient autrefois les seules indications permettant d'évaluer la qualité d'une huile essentielle, mais comme ces propriétés ne donnent que des informations très limitées sur ces essences, il est nécessaire de faire appel à d'autres techniques de caractérisation plus précises. La qualité d'une huile essentielle et sa valeur commerciale sont définies par des normes admises et portant sur les indices physicochimiques.

Ces normes ont été déterminées par plusieurs organisations connus à l'échelle mondiale comme :

- ISO : International standard organisation.
- AFNOR : Association française de normalisation.
- AOAC : Association of official agricultural chemist.

Pour tous les échantillons d'huiles essentielles, des essais généraux doivent être réalisés : détermination des huiles essentielles dans les drogues végétales, densité relative, indice de réfraction, pouvoir rotatoire ou angle de rotation optique, et même parfois des essais supplémentaires : point de solidification, dosage du 1,8-cinéole, indice d'acide, indice de peroxyde, eau, résidu d'évaporation, esters étrangers, huiles grasses et huiles essentielles résinifiées, solubilité dans l'éthanol, odeur et saveur.

2.1.2.1 Analyses chimiques

Plusieurs propriétés des huiles essentielles peuvent être déterminées par voie chimique. Nous allons citer quelques essais.

Indice d'Acide (IA)

L'indice d'acide d'une huile essentielle est défini comme étant le nombre de milligrammes de potassium (KOH) nécessaire pour la neutralisation des acides libres contenus dans un gramme d'huile essentielle (NFISO , -103 ; AFNOR, 2000).

L'indice est déterminé expérimentalement par l'introduction de 2 g d'huile essentielle dans un ballon contenant ml d'éthanol neutralisé et 5 gouttes d'indicateur coloré (phénolphthaléine). Ensuite la solution est dosée avec la solution d'hydroxyde de potassium (0,1N). Le volume de la solution d'hydroxyde de potassium correspondant au point équivalent est (il faut que la couleur de la solution (rose) persiste pendant 30 secondes.

L'indice d'acide est calculé par la formule :

$$I_A = V \times C \times (56,11/M) \quad (2.1)$$

Avec IA : Indice d'acide ;

V : Volume de KOH utilisé (ml) ;

C : Concentration exacte, en moles par litre de la solution de KOH ;

M : Masse de la prise d'essai.

Indice d'ester

L'indice d'ester est le nombre de milligrammes de potassium (KOH) nécessaires pour effectuer la saponification totale des esters sels contenus dans un gramme d'huile essentielle. La réaction de saponification s'écrit :



L'indice d'ester est déterminé par la procédure suivante :

- Doser Un échantillon de 2 g d'huile essentielle dans un ballon par 25 mL d'une solution d'hydroxyde de potassium (0,5 N), ainsi que quelques billes en verre.
- Le mélange est porté dans un bain d'eau bouillante sous reflux pendant la durée précisée dans la norme d'huile essentielle.
- Après refroidissement, 20 mL d'eau distillée et quelques gouttes de solution de phénolphtaléine sont ajoutés
- L'excès d'hydroxyde de potassium est dosé avec la solution d'acide chlorhydrique (HCl 0,5 N).

L'indice d'ester est calculé par la formule :

$$IE = 28,05 \times (V - V_0)/M \quad (2.3)$$

IE : Indice d'ester ;

V : Volume en ml de HCl utilisé dans cette détermination ;

V₀ : Volume en ml de HCl utilisé dans cette détermination de l'essai à blanc ;

M : la masse de la prise d'essai.

Indice de peroxyde

La mauvaise conservation d'une huile essentielle, en présence d'air et à température élevée, entraîne le vieillissement en induisant la formation de peroxydes. Les peroxydes sont toxiques et instables à la chaleur. Ils se forment, préférentiellement, au niveau des carbones tertiaires, des carbones en α d'une double liaison $C = C...$ L'indice de peroxyde IP est le nombre qui exprime, en milliéquivalents d'oxygène actif, la quantité de peroxyde contenue, dans 1kg de substance [18].

La prise d'essai m (en g) d'huile essentielle est dissoute dans le chloroforme en présence d'acide acétique. On ajoute successivement de l'iodure de potassium et de l'eau. L'iode obtenu par oxydation est dosé par une solution titrée de thiosulfate de sodium 0,01 M (soit n_1 mL versés) en présence d'empois d'amidon. Un témoin réalisé dans les mêmes conditions, sans huile essentielle, nécessite un volume $n_2 < 0,01mL$.

Indice de Saponification (IS) (mg de KOH /g d'huile)

C'est le nombre de milligrammes de KOH nécessaires pour neutraliser l'acidité libre et saponifier à chaud les esters de 1 g de lipide.

Indice d'Iode (II)

L'indice d'iode d'un corps est la masse de di iode, exprimée en gramme, que l'on peut fixer par addition sur 100 grammes de lipide. Il permet d'évaluer le degré d'insaturation. Le principe se base sur le titrage, par le thiosulfate de sodium, de l'excès de réactif de Wijs transformé en iode par l'addition de l'iodure de potassium. La norme (ISO : 3961-1996) est utilisée pour déterminer l'indice d'iode.

Acidité : (A%)

Elle correspond à la teneur en pourcentage d'acide gras présent dans l'huile de lentisque et représente un paramètre important dans l'évaluation de sa qualité. Ce dosage nous renseigne sur le degré d'altération de l'huile et d'estimer le taux d'acides gras libres dans l'huile exprimée en acide oléique. L'acidité est mesurée selon la norme (ISO :660-2003).

2.1.2.2 Propriétés physiques

Densité relative

La densité relative est le rapport de la masse d'un volume de liquide par la masse du même volume d'eau. La densité n'a pas d'unité, elle varie avec la température. Deux types de densité relative sont couramment utilisés :

- le d_{20}^{20} correspond aux températures de 20°C à la fois pour le liquide analysé et l'eau ;
- le d_4^{20} correspond aux températures, respectivement de 20°C pour le liquide analysé et 4°C pour l'eau.

On utilise également le terme de masse volumique, représentée par ρ_{20} , qui est le rapport de la masse d'un volume de liquide à 20°C par le volume de ce même liquide à 20°C. La masse volumique est présentée toujours avec des unités (par exemple en kg/m³).

Deux appareillages sont utilisés pour la détermination de la densité ou de la masse volumique : le densimètre (ou aréomètre) et le pycnomètre.

Indice de réfraction

La réfraction est le changement de direction subi par un rayon lumineux lorsqu'il passe d'un milieu optique donné (par exemple l'air) à un autre milieu (par exemple un liquide constitué par une huile essentielle). Une partie de ce rayonnement incident subit, en outre, le phénomène de réflexion. L'interface, entre les deux milieux d'indice optique différents, est appelée dioptre.

L'indice de réfraction (n) d'un milieu est le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide (c) et la vitesse de la lumière dans la substance à analyser (V). Dans le cas de la lumière visible, n est supérieur à 1. Si l'on tient compte des angles, respectivement, α entre le rayon incident et la perpendiculaire, et β entre le rayon réfracté et la perpendiculaire, puis en considérant le milieu liquide à analyser rapporté à l'air, il existe la relation suivante :

$$n = \frac{c}{V} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \quad (2.4)$$

L'indice de réfraction est le plus souvent déterminé à 20°C, à la longueur d'onde de référence de la raie D du sodium à 589,3 nm (longueur d'onde d'émission de lumière à partir des vapeurs de sodium). Une augmentation de la température de 1°C fait diminuer l'indice de réfraction de 0,00045.

L'appareil le plus couramment utilisé pour mesurer l'indice de réfraction est le réfractomètre d'Abbe. Les indices de réfraction sont déterminés dans l'intervalle 1,300 à 1,700. L'indice de réfraction est utilisé pour l'identification et comme critère de pureté des huiles essentielles. Chaque substance a son indice de réfraction spécifique. Plus l'indice de réfraction d'un produit est près de la valeur attendue, plus sa pureté est grande. Cette pureté est définie dans des intervalles considérés comme acceptable.

Pouvoir rotatoire

Le pouvoir rotatoire est caractéristique des molécules énantiomères. Une molécule est énantiomère (ou chirale) lorsqu'elle existe sous deux configurations spatiales, différentes et non superposables. Elles sont symétriques, l'une par rapport à l'autre, lorsqu'on considère leurs images dans un miroir. Lorsqu'une molécule présentant une isomérisation optique est traversée par un faisceau de lumière polarisée, le plan de polarisation est dévié, soit vers la gauche (molécule lévogyre, notée (-)), soit vers la droite (molécule dextrogyre, notée (+)), quand on fait face à la lumière. Cet angle de rotation du plan de polarisation est exprimé en degré ($^{\circ}$). Dans le cas du mélange racémique, les deux déviations s'annulent. La loi de Jean-Baptiste Biot (début du XIX^e siècle) caractérise ce phénomène, pour un composé solide en solution par la relation suivante :

$$\alpha = [\alpha]_D^T \times C \times l \quad (2.5)$$

Avec

- α : angle de déviation de la lumière polarisée ou angle de rotation optique ($^{\circ}$).
- $[\alpha]_D^T$: pouvoir rotatoire spécifique ou angle de rotation spécifique ($^{\circ} * g^{-1} * mL * dm^{-1}$).
- C : concentration (g/mL),
- l : trajet optique ou longueur de la cellule de mesure (dm).

Le pouvoir rotatoire d'une huile essentielle est l'angle exprimé en milli radians et /ou degrés d'angle dont tourne le plan de polarisation d'une radiation lumineuse de longueur d'onde $\lambda = (589,3 \pm 0,3)$ nm, correspondant aux raies D du sodium, lorsque celles-ci traversent une épaisseur de 100 mm d'HE dans des conditions déterminées de température.

Le pouvoir rotatoire est mesuré avec un polarimètre appareil de mesure de la déviation du plan de polarisation de la lumière[18].

Rendement

Le rendement en huile essentielle est le rapport entre le poids de l'huile extraite et le poids de la plante à traiter. Le rendement, exprimé en pourcentage est calculé par la formule suivante :

$$R = \left(\frac{PB}{PA} \right) \times 100 \quad (2.6)$$

Avec R : rendement de l'huile en %, PA : poids de la plante en g, PB : poids de l'huile en g.

La teneur en HE varie en fonction des drogues, mais elle reste en général très faible, inférieure à 1%. Le rendement de la distillation est donc limité : de plusieurs kilogrammes à plusieurs tonnes d'organes producteurs sont nécessaires pour obtenir un kilogramme d'HE (Tableau 2.1) [11].

TABLE 2.1: Rendements de la distillation de quelques drogues courantes [11]

Plante	Organe producteur distillé	Poids de matériel nécessaire à l'obtention d'1Kg d'HE
Clou de Girofle	boutons floraux séchés	7 Kg
Badiane de Chine	fruits	20 Kg
Ylang-Ylang	fleurs	50 Kg
Lavandin	sommités fleuries	50 Kg
Lavande vraie	sommités fleuries	150 Kg
Menthe poivrée	feuilles	1000 Kg
Thym vulgaire	parties aériennes	1200 Kg
Rose de Damas	pétales	4000 Kg

Point de solidification

Cette manipulation de cryométrie consiste à agiter très fortement le liquide plongé dans un bain réfrigéré. Le point de solidification correspond à la température maximale lorsque le liquide se solidifie au cours du refroidissement. La difficulté majeure réside dans le fait qu'en l'absence d'agitation et de germes cristallins, un liquide reste en surfusion. Il sera plus facile de déterminer un point de fusion, à partir d'un solide cristallisé, grâce aux techniques d'analyse thermique différentielle (ATD) ou d'analyse calorimétrique différentielle (ACD ou DSC, Differential Scanning Calorimetry)[18].

2.1.3 Caractéristiques organoleptiques

Les caractéristiques organoleptiques (apparence, couleur, odeur, goût) étaient autrefois les seules indications permettant d'évaluer la qualité d'une huile essentielle, mais comme ces propriétés ne donnent que des informations très limitées sur ces essences, il est nécessaire de faire appel à d'autres techniques de caractérisation plus précises. La qualité d'une huile essentielle et sa valeur commerciale sont définies par des normes admises et portant sur les indices physicochimiques.

2.2 Activité des huiles essentielles

Plusieurs facteurs influencent la détermination de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles ou de leurs composants actifs, tels que la méthode d'évaluation antimicrobienne, le type et la structure moléculaire des composants actifs, la dose ajoutée, le type de microorganisme ciblés et leur éventuelle adaptation aux huiles essentielles [61].

2.2.1 Méthodes d'évaluation de l'activité antibactérienne

Il existe diverses méthodes qui sont utilisées pour mettre en évidence l'activité antimicrobienne des huiles essentielles. Les techniques utilisées ont une grande influence sur les résultats. Elles ne donnent parfois pas les mêmes résultats selon les conditions opératoires expérimentales pour chaque manipulateur [62, 63]. L'insolubilité des huiles essentielles dans l'eau et d'une manière générale dans les milieux aqueux largement utilisés en microbiologie, est une des explications de la variété des techniques d'évaluation. Selon la souche microbienne, l'huile essentielle et l'application choisie, divers milieux de culture peuvent être mis en oeuvre.

2.2.1.1 Méthode de diffusion en milieu solide

Cette méthode est aussi appelée méthode de l'aromatogramme, ou technique de l'antibioaromatogramme ou encore méthode de Vincent [61]. La diffusion de l'agent antimicrobien dans le milieu ensemencé résulte d'un gradient de l'antimicrobien. Quand la concentration de l'antimicrobien devient très diluée, il ne peut plus inhiber la croissance de la bactérie testée, la zone d'inhibition est démarquée. Le diamètre de cette zone d'inhibition est corrélée avec la concentration minimale inhibitrice (CMI) pour la combinaison particulière bactérie/antimicrobien, la zone d'inhibition correspond inversement à la CMI de l'essai. Généralement, plus la zone d'inhibition est petite, plus la concentration d'antimicrobien nécessaire pour inhiber la croissance des microorganismes est faible [25, 61].

2.2.1.2 Méthode de dilution en milieu liquide

Le but des méthodes de dilution en bouillon et en gélose est de déterminer la concentration la plus faible de l'antimicrobien testé qui inhibe la croissance de la bactérie testée (la CMI, habituellement exprimée en mg/mL ou mg/L).

2.2.2 Activité liée à la composition chimique

La composition chimique d'une huile essentielle est à l'origine de son activité biologique, les groupes fonctionnels des composés majoritaires (alcools, phénols, composés terpéniques et cétoniques) et les possibles effets synergiques entre les composants. Ainsi, la nature des structures chimiques qui la constituent, mais aussi leurs proportions jouent un rôle déterminant [18, 61].

Les composés majoritaires d'une huile essentielle sont souvent responsable de son activité qui est réduite à l'activité de ses composés majoritaires, ou ceux susceptibles d'être actifs. Évalués séparément sous la forme de composés synthétiques, ils confirment ou infirment l'activité de l'huile essentielle de composition semblable. Il est cependant probable que les composés minoritaires agissent de manière synergique. De cette manière, la valeur d'une huile essentielle tient à l'intégralité de ses composants et non seulement à ses composés majoritaires [64]. Il est connu que ce sont les terpénoïdes et les phénylpropanoïdes qui confèrent aux huiles essentielles leurs propriétés antibactériennes. L'activité de ces molécules dépend, à la fois, du caractère lipophile de leur squelette hydrocarboné et du caractère hydrophile de leurs groupements fonctionnels. Les molécules oxygénées sont généralement plus actives que les hydrocarbonées [25, 61].

Chapitre 3

Synthèse bibliographique sur les plantes choisies

Introduction

Dans ce chapitre nous allons décrire les deux plantes choisies, *Inula Viscosa* et *eucalyptus*, qui sont très répandues dans région de Bouira. Ces deux espèces sont connues pour leurs différentes vertus dans la médecine traditionnelle.

3.1 Description des plantes

3.1.1 *Inula viscosa*

Inula est un mot grec : Inéo qui signifie je purge. (Allusion à une propriété thérapeutique de la plante). Le nom "Inula" est très ancien et vient du nom de *Inula helenium* et généralisé pour tous les genres. La famille *Inula* est l'une des plus distribuée dans le règne végétale. Cette famille comprend plus de 13 tribus, 1000 genres et 23000 espèces. En Algérie il en existe 109 genres et 408 espèces, sa richesse en composés naturels divers est l'une des propriétés typiques de cette famille, elle est économiquement importante et fournit des plantes alimentaires, médicinales et des plantes utilisée en cosmétologie [65].

3.1.1.1 Description botanique

Inula viscosa (L) est une plante annuelle, herbacée, visqueuse et glanduleuse, à odeur forte qui appartient à la famille des Astéracées (Composées). Elle peut atteindre 50 cm à 1 m de hauteur et présente des capitules à fleurs jaunes très nombreuses au sommet de la tige. Les feuilles sont entières ou dentées, aiguës, sinuées, les caulinaires amplexicaules, plus largement lancéolées, les capitules assez gros en longues grappes pyramidales (Fig.3.1). C'est une plante largement répandue dans le nord de l'Algérie et dans tout le pourtour méditerranéen. On la trouve dans les rocailles, les garrigues, les terrains argileux un peu humides et sur les bords des routes. Boisé à la base, *I. viscosa* présente au sommet de la tige de nombreuses capitules à fleurs jaunes (Fig.3.1). Elle est largement utilisée en médecine traditionnelle en Algérie, notamment dans les zones agricoles pour le traitement de diverses maladies telles que la bronchite, le diabète et les blessures. Son histoire thérapeutique est très diversifiée et connue depuis longtemps dans les médications traditionnelles [12, 65–67].



FIGURE 3.1: Image de la plante *Inula viscosa*

Partie aérienne

- La plante *Inula viscosa* est collante et très odoriférante.
- Ses tiges : sont assez ramifiées et pourvues d'un feuillage dense. Avec l'âge, elles deviennent ligneuses et foncées à la base.
- Feuillage : glanduleux, visqueux, collant sur les deux faces ; feuilles alternées, sessiles, celle de haut sont simples entières, les autres sont légèrement dentées et inclinées vers le bas.
- La floraison : commence à partir du mois de Septembre les inflorescences sont de longues grappes et présente de nombreux capitules à fleurs jaunes au sommet de la tige.
- Les fleurs : sont des akènes pourvues d'une aigrette soyeuse de couleur rousse

Partie souterraine

L'inule visqueuse est une plante, à odeur forte ligueuse sa base est une forte racine pivotante lignifiée pouvant atteindre 30 cm de longueur.

3.1.1.2 Taxonomie

- . **Règne** : Végétal,
- . **Embranchement** : Spermaphytes,
- . **Sous-Embranchement** : Angiospermes,
- . **Classe** : Eudicots ou Dicotyledones,
- . **Sous Classe** : Astéridées,gamopetales,
- . **Ordre** : Astérales,
- . **Famille** : Astéracées,
- . **Genre** : *Inula*,
- . **Espèce** : *Inula viscosa* (L),
- . **Synonymie** : *Dittrichia viscosa* (L),
- . **Nom commun** : inule,aunée visqueuse
- . **Noms vernaculaires** : Magramane ou Amagramane.

3.1.1.3 Répartition géographique

Inule visqueuse est une plante commune et peut exiger dans tout le bassin méditerranéen, très répandue dans le Nord de l'Algérie. Elle se rencontre dans les terrains abandonnés, rivières asséchées, les bords de routes, comme elle affectionne les lieux fraîchement perturbés par les travaux ou le passage du feu, et apparaît sur les sols argileux et sableux. Comme elle se retrouve dans les côtes rocheuses, les collines, et les zones humides [12, 66].

3.1.1.4 Aspects photochimique

Les études effectuées sur cette la plante *Inula viscosa* (L) ont montré qu'elle est riche en métabolites secondaires tels que les acides phénoliques, les flavonoïdes et les composés terpénoïdes. Ces composés sont doués de propriétés antibactériennes, antifongiques, anti-inflammatoires et autres [68, 69].

Le genre *Inula* est très riche en métabolites secondaire (Fig.3.2); ce qui explique les diverses utilisations de ce genre dans la médecine traditionnelle et les diverses activités biologiques. La composition chimique de ce genre de plantes est représentée par le schéma donné par la figure ci-dessous.

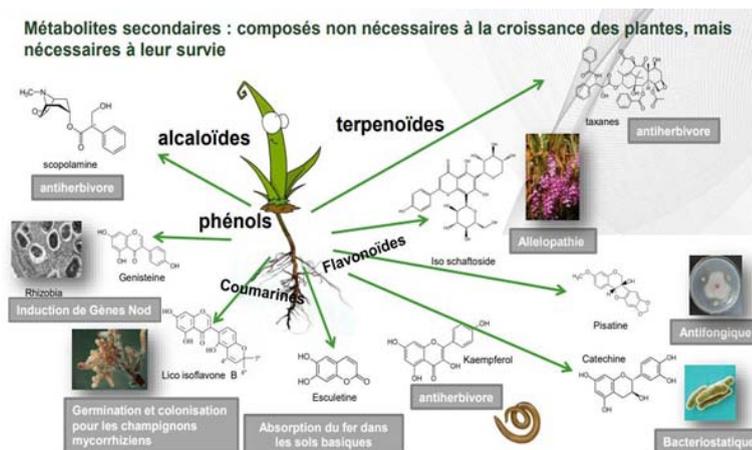


FIGURE 3.2: Métabolisme secondaire

Les composés phénoliques

Classiquement considérés comme des métabolites secondaires, les composés phénoliques sont présents chez tous les végétaux supérieurs. Ils peuvent être définis comme des molécules indirectement essentielles à la vie des plantes. Les principales classes des composés phénoliques sont regroupés dans le schéma présenté par la figure (Fig.3.3) ci-dessous.

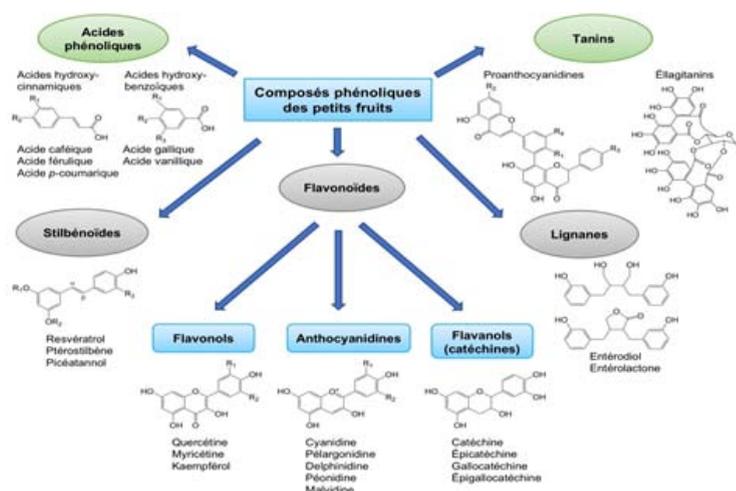


FIGURE 3.3: Principales classes des composés phénoliques

Inula Viscosa est composée de flavonoïdes et polyphénols. Elle est très riche en huiles essentielles, dont la concentration varie selon les différentes parties (feuilles, racines et fleurs). Ses composants majoritaires sont le camphre, l'eucalyptol et le thymol [66].

3.1.1.5 Usage traditionnelle et propriétés pharmaceutiques d'*inula viscosa*

Inula viscosa (L) est employée dans la médecine traditionnelle pour ses activités antiseptiques, anti-inflammatoires et antipyrétiques. Elle est largement utilisée en médecine traditionnelle le traitement de diverses maladies telles que [12, 21, 63–70] :

- la bronchite : Elle agit comme sédatif de la toux et des spasmes bronchiques
- la désinfection, la cicatrisation. Elle est également employée contre les affections pulmonaires et les taux de tête.
- corriger l'atonie de l'estomac et de l'intestin,
- l'amélioration l'appétit et abaisse la fièvre
- le traitement des mycoses, c'est à dire des infections causés par des champignons (antimicrobienne et antifongique),

- augmentation de la durée de conservation de nourriture,
- la détection dans le traitement des maladies rénale,
- Elle agit comme un insecticide végétal qui combat la mouche d’olivier,
- Elle est utilisable comme anthelminthique, expectorant, et pour traitement de l’anémie et le cataplasme pour les douleurs de rhumatisme et aussi prescrite comme un agent dans l’induction de l’avortement et la stérilité des femelles,
- la racine crue écrasée est ingérée dans le traitement de l’hypertension, de la tuberculose, des affections poitrinaires.

Beaucoup d’attention a été accordée à des espèces du genre *Inula*, en raison de leurs diverses activités biologiques telle que : anti-inflammatoire, antibactérienne, antihépatique, anti-tumorale, antispasmodique et antiseptique, aussi des propriétés toniques et aromatiques sont caractéristiques de ce genre [46].

Le tableau 3.1 ci-dessous regroupe les différents modes de traitement selon le type de la maladie.

TABLE 3.1: Mode d’utilisation d’*inula viscosa* dans la médecine traditionnelle

Maladie	Mode de traitement
Plaies	L’application de feuilles fraîches, ou une poudre de feuilles sèches sur des plaies ouvertes sert comme antiseptique et anti-inflammatoire agent efficace, car il favorise la cicatrisation plus rapide.
Les peaux sèches et rugueuses	La poudre de la feuille d’inule visqueuse séchée est mélangée avec de l’huile et appliqué à l’extérieur des parties touchés du corps.
Bronchite et les infections respiratoires	L’extrait est ajouté à l’eau bouillante et la tonique consommée.
Analgésique dentaire	Mastication des feuilles

Le tableau ci-dessous représente les composants majoritaires d’huiles essentielles de l’espèce *Inula viscosa* récoltées de plusieurs pays du monde. Ces huiles essentielles de la même espèce prélevée de plusieurs pays du monde, présentent des variations plus ou moins importantes.

3.1.1.6 Les huiles essentielles d'*inula viscosa*

La composition chimique de l'huile essentielle (HE) d'*Inula viscosa*, dont la teneur varie selon ses différentes parties : les feuilles (0,42%), les fleurs (0,29%) et les racines (0,28%). L'analyse de l'HE par chromatographie CG/MS a révélé la présence de plusieurs constituants variés dont les composants majoritaires sont : γ -terpène (36,9%), α -pinène (18,9%), β -pinène (8,9%), p-cymène (11,7%), limonène (18,9%), 2,5-diméthoxy-p-cymène (21,2%), β -caryophyllène (16,58%) et α -cadinol (4,2%) [67].

La composition chimique de certaines huiles essentielles d'*Inula viscosa*, récoltées de plusieurs pays du monde, est donnée dans le tableau (3.2)[46].

TABLE 3.2: Composants majoritaires d'huiles essentielles de l'espèce *Inula viscosa* récoltées dans différents pays du monde [12]

Composé	Localité et pourcentage				
	Algerie (Haoui <i>et al.</i> , 2001)	France (Blanc <i>et al.</i> , 2006)	Turquie (Perez-Alonso <i>et al.</i> , 1996)	Espagne (Camacho <i>et al.</i> , 2000)	Italie (De Laurentis <i>et al.</i> , 2002)
12-carboxyeudesma-3,11(13)-diene	28.9	-	-	-	62.4
Acide linoléique	7.8	-	-	-	-
Acide palmitique	5.4	-	-	-	-
Fokienol	3.4	21.1	-	38.8	-
Nerolidol	-	8.6	-	7.7	-
Eudesm-6-en-4 α -ol	-	6.2	-	-	-
Bornéol	-	-	25.2	-	-
Acétate de bornyle	-	-	19.5	-	-
Acétate d'isobornyle	-	-	22.5	-	-

3.1.2 Eucalyptus

Les Eucalyptus sont pour la plupart de très grands arbres qui font partie de la famille des Myrtacées. On dénombre aujourd'hui plus de 800 espèces différentes d'Eucalyptus [71]. Ils sont originaires d'Australie où grand nombre est originaire de l'île de Tasmanie et de l'île principale d'Australie mais on en retrouve également en Amérique du sud, en Afrique et en Europe, où ils ont appris à s'acclimater [13]. Le terme Eucalyptus a été utilisé pour la première fois en 1777 par un botaniste français, Charles-Louis L'Héritier de Brutelle. Il a inventé ce nom à partir du grec "eu" qui signifie "bien" et "calyptos" qui signifie "couvert" en référence à l'opercule qui se trouve sur le fruit des Eucalyptus, les capsules. C'est d'ailleurs une caractéristique commune à tous les Eucalyptus [72].

Les eucalyptus sont très bien acclimatés dans le bassin méditerranéen, sa première utilisation thérapeutique remonte à 1865, il fut découvert en 1792 par Jacques Julien Houtou

de la billardiers, voyageur et botaniste français, au cours d'une expédition en Australie [72].

Les multiples utilisations des eucalyptus, du bois de construction au combustible et à la pâte, et des huiles à la plantation d'agrément, font de ce genre de plante l'un des plus précieux et des plus largement utilisés au monde. Pour l'Australien moyen, ils sont une caractéristique naturelle de l'environnement, où de vastes forêts ont été exploitées à des fins commerciales, souvent dans l'espoir que la régénération naturelle soutiendra une industrie plus ou moins en permanence. Son introduction en Algérie date de 1863, la plantation massive de ces arbres ne se fera qu'à partir de 1950. Il y aurait environ 760 espèces d'eucalyptus admises. Seules quelques-unes ont été massivement introduites en Europe et dans d'autres régions tempérées et humides du globe et les espèces les plus connues sont [51] :

- *Eucalyptus camaldulensis* : le gommier rouge ;
- *Eucalyptus citriodora* : l'eucalyptus citronné, renommé *Corymbia citriodora* en 1995 ;
Eucalyptus cordata ;
- *Eucalyptus deglupta* : L'eucalyptus arc-en-ciel ;
- *Eucalyptus globulus* : le gommier bleu ;
- *Eucalyptus gundal* : hybride de *E. gunnii* et *E. dalrympleana*, introduit en France dans un but de production de biomasse ;
- *Eucalyptus gunnii* : l'eucalyptus à feuilles rondes, utilisé pour parfumer de nombreux produits ménagers ;
- *Eucalyptus pauciflora* : dont une sous espèce *E. pauciflora* subsp. *niphophila*, l'eucalyptus à feuilles lancéolées, ou Gommier des neiges (*nipho*, neige en grec) est le plus rustique de son espèce (-20°C) ;
- *Eucalyptus radiata* : l'eucalyptus radié ;
- *Eucalyptus regnans* : l'eucalyptus royal, le plus grand des eucalyptus ;
- *Eucalyptus sideroxylon* : l'eucalyptus à écorce de fer ;
- *Eucalyptus smithii* : l'eucalyptus de Smith.

Et parmi toutes ces espèces nous allons étudier l'eucalyptus *globulus*.

3.1.2.1 Définition

Eucalyptus globulus est connu sous le nom d' "arbre de fièvre" encore appelé eucalyptus globuleux, eucalyptus des pharmaciens, gommier bleu de Tasmanie de la famille des myrtacées. L'Eucalyptus Remède aborigène traditionnel, c'est un antiseptique puissant, utilisé dans le monde entier dans le traitement des toux, rhumes, maux de gorge et autres infections. Révulsif et stimulant, il a été longtemps appliqué sur la poitrine en cataplasme ou en friction, mélangé à d'autres huiles. Aussi l'odeur de l'eucalyptus stimule les cellules nerveuses du cerveau et augmente la concentration L'eucalyptus entre fréquemment dans la composition de nombreux remèdes courants contre le rhume [72].

L'eucalyptus cultivé dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées très exigeant en eau. On emploie les fleurs pour des infusions, et les feuilles pour des infusions et des inhalations. Ses feuilles sont aussi distillées pour produire de l'huile essentielle [13, 71]

3.1.2.2 Taxonomie

- **Règne** : Plante
- **Genres** : *Eucalyptus*
- **Nom scientifique** : *Eucalyptus globulus*
- **Nom vulgaire** : Gommier bleu
- **Famille** : Myrtacées
- **Embranchement** : Spermaphytes
- **Classe** : Dicotylédones
- **Sous classe** : Dialypétales.
- **Période de récolte** : Printemps

3.1.2.3 Description Botanique

- L'arbre de l'eucalyptus peut atteindre 40 m de haut, 100m en Australie.
- Les feuilles d'Eucalyptus en générale peuvent être de couleur blanche, crème, jaune, rose ou rouge. Généralement persistantes, ovales ou très allongées (Fig.3.4),
- L'Eucalyptus comporte plus de 500 espèces d'arbres et d'arbustes dont l'écorce est caduque. Le plus commun est l'Eucalyptus globulus (gommier bleu) dont les étamines des fleurs sont blanches, le tronc est gris-bleu, et les feuilles initialement bleu-vert deviennent vertes. Ses feuilles ovales dégagent une odeur de camphre.

- Les boutons floraux s'épanouissent au printemps,
- Le fruit est une capsule ligneuse en forme de pyramide renversée en couleur brune.



FIGURE 3.4: Feuilles et fleurs d'eucalyptus

3.1.2.4 Aspects photochimique

Les principaux constituants de l'eucalyptus sont :

- Flavonoïdes
- Tanins
- Résine

3.1.2.5 Les huiles essentielles d'*eucalyptus*

Une norme AFNOR définit l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus*. Celle-ci indique qu'il s'agit d'une huile essentielle obtenue par entraînement à la vapeur d'eau des feuilles et rameaux, broyés ou non, et récemment récoltés, d'*Eucalyptus globulus* Labillardière de la famille des Myrtaceae. On distingue les huiles essentielles crues provenant d'un broyat et celles traditionnellement distillées en vrac dans l'alambic. Cependant, les produits commercialisés sous les appellations : 70% - 75% et 80% - 85% sont des huiles essentielles rectifiées sous vide pour obtenir une teneur en cinéole-1,8 respectivement supérieure à 70% et 80%. L'huile essentielle est liquide, de couleur jaune à jaune pâle et dégage une forte odeur de 1,8-cinéole [13].

les principaux constituants de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* selon la norme AFNOR NF T75-225 sont donnés dans le tableau 3.3.

Les recherches menées depuis 50 ans sur l'huile essentielle d'eucalyptus ont permis de démontrer sa remarquable action antiseptiques et ses propriétés broncho-dilatantes

TABLE 3.3: Spécifications physico-chimiques de l'huile essentielle d'Eucalyptus globulus [13]

Constituants	Huiles essentielles crues		Huiles essentielles rectifiées	
	Broyées en vert	Traditionnelle	70% à 75%	80% à 85%
minimum %	10	10	Traces	Traces
A-pinène	20	22	20	12
maximum %				
minimum %	2	1	2	2
Cinéole-1,8				
maximum %	4	8	15	15
minimum %	1	1	1	1
Para-cymène				
maximum %	3	5	6	10
minimum %	1	1	Traces	Traces
Trans-pinocarvéol				
maximum %	4	5	10	6
minimum %	6	1	-	-
Aromadendrène				
maximum %	10	5	Traces	Traces
minimum %	0,5	0,5	-	-
Globulol				
maximum %	2,5	1,5	Traces	Traces

l'huile essentielle entière est plus efficace que le cméol, son principal constituant obtenu par distillation à la vapeur des feuilles, l'huile essentielle est riche de composants divers, parmi lesquels on trouve principalement de l'eucalyptol, excellent antiseptique pulmonaire ; mais d'autres composants (pinène, camphène, eucalyzène) lui confèrent un pouvoir bactéricide prouvé [72].

3.1.2.6 Usage traditionnelle et propriétés pharmaceutiques d'*eucalyptus*

Grâce à sa composition, l'huile essentielle d'Eucalyptus globulus est douée de certaines propriétés [13, 51, 71–73].

- **Infections** : les aborigènes l'employaient contre les infections et les fièvres. Il est désormais utilisé dans le monde entier pour traiter ces affections,
- Antiseptique : cette plante est efficace pour soigner rhumes et maux de gorge,
- Expectorant : puissant expectorant utilisés dans le traitement des infections pulmonaires, y compris les bronchites et les pneumonies,
- Révulsif : appliquée en friction sur la poitrine ou les sinus, en infusion ou en gargarisme, l'huile essentielle diluée a un effet révulsif et anesthésique qui contribue à soulager les infections respiratoires,

- Grâce à la présence de 1,8-cinéole, l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* va être douée de propriétés antibactériennes et cicatrisantes,
- l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* présente des propriétés antifongiques.
- L'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* possède une activité antivirale. En effet, Des études ont démontré que les huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus* et de Tea tree possèdent une forte activité antivirale contre Herpes Simplex Virus (HSV).

3.2 Synthèse bibliographique des travaux antérieurs

Les huiles essentielles (HE) sont constituées d'un mélange complexe de composés phytochimiques volatils de diverses classes, y compris les monoterpènes, les sesquiterpènes et les phénylpropanoïdes. De nombreux chercheurs ont étudié les propriétés antibactériennes, antifongiques, antioxydantes et antivirales avec une activité observée contre une grande variété de virus, tels que le virus de la grippe. Dans cette partie, nous allons rapporter quelques travaux réalisées sur l'activité des deux plantes choisies pour cette étude. Une troisième synthèse des travaux antérieurs sera consacré à une étude comparative des modes d'extraction des huiles essentielles.

3.2.1 Travaux réalisés sur *Inula viscosa*

Mahmoudi et coll. [74], ont réalisé une analyse phytochimique des feuilles d'*Inula viscosa*. Les résultats obtenus montrent la quantité élevée de lipides totaux (6,14 %) dans les feuilles. L'analyse chromatographique a révélé la teneur élevée en acides gras insaturés. Elle a également montré une bonne qualité nutritionnelle vis-à-vis les acides α -linoléique et linoléique. Ils ont aussi évalués les propriétés antioxydantes et antifongique et comparées au profil phénolique par l'analyse chromatographie en phase liquide à haute performance et spectrométrie de mass. L'huile volatile extraite de cette plante par hydrodistillation a été analysée par chromatographie en phase gazeuse- spectrométrie de masse a montré l'abondance de composés non terpéniques, à savoir les alcanes aliphatiques. La teneur totale en phénols et la teneur totale en flavonoïdes étaient plus élevées dans les feuilles d'*Inula viscosa*. Les résultats de cette étude montrent que les feuilles d'*Inula viscosa* peuvent être considérées comme une source consolidée d'acides gras essentiels, principalement α -acides linoléique et linoléique. De plus, elles contiennent des

quantités appréciables de composés phénoliques dont les acides phénoliques, reconnus pour leur forte activité biologique, sont les plus abondants. En plus de sa forte activité antioxydante, il existe des preuves convaincantes que les extraits d'*Inula viscosa* présentent une activité antifongique.

L'étude réalisée par Ghalem et coll. [75] sur l'activité antibactérienne et antioxydante des huiles essentielles d'*Inula viscosa* confirme son activité antioxydante. En effet, les huiles essentielles obtenues par hydrodistillation des feuilles présentent un rendement est de 0.12%. Les résultats obtenus concernant l'activité antioxydante rapporte un excellent pouvoir antioxydant obtenu à 50% d'HE d'*Inula viscosa*. Les résultats enregistrés de l'activité antibactérienne montrent une efficacité des HE sur la souche *staphylococcus aureus* par contre l'absence totale de l'effet vis-à-vis la souche *Escherichia coli*. Les résultats obtenus dans cette étude montrent que l'huile essentielle algérienne d'*Inula viscosa* peut être une nouvelle source potentielle d'antioxydants naturels et d'agents antimicrobiens pour les industries alimentaire, pharmaceutique et cosmétique.

Brahmi-Chendouhet coll.[76] ont étudié les activités antioxydantes et cytotoxiques de l'extrait aqueux de cette plante. Ces extraits d polyphénols d'*Inula viscosa* sont obtenus par l'extraction avec le Soxhlet. Les analyses UHPLC-HRMS ont révélé des quelques composés inhabituels comme principaux métabolites secondaires. Ces composés, ainsi que les phénols de type cinchonaine et les glycosides d'hydroxycinnamoyl-flavonol, sont rapportés pour la première fois dans l'*Inula viscosa*. Les résultats obtenus ont mis en évidence que les feuilles d'*Inula viscosa* ont une diversité importante en constituants polyphénols, cette évaluation des antioxydantes et de la viabilité cellulaire encourage l'utilisation de cette source comme une source renouvelable de composés nutraceutiques.

Haoui et coll. [67] ont étudié et déterminer la composition chimique de l'huile essentielle de *Inula viscosa* (L) croissant en Algérie par la méthode d'analyses GC / MS, et comparé avec les données de la littérature. Les résultats présentés dans cette étude sont les premières informations fournies sur la composition chimique de l'huile essentielle des feuilles d'inula viscosa d'Algéri. L'huile de ces feuilles a été obtenues par extraction de matière végétale séchée par deux méthodes d'extraction, hydrodistillation et distillation

par entraînement de la vapeur, en utilisant un appareil de type Clevenger. L'identification des constituants de deux échantillons a été faite sur la base de la comparaison de leurs indices de rétention et spectres de masse avec ceux des composés de référence de la littérature, en utilisant la GC/MS. Les résultats obtenus ont marqué une quantité élevée de sesquiterpènes oxygénés (0.257 %) par la méthode de distillation à la vapeur par rapport à l'hydrodistillation (0.043 %) presque 6 fois plus. Ceci traduit que les sesquiterpènes oxygénés sont la fraction principale des deux méthodes utilisées. D'après cette étude les auteurs ont constatés que l'huile essentielle d'*Inula viscosa* peut être une bonne source de composés acides sesquiterpènes.

Kheyar et coll. [77], ont évalués l'activité antibactérienne des huiles essentielles d'*Inula viscosa*, *Salvia officinalis* et *Laurus nobilis* in vitro par la méthode de diffusion sur gélose contre des souches de référence et multirésistante. Ils ont également examiné les propriétés antibactériennes de trois huiles essentielles à quatre dilutions (1/1, 1/2, 1/4 et 1/8) préparées avec du DMSO (diméthylsulfoxyde) contre cinq organismes. Ils ont trouvé que les huiles essentielles d'*Inula viscosa* avaient une activité inhibitrice contre *S. aureus* et *E. coli* à toutes les dilutions. Ceci est en contradiction avec le résultat trouvé par où il a noté l'absence totale de l'effet vis-à-vis la souche *Escherichia coli*.

Le cancer colorectal (CCR) est le deuxième cancer le plus fréquent chez les femmes et le troisième chez les hommes dans le monde. Le traitement conventionnel du CCR est limité par des effets secondaires sévères et par le développement d'une résistance. Par conséquent, des thérapies supplémentaires sont nécessaires. Bar-Shalom et coll [78] ont étudiés l'effet inhibiteur de l'extrait d'*Inula viscosa* contre la croissance des cellules cancéreuses colorectales in vitro et in vivo par l'induction de l'apoptose. Dans leur étude, ils ont examiné les effets bénéfiques potentiels de l'extrait aqueux de feuilles IV sur la croissance des cellules cancéreuses du côlon in vitro et in vivo. Leurs résultats ont indiqué que l'exposition des cellules cancéreuses colorectales à l'extrait d'*Inula viscosa* réduisait de manière significative la viabilité cellulaire d'une manière dépendante de la dose et du temps. In vivo des études ont révélé que le traitement avec 150 ou 300 mg / kg d'extrait d'*Inula viscosa* inhibait la croissance tumorale chez les souris. Le poids et le volume des tumeurs étaient significativement ($P < 0,001$) réduit par rapport au groupe témoin non traité. Ces résultats peuvent indiquer que les doses actives d'extrait d'*Inula viscosa* ne sont pas toxiques. Des études complémentaires sont nécessaires pour

identifier la structure des composés actifs. Les résultats de cette étude peuvent contribuer au développement de stratégies nouvelles et efficaces pour le traitement du cancer du côlon.

3.2.2 Travaux réalisés sur *Eucalyptus globolus*

Huile d' eucalyptus et de son principe actif, le 1,8-cinéole ont été montré aux effets myorelaxants d'exposition en diminuant les contractions des muscles lisses des voies respiratoires induites par différents agents. De plus, des études cliniques ont indiqué que l'inhalation de cinéole (extrait d'eucalyptus) exerçait des effets anti-inflammatoires (en bloquant la libération de cytokines) et analgésiques. Par conséquent, il peut être utilisé efficacement dans la BPCO et les patients asthmatiques. Diverses études in vitro et ex vivo ont été menées pour étudier les effets des huiles d'eucalyptus et des traitements à l'eucalyptol sur les monocytes et le recrutement des macrophages en réponse à l'inflammation et aux infections pulmonaires. Les données de ces études démontrent des propriétés immunomodulatrices marquées à la fois de l'huile d'eucalyptus et de son principe actif, à savoir l'eucalyptol. Les deux traitements ont réduit la libération de cytokines pro-inflammatoires de monocytes et les macrophages, mais leurs propriétés phagocytaires ne sont pas stoppées. Prises ensemble, les données des essais précliniques et cliniques indiquent le potentiel thérapeutique prometteur qui réside dans l'huile d'eucalyptus et son constituant actif, à savoir l'eucalyptol dans la prévention et le traitement du COVID-19. Par conséquent, de nouvelles études sont nécessaires de toute urgence à cet égard [79]

Silva, et coll [80] ont fait une étude pour évaluer les effets analgésiques et anti-inflammatoires des huiles essentielles des espèces d'Eucalyptus : *Eucalyptus citriodora* (CE), *Eucalyptus tereticornis* (ET) et *Eucalyptus globulus* (EG), en utilisant divers modèles de test expérimentaux standard. Il s'agit de la première tentative de traiter de manière globale ces propriétés ethnopharmacologiques de l'eucalyptus. Dans leur étude, Ils ont effectué des expériences sur les rats males wistar (150-250g) et des souris albinos suisses mâles ou femelles (20-25g), et ils ont employées deux méthodes différentes de test analgésique dans le but d'identifier les effets périphériques et centraux possible des substances de test. Ils ont utilisé à la fois les contorsions induites par l'acide acétique et la stimulation thermique par plaque chauffante. Ils ont observé que les huiles essentielles de (EC),

(ET) et (EG) possédaient des effets analgésiques contre les deux modèles, et que l'huile (ET) semble induire une activité analgésique plus élevée dans la plupart des cas. Ils ont trouvé aussi que les extraits d'huiles essentielles des trois espèces d'eucalyptus ont produit des effets anti-inflammatoires avec une efficacité plus marquante des extraits d'huile (ET). Cependant, aucun résultat cohérent n'a été observé pour certains des paramètres évalués, à la fois en termes d'activités et de relations dose-réponse, reflétant la nature complexe des extraits d'huile et / ou des systèmes de dosage utilisés. Les données suggèrent que les extraits d'huiles essentielles de (EC), (ET) et (EG) possèdent des effets analgésiques centraux. Ces premières observations confirment l'utilisation rapportée de la plante d'eucalyptus dans la médecine traditionnelle.

Gray et coll. [81] ont étudié l'actions antihyperglycémiques de *Eucalyptus globulus*. Dans cette étude, l'incorporation d'eucalyptus dans l'alimentation (62,5 g/ kg) et l'eau potable (2,5 g/ L) a réduit l'hyperglycémie et la perte de poids associée des souris traitées à la streptozotocine. Un extrait aqueux d'eucalyptus (AEE) (0,5 g/ L) a amélioré le transport du 2-désoxy-glucose de 50%, l'oxydation du glucose de 60% et l'incorporation du glucose dans le glycogène de 90% dans le muscle abdominal de la souris. Cette étude indique que *Eucalyptus globulus* représente un complément alimentaire antihyperglycémique efficace pour le traitement du diabète et une source potentielle pour la découverte de nouveaux agents oralement actifs pour une thérapie future.

3.2.3 Etudes comparative des modes d'extraction des huiles essentielles

Sandrine Périno-Issartie et coll.[82] ont réalisé une étude comparative de la capacité de différentes méthodes d'extraction (conventionnelles et innovantes) des huiles essentielles des fleurs de lavandin afin de trouver les plus avantageuses en termes de cinétique d'extraction, de qualité et de quantité des huiles essentielles. Dont le rendement, le temps d'extraction, la composition de l'huile essentielle et l'analyse sensorielle ont été les principales caractéristiques de cette comparaison. Les résultats obtenus montrent que les huiles essentielles de fleur de lavandin extraites en utilisant les différentes méthodes étaient quantitativement (rendement) et qualitativement (profil aromatique) assez similaires dans leur composition et la seule différence observée dans le temps d'extraction

pour la méthode d'hydro-diffusion assisté par microondes qui a donné des meilleurs résultats (rendement maximum (5.4 %)) dans un temps d'extraction réduit (en seulement 15 min) et n'a donné aucune différence dans la perception sensorielle.

Gavahian, et coll. [83] ont étudié les avantages de l'hydrodistillation assisté par microondes (MAHD) et par le chauffage ohmique (OAHD) pour l'extraction des huiles essentielles de la partie aérienne séchée de la menthe poivrée. Ils ont également tenté de comparer le temps d'extraction et la composition aromatique des extraits de ces deux méthodes avec ceux de hydrodistillation (HD), ils ont considéré cette dernière comme méthode d'extraction de référence. Les résultats obtenus ont montré une rapidité d'extraction de toutes les huiles essentielles pour les méthodes MAHD et OAHD en un temps moins d'une demi-heure, alors que HD nécessite environ une heure pour la collection de toutes les huiles. L'analyse GC-MS a indiqué que la composition de toutes les huiles essentielles obtenues par toutes ces méthodes a été presque similaire. Ces résultats ont montré l'OAHD et l'MAHD comme les meilleures techniques pour l'accélération de processus d'extraction, grâce à leur haute sélectivité dans la récupération des composés volatils par rapport aux méthodes traditionnelles. Les résultats de cette recherche étaient conformes aux précédents articles sur l'application de l'OAHD et du MAHD. les mêmes constatations sont enregistrées par l'étude réalisé par Abert Vian, et coll.[84] où ont comparé le potentiel de Hydrodiffusion Micro-ondes et Gravité (MHG) à une méthode conventionnelle d'hydrodistillation. Ces résultats confirment ceux déjà rapportés [82] qui indiquent que l'utilisation des micro-ondes permet d'accélérer les extractions contrairement à d'autres méthodes.

D'après ces études on conclut que les nouveaux systèmes développés à ce jour indiquent que l'extraction par micro-ondes en combinaison avec l'hydrodiffusion et la gravité offre des avantages nets en termes de rendement et de sélectivité, avec un meilleur temps d'extraction, une meilleure composition des huiles essentielles et est respectueuse de l'environnement.

Conclusion

Ce travail de mémoire s'inscrit dans le cadre de la valorisation des richesses naturelles de la région de Bouira. Nous avons fixés deux objectifs pour cette étude. Le premier objectif est l'évaluation des effets thérapeutiques des huiles essentielles de plantes locales choisies (*Inula viscosa et eucalyptus globolus*) et le second concerne l'étude de l'efficacité des procédés d'extraction à travers la recherche bibliographique sur la base des travaux antérieurs réalisés.

A travers l'étude bibliographique, il ressort que les huiles essentielles constituent une alternative thérapeutique complémentaire à la médecine classique. Elles présentent plusieurs activités biologiques telles que : l'activité antibactérienne, l'activité antioxydante, l'activité fongicide, anti-inflammatoires, immunomodulatrices, bronchodilatatrices et antivirales.

La valorisation d'un travail scientifique de recherche s'accomplit par la caractérisation qualitative, quantitative ou structurale des échantillons. Dans le cas des huiles essentielles, nous avons présenté les caractérisations les plus importantes soit pour l'identification soit pour la quantification. Les techniques d'analyses appropriées et performantes basées sur l'utilisation d'une combinaison des méthodes chromatographiques et leur détermination structurale grâce à l'utilisation des techniques adaptées.

L'étude approfondie sur deux espèces qui sont très répandues dans la région de Bouira, dotées de dévers pouvoirs thérapeutiques anti-bactériennes et antioxydant. Ils sont particulièrement intéressants par leurs propriétés anti-infectieuses et cicatrisantes très significatives en dermatologie. Les travaux antérieurs sur les deux plantes choisies ; *Inula viscosa et eucalyptus globolus* ont montré les grandes potentialités de leurs huiles essentielles en raison de l'importance et la diversité des effets thérapeutiques des deux plante

mis en évidence par ces travaux.

En relation avec l'actualité marquée par la pandémie de coronavirus de 2019 (COVID-19) une récente étude [79] a mis en évidence l'effet thérapeutique des huiles essentielles d'*eucalyptus globolus*. En fait, cette crise sanitaire a fait remonter en surface l'utilisation des plantes médicinales et les huiles essentielles (HE) qui sont au centre d'intérêt des scientifiques comme le seul moyen de prévention au moment où les médicaments approuvés disponibles avec une efficacité établie sont rares où inexistants.

En terme de ce travail, afin de mettre en valeur cette étude bibliographique il serait intéressant de :

- réaliser la partie pratique et mettre en évidence les propriétés des deux plantes *Inula viscosa et eucalyptus globolus* choisies.
- développer un procédé efficace d'extraction des huiles essentielle en combinant entre deux procédés comme il a été rapporté par les travaux antérieurs en ce sujet.

Bibliographie

- [1] S. Calsamiglia; M. Busquet; P. W. Cardozo; L. Castillejos; A. Ferret. Invited review : Essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*, 90(6) :2580–2595, 2007.
- [2] P. B. Kaufman; L. J. Cseke; S. Warber; J. A. Duke; H. L. Briemann. *Natural products from plants*. CRC Press; LLC, 1999.
- [3] T. Saika; W. Saira; W. Rasoola; S. Khushboo; A. B. Muzzaffar; A. Prabhakar; H. S. Aabid; A. R. Manzoor. A comprehensive review of the antibacterial, antifungal and antiviral potential of essential oils and their chemical constituents against drug-resistant microbial pathogens. *Microbial Pathogenesis*, 134 :103580, 2019.
- [4] S. B. Singh; J. F. Barrett. Empirical antibacterial drug discovery-foundation in natural products. *biochemical pharmacology*, 71 :1006–1015, 2006.
- [5] K. Hüsnü; C. Baser; Gerhard Buchbauer. *Handbook of Essential Oils Science; technology and Application*. CRC Press, Taylor and Francis group edition, 2010.
- [6] M. A. Varol; M. Jacotet-Navarro; M. P. Serratosa; J. Mérida; A. S. Fabiano-Tixier; A. Bily; F. Chemat. Green ultrasound-assisted extraction of antioxidant phenolic compounds determined by high performance liquid chromatography from bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) juice by-products. *Valorisation des déchets et de la biomasse le volume*, pages (2019), 10 :1945–1955, 2019.
- [7] F. Chemat; S. Perino-Issartier; C. Ginies; G. Cravotto. A comparison of essential oils obtained from lavender via different extraction processes : Ultrasound, microwave,

- turbohydrodistillation, steam and hydrodistillation. *Journal of Chromatography A*, 1305 :41–47, 2013.
- [8] J. Paolini. *Caractérisation des huiles essentielles par CPG/Ir;CPG/SM(IE et IC) et RMN du carbone-13 de Cistus albidus et de deux Asteraceae endémiques de Corse : Eupatorium cannabinum subsp. corsicum et Doronicum corsicum*. Phd, Chimie. Université de Corse, France, 2005.
- [9] R. Bessah; E. Benyoussef. La filière des huiles essentielles etat de l'art, impacts et enjeux socioéconomiques. *Revue des Energies Renouvelables*, 18(3) :513–528, 2015.
- [10] M. N.Boukhatem;A. Ferhat ; et A. Kameli. Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles : revue de littérature. *Revue Agrobiologia*, 9(2) :1653–1659, 2019.
- [11] S. Joualt. *La qualité des huiles essentielles et son influence sur leur efficacité et sur leur toxicité*. Phd, Université de Lorraine, France, 2012.
- [12] H. Berhail Boudouda. *Etude phytochimique et biologique des espèces Biscutella raphanifolia Zilla macroptera, Inula graveolens et Inula viscosa*. Phd, Université de Constantine, Algérie, 2014.
- [13] N. Koziol. *Huiles essentielles d'Eucalyptus globulus; d'Eucalyptus radiata et de Corymbia citriodora : qualité, efficacité et toxicité*. Phd, Université de Lorraine, France, 2015.
- [14] S. Comberlink; G. W. DU Plooy; R. I. McCRindle; B. M. Botha. Morphology and histochemistry of the glandular trichomes of lippia scaberrima (verbenaceae). *Annals of Botany*, 99 :1111–1119, 2007.
- [15] Khenaka. *Effet de diverses plantes médicinales et de leurs huiles essentielles sur la méthanogénèse ruminale chez l'ovin*. magister, Université Mentouri Constantine, 2011.
- [16] F. Tchoumboungang; P. M. Jazet Dongmo; M. Lambert Sameza; E. Gaby Nkouaya Mbanjo; G. B. Tiako Fotso; P. Henri Amvam Zollo; C. Menut. Activité larvicide sur anopheles gambiae giles et composition chimique des huiles essentielles extraites de quatre plantes cultivées au cameroun. *Biotechnol. Agron. Soc. Environnement*, 13(1) :77–84, 2009.

- [17] N. Grosjean. *Les huiles essentielles*. EYROLLES, Paris, 2015.
- [18] J. Kaloustian ;F. Hadji Minaglou. *La connaissance des huiles essentielles : qualitative et aromathérapie*. Springer, Paris, 2012.
- [19] N. Bousbia. *Extraction des huiles essentielles riches en anti-oxydants à partir de produits naturels et de co-produits agroalimentaires*. Phd, Université d'Avignon, France, 2011.
- [20] F. Jamshidi-Kia¹ ; Z. Lorigooini ; H. Amini-Khoei. Medicinal plants : Past history and future perspective. *Journal of Herbmed Pharmacology*, 7(1) :1–7, 2018.
- [21] A. Sofowora. *plantes médicinales et médecine traditionnelle en Afrique*. Karthala edition, 2010.
- [22] R. O. B. Wijesekera. *The Medicinal Plant Industry*. CRC Press LLC, CRC Press LLC, 1991.
- [23] P. Tongnuanchan ; S. Benjakul. Essential oils : Extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. *Journal of Food Science*, 79(7) :R1231–R1249, 2014.
- [24] AFNOR. *Huiles essentielles ; Tome1 Echantillonnage et méthode d'analyse 471 P. Tome 2 ; Volume 1 Monographie relative aux huiles essentielles 323 P. Tome 2 ; Volume 2 Monographie relative aux huiles essentielles 663 P*. PARA Graphic, Paris, afnor edition, 2000.
- [25] N. Benayad. Les huiles essentielles extraites des plantes médicinales marocaines : moyen efficace de lutte contre les ravageurs des denrées alimentaires stockées. Rapport, Eclair Département de Chimie Faculté des Sciences de Rabat, Laboratoire des Substances Naturelles et Thermolyse ; Maroc, 2008.
- [26] R. Deschepper. *Variabilité de la composition des huiles essentielles et intérêt de la notion de chemotype en aromathérapie*. Phd, Université Marseille, France, 2017.
- [27] J. Bruneton. *Pharmacognosie ; phytochimie ; Plantes médicinales*. Lavoisier, Paris, 1993.
- [28] S. Malek. *Essential Oil Research Trends in Biosynthesis ; Analytics ; Industrial Applications and Biotechnological Production*. Springer, 2019.

- [29] J. Sikkemat ; J. A. M. De Bontt ; B. Poolman. Interactions of cyclic hydrocarbons with biological membran. *Biological CHEMISTRY*, 269(11) :8022–8028, 1994.
- [30] E. Guinoiseau. *Molécules antibactériennes issues d'huiles essentielles : séparation ; identification et mode d'action*. Phd, Université de Corse, France, 2010.
- [31] S. P. Denyer. Mechanisms of action of antibacterial biocides. *International Biodegradation and Biodegradation*, 8305 :221–245, 1995.
- [32] H.J.D. Dorman ; S.G. Deans. Antimicrobial agents from plants : antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, 88 :308–316, 2000.
- [33] A. Pauli. Antimicrobial properties of essential oil constituents. *International Journal of Aromatherapy*, 11(3) :126–133, 2001.
- [34] A. Bouzabata. *Contribution à l'étude d'une plante médicinale et aromatique myrtus communis L.* Phd, Université Badji-Mokhtar ; Annaba, Algérie, 2015.
- [35] D. J. Newman ; G. M. Cragg ; K. M. Snader. Natural products as sources of new drugs over the period 1981-2002. *Journal Natural Products*, 66 :1022–1037, 2003.
- [36] U. ö zgen ; A. Mavi ; Z. Terzi ; A. Yildirim ; M. Cos kun ; P.J. Houghton. Antioxidant properties of some medicinal lamiaceae (labiatae) species. *Pharmaceutical Biology 2006, Vol. 44, No. 2, pp. 107–112*, 44(2) :107–112, 2006.
- [37] B. Bayala. *Etude des propriétés anti-oxydantes ; anti-inflammatoires ; anti-prolifératives et anti-migratoires des huiles essentielles de quelques plantes médicinales du Burkina Faso sur des lignées cellulaires du cancer de la prostate et de glioblastomes*. Phd, Université Blaise Pascal, France, 2014.
- [38] J. LAURENT. *Conseils et utilisations des huiles essentielles les plus courantes en officine*. Phd, Université Paul Sabatier Toulouse III, France, 2017.
- [39] A. E. Edris. Pharmaceutical and therapeutic potentials of essential oils and their individual volatile constituents : A review. *Phytotherapy research*, 21 :308–323, 2007.
- [40] H. Alfatemi ; M. Iriti ; M. Sharifi-Rad ; M. Sharifi-Rad J. Sharifi-Rad ; M. Sharifi-Rad ; S. Mahsan. Composition, cytotoxic and antimicrobial activities of satujeja intermedia c.a.mey essential oil. *International Journal of Molecular Sciences*, 16 :17812–17825, 2015.

- [41] N. Zahed ; K. Hosni ; N. Ben Brahim ; M. Kallel ; H. Sebei. Allelopathic effect of schinus molle essential oils on wheat germination. *Acta Physiol Plant*, 32 :1221–1227, 2010.
- [42] T. Moon ; J. M. Wilkinson ; H. M. A. Cavanagh. Antiparasitic activity of two lavender essential oils against giardia duodenalis ; trichomonas vaginalis and hexamita inflata. *Parasitol Res*, 99 :722–728, 2006.
- [43] M. HUNTER. *Essential oils : art ; agriculture ; science ; industry and entrepreneurship*. Nova Science, New York, 2009.
- [44] C. Regnault-Roger et A. Hamraoui. Lutte contre les insectes phytophages par les plantes aromatiques et leurs molécules allelochimiques. *Botanica Gallica*, 144(4) :401–412, 2013.
- [45] O. Koul ; S. Walla ; G. S. Dhaliwal. Essential oils as green pesticides : Potential and constraints. *Biopestic. Internationnal*, 4(1) :63–84, 2008.
- [46] L. LAKHDAR. *Evaluation de l'activité antibactérienne d'huiles essentielles marocaines sur aggregatibacter actinomy cetemcomitans : Etude in vitro*. Phd, Université Mohammed V, Maroc, 2015.
- [47] C. Desmares ; A. Laurent ; C. Delerme. Recommandations relatives aux critères de qualité des huiles essentielles. Rapport, Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé, 2008.
- [48] J. M. BLAKEWAY ; M. SEU-SALERNO. Substantivity of perfume materials to hair. *International Journal of Cosmetic Sciences*, 5 :15–23, 1983.
- [49] M. Rafatullah M. Ganash M. A. Kama ; M. A. Ghulam A. A. Zarith Asyikin ; A. Akil ; M. S. Siti Hamidah, A. Karakucuk ; Muhammad Mohsin A. ; D. Lokhat. Essential oils : Extraction techniques, pharmaceutical and therapeutic potential ; areview. *Current Drug Metabolism*, 19 :0–11, 2018.
- [50] C. Regnault-Roger. The potential of botanical essential oils for insect pest control. *Integrated Pest Management Reviews*, 2 :25–34, 1997.
- [51] K. Taleb-Toudert. *Extraction et caractérisation des huiles essentielles de dix plantes aromatiques provenant de la région de Kabylie (Nord Algérien)*. *Evaluation de leurs*

- effets sur la bruche du niébé Callosobruchus maculatus (Coleoptera : Bruchidae).* Phd, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2015.
- [52] M. Neffati et M. Sghaier. Développement et valorisation des plantes aromatiques et médicinales (pam) au niveau des zones désertiques de la région mena (algérie, égypte, jordanie, maroc et tunisie). Technical report, Observatoire du Sahara et du Sahel, 2014.
- [53] D. Toure. *Etudes chimique et biologique des huiles essentielles de quatre plantes Aromatiques médicinales de côte d'ivoire.* Phd, Université Felix Houphoet Boigny, Côte d'Ivoire, 2015.
- [54] Y. Li. *Essential Oils : From Conventional to Green Extraction*, chapter 2, pages 9–18. Springer, 2014.
- [55] D. Mnayer. *Eco-Extraction des huiles essentielles et des arômes alimentaires en vue d'une application comme agents antioxydants et antimicrobiens.* Phd, Université d'Avignon, France, 2014.
- [56] M. Yousefi ; M. Rahimi-Nasrabadi ; S. M. Pourmortazavi ; M. Wysokowski ; T. Jesionowski ; H. Ehrlich ; S. Mirsadeghi. Supercritical fluid extraction of essential oils. *Trends in Analytical Chemistry*, 18(182-193), 2019.
- [57] F. Shahidi M. Gavahiana ; A. Farahnakyb ; R. Farhoosha ; K. Javidniad. Extraction of essential oils from mentha piperita using advanced techniques : Microwave versus ohmic assisted hydrodistillation. *food and bioproducts processing*, 94 :50–58, 2015.
- [58] F. Chemat M. Abert Vian ; X. Fernandez, F. Visinoni. Microwave hydrodiffusion and gravity ; a new technique for extraction of essential oils. *Journal of Chromatography A*, 1190 :14–17, 2008.
- [59] E. Bruce Brian ; A. Jones ; L. John Ezzell ; L. Nathan Porter. Accelerated solvent extraction : A technique for sample preparation. *Anal. Chem.*, 68 :1033–1039, 1996.
- [60] L.B. Fay. Application du couplage chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse en tandem (cpg/sm/sm) à l'analyse de produits alimentaires. *Analisis Magazine*, 26(1) :28–32, 1998.

- [61] J. F. Cavalli. *Caractérisation par CPG/IK ; CPG/SM et RMN du carbone-13 d'huiles essentielles de Madagascar*. Phd, Université Pascal Paoli, France, 2002.
- [62] D. Ouraïni ; A. Agoumi ; M. Ismaïli-Alaoui ; K. Alaoui ; Y. Cherrah ; M. Amrani ; M.A. Belabbas. Étude de l'activité des huiles essentielles de plantes aromatiques à propriétés antifongiques sur les différentes étapes du développement des dermatophytes. *Phytothérapie*, 4 :147–157, 2005.
- [63] K.I. Suhr ; P.V. Nielsen. Antifungal activity of essential oils evaluated by two different application techniques against rye bread spoilage fungi. *Journal of Applied Microbiology*, 94 :665–674, 2003.
- [64] M. Lahlou. Essential oils and fragrance compounds : bioactivity and mechanisms of action. *Flavour Fragrance*, 19 :159–165, 2004.
- [65] B. Ramli. Extraction des flavonoïdes de la plante inula viscosa de la région d'Oran et mise en évidence de l'activité microbienne. Magister, Université d'Oran, Algérie, 2013.
- [66] D. Boumaza. *Séparation et caractérisation chimique quelques Biomolécules actives de deux plants médicinaux Inula Viscosa ; Rosmarinus officinalis de région d'Oran*. Magister, Université d'Oran, Algérie, 2011.
- [67] I. E. Haoui ; R. Derriche ; L. Madani ; Z. Oukali. Analysis of the chemical composition of essential oil from Algerian inula viscosa (L.) Aiton. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(4) :587–590, 2015.
- [68] S. Benayache ; F. Benayache ; H. Dendoughi ; M. Jay. Les flavonoïdes d'inula viscosa L. *Plantes Médicinales Et Phytothérapie*, 4 :170–176, 1991.
- [69] H. Baydar ; F. Gürel. The pollen collection activity and preference of honey bees (*Apis mellifera*) in the natural habitat of Antalya and some morphological and quality properties of different pollen types. *Journal of Agriculture and Forestry*, 22 :475–482, 1998.
- [70] J. Lecomte. *Lutter naturellement contre la Mouche de l'Olive*. EDISUD, Saint-Rémy de Provence ; France, 2015.

- [71] G. Atmani-Merabet ; S. Fellah ; A. Belkhiri. Comparative study of two eucalyptus species from algeria : chemical composition, toxicity and acaricidal effect on varroa destructor. *Current Issues in Pharmacy and Medical Sciences*, 33(3) :144–148, 2020.
- [72] J. J.W. Coppen. *Eucalyptus The Genus Eucalyptus*. Taylor & Francis, New York ;USA, 2002.
- [73] H. Oulebsir-Mohandkaci ; S. Ait Kaki ; B. Doumandji-Mitiche. Essential oils of two algerian aromatic plants thymus vulgaris and eucalyptus globulus as bio-insecticides against aphid myzus persicae (homoptera : Aphididae. *Wulfina journal*, 22(2) :185–197, 2015.
- [74] H. Mahmoudi ; K. Hosni ; A. Ismail ; N. BenHamida. comprehensive phytochemical analysis ; antioxidant and antifungal activities of inula viscosa aiton leaves. *journal of food safety*, 36(1) :77–88, 2016.
- [75] B. R. Ghalem ; N. Halima. Antibactérien et antioxydant activités de huile essentielle d’inula viscosa l. du nord-ouest de l’algérie. *Progrès de la pharmacognosie et Phytomédecine*, 1(1) :10–16, 2015.
- [76] G. Crescente F. Pacifico N. Brahmi-Chendouh, S. Piccolella. A nutraceutical extract from inula viscosa leaves : UHPLC-MS/MS based polyphenol profile and antioxidant and cytotoxic activities. *journal of food and drug analysis*, 27 :692–702, 2019.
- [77] N. Kheyar ; D. Meridja ; K. Belhamel. Etude de l’activité antibactérienne des huiles essentielles d’inula viscosa, salvia officinalis et laurus nobilis de la région de bejaia. *Algerian Journal of Natural Products*, 2(1) :18–26, 2014.
- [78] R. Bar-Shalom ; M. Bergman ; S. Grossman ; N. Azzam ; L. Sharvit ; F. Fares. Inula viscosa extract inhibits growth of colorectal cancer cells in vitro and in vivo through induction of apoptosis. *Frontiers in oncology*, 9(127) :1–14, 2019.
- [79] M. Asif ; M. Saleem ; M. Saadullah ; H. S. Yaseen ; R. Al Zarzour. Covid-19 and therapy with essential oils having antiviral ; anti-inflammatory ; and immunomodulatory properties. *Inflammopharmacology*, 28 :1153–1161, 2020.
- [80] J. Silvaa ; W. Abebeb. S.M. Sousaa ; V.G. Duartea ; M.I.L. Machadoc ; F.J.A. Matosc. Analgesic and anti-inflammatory effects of essential oils of eucalyptus. *Journal of Ethnopharmacology*, 89 :277–283, 2003.

- [81] A. M. Gray ; R. Peter. Antihyperglycemic actions of eucalyptus globulus (eucalyptus) are associated with pancreatic and extra-pancreatic effects in mice. *American Society for Nutritional Sciences*, 128 :2319–2323, 1998.
- [82] S. Périno-Issartier ; C. Ginies ; G. Cravotto ; F. Chemat. A comparison of essential oils obtained from lavandin via different extraction processes : Ultrasound ; microwave ; turbohydrodistillation ; steam and hydrodistillation. *Journal of Chromatography A*, 1305 :41–47, 2013.
- [83] M. Gavahiana ; A. Farahnaky ; R. Farhoosha ; K. Javidniad ; F. Shahidi. Extraction of essential oils from mentha piperita using advanced techniques : Microwave versus ohmic assisted hydrodistillation. *food and bioproducts processing*, 94 :50–58, 2015.
- [84] M. Abert Viana ; X. Fernandez ; F. Visinoni ; F. Chemat. Microwave hydrodiffusion and gravity, a new technique for extraction of essential oils. *Journal of Chromatography A*, 1190 :14–17, 2008.

Résumé

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation des sources naturelles. Elle se porte sur l'étude bibliographique des huiles essentielles de deux plantes répandues dans la région de Bouira. Les huiles essentielles (HE), également appelées huiles odoriférantes volatiles, sont des liquides huileux aromatiques extraits de différentes parties de plantes. Les huiles essentielles sont considérées comme une matière première dans la fabrication de plusieurs produits cosmétique, la parfumerie, et dans l'industrie pharmaceutique et l'agroalimentaire. Plusieurs méthodes d'extraction sont mise au point dont le procédés d'extraction hydro-diffusion combiné au microonde présente une efficacité meilleure. Plusieurs études sur *Inulaviscosa* et *Eucalyptus globulus* ont montré les grandes potentialités de leurs huiles essentielles en raison de l'importance et la diversité des effets thérapeutiques des deux plantes. En relation avec l'actualité marquée par la pandémie de coronavirus de 2019 (COVID-19) de récentes études sont mis en évidence l'effet thérapeutique des huiles essentielles d'eucalyptus globulus.

Mots clés : Huiles essentielles ; Procédés d'extractions ; *inulaviscosa* ; *Eucalyptus globulus*.

Abstract

This study is part of the development of natural sources. It focuses on the bibliographic study of essential oils of two plants widespread in the region of Bouira. Essential oils (EO), also called volatile odoriferous oils, are aromatic oily liquids extracted from different parts of plants. Essential oils are considered as a raw material in the manufacture of several cosmetic products, perfumery, and in the pharmaceutical and food industries. Several methods of extraction are developed of which the process of hydro-diffusion extraction combined with the microwave presents a better efficiency. Several studies on *Inulaviscosa* and *Eucalyptus globulus* have shown the great potential of their essential oils due to the importance and diversity of the therapeutic effects of both plants. In relation to the news marked by the pandemic of coronavirus of 2019 (COVID-19) recent studies are highlighted the therapeutic effect of essential oils of eucalyptus globulus.

Key words : Essential oils ; Extraction processes ; *Inulaviscosa* ; *Eucalyptus globulus* .

الملخص

هذه الدراسة جزء من تطوير المصادر الطبيعية. يركز على الدراسة الببليوغرافية للزيوت الأساسية لنبتين منتشرين في منطقة البويرة. ، والتي تسمى أيضًا الزيوت العطرية المتطايرة ، هي سوائل زيتية عطرية يتم استخلاصها من أجزاء مختلفة من الزيوت الأساسية النباتات. تعتبر الزيوت الأساسية مادة خام في صناعة العديد من مستحضرات التجميل والعطور والصناعات الدوائية والغذائية. تم تطوير العديد من طرق الاستخراج التي تقدم عملية الاستخراج بالانتشار المائي مع الميكروويف كفاءة أفضل. أظهرت العديد من الإمكانات الكبيرة لزيوتها الأساسية نظرًا لأهمية وتنوع *Inulaviscosa* و *Eucalyptus globulus* الدراسات التي أجريت على ، فقد سلطت (COVID-19) التأثيرات العلاجية لكلا النباتين. فيما يتعلق بالأخبار التي تميزت بجائحة فيروس كورونا 2019 الدراسات الحديثة الضوء على التأثير العلاجي للزيوت الأساسية لزيت الأوكالبتوس الكروي

.
الكلمات الأساسية: الزيوت الأساسية ؛ عمليات الاستخراج إينولافيسكوسا. أوكالبتوس جلوبولوس