

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة أمحمد بوقرة – بومرداس
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER**

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie Appliquée

THEME

Contribution à l'étude de la biodiversité des huiles
essentielles de *Pelargonium graveolens* L'Hér.

Présenté par :

M^{elle} MEGHENEZ Kahina & M^{elle} HAMDANI Khadidja

Soutenue le 13/07/2022 devant le jury :

Mr. DAHMANI MM., MCB, UMBB _____ Président
Mme. BENAOUIDA-SALMI K., MAA, UMBB _____ Examinatrice
Mr. BENABDELKADER T., MCA, UMBB _____ Promoteur
Mme. NEGHLIZ H., MCA, UMBB _____ Co-Promotrice

-2021/2022-



REMERCEMENT

*Nous tenons tout d'abord à remercier **ALLAH** le tout puissant et miséricordieux,
qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce travail.*

*En second lieu,
nous tenons à remercier nos encadreurs **Mr. Benabdelkader Tarek** et **Mme. Neghliz Hayat** pour leur
précieux conseils leur aide durant toute la période du travail.*

*Nos vifs
remerciements vont également aux membres du jury : **Mr. Dahmani MM** et **Mme. Benaouida-Salmi K.** pour l'intérêt
qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de
l'enrichir par leurs remarques et suggestions.*

*Nous profitons également de cette occasion pour adresser remerciements à
nos chers parents pour leurs sacrifices et toutes les familles qui nous ont
toujours encouragés et soutenus tout au long des années études. En fin nous
remercions tous ceux qui n'ont pas été cité dans ces quelques paragraphes et
qui ont contribué de près ou de loin par leur aide au bon déroulement de ce
mémoire.*

Merci infiniment.



Dédicace

Je dédie ce travail :

***A mes chers parents, ma mère qui m'a donné
par sa souffrance, sa patience le grand courage pour tracer
ma vie et à mon père qui m'a encouragé et qui m'a consacré
beaucoup de moyens pour arriver à ce niveau d'étude.***

A mon cher frère Mourad qui m'a soutenue.

Kahina



Dédicace

A ceux qui m'ont tout donné sans rien attendre en retour

A ceux qui m'ont encouragée et soutenue : mes très chers parents pour leurs tendresse, leurs aide, leurs confiance qui m'ont permis d'aller au bout de mes études et de réaliser ce mémoire, tout les mots sont insuffisants pour exprimer ma gratitude.

A mes adorables frères Mohamed, Brahim, Ali, merci d'être toujours à mes côtés.

A mon cher oncle Menouar pour son aide et son précieux encouragement.

A toute ma famille, pour leurs soutiens merci d'être toujours là pour moi.

Khadidja

Liste des Figures

Figure I.1.	Formule développée et modèle 3D de l'unité isoprénique (C ₅ H ₈) (Wikipedia.org)	8
Figure I.2.	Exemples de monoterpènes (acycliques et cycliques) rencontrés dans les huiles essentielles. (Wikipedia.org)	9
Figure I.3.	Exemples de sesquiterpènes rencontrés dans les huiles essentielles. (Wikipedia.org)	9
Figure I.4.	Structures de quelques composés aromatiques dérivés de phénylpropane (Bakkali <i>et al.</i> , 2008)	10
Figure I.5.	Schéma d'un montage d'extraction par Hydrodistillation (Lucchesi, 2005)	12
Figure I.6.	<i>Pelargonium graveolens</i>	18
Figure II.1.	Site géographique Boumerdes de la récolte de <i>P. graveolens</i> utilisée dans cette étude	22
Figure II.2.	Montage Clevenger d'hydrodistillation	23
Figure III.1.	Chromatogramme ionique total complet (GC/MS) de l'huile essentielle de feuilles de <i>P. graveolens</i> algérienne avec le spectre de masse du constituant majoritaire (Citronellol)	28
Figure III.2.	Teneurs des classes phytochimiques et le total identifié de l'HE de feuilles de <i>P. graveolens</i>	30
Figure III.3.	Teneurs et structure développées des constituants majoritaires de l'HE de feuilles de <i>P. graveolens</i>	30
Figure III.4.	Dendrogramme de l'analyse du cluster hiérarchique des HEs des populations à travers le monde de <i>P. graveolens</i>	36

Liste des Tableaux

Tableau II.1.	Conditions opératoires GC/MS utilisées pour l'analyse de l'HE de <i>P. graveolens</i>	24
Tableau III.1.	Composition phytochimique de l'huile essentielle de feuilles de <i>P. graveolens</i> algérienne	29
Tableau III.2.	Composition phytochimique majeur des huiles essentielles de <i>P. graveolens</i> à travers le monde	34

Liste des abréviations

AFNOR	Association française de normalisation
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
Fe	Feuilles
Fl	Fleurs
Fr	Fruits
GC	Chromatographie en phase gazeuse
GC-MS	Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse
Gr	Graines
HE	Huile essentiel
IR	Indices de rétention
PA	Partie aérienne
<i>P. graveolens</i>	<i>Pelargonium graveolens</i>
Ra	Racines
Rdt	Rendement
RMN	Résonance magnétique nucléaire
SM	Spectrométrie de mass
Ti	Tiges
TR	Temps de rétention

مساهمة في دراسة التنوع البيولوجي للزيوت العطرية لـ *Pelargonium graveolens* L'Hér.

يُزرع النبات العطري *Pelargonium graveolens* على نطاق واسع لزيته الأساسي والذي يستخدم غالبًا في المستحضرات الصيدلانية ومستحضرات التجميل والصناعات الغذائية. حددنا في هذا العمل، في إطار تبيين النباتات الطبية والعطرية الجزائرية، التركيب الكيميائي للزيت العطري لأوراق *P. graveolens* المزروع والمحصول في منطقة بومرداس، الجزائر. سمح التحليل بواسطة الكروماتوغرافيا الغازية-مطيافية الكتلة بتحديد 25 مركبًا تمثل 99.56 % من المحتوى الكلي للزيت. تتكون هذه الزيت بشكل أساسي من monoterpenes oxygénés (76.95 %) متبوعة بـ sesquiterpenes oxygénés (15.36 %). وكانت المكونات الرئيسية لهذه الزيت كالتالي : citronellol (28.48 %) و geraniol (17.56 %).

الكلمات المفتاحية: *Pelargonium graveolens*، الزيت الأساسي، الكروماتوغرافيا الغازية-مطيافية الكتلة، geraniol، citronellol، التنوع البيولوجي.

Résumé

Contribution à l'étude de la biodiversité des huiles essentielles de *Pelargonium graveolens* L'Hér.

Pelargonium graveolens est une plante aromatique très cultivée pour son huile essentielle souvent utilisée en pharmacutique, cosmétique et agroalimentaire. Dans le cadre de la valorisation des plantes médicinales et aromatiques Algérienne, nous avons déterminé dans ce travail la composition chimique de l'huile essentielle des feuilles de *P. graveolens* cultivée et récoltée dans la région de Boumerdes, Algérie. L'analyse par chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse (GC-MS) a permis l'identification de 25 composés représentant 99.56 % du contenu totale de l'huile. L'HE est constituée principalement de monoterpenes oxygénés (76.95%) suivi par les sesquiterpenes oxygénés (15.36%). Les constituants majoritaires sont le citronellol (28.48%) et le geraniol (17.56%).

Mots clés : *Pelargonium graveolens*, Huile essentielle, GC-MS, Citronellol, Geraniol, Biodiversité.

ABSTRACT

Contribution to the study of the biodiversity of essential oils of *Pelargonium graveolens* L'Hér.

Pelargonium graveolens is an aromatic plant widely cultivated for its essential oil often used in pharmaceuticals, cosmetics and food. As part of the valorization of Algerian medicinal and aromatic plants, we have determined in this work the chemical composition of the essential oil of the leaves of *P. graveolens* cultivated and harvested in the region of Boumerdes, Algeria. Analysis by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) allowed the identification of 25 compounds representing 99.56% of the total content of the oil. EO consists mainly of oxygenated monoterpenes (76.95%) followed by oxygenated sesquiterpenes (15.36%). The major constituents are citronellol (28.48%) and geraniol (17.56%).

Key words: *Pelargonium graveolens*, Essential oil, GC-MS, Citronellol, Geraniol, Biodiversity.

Sommaire

Remerciements
Dédicaces
Liste des Figures
Liste des Tableaux
Liste des Abréviations
Résumés
Sommaire

Introduction Générale	1
-----------------------	---

Chapitre I. Synthèse Bibliographique

I.1.	Plantes médicinales et aromatiques, phytothérapie et aromathérapie : Terminologie	4
I.2.	Les huiles essentielles	5
I.2.1.	Définition	5
I.2.2.	Intérêt des huiles essentielles chez les plantes	5
I.2.3.	Domaines d'application des huiles essentielles	6
I.2.4.	Répartition botanique	7
I.2.5.	Localisation dans la plante	8
I.2.6.	Composition chimique	8
I.2.6.1.	Les composés terpéniques	8
I.2.5.1.	Les composés aromatiques	10
I.2.7.	Notion de chémotype ou chimiotype de la plante	10
I.2.8.	Les facteurs influençant la composition quantitative et qualitative des huiles essentielles	11
I.2.8.1.	Facteurs intrinsèques	11
a)	L'espèce botanique	11
b)	L'organe végétal	11
c)	Le cycle végétatif	11
d)	Le chémotype	11
I.2.8.2.	Facteurs extrinsèques	11
I.2.9.	Méthodes d'extraction des huiles essentielles	12
I.2.10.	Méthodes d'analyse des huiles essentielles	12
I.2.11.	Activités biologiques des huiles essentielles	13
I.2.11.1.	Activité antimicrobienne	13
I.2.11.2.	Activité antiparasitaire	15
I.2.11.3.	Activité antioxydante	15
I.2.11.4.	Activité anti-inflammatoire	15
I.2.11.5.	Propriétés anti-cancéreuses	15
I.2.11.6.	Activité insecticide	16
I.2.12.	Toxicité des huiles essentielles	16
I.3.	Aperçu sur la famille des Géranéacées	17
I.4.	Le genre <i>Pelargonium</i>	17
I.5.	L'espèce <i>Pelargonium graveolens</i> L'Hér.	17

I.5.1.	Description botanique_____	18
I.5.2.	Position systématique_____	18
I.5.3.	Utilisation traditionnelle_____	19
I.5.4.	Travaux antérieurs sur <i>P. graveolens</i> _____	19

Chapitre II. Matériel et Méthodes

II.1.	Matériel végétal _____	22
II.2.	Extraction de l'huile essentielle _____	23
II.2.1.	Hydrodistillation_____	23
II.2.2.	Calcul du rendement en huile essentielle_____	24
II.3.	Analyse des huiles essentielles de <i>P. graveolens</i> par chromatographie gazeuse _____	24
II.3.1.	Analyse des huiles essentielles par couplage chromatographie gazeuse/spectrophotométrie de masse_____	24
II.3.2.	Identification des composés volatils_____	25
II.3.3.	Quantification des composés volatils_____	25
II.4.	Analyses statistiques _____	25

Chapitre III. Résultats et Discussion

III.1.	Caractérisation phytochimique de l'huile essentielle de <i>P. graveolens</i> ____	27
III.1.1.	Résultats_____	27
III.1.1.1.	Etude phytochimique de l'huile essentielle de feuilles de <i>P. graveolens</i> _____	27
III.1.2.	Discussion_____	32

	Conclusion et Perspectives _____	38
	Références Bibliographiques _____	39

Introduction Générale

Introduction Générale

L'utilisation des plantes pour leurs vertus médicinales est une pratique très ancienne. Elle trouve ses origines dans les plus grandes civilisations de l'orient et de l'occident. Comme en témoignent les textes rédigés plusieurs millénaires avant notre époque, les sumériens, les égyptiens, les chinois et les indous, possédaient toute une panoplie de remèdes à base de plantes (Mazars, 1997).

En effet, les plantes représentent une source inépuisable de remèdes traditionnels et efficaces grâce aux familles de principes actifs qu'elles contiennent : alcaloïdes, flavonoïdes, hétérosides, saponosides, quinones, vitamines, huiles essentielles etc. (Lafon, *et al.*, 1988).

De nos jours, les huiles essentielles (HEs) des plantes aromatiques et médicinales suscitent de plus en plus l'intérêt des chimistes, biologistes et médecins en raison de leurs utilisations dans le traitement de certaines maladies infectieuses pour lesquelles les antibiotiques de synthèse deviennent de moins en moins actifs ou dans la préservation des aliments contre l'oxydation comme alternatives aux produits chimiques de synthèse (Farnsworth *et al.*, 1986). Ces huiles essentielles se sont avérées avoir divers effets pharmacologiques: comme antispasmodique, carminative, hépatoprotecteur, antiviraux, anticancéreux (Bowles, 2004; Lahlou, 2004) et antioxydants (Viuda-Martos *et al.*, 2011).

L'Algérie avec ses milliers d'hectares de forêt et de pâturages, bénéficie d'une gamme très variée de climats favorisant le développement d'une flore riche et diversifiée telle que les plantes médicinales et aromatiques. Cependant, certaines d'entre elles sont jusqu'à présent très peu connues par les Algériens que ce soit celles qui poussent spontanément dans la nature ou cultivées pour différentes raisons. Partant de ce constat, et dans le but de contribuer à la valorisation des plantes médicinales et aromatiques Algériennes, nous nous sommes intéressés dans le présent travail à étudier la composition chimique de l'huile essentielle des feuilles de *Pelargonium graveolens* cultivée dans les jardins de la faculté des sciences, UMBB de Boumerdes.

Le manuscrit de ce mémoire est structuré comme suit :

- Le premier chapitre correspond à une synthèse bibliographique décrivant les notions essentielles liées au contexte global de notre travail (les plantes médicinales et aromatiques, les huiles essentielles, utilisations et travaux antérieurs réalisés sur l'espèce étudiée).

- Le deuxième chapitre est consacré à l'expérimentation relative à l'extraction de l'huile essentielle et son analyse phytochimique.
- Le troisième chapitre a été consacré à la présentation des résultats obtenus et leurs discussions au regard des données bibliographiques.

Au terme de ce mémoire, nous présenterons une conclusion dans laquelle nous rappellerons les principaux résultats obtenus, puis nous proposerons quelques perspectives pour notre étude. Enfin, nous exposant les références bibliographiques.

Chapitre I

Synthèse Bibliographique

I.1. Plantes médicinales et aromatiques, phytothérapie et aromathérapie : Terminologie

☞ Plantes médicinales

Ce sont des plantes utilisées en médecine traditionnelle dont au moins une partie possède des propriétés médicamenteuses. Leurs effets proviennent de leurs composés chimiques (métabolites primaire ou secondaires) ou de la synergie entre les différents composés présents (Sanago, 2006). Selon Sofowora (2010), les plantes médicinales sont toutes les plantes qui contiennent une ou des substances pouvant être utilisées à des fins thérapeutiques ou qui sont des précurseurs dans la synthèse de drogues utiles (médicaments).

☞ Plantes aromatiques

Sont définies comme des plantes dont les tissus secrètent suffisamment d'essence pour en permettre extraction et la distillation. Elles contiennent des molécules aromatiques ou odorantes dans un ou plusieurs de leurs organes producteurs : feuilles, fleurs, fruits, graines, racines. Toute plante parfumée n'est pas toujours une plante aromatique (Particia, 2005).

☞ Phytothérapie

Est un mot d'origine grecque : « phyto » qui veut dire plante et « therapeuein » qui veut dire soigner. Autrement dit, au sens étymologique, c'est « la thérapeutique par les plantes » ; elle utilise les plantes ou les formes immédiatement dérivées des plantes, en excluant les principes actifs purs issus de celles-ci. Les plantes sont consommées sous plusieurs formes : en l'état (infusions) ou après transformation (extraits, médicaments à base de plantes...) (Hmamouchi, 1999 ; Gazengel & Orecchioni, 2013).

☞ Aromathérapie

Branche de la phytothérapie, elle recourt aux extraits aromatiques des plantes (essences et huiles essentielles). Elle se différencie de la phytothérapie qui fait appel à l'ensemble des éléments contenus dans la plante (Lorain, 2013).

I.2. Les huiles essentielles

I. 2. 1. Définition

Il existe plusieurs termes qui peuvent être utilisés pour décrire une huile essentielle. Selon Naves (1976), aucune définition des huiles essentielles (HE) n'a le mérite d'être claire et précise.

Selon Durvelle (1893, 1930), les essences ou huiles essentielles, appelées aussi huiles volatiles, parfums, sont des substances grasses odorantes, volatiles, peu solubles dans l'eau, plus ou moins solubles dans l'alcool et l'éther, incolores ou jaunâtres, inflammables, et altérant facilement l'air en se résinifiant. Ils sont liquides à la température ambiante, mais certains sont solides ou partiellement cristallisés, elles n'ont pas le toucher gras et onctueux des huiles fixes dont elles se distinguent par leur volatilité. Leur odeur, qui peut être forte, délicate, piquante ou désagréable. Ils ont la propriété de ne laisser aucune tache permanente sur le papier.

Selon la norme AFNOR NF'T 75-006, « l'huile essentielle désigne le produit obtenu à partir d'une matière première d'origine végétale, soit par entraînement à la vapeur, soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe, soit par distillation « sèche ». Elle est ensuite séparée de la phase aqueuse par des procédés physiques » (AFNOR, 2000). Cette définition détermine les huiles essentielles au sens strict. Mais, de ce fait, elle écarte les produits obtenus en employant d'autres procédés d'extraction, comme l'utilisation de solvants non aqueux ou l'enfleurage (Bruneton, 1999).

I.2.2. Intérêt des huiles essentielles chez les plantes

Beaucoup de plantes produisent les HEs en tant que métabolites secondaires, mais leur rôle exact dans les processus de la vie de la plante est inconnu (Rai *et al.*, 2003). Cependant, plusieurs effets apparent utiles ont été décrits telles que la réduction de la compétition des autres espèces de plantes (allélopathie) par inhibition chimique de la germination des graines ainsi que la protection contre la flore microbienne infectieuse par les propriétés fongicides et bactéricides et contre les herbivores par goût et effets défavorables sur le système nerveux (Porter, 2001; Guignard *et al.*, 2004). Certains auteurs pensent que les huiles essentielles pourraient avoir un rôle attractif vis-à-vis des insectes pollinisateurs et favoriseraient ainsi la pollinisation (Bruneton, 1999 ; Guignard, 2000).

Belaiche (1979) signale que l'utilité des HEs pour les plantes désertiques est liée à la conservation d'une humidité indispensable à la vie des plantes. Les vapeurs aromatiques

permettent de saturer l'air autour de la plante empêchant, le jour, la température de l'air de monter jusqu'à un degré insupportable pour la vie végétale et la nuit de baisser de façon excessive.

1.2.3. Domaines d'application des huiles essentielles

Le nombre d'huiles essentielles connues est estimé à environ 3000, dont environ 300 ont une valeur commerciale, principalement dans les industries de la parfumerie et de l'aromathérapie (Burt, 2004).

Les HEs possèdent un certain nombre de propriétés exploitables qui leur permettent d'être utilisées dans plusieurs domaines :

➤ En cosmétologie et parfumerie

Dans le domaine des parfums et cosmétiques, les HEs sont employées en tant qu'agents conservateurs grâce à leurs propriétés antimicrobiennes qui permettent d'augmenter la durée de conservation du produit (Aburjai & Natsheh, 2003). La cosmétologie et le secteur des produits d'hygiène sont également des consommateurs, qui utilisent les isolats (isomères des substances pures) isolées des HEs comme exemple : citronellol, citronellal, linalool, comme matières premières pour la synthèse des substances odorantes (Bruneton, 1999).

➤ En Alimentaire

Les HEs et leurs composants représentent un outil très intéressant pour augmenter la durée de conservation des produits alimentaires, tout en assurant une meilleure qualité organoleptique, en rehaussant le goût des aliments (Tiwari *et al.*, 2009). Les HEs ont également des propriétés fongicides et très efficaces contre les moisissures responsables de la détérioration des denrées alimentaires lors de leurs stockages (Mejlholm & Dalgaard, 2002). Les HEs extraites des feuilles des plantes aromatiques ont également révélé des propriétés insecticides très intéressantes contre une grande variété d'insectes ravageurs des stocks des denrées alimentaires (Tapondjou *et al.*, 2003).

Ces agents naturels viennent réduire ou remplacer les agents de conservation chimiques ou synthétiques qui présentent des effets néfastes sur la santé (Viuda-Martos *et al.*, 2009; Miguel, 2010).

➤ **En Pharmacie**

Conjuguée à leur utilisation en thérapie, les activités biologiques démontrées par les HEs et leurs composants ont suscité un grand intérêt pour leur utilisation en tant que médicaments. Par conséquent, les HEs sont des ingrédients de médicaments vendus pour un large éventail d'applications thérapeutiques (Forte & Rama, 2000 ; Ghosh *et al.*, 2006). Cependant, les huiles essentielles peuvent également être utilisées comme de simples excipients dans d'autres médicaments, par exemple comme arôme pour masquer le goût d'un principe actif (Kaloustian *et al.*, 2012), comme agent de pénétration continue (Karande *et al.*, 2009), ou comme source de précurseurs hémisynthétiques. C'est le cas des citrals, qui aident à la synthèse de la vitamine A (Franchomme *et al.*, 2001). L'HE d'eucalyptus se trouve dans plus de 100 produits en vente libre (Beerling *et al.*, 2002), destinés principalement au traitement ou à la prise en charge des symptômes des infections des voies respiratoires supérieures (Carson & Hammer, 2011). Un autre exemple est celui de l'ajout des HEs en tant que composant de pâte d'obturation canalair en médecine dentaire et aussi comme ingrédient des antiseptiques (Burt, 2004).

➤ **En agriculture**

Les pesticides naturels basés notamment sur les HEs, représentent une alternative intéressante pour la protection des cultures contre les insectes mais également contre les adventices et les champignons (Dayan *et al.*, 2009; Isman, 2000). Dans certains pays européens, des produits à base d'huiles essentielles sont déjà sur le marché. Par exemple, l'huile essentielle de clou de girofle (*Syzygium aromaticum* L.) est utilisée pour traiter les maladies de conservation des fruits et légumes. La mentha verte (*Mentha spicata* L.) est utilisée pour empêcher la germination des pépins de pomme. L'orange douce (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) est utilisée pour traiter diverses affections et insectes (mildiou, oïdium, rouille blanche, cicadelles, aleurodes, etc.).

1.2.4. Répartition botanique

Les huiles essentielles se trouvent presque exclusivement dans les plantes supérieures. Selon Lawrence (1980), il existe 17500 espèces aromatiques. Ces espèces sont répartis en un petit nombre de familles : Myrtacées, Lauracées, Rutacées, Lamiacées, Astéracées, Apiacées, Cupressacées, Poacées, Zingibéracées, Pipéracées (Bruneton, 1993).

I.2.5. Localisation dans la plante

La synthèse et l'accumulation des HEs dans les organes végétaux sont liées à la présence de structures histologiques spécialisées appelées cellules sécrétrices. Les cellules sécrétrices sont rarement isolées (Lauraceae, Magnoliaceae et Piperaceae), mais sont plus souvent observées dans les poches (Myrtaceae, Aurantiaceae), les canaux sécréteurs (Apiaceae et conifères), ou les poils sécréteurs (Lamiaceae, Asteraceae). Ces cellules se trouvent le plus souvent à la périphérie des organes externes de la plante (Belaiche, 1979 ; Bruneton, 1999).

Les HEs peuvent être stockées dans tous les organes végétaux : les fleurs, les feuilles, les racines, les rhizomes, les fruits, le bois et/ou les graines (Anton *et al.*, 2005).

I.2.6. Composition chimique

Les huiles essentielles sont constituées d'un grand nombre de composants chimiques qui leur confèrent leurs diverses propriétés et toxicités potentielles. Ces composants chimiques appartiennent, d'une manière quasi exclusive, à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques distinctes : le groupe des terpénoïdes (les composés terpéniques) et le groupe des composés aromatiques dérivés du phenylpropane (Bakkali *et al.*, 2008), elles peuvent également renfermer divers produits issus du processus de dégradation mettant en jeu des constituants non volatils (Bruneton, 1999).

I.2.6.1. Les composés terpéniques

Les terpènes sont les constituants majeurs des HEs, ce sont caractérisés par une structure de base à cinq atomes de carbone (C_5H_8), communément appelée isoprène (**Fig. I.1**). On distingue les monoterpènes (C_{10}), les sesquiterpènes (C_{15}), les diterpènes (C_{20}), les triterpènes (C_{30}), les tetraterpènes (C_{40}) et les polyterpènes (~ 4000) (Lafont et Duval, 2001). Les monoterpènes et les sesquiterpènes constituent les deux types de terpènes les plus abondants au sein des HEs (Folliard, 2014).

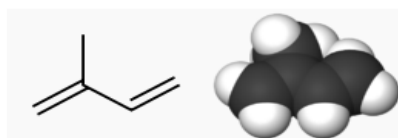


Figure I.1. Formule développée et modèle 3D de l'unité isoprénique (C_5H_8) (Wikipedia.org)

☞ **Les monoterpènes** contiennent plus de 900 composés connus, se trouvent principalement dans 3 catégories structurales : les monoterpènes linéaires (acycliques) : (myrcène, ocimènes), les monoterpènes avec un cycle unique (monocycliques) : (α - et γ -terpinène, p-cymène) et ceux avec deux cycles (bicycliques) : (pinènes, Δ -3-carène, camphène, sabinène) (Allen *et al.*, 1977).

☞ **Les sesquiterpènes** comportent trois unités d'isoprène, leur formule est $C_{15}H_{24}$ soit une fois et demi (sesqui) la molécule des terpènes (Belaiche, 1979). Les sesquiterpènes peuvent être également, comme les monoterpènes, acycliques (farnésol), monocycliques (humulène, α -zingibérène) ou polycycliques (matricine, artéannuine, β -artémisinine) (Bruneton, 1999 ; Laouer, 2004). A titre indicatif, quelques structures de monoterpènes et de sesquiterpènes sont représentées sur les figures I.2 et I.3.

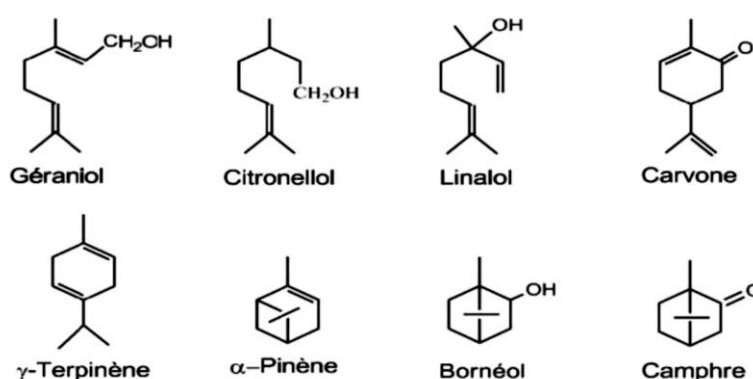


Figure I.2. Exemples de monoterpènes (acycliques et cycliques) rencontrés dans les huiles essentielles. (Wikipedia.org).

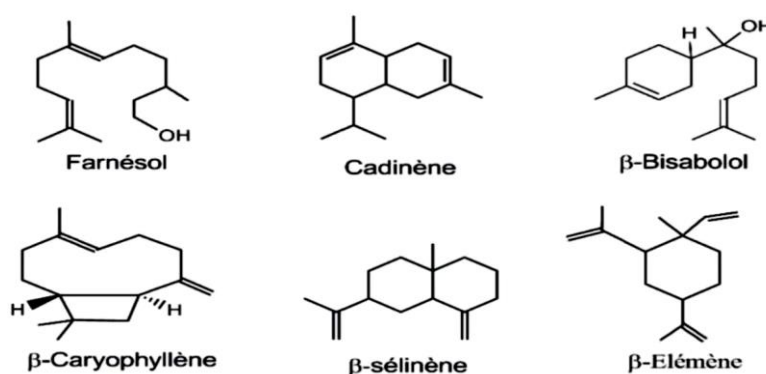


Figure I.3. Exemples de sesquiterpènes rencontrés dans les huiles essentielles. (Wikipedia.org).

I.2.5.1. Les composés aromatiques

Les composés aromatiques, contrairement aux dérivés terpéniques, sont moins fréquents dans les HE. Ils sont principalement des dérivés du phénylpropane C6-C3. Ils peuvent comprendre des phénols (chavicol, eugénol), des aldéhydes (cinnamaldéhyde), des alcools (alcool cinnamique), des dérivés méthoxy (anéthol, estragol) ou méthylène dioxy (myristicine, safrole) (Bakkali *et al.*, 2008). La structure de quelques molécules est présentée dans la Figure I.4.

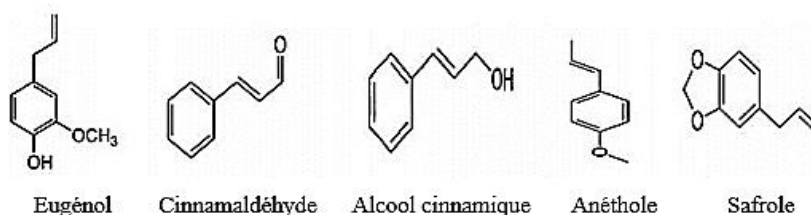


Figure I.4. Structures de quelques composés aromatiques dérivés de phénylpropane (Bakkali *et al.*, 2008)

Il est cependant possible de rencontrer des composés C6-C1, comme la vanilline (assez fréquente) et l'anthranilate de méthyl (Fig. I.6), ainsi que des lactones dérivées des acides cinnamiques (les coumarines, par exemple) étant, au moins pour les plus simples d'entre elles, entraînaient par la vapeur d'eau (Bruneton, 1999).

I.2.7. Notion de chémotype ou chimiotype de la plante

La composition chimique de l'HE peut au sein d'une même espèce de plante présenter des profils chimiques ou chémotypes (chimiotypes) différents. Le chémotype est une référence spécifique qui indique le composant biochimique majoritaire ou distinctif, retrouvée dans l'HE (Couic-Marinier & Lobstein, 2013). C'est la caractéristique qui permet de distinguer des HEs extraites d'une même variété botanique, mais avec des compositions biochimiques différentes. Cette classification permet de choisir les bonnes huiles pour une utilisation plus précise, plus sûre et plus efficace. Il est important de noter que les HEs à chémotype différents présentent non seulement des activités différentes, mais aussi des toxicités très variables (Pibiri, 2005).

I.2.8. Les facteurs influençant la composition quantitative et qualitative des huiles essentielles

Les caractéristiques physico-chimiques des essences produites par différentes espèces végétales varient en fonction de divers facteurs intrinsèques, spécifiques du bagage génétique de la plante ou extrinsèques, liés aux conditions de croissance et de développement de la plante. Ces facteurs peuvent avoir un impact tant sur la composition chimique que sur le rendement de leur extraction.

I.2.8.1. Facteurs intrinsèques

a) L'espèce botanique

Toutes les plantes ne sont pas aromatiques, et même lorsqu'elles le sont, les constituants sont de nature et de quantité différentes (Sangwan *et al.*, 2001).

b) L'organe végétal

Prenons le cas du *Curcuma longa*, dont l'huile essentielle de rhizome contient des curcumènes que l'on ne trouve pas dans les feuilles (Angioni *et al.*, 2006 ; Masotti *et al.*, 2003).

c) Le cycle végétatif

Pour une espèce donnée, la quantité des constituants d'une huile essentielle peut changer au cours du développement de la plante. Le rendement est généralement optimal juste avant la floraison car après, la plante perd environ 70 % de son HE (Masotti *et al.*, 2003).

d) Le chémotype

Le premier paramètre influençant la composition chimique d'une plante est sa biosynthèse et donc son profil génétique. C'est la raison pour laquelle, une même espèce peut présenter plusieurs chémotypes de profils chimiques différents. Il existe de nombreux exemples d'un tel phénomène, notamment chez le thym, la sauge etc. (Thompson *et al.*, 2003; Fellah *et al.*, 2006).

I.2.8.2. Facteurs extrinsèques

Il existe beaucoup de facteurs externes pouvant affecter la composition chimique de l'HE. La température, le taux d'humidité, la durée d'ensoleillement, la pluviométrie, les conditions édaphiques (composition du sol), la saison de récolte, l'état du matériel végétal

(frais ou sec), ainsi que la technique d'extraction, représentent autant de causes potentielles de variation de la composition chimique de l'HE (Bruneton, 1999).

I.2.9. Méthodes d'extraction des huiles essentielles

Il existe plusieurs méthodes pour l'extraction des HEs parmi les : entraînement à la vapeur d'eau, expression à froid, par solvants organiques, CO_2 supercritique, ultrasons, micro-onde ainsi que la méthode la plus utilisée est l'extraction par hydrodistillation (Sallé, 2004).

L'hydrodistillation

Le procédé d'hydrodistillation consiste à plonger le matériel végétal à traiter (intact ou broyé) directement dans un alambic rempli d'eau, puis à le transporter jusqu'à l'ébullition. La chaleur permet l'éclatement des cellules végétales et la libération des molécules odorantes qui y sont contenues. Ces molécules aromatiques avec la vapeur d'eau sont condensées dans un réfrigérant et les huiles essentielles se séparent de l'eau par différence de densité. Cette méthode est simple dans son principe et son appareillage n'est pas coûteux (Lucchesi, 2005) (Fig. I.5).

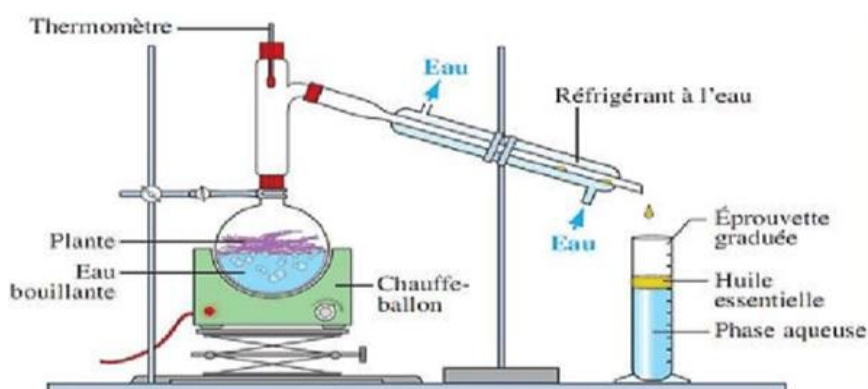


Figure I.5. Schéma d'un montage d'extraction par Hydrodistillation (Lucchesi, 2005)

I.2.10. Méthodes d'analyse des huiles essentielles

Quelle que soit le domaine d'application des huiles essentielles (parfumerie, cosmétique, pharmaceutique et agricole etc.), une compréhension approfondie de leur composition chimique est nécessaire pour garantir leur qualité et maximiser leur valeur. Par

conséquent, l'analyse des huiles essentielles, qui consiste en des méthodes de séparation et d'identification, reste une étape importante.

La chromatographie en phase gazeuse (CPG) est la technique la plus utilisée pour l'identification qualitative et quantitative des différents constituants d'une HE. Comme compléments d'analyse, d'autres techniques peuvent être utilisées, telles que la RMN (Résonance Magnétique), l'IR (Infrarouge), et la SM (Spectrométrie de masse).

La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG/SM) est une technique de référence dans le domaine des huiles essentielles (Constantin, 1996 ; Paolini, 2005). La CPG/SM permet non seulement de séparer les différents constituants d'un mélange complexe mais aussi leur analyse (Paolini, 2005). C'est une technique qui permet de connaître dans la majorité des cas, la masse moléculaire d'un composé et d'obtenir des informations structurales relatives à une molécule à partir de sa fragmentation.

Après leur séparation par chromatographie en phase gazeuse les composés sont transférés vers le spectromètre de masse par le gaz vecteur (la phase mobile) ou ils vont être fractionnés en ions de masse variables. Puis, ils vont être distribués suivant leur rapport masse /charge. Ces ions sont recueillis par un détecteur sensible aux charges électriques transportées, les données provenant du spectromètre de masse sont enregistrées par un logiciel puis convertit en valeurs de masses et d'intensités de pics puis en courant ionique total. Enfin les spectres de masse obtenus sont comparés avec ceux des produits de référence contenus dans les bibliothèques informatisées disponibles commerciales (NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library) ou en littératures (Adams, 2007) à condition que la similitude des spectres, inconnus et référence, soit suffisante et que les indices de rétention soient identiques, dans des conditions opératoires comparables (Bruneton, 1999)

I.2.11. Activités biologiques des huiles essentielles

I.2.11. 1. Activité antimicrobienne

Les huiles essentielles sont réputées par leur l'activité antimicrobienne dont certaines sont classées comme des substances sûres et pourraient donc être employées pour empêcher la croissance des microorganismes pathogènes et contaminants (Rasooli *et al.*, 2008).

➤ **Activité antibactérienne**

Il a été démontré que les HEs ont un spectre d'action très étendu, elles agissent sur les Gram négatif et Gram positif y compris celles qui développent des résistances, par exemple les huiles d'agrumes, de lavande, de menthe, de genévrier, de l'arbre à thé, de thym et d'eucalyptus se révèlent particulièrement efficaces contre les staphylocoques dorés résistants à la méthicilline (SARM) (May *et al.*, 2000 ; Tohidpour *et al.*, 2010). Ainsi les huiles essentielles d'Origan, du Thym, de la Sauge, du Romarin et du clou de Girofle sont riches en composés phénoliques comme l'eugénol, le thymol et le carvacrol qui possèdent un effet antimicrobien contre un large spectre de bactéries: *Escherichia coli*, *Bacillus creus*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica*, *Clostridium jejuni*, *Lactobacillus sake*, *Staphylococcus aureus* et *Helicobacter pyroli* (Pauli, 2001; Fabian *et al.*, 2006).

➤ **Activité antifongique**

L'activité antifongique des HEs a fait l'objet de plusieurs études scientifiques in vitro, depuis plusieurs années. Il a été rapporté que la croissance d'*Aspergillus parasiticus* et la production d'aflatoxines ont été inhibées par les HEs de *Thymus vulgaris* et *Citrus aurantifolia*. De même, les huiles essentielles de *Mentha spicata*, *Foeniculum miller*, et *Artemisia dracunculus* inhibent la croissance fongique (Davidson & Naidu, 2000).

Le carvacrol et le thymol se sont révélés efficaces contre les champignons d'origine alimentaire, notamment l'*Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus* et *Aspergillus parasiticus* (Razzaghi-Abyaneh *et al.*, 2009). Le thymol, l'aldéhyde cinnamique et l'eugénol extraits des huiles de clou de girofle et de cannelle ont également montré des propriétés antifongiques (Davidson & Naidu, 2000).

➤ **Activité antivirale**

Il a été démontré In vitro qu'un certain nombre d'HEs ont des propriétés antivirales, à titre d'exemple l'HE de ravintsara, l'HE de cannelle de Ceylan, ou l'HE de bois de Hô riche en aldéhyde cinnamique et en linalol (Bruneton, 2009, Faure, 2015).

Sydney *et al.* (2014) ont également rapporté que l'HE d'*Ocimum basilicum* (basilic) ainsi que plusieurs molécules présentes dans l'HE (camphre, thymol et 1,8-cinéole) pourraient avoir une activité antivirale en présence du virus de la diarrhée bovine.

Astani *et al.* (2011) ont étudié et proposé un effet antiviral de l'eugénol, du trans-anéthol, du caryophyllène et d'autres molécules présentes dans la composition de l'HE contre le virus herpès simplex de type 1 (HSV-1).

I.2.11.2. Activité antiparasitaire

In vitro, les HEs contenant des phénols et des alcools terpéniques ont un effet antiparasitaire puissant. Les cétones ont également des propriétés antiparasitaires, mais leur utilisation est limitée en raison de leurs propriétés neurotoxiques (Bruneton, 2009 ; Faure, 2015).

I.2.11.3. Activité antioxydante

Les composés phénoliques comme les HEs ont des propriétés oxydo-réductrices et jouent ainsi un rôle important en neutralisant les radicaux libres et en décomposant les peroxydes (Braga *et al.*, 2006). Les huiles essentielles de cannelle, muscade, clou de girofle, basilic, persil, origan et thym possèdent de puissants composés antioxydants (Edris, 2007). Un exemple frappant des composés à activité antioxydante puissante est celui du thymol et carvacrol.

On peut attribuer l'activité antioxydante des HEs à certains alcools, éthers, cétones et aldéhydes monoterpéniques: le linalool, le 1,8-cinéol, le géraniol/néral, le citronellal, l'isomenthone, la menthone et quelques monoterpènes: α -terpinène et γ -terpinène (Edris, 2007).

I.2.11.4. Activité anti-inflammatoire

En milieu clinique les huiles essentielles sont utilisées pour soigner des maladies inflammatoires telles que les rhumatismes, les allergies ou l'arthrite (Murayama *et al.*, 2005). Il a été rapporté que l'huile essentielle de géranium ainsi que le linalool et son acétate ont montré une activité anti-inflammatoire sur des oedèmes de pattes de souris induits par le carraghénane (Peana *et al.*, 2002; Murayama *et al.*, 2005).

I.2.11.5. Propriétés anti-cancéreuses

Les HEs agissent au niveau de la prévention du cancer ainsi qu'au niveau de sa suppression. Des composés volatils ont montré une activité cytotoxique contre diverses lignées cellulaires cancéreuses (gliomes, cancer du côlon, du poumon, du foie, du sein, etc.) (Edris, 2007). Le géraniol est un alcool monoterpénique très fréquent dans les HEs, il potentialise l'effet inhibiteur de la croissance tumorale du 5-fluorouracil en diminuant la résistance des cellules cancéreuses du colon (TC118) envers le 5-fluorouracil, un agent anticancéreux (Carnesecchi *et al.*, 2002; Carnesecchi *et al.*, 2004). L' α -bisabolol, un alcool sesquiterpénique présent dans un grand nombre d'HEs, son activité anticancéreuse a été

découverte en 2004 par une équipe de chercheurs en Italie (Cavalieri *et al.*, 2004). Ces chercheurs ont mis en évidence l'effet apoptotique de l' α -bisabolol sur des cellules tumorales au niveau du système nerveux central.

I.2.11.6. Activité insecticide

Malgré les nombreuses molécules synthétiques susceptibles d'être utilisés, la protection des végétaux peut également se faire avec certaines essences naturelles. Une dizaine d'huiles essentielles ont été reporté comme ayant des activités insecticide ou insectifuge sur les moustiques et autres insectes (Ayvaz *et al.*, 2010 ; Sharon *et al.*, 2014 ; Jun-Hung & Murray, 2015; Castillo *et al.*, 2017).

I.2.12. Toxicité des huiles essentielles

Bien que les huiles essentielles soient des substances naturelles, cela ne signifie pas qu'elles sont sans danger pour la santé humaine. Vu leur composition chimique complexe, les HEs sont à utiliser avec précaution et prudence, car l'utilisation aléatoire et inappropriée peut engendrer des effets secondaires plus ou moins néfastes dans l'organisme (allergies, coma, épilepsie, etc.) principalement chez les populations sensibles (enfants, femmes enceintes et allaitantes, personnes âgées ou allergiques) (Degryse *et al.*, 2008). Les effets secondaires des HEs varient en fonction de leur nature chimique (Traoré, 2006), certaines sont toxiques par voie cutanée en raison de leur pouvoir irritant (huiles riches en thymol ou en carvacrol), allergène (huiles riches en cinnamaldéhyde) (Smith *et al.*, 2000) ou phototoxique (huile de citrus contenant des furocoumarines (Naganuma *et al.*, 1985). D'autres HEs ont un effet neurotoxique, notamment celles qui sont riches en cétones comme α -thujone (Franchomme *et al.*, 1990).

I.3. Aperçu sur la famille des Géraniacées

La famille des Geraniaceae est une famille de plantes dicotylédones, composée de 5-7 genres et de 650-800 espèces différentes (Simpson, 2010). Cette famille est constituée de plantes herbacées ou d'arbustes, parfois à tiges succulents, possédant des feuilles opposées ou alternes, lobées-palmées ou composées. Les inflorescences sont généralement des pseudo-ombelles ou bien les fleurs sont solitaires. Les fleurs pentamères sont actinomorphes ou Zygomorphes. Les cinq sépales et les cinq pétales sont généralement libres. Les étamines sont au nombre de 5, 10 ou 15, parfois avec certaines stériles. Le gynécée est formé par 5 carpelles et le style comporte 5 branches stigmatiques (sauf pour *Hypeocharis*). Le fruit schizocarpique est formé à partir des 5 carpelles accolés qui se séparent de manière élastique à maturité autour d'un axe central (nommé le bec ou rostrum) sauf pour les *Hypseocharis* qui ne sont pas reliés par un axe central (Kubitzki, 2007).

I.4. Le genre *Pelargonium*

Le genre *Pélargonium* appartenant à la famille des Géraniacées comprend 250 espèces. Il est distribué dans toute la région méditerranéenne mais plus profondément présent en Afrique du Sud (Miller, 2002). Sur les 250 espèces, seulement quatre sont importantes pour la production des HEs. Il s'agit de *Pélargonium asperum* (syn. *Pelargonium graveolens*), *Pelargonium odoratissimum*, *Pelargonium capitatum* et *Pelargonium radens* (Weiss, 1997).

I.5. L'espèce *Pelargonium graveolens* (*P. graveolens*)

P. graveolens est une plante aromatique annuelle et spontanée, originaire d'Afrique du sud (Rana, 2002). De nos jours il pousse dans le monde entier et est cultivée dans les jardins d'herbes aromatiques de nombreux pays, principalement pour son activité répulsive contre les moustiques (Pohlit *et al.*, 2011).

I.5.1. Nomenclature

Nom scientifique : *Pelargonium graveolens*

Synonymes : *P. asperum* Ehrh. Ex Willd, *Pelargonium roseum* Ehrh. *P.*

Noms français : géranium rosat, géranium bourbon

Nom anglais : Rose geranium

Nom arabe : Laàtarcha

I.5.2. Description botanique

P. graveolens est une plante aromatique vivace, se développe sous forme de buisson à port érigé, d'environ 1,30 m de hauteur. Les tiges sont vertes et tendres ; elles se lignifient et deviennent plus foncées avec l'âge. Les feuilles sont opposées, odorantes et découpées en cinq à sept lobes. L'inflorescence est terminale et constituée de trois à dix semi-ombelles de couleur rose. Les feuilles persistantes (Fig. I.6) sont un peu coriaces et couvertes de poils microscopiques parsemés de glandes qui libèrent leur parfum au toucher ou à la chaleur. Les fleurs roses maculées de pourpre et de grenat s'épanouissent tout au long de l'année et sont la plupart du temps stériles (Watt & Breyer-Brandwijk, 1962). Cette espèce fleurit en août-janvier avec un pic en septembre-octobre (Demarne, 2002; Van der Walt & Andri. 1992)



Figure I.6. *Pelargonium graveolens*

(<https://www.dreamstime.com/photos-images/pelargonium-graveolens.html>)

I.5.3. Position systématique

D'après Dermane (2002) et van der Wal et Andri (1992) *P. graveolens* occupe la position systématique suivante :

Embranchement : Spermaphytes

Sous Embranchement : Magnoliophyta (Angiospermes)

Classe : Magnoliopsida (Dicotylédones)

Sous Classe : Rosidae

Ordre : Geraniales

Famille : Geraniaceae

Genre : *Pelargonium*

Espèce : *Pelargonium graveolens*

I.5.4. Utilisation traditionnelle

Les parties aériennes de *P. graveolens* sont utilisées en médecine traditionnelle pour traiter les troubles dentaires et cardiovasculaires. Elles sont aussi utilisées pour aromatiser le thé et pour le traitement de la fièvre et des maux de tête (Adjanooun *et al.*, 1982, Faujour, 2004). Cette espèce possède des vertus antimicrobiennes, insecticides, antiseptiques et cicatrisantes (Guenther, 1950 ; Chaumont & Leger, 1989 ; Lis-Balchin & Deans, 1996 ; Matsuda *et al.*, 1996 ; Chang *et al.*, 2001 ; Baydat *et al.*, 2004 ; Burt, 2004 ; Zhiri & Boudeaux, 2005 ; Prabuseenivasan *et al.*, 2006 ; Kelen & Tepe, 2008).

L'HE de *P. graveolens* a été utilisée pour de nombreuses années en médecine traditionnelle comme antiasthmatique, antiallergique, antioxydant, antidiarrhéique, antihépatotoxique, diurétique, tonique, hémostatique, stomachique et diabétique (Dorman & Deans, 2000 ; Rajeswara *et al.*, 1996 ; Rajeswara, 2002).

Les HEs de *P. graveolens* sont aussi utilisées en cosmétique, en phytosanitaire et en alimentation. En général, les deux principales utilisations de cette huile essentielle sont la médecine et la parfumerie. Elle est très utilisée dans la parfumerie, la savonnerie et les cosmétiques à cause de son odeur puissante. On s'en sert aussi comme source de rhodinol qui entre dans la composition des parfums *High grade* (Dorman & Deans, 2000 ; Rajeswara *et al.*, 1996 ; Rajeswara, 2002).

I.5.5. Travaux antérieurs sur *P. graveolens*

Il est important de signaler que les études scientifiques très approfondies des cultures des plantes à parfums sont rares. Malheureusement le géranium rosat est un exemple éloquent d'espèce qui n'échappe pas à cette règle (Boukhatem *et al.*, 2010).

Hassane *et al.* (2012) ont étudié l'activité antifongique de l'HE de *P. graveolens* contre la pourriture du bois. Les résultats ont montré que l'essence étudiée présente une très forte activité fongicide contre les champignons testés (*Gloeophyllum trabeum*, *Coriolus versicolor*, *Poria placenta* et *Coniophora puteana*) à des concentrations très faibles. Il a alors été proposé que cette HE puisse être un très bon produit naturel contre les champignons lignivores dont le rôle est très important dans la détérioration du bois et très redoutés par les industries du bois (Hassane *et al.*, 2012).

La composition chimique et l'activité antimicrobienne de l'HE et des extraits organiques de *P. graveolens* originaire de Tunisie ont été étudiés par Hsouna et Hamdi (2012). L'HE et les extraits organiques présentent un effet antimicrobien prometteur contre les bactéries et les champignons testés avec des diamètres de zones d'inhibition allant de 12

à 34 mm et les valeurs des concentrations minimales inhibitrices de 0.039 à 10 mg/ml. Les auteurs ont conclu que cette HE peut être utilisée comme produit antimicrobien naturel pour le traitement de nombreuses maladies infectieuses.

Boukhatem et *al.* (2010) ont axé leur étude sur l'extraction, la composition et les propriétés physico-chimiques de l'HE de *P. graveolens* cultivé en Algérie. L'analyse de la composition chimique de cette HE par chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse a permis de la classer en « chémotype citronellol cultivar Chine » reconnue pour sa richesse en citronellol, formate de citronellyle et géraniol avec, respectivement, des taux de 33.2, 10.5 et 5.4%. Les auteurs ont conclu que cette HE possède des propriétés organoleptiques très appréciées en parfumerie, tendant à la rendre convoitée en aromathérapie.

L'étude de la composition chimique et l'activité antibactérienne de L'HE de *P. graveolens* cultivé en Algérie a été aussi étudié par Atailia et Djahoudi (2015). Ces auteurs ont rapporté que cette HE est riche en citronellol, en géraniol et en formiate de citronellyle et elle possède une action variable sur les bactéries testées où les Cocci à Gram positif sont les plus sensibles.

Chapitre II

Matériel et Méthodes

Les travaux d'expérimentation de ce mémoire ont été réalisés dans le laboratoire pédagogique d'immunologie du département de Biologie, Faculté des Sciences, Université M'Hamed Bougara de Boumerdès. Les injections pour les analyses des HEs par chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse ont été réalisées au laboratoire Biotechnologies Végétales appliquées aux plantes Aromatiques et Médicinales, Faculté des Sciences et Techniques, Université Jean Monnet de Saint Etienne, France.

II.1. Matériel végétal

Les feuilles de *Pelargonium graveolens* ont été collectées pendant le printemps 2021 (en mois de mai) à partir d'une population cultivée dans un jardin situé à la faculté des sciences de l'université de M'Hamed Bougara de Boumerdès (36° 46' 00" N, 3° 28' 00" E, 10 m d'altitude, 45 km d'Alger, Algérie) (Fig. II.1).

L'authentification botanique de l'espèce a été réalisée à l'herbier national du Département de botanique, à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie (ENSA), d'Alger, où des spécimens ont été déposés. L'identité de l'espèce a été également confirmée selon les clés botaniques dans la "Flore de l'Algérie" (Quezel et Santa, 1963).



Figure II.1. Site géographique Boumerdès de la récolte de *Pelargonium graveolens* utilisée dans cette étude.

II.2. Extraction de l'huile essentielle

Le matériel végétal (feuilles) de *P. graveolens* utilisé pour l'extraction de l'huile essentielle a été séché à l'ombre à température ambiante dans un endroit aéré, puis rendu en poudre par broyeur.

II.2.1. Hydrodistillation

L'hydrodistillation simple de type Clevenger (Fig. II.2) a été utilisée pour extraire les huiles essentielles de *P.graveolens*, utilisé à l'échelle du laboratoire sous pression atmosphérique, 20g du matériel végétal ont été introduits dans un ballon à fond rond de 1L contenant 400ml d'eau distillée relié à un système de réfrigération et récupération Clevenger. Le mélange eau distillée/plante est porté à ébullition par un chauffe-ballon pour générer une vapeur d'eau saturée en huile volatile. Le réfrigérant sert à condenser la vapeur en hydrolat et l'extraction débute lorsque les premières gouttes tombent dans le collecteur et se poursuit pendant 3 heures. L'HE se concentre en formant une phase superficielle qui est ensuite récupérée directement par le robinet situé à la base du Clevenger dans des piluliers. Afin de récupérer le maximum d'HE nous avons utilisé l'hexane comme solvant dans le quel l'HE est soluble. L'HE obtenue est pesée et conservée à 4°C avant d'être analysée.

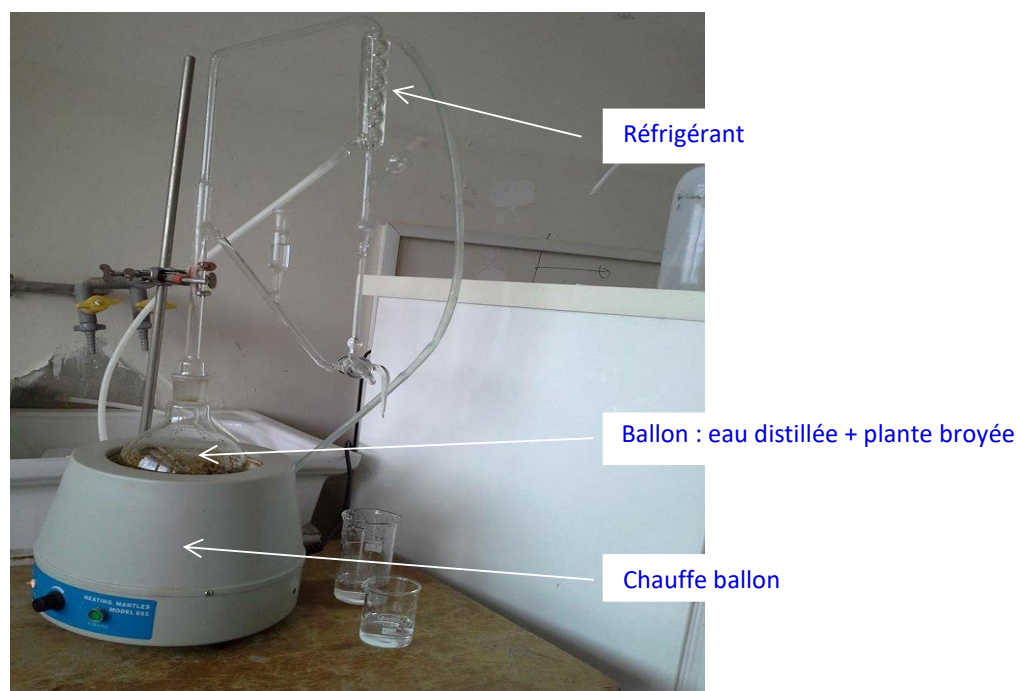


Figure II.2. Montage Clevenger d'hydrodistillation

II.2.2. Calcul du rendement en huile essentielle

Le rendement (Rdt) des extractions des HEs de *P. graveolens* a été défini comme étant le rapport entre la masse de l'HE obtenue et la masse de matière végétale utilisée selon la formule suivante :

$$Rdt_{HE} = [M/M_0] \times 100$$

Où :

Rdt_{HE} : rendement de l'extraction de l'HE en % ;

M : masse de l'HE en gramme ;

M₀ : masse de la matière végétale sèche utilisée en gramme.

II.3. Analyse des huiles essentielles de *P. graveolens* par chromatographie gazeuse

II.3.1. Analyse des huiles essentielles par couplage chromatographie gazeuse/spectrophotométrie de masse

Les spectres de masses des composés volatils des HEs ont été obtenus sur un spectromètre de masse à quadripôle et ionisation par bombardement électronique Agilent couplé à un chromatographe Agilent doté d'un injecteur automatique. Les informations concernant le type de colonne, le détecteur et les réglages du GC/MS sont résumées dans le tableau II-1 suivant.

Tableau II.1. Conditions opératoires GC/MS utilisées pour l'analyse de l'HE de *P. graveolens*

Composant	Particularité et température
GC	
Agilent HP	6850
Injecteur	250 °C
Volume injecté	2 µl dans l'hexane
Mode	Splitless
Gaz vecteur	Hélium, 1 ml/min.
Colonne	Capillaire, DB-5
Dimension de la colonne	30 m, 0.25 mm, 0.25 µm
Gradient	60 → 3 °C/min → 245 °C (4 min)
MS	
Agilent HP	5973
Ionisation	Impact électronique à 70 eV
Balayage automatique	25-350 amu à 2.4 scan/s
Source d'ion	230 °C
MS, quadropole	150 °C

II.3.2. Identification des composés volatils

L'identification des composés volatils a été faite par GC/MS. Le nom d'une molécule a été trouvé en comparant les spectres de masse obtenus à la base de données électronique WILEY275, ainsi qu'avec la base de données papier Adams (2007) en parallèle avec l'utilisation des indices de rétention (IR). Ces IRs sont calculés en utilisant les temps de rétention (TR) des alcanes d'un mélange de n-alcanes (C8 - C40, Fluka) analysé dans les mêmes conditions chromatographiques (van Den Dool & Kratz, 1963) selon l'équation suivante :

$$IR = 100 \times Z + 100 \times n [(tRS - tRZ)/(tR(Z+n) - tRZ)]$$

Où :

tRS : temps de rétention absolu du soluté étudié;

tRZ : temps de rétention absolu de l'alcane à Z atomes de carbone qui précède le soluté;

tR(Z+n) : temps de rétention absolu de l'alcane à (Z+n) atomes de carbone qui suit le soluté;

n : différence du nombre d'atome de carbone entre les deux alcanes (généralement n=1).

II.3.3. Quantification des composés volatils

Les pourcentages relatifs des composés volatils séparés ont été calculés à partir de données des aires des pics en GC/MS générées par une intégration électronique.

II.4. Analyses statistiques

L'analyse typologique (distance euclidienne de Pearson) pour mettre en évidence l'existence d'une éventuelle biodiversité, variabilité compositionnelle ou chémotypique, a été réalisée avec le logiciel  (Stat soft, France) sur les données quantitatives (composition en pourcentage déterminé par GC/MS) des constituants majoritaires (>5%) des HEs de 17 échantillons issues de plusieurs populations à travers le monde (Algérie, Tunisie, Maroc, Egypte, Iraq, Iran, Brasil, Allemagne, Tadjikistan et Bosnie) de *P. graveolens*.

Chapitre III

Résultats et Discussion

III.1. Caractérisation phytochimique de l'huile essentielle de *P. graveolens*

III.1.1. Résultats

III.1.1.1. Etude phytochimique de l'huile essentielle de feuilles de *P. graveolens*

Les analyses par GC/MS entreprises ici ont eu pour but d'identifier et reconnaître la composition phytochimique et surtout la classe chémotypique de l'HE de feuilles de *P. graveolens* algérienne ainsi que la détection d'éventuelle variabilité avec d'autre population à travers le monde. Il est à noter que, selon notre recherche bibliographique minutieuse l'HE de feuilles de cette espèce d'origine algérienne n'a fait l'objet que de deux publications scientifiques auparavant.

L'HE de feuilles de *P. graveolens* a été extraite, puis soumise à des analyses chromatographiques/spectrales détaillées par couplage GC/MS. La figure III.3. représente le chromatogramme ionique total de l'HE étudiée. L'identification des constituants volatils a été réalisée par l'utilisation des indices de rétention (IR) sur la colonne apolaire DB-5, par l'analyse des spectres de masse des composés constitutifs et par la comparaison de ces données à celles de la base de données électroniques, WILEY275, et les bases papiers Adams (2007). Les constituants identifiés sont listés dans le tableau III.1 selon leur ordre d'élution sur la colonne apolaire DB-5. Leurs indices de rétention et leurs pourcentages relatifs sont également répertoriés dans ce tableau (Tab. III.1).

Ces analyses phytochimiques par GC/MS ont conduit à l'identification globale de 25 constituants chez l'HE de feuilles. Ces composés détectés et identifiés ont des aires cumulées qui correspondent à un total d'identification de 99.56 (Tab. III.1). Parmi les 25 composés identifiés dans notre HE, 5 composés sont majoritaires : citronellol (26.48%), geraniol (17.56 %), citronellyl formate (11.07 %), 10-*epi*- γ -eudesmol (10.88 %) et geranyl formate (7.12 %) (Tab. III.1).

Au meilleur de notre connaissance, 2 composés, δ -amorphène et 4- α -hydroxy dihydroagarofuran, parmi les constituants identifiés ici sont détectés pour la première fois dans une HE de *P. graveolens* et 10 composés dans une HE de *P. graveolens* algérienne (voir les composants indiqués par d et e exposant dans le tableau III.2).

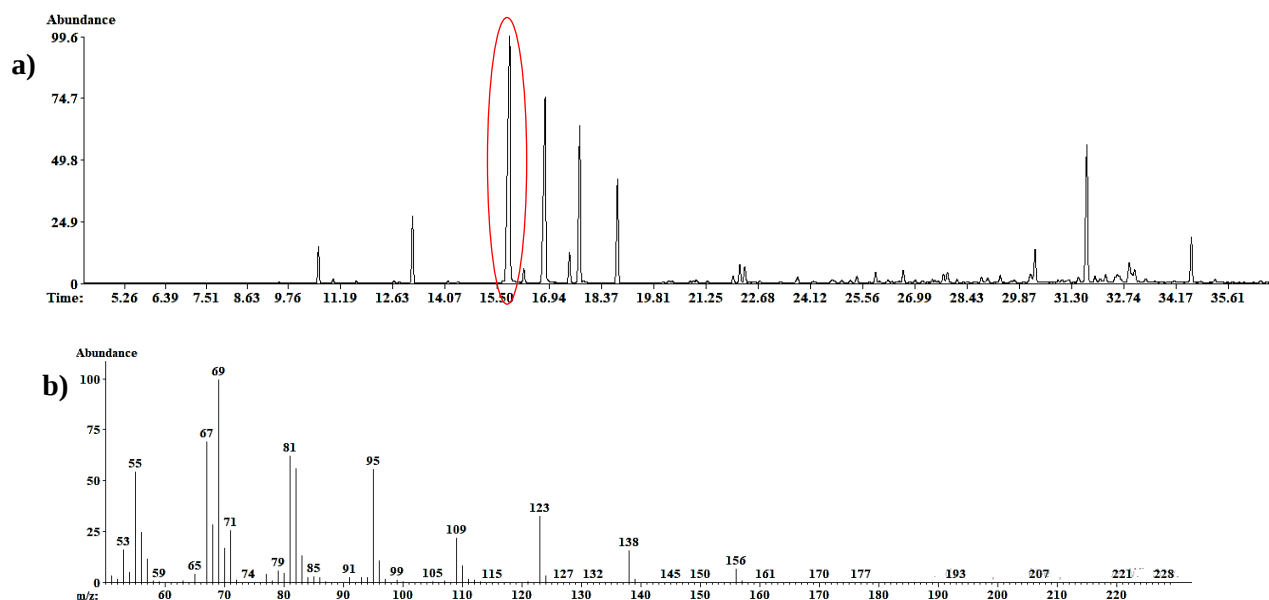


Figure III-1. Chromatogramme ionique total (GC/MS) de l'huile essentielle de feuilles de *Pelargonium graveolens* (a) et le spectre de mass de son constituant majoritaire, citronellol (b)

Tableau III-1. Composition phytochimique de l'huile essentielle de feuilles de *Pelargonium graveolens*

Constituant ^a	IRC ^b	IRA ^c	Composition (%)
Linalool	1093	1095	2.03
Menthone	1157	1148	4.26
Citronellol	1222	1223	26.48
Neral (Z-Citral) ^e	1231	1235	0.88
Geraniol	1245	1249	17.56
Geranial ^e	1261	1264	2.02
Citronellyl formate	1268	1271	11.07
Geranyl formate	1293	1298	7.12
α -Copaene	1367	1374	0.46
Geranyl acetate	1371	1379	1.19
β -Bourbonene	1375	1387	1.15
(Z)-Caryophyllene	1408	1408	0.54
Aromadendrene ^e	1449	1439	0.48
Neryl propanoate ^e	1461	1452	0.66
γ -Gurjunene ^e	1480	1475	0.84
δ -Amorphene ^{d,e}	1508	1511	0.60
<i>trans</i> -Calamenene ^e	1511	1521	0.81
Geranyl butanoate	1548	1562	0.51
Spathulenol	1569	1577	0.80
2-Phenyl ethyl tiglate	1572	1584	2.38
10-<i>epi</i>-γ-Eudesmol	1609	1622	10.88
γ -Eudesmol ^e	1623	1630	0.62
Hinesol ^e	1640	1640	2.03
4- α -Hydroxy dihydroagarofuran ^{d,e}	1645	1651	1.03
Geranyl tiglate	1687	1696	3.15
Monoterpènes hydrocarbonés			0.00
Monoterpènes oxygénés			76.95
Sesquiterpènes Hydrocarbonés			4.88
Sesquiterpènes oxygénés			15.36
Autres			2.38
Total identifié			99.56

^a) L'ordre d'élution des constituants et leurs pourcentages sont donnés sur la colonne capillaire apolaire DB-5 ^b) IRC = Indices de rétention calculés sur la colonne apolaire DB-5. ^c) IRA = Indices de rétention reportés par Adams (2007). ^d) Composants identifiés ici dans les huiles essentielles de *P. graveolens* pour la première fois. ^e) Composants identifiés ici dans les huiles essentielles de *P. graveolens* de l'Algérie pour la première fois. Les composés et classes majoritaires sont en gras.

Les figures III.2 et III.3 exposent des histogrammes représentant les pourcentages des classes phytochimiques et les constituants majoritaires de l'HE de feuilles de *P. graveolens* ainsi que leurs structures développées.

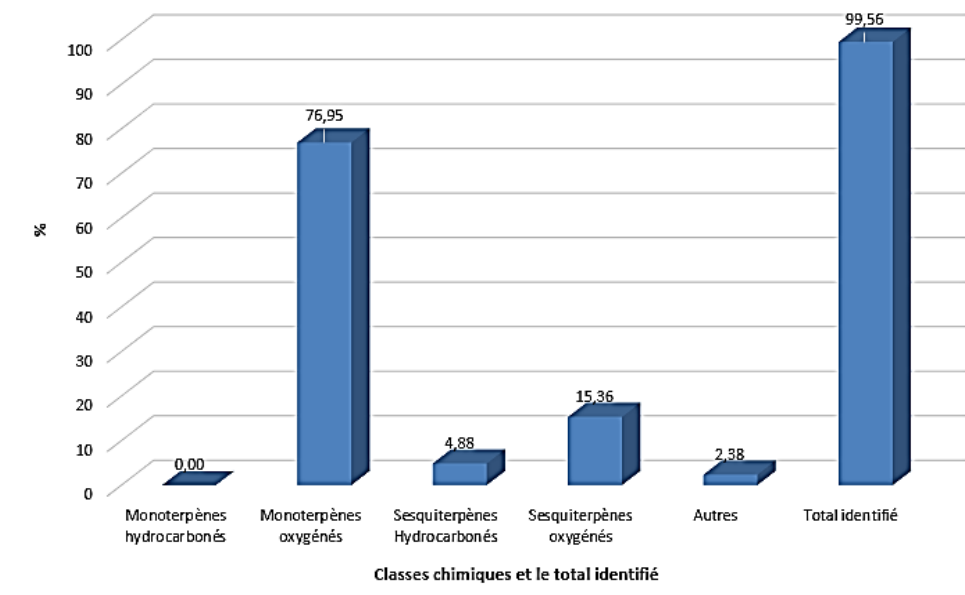


Figure III-2. Teneurs des classes chimiques et le total identifié de l'HE de feuilles de *Pelargonium graveolens*

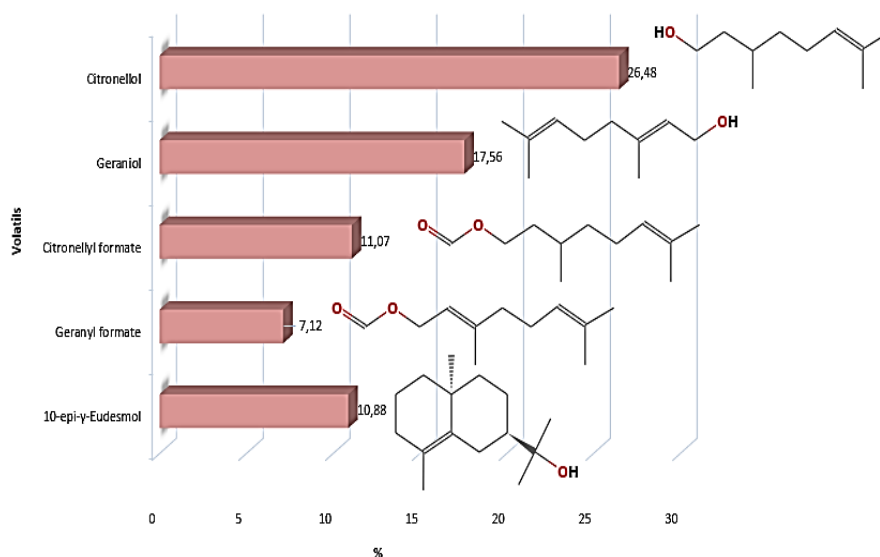


Figure III-3. Teneurs et structure chimique développée des constituants majoritaires de l'HE de feuilles de *Pelargonium graveolens*

D'après les résultats illustrés dans le tableau III.1 et sur la figure III.2, toutes les classes phytochimiques habituelles des HEs sont représentées dans l'HE de notre espèce sauf les monoterpènes hydrocarbonés. Ainsi, ces analyses ont montré la forte prédominance des monoterpènes oxygénés (76.95%) représenté par 4 composés, le citronellol (26.48%), le geraniol (17.56 %), citronellyl formate (11.07 %) et geranyl formate (7.12 %). Cette classe est suivie par la classe des sesquiterpènes oxygénés (15.36%) représenté par le 10-*epi*- γ -eudesmol (10.88 %). A noter globalement que cette HE est caractérisée par des teneurs faible en sesquiterpènes hydrocarbonés (4.88%) et les autres classes phytochimiques (2.38%).

La figure III.3 illustre un histogramme représentant les constituants majoritaires de l'HE de *P. graveolens* et leurs structures développées. Le citronellol (26.48%), le geraniol (17.56 %), le citronellyl formate (11.07 %), le 10-*epi*- γ -eudesmol (10.88 %) et le geranyl formate (7.12 %), sont les constituants majoritaires de l'HE de feuilles de *P. graveolens* algérienne d'origine de la wilaya de Boumerdes. De ce fait, initialement, l'HE de feuilles de *P. graveolens* d'origine algérienne étudiée ici présente le chémotype citronellol.

III.1.2. Discussion

Les analyses entreprises ici par GC/MS ont prouvé que l'HE de feuilles de cette population cultivée en Algérie de *P. graveolens* présente un très fort caractère monoterpénique représenté par le citronellol suivi par les sesquiterpènes représenté par le 10-*epi*- γ -eudesmol. En attendant la confirmation par une analyse statistique, ces analyses ont repéré la dominance toujours du chémotype citronellol pour l'HE de feuilles de *P. graveolens* en comparaison avec les résultats de la littérature résumés dans le tableau III.2.

Selon la littérature, plus d'une dizaine d'études en été réalisés sur la caractérisation de la composition phytochimique de l'HE de *P. graveolens* (dons 2 études en Algérie) (Tab. III.2). Toutes ces études ont étudiées des populations cultivées à travers le monde entre 2010 et 2021. La plus ancienne étude remonte à 2010, réalisée par Boukhatem *et al.*, (2010) sur l'HE de feuilles d'une population algérienne de *P. graveolens*, isolant une HE caractérisée par la dominance de citronellol. Depuis, les travaux se sont enchainées sur des HEs, souvent obtenues par hydrodistillation, proviennent de matériel végétal différent (Partie aérienne, tiges et surtout les feuilles). Ces HEs ont présentées une biodiversité phytochimique importante qui touche conjointement les composés majoritaires et minoritaires. Ces composés majoritaires (> 5%) sont résumés dans le tableau III.2.

D'après ce balayage bibliographique, Il est important de signalé que l'HE de notre population algérienne caractérisée par la dominance de citronellol qui a été signalé auparavant comme premier majoritaire chez les feuilles de cette espèce. Le citronellol a été signalé comme majoritaire huit fois, chez les HEs de plusieurs populations d'origine de Tunisie, Iran, Maroc, Germany, Tajikistan, Algérie, (Ghannadi *et al*, 2012 ; Chraibi *et al*, 2019 ; Džamić *et al*, 2014 ; Farukh *et al*, 2014 ; Boukhatem *et al*, 2010 ; Boukhris *et al*, 2012 ; Ben Hsouna & Hamdi, 2012 ; Atailia & Djahoudi, 2015). A noter que le citronellol a été toujours détecté chez les HEs de toutes les populations de *P. graveolens* étudiées auparavant avec un minimum de 14% quelque soit le chemotype sauf chez une population iraquienne qui a été au-dessous de 3% (Javed *et al*, 2021). Contrairement, dans notre HE deux composés (6,9-Guaiadiene et Isomenthone), souvent détectés avec des quantités importantes dans les HEs de *P. graveolens* inclut celles de l'Algérie, ne sont pas détectés dans notre échantillon. Ainsi, d'après le regroupement bibliographique des donnés phytochimique sur les HEs de *P. graveolens* cette espèce présente une très bonne biodiversité avec la détection au total de 213 molécules à travers les études réalisées à ce jour (voir annexe). Les composés les plus présents partout sont le citronellol, le geraniol, le linalool, le β -caryophyllene, le geranyl tiglate, menthone etc.

Selon le regroupement bibliographique (Tab. III.2) sur les HEs de différentes populations de *P. graveolens* à travers le monde, on remarque généralement que ces HEs présentent cinq chémotypes : deux rares, le chémotype **Citronellyl isovalerate** (1) et le chémotype **α -Citronellol/citronellol** (2) + deux autres plus ou moins large, le chémotype **Geraniol** (3) et le chémotype **Citronellol/geraniol** (4) + le chémotype **citronellol** (5) avec une plus large distribution. Ces remarques seront confirmées par la suite par une analyse statistique.

Tableau III.2. Composition phytochimique majeur des huiles essentielles de *P. graveolens* à travers le monde

Origine	Partie utiliser	Composition chimique		Références
		Nombre/total identifié	Composés majoritaire	
Iraq	Fe	36/99.17	Citronellyl isovalerate (10.41) , menthol (9.61), linalool (8.63), menthone (6.31).	Javed <i>et al</i> , 2021
Brazil	Fe	13/100	Geraniol (42.3) , linalool (16.4), citronellol (15.6), menthone (8.1).	Baldin <i>et al</i> , 2015
Tajikistan	PA	83/96.7	Citronellol (37.5) , geraniol (6.0).	Farukh <i>et al</i> , 2014
Germany	-	56/99.32	Citronellol (24.54) , geraniol (15.33), citronellyl formate (10.66), linalool (9.80), 6,9-guaiadiene (7.08), geranyl formate (5.61).	Džamić <i>et al</i> , 2014
Iran	PA	24/97.2	Citronellol (36.4) , citronellyl formate (12.1), geraniol (10.7), isomenthone (7.3), linalool (5.1).	Ghannadi <i>et al</i> , 2012
Bosnie	Ti	84/96.3	Geraniol (50.2) , citronellol (14.2), germacrone (6.1).	Cavar & Maksimovic, 2012
Bosnie	Fe	84/92.3	Geraniol (27.5) , citronellol (19.0), menthone (5.2), 10- <i>epi</i> - γ -eudesmol (5.0).	Cavar & Maksimovic, 2012
Egypte	Fe	21/99.96	α-Citronellol (18.17) , citronellol (14.37) , 3-methylpentane (11.96), isomenthone (10.64), 10- <i>epi</i> - γ -eudesmol (6.85), linalool (6.40).	Al-Sagheer <i>et al</i> , 2018
Maroc	Fe/Ti	27/99.96	Citronellol (26.98) , geraniol (14.12), isomenthone (8.80), citronellyl formate (7.09).	Chraïbi <i>et al</i> , 2019
Tunisia	Fe	42/99.99	Citronellol (27.53) , geraniol (25.85) , 6-Octen-1-ol, 3,7-dimethyl-, formate (8.75), δ -selinene (8.15), linalool (6.54), menthone (6.22).	Ben Hsouna & Hamdi, 2012
Tunisia	Fe	47/96.23	Citronellol (16.24) , geraniol (15.30) , δ -selinene (8.69), citronellyl formate (7.39), geraniol formate (6.47).	Boukhris <i>et al</i> , 2012
Algérie	PA	9/95.58	Citronellol (33.21) , citronellyl formate (10.56), guaia-6,9-diene (9.25), geraniol (5.42).	Boukhatem <i>et al</i> , 2010
Algérie	-	40/ 96,86	Citronellol (19.22) , geraniol (14.03) , citronellyl formate (10.02), 10- <i>epi</i> - γ -eudesmol (7.15), geranyl acetate (6.45), linalool (5.6).	Atailia & Djahoudi, 2015
Algérie	Fe	25/99.56	Citronellol (26.48) , geraniol (17.56) , citronellyl formate (11.07), 10- <i>epi</i> - γ -eudesmol(10.88), geranyl formate (7.12)	Présente étude
PA : partie aérienne, Fe : feuilles, Fl, fleurs, Ti : tiges. Le composé majoritaire représentant le chemotype est en gras.				

D'après les résultats présentés dans le tableau III.1, et le regroupement bibliographique de la composition phytochimique de toutes les HEs de toutes les populations de *P. graveolens* à travers le monde étudiées à ce jour (données représentées en partie sur le tableau III.2) les HEs de *P. graveolens* présentent une biodiversité phytochimique qualitative et quantitative importante. Bien qu'utilisé brièvement ici, l'analyse statistique est un outil puissant permettant de compléter les méthodes purement analytiques. Cette analyse statistique permet notamment dans notre cas, de comparer les différents jeux de données phytochimiques obtenus sur des HEs de différentes populations et de différents organes afin d'estimer la nature de l'homogénéité ou de la variabilité de la composition phytochimique de ces HEs. Pour cela nous avons réalisé une analyse de classification hiérarchique. Cette analyse statistique est basée sur une matrice de la composition (%) des HEs incluant uniquement 15 composés majoritaires qui présentent une teneur > 5% au moins dans une population (voir annexe). Ces composés unis représentent une proportion entre 27.57 % jusqu'à 83.96 % du contenu total de ces HEs.

La figure III.4 illustre le dendrogramme de la classification hiérarchique des HEs de 14 populations et de 15 échantillons HE de *P. graveolens* à travers le monde (Algérie, Maroc, Tunisie, Egypte, Iraq, Iran, Tajikistan, Germany, Bosnie, Brazil). L'analyse du cluster hiérarchique a divisé les populations méditerranéennes de *P. graveolens* étudiées à ce jour en deux grands groupes *I* et *II*. Le premier groupe (*I*) était représenté par une seule HE de feuilles d'une population égyptienne (Pg_Fe_EG). Cette HE est nettement distincte des HEs d'autres populations par le chémotype α -citronellol/citronellol. Le α -citronellol est caractérisé exclusivement que dans cette population avec le 3-methylpentane en parallèle avec l'absence totale du menthone, geraniol, citronellyl formate. Les molécules (citronellol, linalool et menthone) caractérisent les HEs des populations regroupés dans le groupe *II* à différentes proportions. Au sein de ce groupe (*II*) l'HE de la population iraquienne (Pg_Fe_IQ) se distingue nettement par le chémotype citronellyl isovalerate (*IIA*) avec la présence d'un têt le plus faible de citronellol (2.22%) et l'absence totale de geraniol parmi toutes les populations. Le citronellyl isovalerate est une molécule exclusive dans l'HE de cette population iraquienne. De même le groupe *II* présente une subdivision *IIB* qui présente trois chémotypes de balance entre le citronellol et le geraniol. Le chémotype intermédiaire citronellol/geraniol qui caractérise notre HE en parallèle avec trois HEs de deux populations tunisiennes et une algérienne. La subdivision *IIB* dévoile aussi la présence du chémotype citronellol avec la distribution la plus

large. Ainsi, dans cette subdivision *IIB* on signale la présence du chémotype geraniol d'une population brésilienne et une autre bosnienne.

Il est intéressant de signaler que d'après cette analyse statistique (Fig. III.4), que le facteur organe n'a aucune influence sur le chémotype de l'HE. En cite à titre d'exemple, les feuilles de notre population et de la population égyptienne ont présentées deux distinctes chémotypes, le chémotype citronellol/geraniol et le chémotype α -citronellol/citronellol, respectivement, tandis que les feuilles d'une autre population iraquienne ont présentées un autre chémotype citronellyl isovalerate complètement différent.

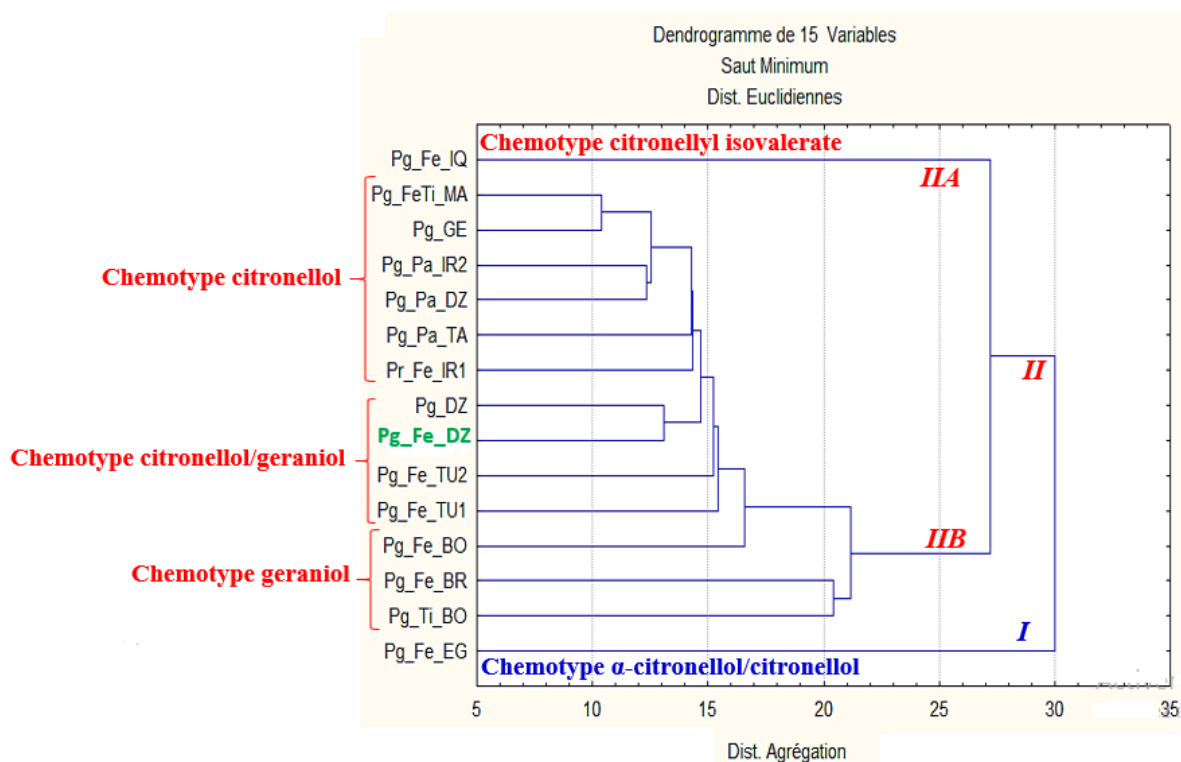


Figure III.4. Dendrogramme de l'analyse du cluster hiérarchique des HEs des populations de *P. graceolens* à travers le monde

Cette classification est basée sur les teneurs (%) de 15 constituants majoritaires (>5%) des HEs de ces populations (données issues de la littérature et de la présente étude). L'HE de la présente étude est accentuée par la coloration verte. Pg_Fe_EG = HE de feuilles d'une population égyptienne (Al-Sagheer *et al*, 2018), Pg_Fe_IQ = HE de feuilles d'une population iraquienne (Javed *et al*, 2021), Pg_Fe_BR = HE de feuilles d'une population brésilienne (Baldin *et al*, 2015), Pg_Ti_BO = HE de tiges d'une population bosnienne, Pg_Fe_BO = HE de feuilles d'une population bosnienne (Cavar & Maksimovic, 2012), Pg_Fe_TU1 = HE de feuilles d'une population tunisienne (Boukhris *et al*, 2012), Pg_Fe_TU2 = HE de feuilles d'une population tunisienne (Ben Hsouna & Hamdi, 2012), Pg_DZ = HE d'une population algérienne (Atailia & Djahoudi, 2015), Pg_Pa_DZ = HE de la partie aérienne d'une population algérienne (Boukhatef *et al*, 2010), Pg_FeTi_MA = HE de feuilles et tiges d'une population marocaine (Chraïbi *et al*, 2019), Pr_Fe_IR1, Pg_Pa_IR2 = HE de feuilles et de la partie aérienne d'une population iranienne (Ghannadi *et al*, 2012), Pg_GE = HE d'une population allemande (Džamić *et al*, 2014), Pg_Pa_TA = HE de la partie aérienne d'une population tadjik (Farukh *et al*, 2014), Pg_Fe_DZ = HE de feuilles d'une population algérienne de la présente étude.

Conclusion et Perspectives

Conclusion et Perspectives

Dans le présent travail, on a tenté de contribuer à la valorisation de la biodiversité d'une plante aromatique *Pelargonium graveolens* d'une large distribution, utilisée en médecine traditionnelle à travers le monde pour ses vertus thérapeutiques, cosmétiques et agroalimentaires. Cette étude rapporte pour la première en Algérie le profil phytochimique de l'HE de feuilles d'une *P. graveolens* cultivée et récoltée dans les jardins de la faculté des sciences de l'université de Boumerdes, Algérie.

Nous avons, dans un premier temps, procédé à l'extraction par hydrodistillation-Clevenger de l'HE de feuilles de *P. graveolens*. Ensuite, nous avons analysé la composition phytochimique des composés volatils organiques constituant cette HE. Cette analyse de l'HE de *P. graveolens* a été effectuée par le couplage GC/MS. Après interprétation des résultats de cette analyse et comparaison avec les analyses bibliographiques effectuées sur 14 autres populations à travers le monde, les HEs *P. graveolens* sont caractérisées par une très bonne biodiversité phytochimique qui touche les différentes classes phytochimiques habituelles dans les HEs avec la détection à ce jour de 213 différentes molécules. En effet, dans la présente étude 25 composés sont détectés dans l'HE de cette espèce représentant un taux de 99.56%. Dix composés identifiés sont détectés ici pour la première fois dans une HE de *P. graveolens* algérienne dont deux pour la première fois à travers le monde. Le citronellol, le geraniol, le citronellyl formate, le 10-*epi*- γ -eudesmol et le geranyl formate étaient les constituants majoritaires de notre HE. L'interprétation des résultats bibliographiques sur les HEs de *P. graveolens* à travers le monde soutenu par l'analyse cluster hiérarchique nous a permis la mise en évidence cinq chémotypes : citronellyl isovalerate, geraniol, α -citronellol/citronellol, citronellol et citronellol/geraniol. Ce dernier chémotype est celui de notre HE de *P. graveolens* de la région de Boumerdes (Algérie) de la présente étude. Dans tous les cas, ces données font de *P. graveolens* un bon candidat pour étudier la régulation biosynthétique de composés spécialisés en relation avec des contraintes biotiques et/ou abiotiques. Ainsi, sur la base de la biodiversité et de la richesse en monoterpènes oxygénés (76.95) de l'HE de feuilles de *P. graveolens* algérienne, nous pouvons affirmer que cette plante pourrait être considérée comme une bonne source d'HE bioactifs et de biomolécules susceptibles d'être utilisées dans plusieurs industries, pharmaceutique, cosmétique, agroalimentaire etc. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour la recherche d'éventuelle variabilité entre les organes ainsi pour évaluer les pouvoirs biologiques (antimicrobien, antioxydant, anti-inflammatoire, etc.) des HEs et d'autres métabolites.

Références Bibliographiques

- Aburjai T., Natsheh F. M. (2003). Plants used in cosmetics. *Phytotherapy Research* 17(9): 987–1000.
- Adams R.P. (2001). Identification of essential oils components by gas chromatography/quadrupole mass spectroscopy. Allured Publishing Corporation: Carol Stream, Illinois, USA.
- Adjanohoun E., Ake Assi L., Ahmed A., Eymé J., Guinko S., Kayonga A., Keita A. and Lebras M. (1982). Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques aux Comores, Paris : ACCT, 216 p.
- AFNOR (2000). Association Française de Normalisation huiles essentielles. Recueil des normes françaises. AFNOR, Paris.
- Allen K. G., Banthorpe D. V and Charlwood B.V. (1977). Metabolic pools associated with monoterpene biosynthesis in higher plants. *Phytochemistry*. 16: 79-83.
- Al-Sagheer A. A., H. K. Mahmoud, F. M. Reda, S. A. Mahgoub, M. S. Ayyat. (2018). Supplementation of diets for *Oreochromis niloticus* with essential oil extracts from lemongrass (*Cymbopogon citratus*) and geranium (*Pelargonium graveolens*) and effects on growth, intestinal microbiota, antioxidant and immune activities. *Aquaculture Nutrition* 24(3) : 1006-1014.
- Angioni A., Barra A., Coroneo V., Dessi S and Cabras P. (2006). Chemical composition, seasonal variability, and antifungal activity of *Lavandula stoechas* L. ssp. *stoechas* essential oils from stem/leaves and flowers. *Journal of agricultural and food chemistry* 54(12): 4364-4370.
- Astani A., Reichling J and Schnitzler P. (2011). Screening for antiviral activities of isolated compounds from essential oils. *Evidence-based complementary and alternative medicine*, 2011.
- Atilia I and Djahoudi A. (2015). Composition chimique et activité antibactérienne de l'huile essentielle de géranium rosat (*Pelargonium graveolens* L'Hér.) cultivé en Algérie. *Phytothérapie* 13(3): 156-162.
- Ayvaz A., Sagdic O., Karaborklu S and Ozturk I. (2010). Insecticidal activity of the essential oils from different plants against three stored-product insects. *Journal of Insect Science* 10 (1): 21-26.
- Baldin E. L. L., G. P. Aguiar, T. L. M. Fanela, M. C. E. Soares, M. Groppo, A. E. M. Crotti. (2015). Bioactivity of *Pelargonium graveolens* essential oil and related monoterpenoids against sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* biotype B. *J. Pest. Sci.* 88, 191-199.
- Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D., Idaomar M. (2008). Biological effects of essential oils. A review. *Food and Chemical Toxicology*. 46 (2): 446-475.
- Baydar H., Sagdic O., Ozkan G., Karadogan T. (2004). Antibacterial activity and composition of essential oils from *Origanum*, *Thymbra* and *Satureja* species with commercial importance in Turkey. *Food Control* 15 : 169-172.
- Beerling J., Meakins S., Small L. (2002). *Eucalyptus* oil products, Formulation and legislation, in *Eucalyptus*, The Genus *Eucalyptus* (Ed.J.J.W. Coppen), Taylor et Francis, London.
- Belaiche P. (1979) .*Traité de phytothérapie et d'aromathérapie*. Tome 1: l'aromatogramme. éd. Maloine. Paris.
- Boukhatem M. N., Hamaidi M. S., Saidi F and Hakim Y. (2010). Extraction, composition et propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle du Géranium Rosat (*Pelargonium graveolens* L.) cultivé dans la plaine de Mitidja (Algérie). *Nature & Technology* (3): 37.
- Boukhris M., Bouaziz M., Feki I., Jemai H., El Feki A and Sayadi S. (2012). Hypoglycemic and antioxidant effects of leaf essential oil of *Pelargonium graveolens* L'Hér. in alloxan induced diabetic rats. *Lipids in health and disease* 11(1): 1-10.
- Bowles EJ. (2004). *The chemistry of aromatherapeutic oils...* 3rd Ed. Crows Nest, NSW: Allen & Unwin Academic.

- Braga M.E.M., Moreschi S.R.M., Angela M; and Meireles A. (2006). Effects of supercritical fluid extraction on *Curcuma longa* L. and *Zingiber officinale* R. starches. Carbohydrate Polymers 63(3): 340-346.
- Bruneton J. (1999). Pharmacognosie. Phytochimie, plantes médicinales. 3^{ème} édition, Tec et Doc. Lavoisier, Paris. 27 (286) : 639.
- Bruneton J.(1993). Pharmacognosie. Phytochimie, plantes médicinales. 2^{ème} éd, Tec et Doc. Lavoisier. Paris. Vol : 06. No :11. 915 p.
- Bruneton J. (2009). Pharmacognosie-Phytochimie, plantes médicinales, 4^{ème} éd., revue et augmentée. Paris, Tec & Doc-Éditions médicales internationales, 1288p.
- Burt S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods-a review. International Journal of Food Microbiology 94: 223-253.
- Carnesecchi S., Langley K., Exinger F., Gosse F., Raul F. (2002). Geraniol, a component of plant essential oils, sensitizes human colonic cancer cells to 5-fluorouracil treatment. J. Pharmacol. Exp. Ther. 301: 625-630.
- Carnesecchi S., Bras-Gonçalves R., Bradaia A., Zeisel M., Gossé F., Poupon M.F., Raul F. (2004). Geraniol, a component of plant essential oils, modulates DNA synthesis and potentiates 5-fluorouracil efficacy on human colon tumor xenografts. Cancer Lett. 215(1): 53-59.
- Carson F.A and Hammer K. (2011). Chemistry and Bioactivity of Essential Oils. In Lipids and Essential Oils as Antimicrobial Agents. (Ed. Thormar H). John Wiley et Spns. Islande. 336p.
- Castillo, R.H. Stashenko, E. Close, J.E.D. (2017). Insecticidal and repellent activity of several plant-derived essential oils against *Aedes aegypti*. Journal of the American Mosquito Control Association, 33(1): 25-35.
- Cavalieri E., Mariotto S., Fabrizi C., Carcereri de Prati A., Gottardo R., Leone S., Berra L.V., Lauro G.M., Ciampa A.R. and Suzuki H. (2004). alpha-Bisabolol, a nontoxic natural compound, strongly induces apoptosis in glioma cells. Biochem. Biophys. Res. Commun. 315(3): 589-594.
- Ćavar S and Maksimović M. (2012). Antioxidant activity of essential oil and aqueous extract of *Pelargonium graveolens* L'Her. Food control 23(1): 263-267.
- Chaumont J.P and Léger D. (1989). Propriétés antifongiques de quelques phénols et de composés chimiquement voisins, relation structure-activité. Plant Med. Phytother. 23: 124-128.
- Chraïbi M., Fikri-Benbrahim K., Edryouch A., Fadil M and Farah A. (2019). Caractérisation chimique et activités antibactériennes des huiles essentielles de *Pelargonium graveolens* et *Myrtus communis* et leur effet antibactérien synergique. Phytothérapie 19(23) : 171 - 177
- Couic-Marinier F and Lobstein A. (2013). Les huiles essentielles gagnent du terrain à l'officine. Actualités pharmaceutiques 52 (525) :18-21.
- Davidson P.M., Naidu A.S. (2000). Phyto-phenols. In: Naidu, A.S. (Ed.), Natural Food Antimicrobial Systems. CRC Press, Boca Raton, FL, : 265-294.
- Dayan F. E., Cantrell C. L and Duke S. O. (2009). Natural products in crop protection. Bioorganic & Medicinal Chemistry 17(12): 4022–4034.
- Degryse A.C., Delpla I and Voinier M.A. (2008). Risques et bénéfices possibles des huiles essentielles. Atelier santé environnement -IGS- EHESP.
- Demarne, F.E. (2002). Rose-scented geranium a *Pelargonium* grown for perfume industry, In M. Lis-Balchin (ed.), Geranium and *Pelargonium*, the genera *Geranium* and *Pelargonium*, CRC Press.
- Dorman H.J.D. and Deans S.G. (2000). Antimicrobial agent from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. J. Appl. Microbiol., 88 (2): 308-316.

- Džamić A. M., Soković M. D., Ristić M. S., Grujić S. M., Mileski K. S and Marin P. D. (2014). Chemical composition, antifungal and antioxidant activity of *Pelargonium graveolens* essential oil. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* 4(3): 001-005.
- Edris A.E. (2007). Pharmaceutical and therapeutic potentials of essential oils and their individual volatile constituents: A review. *Phytother. Res* 21(4):308-23.
- Faujour A. (2004). Contribution à l'amélioration des soins de santé primaires par une investigation scientifique de la pharmacopée traditionnelle populaire des Comores. Bilan de la phase pilote du projet. CNDRS, 248 p.
- Farnsworth N.R., Akerele O., Bingel A.S., Soejarto and Guo Z. (1986). Place des plantes médicinales dans la thérapeutique. *Bulletin de l'Organisation Mondiale de la Santé*, 64(2) : 159-175.
- Farukh S., Zhang H and Setzer W. N. (2014). Composition of geranium (*Pelargonium graveolens*) essential oil from Tajikistan. *Am J Essent Oils Nat Prod* 2(2) : 13-16.
- Faure A. (2013). L'aromathérapie en Rhone-Alpes : exemples d'utilisation thérapeutique des huiles essentielles en soins palliatifs (Thèse de doctoral).
- Fellah S., Romdhane M., Abderraba M. (2006). Extraction et étude des huiles essentielles de la *Salvia officinalis*.l cueillie dans deux régions différentes de la Tunisie. *J. Soc. Alger. Chim.*, 16(2) : 193-202.
- Folliard T. (2014). *Le Petit Larousse des Huiles Essentielles* ;(Larousse Ed) ; Estella Espagne.
- France-Ida J. (1996). Bref survol de diverses méthodes d'extraction d'huiles essentielles. *Info-essence*. 7 : 1-2.
- Franchomme P., Jollois R and Pénoël D. (2001). L'aromathérapie exactement: encyclopédie de l'utilisation thérapeutique des extraits aromatiques. Édition Roger Jollois.
- Franchomme P., Pénoël D. (1990). L'aromathérapie exactement. Encyclopédie de l'utilisation thérapeutique des huiles essentielles. Roger Jollois. Limoges.
- Gazengel J.M and Orecchioni A.M. (2013). *Le préparateur en pharmacie* (2e ed.) (Coll. Guide théorique et pratique). Lavoisier Tech et Doc. 48(4): 295-296.
- Ghannadi A., Bagherinejad M. R., Abedi D., Jalali M., Absalan B and Sadeghi N. (2012). Antibacterial activity and composition of essential oils from *Pelargonium graveolens* L'Her and *Vitex agnus-castus* L. *Iranian journal of microbiology* 4(4): 171.
- Guenther E. (1950). *The essential oils*, 4. D. Van Nostrand Company Inc, New-York, 752 p.
- Guignard J. L. (2000). « Biochimie végétale », Ed. Masson, Paris. 166p.
- Hmamouchi M., (1999). *Les plantes médicinales et aromatiques marocaines : utilisation, biologie, écologie, chimie, pharmacologie, toxicologie, lexiques*. Imprimerie de Fédala, Mohammedia, 389p.
- Hsouna A. B and Hamdi N. (2012). Phytochemical composition and antimicrobial activities of the essential oils and organic extracts from *Pelargonium graveolens* growing in Tunisia. *Lipids in health and disease* 11(1): 1-7.
- Isman M. B. (2000). Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection* 19(8–10) : 603-608.
- Javed A and S Uthirapathy. (2021). Chemical Characterization and Antidiabetic Activity of Essential Oils from *Pelargonium graveolens* Leaves. *The Scientific Journal of Koya University* IX (1) : 109-113.
- Jun-Hyung T. and Murray B.I. (2015). Enhanced cuticular penetration as the mechanism for synergy of insecticidal constituents of rosemary essential oil in *Trichoplusia ni*. *Scientific Reports* 5: 12690.
- Kaloustian J and Hadji-Minaglou F. (2012). La connaissance des huiles essentielles: qualilogie et aromathérapie; Entre science et tradition pour une application médicale raisonnée. Springer.

- Karande P and Mitragotri S. (2009). Enhancement of transdermal drug delivery via synergistic action of chemicals. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes* 1788(11): 2362-2373.
- Kelen M and Tepe B. (2008). Chemical composition, antioxidant and antimicrobial properties of the essential oils of three *Salvia* species from Turkish flora. *Bioresource Technology* 99 (10) : 4096-4104.
- Kubitzki K « *Geraniaceae* », dans F. Albers J.J.A. Van der Walt, *The Families and Genera of Vascular Plants: Vol. IX: Flowering Plants - Eudicots*, Springer-Verlag, 2007.
- Lafon J.P., Thorand Prager C., Levy G. (1988). « Biochimie structurale » Biologie des plantes cultivées. Lavoisier. TEC & DOC, 1, 268-273.
- Lahlou, M. (2004). Methods to study phytochemistry and bioactivity of essential oils. *Phytotherapy. Research* 18: P435-448.
- Laouer H. (2004). Inventaire de la flore médicinale utilisée dans les régions de Sétif, de Bejaia, de Msila et de Djelfa. Composition et activité antimicrobienne des huiles essentielles d'*Ammoides pusilla* et de *Magydaris pastinacea*. Thèse de Doctorat d'état, Département de Biologie, Faculté des sciences, UFA de Sétif.
- Lawrence B.M. (1980). The existence of intraspecific differences I specific general in the labiateac family. Paper presented at VII international congress of essential oils (Cannes), p118-123.
- Lis-Balchin M. and Deans S.G. (1996). Antimicrobial effects of hydrophilic extracts of *Pelargonium* species [Geraniaceae]. *Letters in Applied Microbiology*, 23 : 1-3.
- Lucchesi M.E. (2005). Extraction sans solvant assistée par micro-ondes conception et application à l'extraction des huiles essentielles. Thèse de Doctorat en Sciences, discipline : Chimie. Université de la Réunion, Faculté des Sciences et Technologies.
- Masotti V., Juteau F., Bessière J. M and Viano J. (2003). Seasonal and phenological variations of the essential oil from the narrow endemic species *Artemisia molinieri* and its biological activities. *Journal of agricultural and food chemistry* 51(24): 7115-7121.
- Matsuda B.M., G.A. Surgeoner, J.D. Heal, A.O. Tucker & Marciarello M.J. (1996). Essential oil analysis and field evaluation of citrosa plant 'P. citrosum' as a repellent against population of *Aedes* mosquito. *J. Amer. Mosquito Control Ass.*, 12 (1) : 69-74.
- May J., Chan C.H., King A., Williams L and French G.L (2000). Time-kill Studies of Tea Tree Oils on Clinical Isolates. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 45: 639-643.
- Mazars G. (1997). Les plantes médicinales de l'Inde. Histoire, actualité, perspectives. *Bulletin de l'association philomathique d'Alsace et de Lorraine* 33: 103-118.
- Mejlholm O and Dalgaard P. (2002). Antimicrobial effect of essential oils on the seafood spoilage micro-organism *Photobacterium phosphoreum* in liquid media and fish products. *Letters in Applied Microbiology* 34(1): 27-31.
- Miguel M.G. (2010). Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Essential Oils: A Short Review; *Molecules*. 15(12):9252-87.
- Miller D.M., 2002. *Geranium and Pelargonium*. In: Lis-Balchin, M., Ed. *Medicinal and Aromatic Plants-Industrial Profiles*. Taylor and Francis, London, UK, p.49.
- Naganuma M., Hirose S., Nakayama Y., Nakajima K and Someya T. (1985). A study of the phototoxicity of lemon oil. *Arch. Dermatol.* 278(1): 31-6.
- Paena A.T., D'Aquila P.S., Panin F., Pippia P., Moretti M.D.L. (2002). Anti-inflammatory activity of linalool and linalyl acetate constituents of essential oils. *Phytomedicine*. 9(8):721-6.
- Paolini J. (2005). 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*. Thèse de Doctorat.

- Patricia Bechalani. (2005). L'utilisation des huiles essentielles dans les affections inflammatoires en complément du traitement ostéopathique. Mémoire du diplôme ostéopathie animal. European School of Animal Osteopathy, pp 10,11.
- Pibiri M.C. (2005). Assainissement microbiologique de l'air et des systèmes de ventilation au moyen d'huiles essentielles. Thèse de doctorat en vue de l'obtention du grade de docteur en sciences. Institut des Infrastructures, des ressources et de l'environnement, section d'architecture, EPFL Lausanne.
- Pohlit A.M., Rezende, A.R., Baldin, E.L.L., Lopes, N.P., Neto, V.F.A. (2011). Plant Extracts, Isolated Phytochemicals, and Plant-Derived Agents Which Are Lethal to Arthropod Vectors of Human Tropical Diseases – A Review *Planta Med* 77: 618-630.
- Prabuseenivasan S., Jayakumar M and Ignacimuthu S. (2006). In vitro antibacterial activity of some plant essential oils. *BMC Complement. Altern. Med.* 6:39.
- Quezel, P & Santa, S. (1963). Nouvelle Flore de l'Algérie et des Régions Désertiques Méridionales, Tome II, Editions du Centre National de la Recherche Scientifique (C.N.R.S), Paris, France.
- Rajeswara Rao B.R. (2002). Biomass yield, essential oil yield and essential oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium* species) as influenced by row spacing and intercropping with cornmint (*Mentha arvensis* L, *F. piperascens* Malinv. ex Holmes). *Industr. Crops Products*, 16: 133-144.
- Rajeswara Rao B.R., P.N. Kaul, G.R. Mallavarapu and Ramesh, S. (1996). Effect of seasonal climatic changes on biomass yield and terpenoid composition of roses-scented geranium (*Pelargonium* species). *Biochem. Syst. Ecol.*, 24 (7-8): 627-635.
- Rai M.K., Acharya D and Wadegaonkar P. (2003). Plant derived-antimycotics: potential of Asteraceous plants, In: plant-derived antimycotics: Current Trends and Future prospects, Haworth press, N-York, London, Oxford 165-185.
- Rasooli I., Fakoor M. H., Yadegarinia D., Gachkar L., Allameh A and Rezaei M. B. (2008). Antimycotoxigenic Characteristics of *Rosmarinus officinalis* and *Trachyspermum copticum* L. Essential Oils. *International Journal of Food Microbiology* 122 (1-2): 135-139.
- Razzaghi-Abyaneh M., Shams-Ghahfarokhi M., Bagher Rezaee M., Jaimand K., Alinezhad S., Saberi R and Yoshinari T. (2009). Chemical composition and antiaflatoxigenic activity of *Carum carvi* L. *Thymus vulgaris* and *Citrus aurantifolia* essential oils. *Food control* 20:1018-1024.
- Sallé J.L. (2004). Les huiles essentielles: synthèse d'aromathérapie. Editions *Frison-Roche*.
- Sangwan N. S., Farooqi A. H. A., Shabih F., and Sangwan R. S. (2001). Regulation of essential oil production in plants. *Plant growth regulation* 34(1): 3-21.
- Sanogo, R. (2006). Le Rôle des Plantes Médicinales en Médecine Traditionnelle. Développement, Environnement et Santé. 10ème école d'été de l'IEPF et SIFEE du 06 au 10 juin 2006, 53 p.
- Sharon, S.V. Diego, F.Z. Méndez-Sanchez, S.C. Rodríguez-Sanabria, F. Stashenko, E.E. Luna, J.E.D. (2014). Essential oils with insecticidal activity against larvae of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Parasitology Research*, 113(7): 2647-2654.
- Smith C.K., Moore C.A., Alahi E.N., Smart A.T and Hotchkiss S.A. (2000). Human skin absorption and metabolism of the contact allergens, cinnamic aldehyde and cinnamic alcohol. *Toxicol. Appl. Pharmacol* 168(3):189-99.
- Thompson J.D et al. (2003). Qualitative and quantitative variation in monoterpene cooccurrence and composition in the essential oil of *Thymus vulgaris* chemotype. *J. Chem. Ecol* 29(4): 859-880.

- Tiwari B. K., Valdramidis V. P., O'Donnell C. P., Muthukumarappan K., Bourke P., and Cullen P. J. (2009). Application of natural antimicrobials for food preservation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(14): 5987–6000.
- Tohidpour A., Sattari M., Omidbaigi R., Yadegar A and Nazemi J. (2010). Antibacterial Effect of Essential Oils from two Medicinal Plants against Methicillin Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). *Phytomedicine* 17: 142-145
- Traoré M.C. (2006). Etude de la phytochimie et des activités biologiques de quelques plantes utilisées dans le traitement traditionnel de la dysménorrhée au Mali. Thèse de doctorat. Université de Bamako, Mali.
- Van den Dool H., Kratz P.D. (1963). A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. *J. Chromatography* 11: 463-471.
- Van der Walt J.J. and Andri. (1992). Discovering the world of Pelargoniums. Third International Geranium Conference Proceedings: 15-27.
- Viuda-Martos M., Ruiz Navajas Y., Sánchez Zapata E., Fernández-López J and Pérez-Álvarez J.A. (2009). Antioxidant Activity of Essential Oils of Five Spice Plants Widely Used in a Mediterranean Diet; *Flavour and Fragrance Journal*, 25(1): 13-19.
- Watt J.M. and M.G. Breyer-Brandwijk, (1962). The medicinal and poisonous plants of Southern and Eastern Africa, 2nd ed. Edinburgh, E & S Livingstone Ltd., 449- 455.
- Weiss E.A. (1997). Essential oil crops. Centre for Agriculture and Biosciences (CAB) International, New York and UK, 24-50.
- Zhiri A. and D. Boudeaux, (2005). Huiles essentielles chémotypées et leurs synergies. *Aromathérapie scientifique*, 80 p.

Regroupement de toutes les molécules détectées dans les HEs de *P. graveolens* étudiées à travers le monde à ce jour

Code	Pg_Fe_IQ	Pg_Fe_TL_MA	Pg_Fe_RI	Pg_Pa_RR2	Pg_Fe_EG	Pg_Fe_BR2	Pg_GE	Pg_Pa_TA	Pg_Fe_TU1	Pg_Fe_TU2	Pg_TL_BO	Pg_Fe_BO	Pg_Pa_DZ	Pg_DZ	Pg_Fe_DZ
Organe	Fe	FE/TL	Fe	PA	Fe	Fe	?	PA	Fe	Fe	TL	Fe	PA	?	Fe
Paye	Iraq	Maroc	Iran1	Iran2	Egypt	Brazil2	Germany	Tajikistan	Tunisia1	Tunisia2	Bosnie	Bosnie	Algérie1	Algérie2	Algérie3
2,6-Octadien-1-ol, 3,7-diméthyl-, formate									2,7						
3-Méthyl-2-butenyl 2-méthyl-butanoate												0,3			
Acetate									0,57						
Acide Butanoïque									0,18						
Acide Propanoïque									0,15	0,39					
Acide-2-Butenoïque									1,43						
Agarofuran(A-)									0,19						
Agarofuran(α-)			0,6							0,57		0,2			
Agarospinol									0,46						
Alloaromadendrene							0,14	0,3						0,62	
Amorphe(α-)								0,2		0,29					
Amorphe(δ-)															0,6
Aristolene						4,2									
Aromadendrene							0,95	0,2	0,17	0,68	0,1				0,48
Azulene										0,4					
Bergamotene(trans-α-)							0,1								
Bicyclogermacrene			1									0,2			
Bourbonene(α-)					2,62										
Bourbonene(β-)		0,57	2,1				1,38	2,7	0,22	1,01		0,1		2,75	1,15
Bourbonanone(1- nor-épi-)		1,09													
Cadalene			0,1					0,2							
Cadina-1(6),4-diene(trans-)												1,4			
Cadina-1,4-diene									0,25						
Cadinene(E-)					1,98										
cadinene(α-)		0,56												0,9	
Cadinene(γ-)			0,5				0,16	0,5			0,2	0,3			
Cadinene(δ-)		0,51	2,5	0,9			1,16		0,59	1,36	0,2	0,5			
Cadinol(epi-α-)											1,1	0,5			
Cadinol(α-)							0,13	0,6	0,39			0,3			
Calacorene(α-)						1,6									
Calamenene(trans-)								1,3							0,81
Carene(Δ,3-)									0,07						
Carvone		0,53													
Caryophylla-4(12),8(13)-dien-5-ol								0,4							
CARYOPHYLLENE (E-β)		0,76	2,6	3,4	2,46		1,33	1,1	0,33	1,63	0,1	1,2		1,71	
Caryophyllene oxide	3,63			1,2			0,43	3,7							
Caryophyllène(α-)								0,1						0,3	0,54
cis-Murola-3,5-diene								0,4							
cis-Murola-4(14),5-diene							0,09	0,1							
Citral (E-)										0,84					
Citral (Z-)									0,55	0,71					
Citronellal												0,2			
Citronellate Methyl											1				
Citronellic acid								0,1							
Citronellol	2,22	26,98	35,9	36,4	14,37	15,6	24,54	37,5	27,53	16,24	14,2	19	33,215	19,22	26,48
Citronellol(α-)					18,17										
Citronellyl 2-méthylbutanoate								0,1							
Citronellyl acetate	1,57	1,24	3,5	0,6			0,28	1						0,3	
Citronellyl butanoate				1,1			0,68	1,5				0,1		1,68	
Citronellyl cinnamate	1,78														
Citronellyl ester								1,1							
Citronellyl formate		7,09		12,1			10,66		8,75	7,39			10,566	10,02	11,07
Citronellyl heptanoate								0,3							
Citronellyl hexanoate	2,64														
Citronellyl isobutyrate								0,2							
Citronellyl isovalerate	10,41														
Citronellyl octanoate								0,3							
Citronellyl pentanoate								0,3							
citronellyl propanoate				1				1,4		0,14	0,2			0,56	
Citronellyl tiglate (E-)		1,42						1			0,4	0,5		0,29	
Citronellyl tiglate(cis-)							0,31								
Citronellyl valerate	1,31														
Copaene(α-)	0,79			0,5	1,23		0,46	0,9	0,18			0,5		0,27	0,46
Copaene(β-)								0,2							
Cubebene(α-)			1,3				0,07	0,2	0,11	0,96					
Cubebene(β-)										0,64				0,81	
Cubebene(γ-)														0,92	
Cubenol	1,44						0,15								
Cubenol(1,10-di-epi-)							0,2	0,4			0,2	0,2			
Cubenol(1-epi-)							0,12	0,4							
cubebene(β-)										0,32					
Cyclopentane, méthyl-					1,27										
Cymene(p-)	0,78		0,1					0,1							
Davanone		1,95													
Decanoic acid											1,2	3,4			
Dimethyloct-6-en-1-yl heptanoate(3,7-)	1,40														
Dimethylocta 2,6-die n-1-yl dodecanoate(E)-3,7-)					2,63										
Elemene(β-)			0,1				0,25	0,1			0,2	0,6			
Elemene(γ-)											0,2				
Elemenone(trans-β-)											0,8	0,1			
elemol										0,4	0,2				
Epicubenol	0,99														
Epizonarene			0,7							0,24					

Terpine-1-ol		0,95													
Terpinen-4-ol			0,5												
Terpinene(γ -)			0,1												
Terpineol (cis- β -)			0,3												
terpinéol(α -)		0,7	1,3	0,4		1,3	0,36	0,4	0,3	0,24		0,2			
Terpinyle (α -) Acétate		0,54													
Tetramethyltricyclo [7.3.0.0(1,6)]dodecan-11-one**(5,5,9,10-)							0,46								
Tetrapentacontane	0,66														
thujaplicin(β -)		1,09													
thujaplicin(γ -)		0,71													
thujéne(α -)		0,5													
Tiglate de phényl(β -)													2,208		
Trichloromethane					1,53										
Trimethyl-6-vinyltetrahydropyran(2,2,6-)							0,03								
Valencene			0,3							0,32					
Valerianol											0,8	0,4			
Viridiflorol								0,5							
Ylangene(α -)								0,1							
Z-2,6-Dimethyl-2,6-octadiene									0,21						

**La matrice de 15 composés majoritaires (> 5%) utilisé lors de l'analyse statistique cluster
hiérarchique**

	Citronellol	Citronellol(α -)	Citronellyl formate	Citronellyl isovalerate	Eudesmol((10-epi- γ -)	Geraniol	Geranyl acetate	Geranyl formate	Germacrone	Guaiadiene(6,9-)	Isomenthone	Linalool	Menthone	Methylpentane(3-)	Selinene(6-)
Pg_Fe_IQ	2,22	0	0	10,41	0	0	0	0	0	0	0	8,63	6,31	0	0
Pg_FeTi_MA	26,98	0	7,09	0	0	14,12	0	4,07	0	4,27	8,8	4,97	0	0	0
Pr_Fe_IR1	35,9	0	0	0	0	18,5	0	0	0	0	4,2	5,7	2,6	0	5,5
Pg_Pa_IR2	36,4	0	12,1	0	0	10,7	1,5	2,6	0	0	7,3	5,1	2,7	0	0
Pg_Fe_EG	14,37	18,17	0	0	6,85	0	0	4,9	0	0	10,64	6,4	0	11,96	0
Pg_Fe_BR	15,6	0	0	0	0	42,3	0	0	0	0	0	16,4	8,1	0	0
Pg_GE	24,54	0	10,66	0	0	15,33	0	5,61	0	7,08	2,86	9,8	4,33	0	0
Pg_Pa_TA	37,5	0	0	0	0	6	0	2	0	0	2,1	3	3,1	0	0
Pg_Fe_TU1	27,53	0	8,75	0	0	25,85	0,74	0	0	0	0,18	6,54	6,22	0	8,15
Pg_Fe_TU2	16,24	0	7,39	0	0	15,3	0	6,47	0	0	0	3,8	4,13	0	8,69
Pg_Ti_BO	14,2	0	0	0	4,5	50,2	0,1	0	6,1	1,4	0	0,4	2	0	0
Pg_Fe_BO	19	0	0	0	5	27,5	0	0,1	0,1	4,6	0	3,6	5,2	0	0
Pg_Pa_DZ	33,21	0	10,56	0	0	5,42	0	0	0	9,25	4,35	2,23	1,96	0	0
Pg_DZ	19,22	0	10,02	0	7,15	14,03	6,45	2	0	0,18	3,08	5,6	0,39	0	0
Pg_Fe_DZ	26,48	0	11,07	0	10,88	17,56	1, 19	7,12	0	0	0	2,03	4,26	0	0