

## MÉTHODES D'EXTRACTION ET DE DISTILLATION DES HUILES ESSENTIELLES : REVUE DE LITTÉRATURE

BOUKHATEM Mohamed Nadjib <sup>1,2\*</sup>, FERHAT Amine <sup>3</sup> et KAMELI Abdelkrim<sup>3</sup>

1. Département de Biologie et Physiologie Cellulaire, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université – Saad Dahlab - Blida 1, Blida, Algeria.
2. Laboratoire Ethnobotanique et Substances Naturelles, Ecole Normale Supérieure, Vieux-Kouba, Alger, Algeria.
3. Laboratoire de Recherche sur les Produits Bioactifs et Valorisation de la Biomasse, Ecole Normale Supérieure, Vieux-Kouba, Alger.

*Reçu le 15/06/2019, Révisé le 22/08/2019, Accepté le 03/09/2019*

### Résumé

L'exploitation du potentiel chimique des plantes à parfum passe par une première étape d'extraction des composés spécifiques d'espèces botaniques sélectionnées. Malheureusement ces molécules aromatiques, souvent à forte valeur ajoutée, sont présentes dans ces espèces en faible quantité. C'est le cas des huiles essentielles distillées des plantes aromatique et médicinales.

Si le principe de fabrication ou d'obtention des essences aromatiques est relativement simple - faire passer de la vapeur d'eau à travers une masse végétale – encore est-il que ce procédé admet des variantes nombreuses, chacune d'entre elles ayant un effet parfois important sur le rendement et sur la qualité du distillat obtenu.

Par ailleurs, l'ère industrielle a pris le pas sur un certain empirisme et développa ainsi de nouvelles technologies de distillation sophistiquées, désormais mises à contribution afin de pouvoir obtenir des extraits aromatiques de qualité accrue et dans des délais plus courts.

Lors de cet article de synthèse, différents procédés d'extraction et de distillation des huiles aromatiques ont été abordés et développés, de façon à mieux cerner l'objectif d'obtenir les constituants aromatiques dans des concentrations maximales et dans un état chimique le plus proche possible de leur structure native.

**Mots-clés :** Huiles Essentielles ; Molécules Terpéniques ; Méthodes d'Extraction ; Hydrodistillation ; Extraction sans Solvants ; Plantes Aromatique et Médicinale.

## EXTRACTION METHODS OF ESSENTIAL OILS FROM MEDICINAL PLANTS: A COMPREHENSIVE REVIEW

### Abstract

Medicinal use of phytochemical extracts involves a first step of extraction of these terpenoids from aromatic and medicinal plants. Unfortunately, these aromatic molecules and terpenes are considered as a high added value and are present in these plants in small quantities. This is the case of essential oils which can be distilled from medicinal plants by using different techniques.

In most cases, the principle of extraction and purification of essential oils is relatively simple and easy. It consists of passing water vapor through a plant material in vitro or in Alembic. However, these techniques and processes admit many variants which can lead sometimes to important effects on the yield and the quality (chemical composition and biological properties) of the essential oils.

Furthermore, some research laboratories and companies developed new and safe extraction and eco-friendly technologies used for extraction of phytochemicals and secondary metabolites. These techniques offer a great number of advantages such as shorter time extraction and high quality oils.

In this review article, different extraction and distillation methods were discussed and developed, in order to better understand the objective of obtaining essential oils with high yield and quality (chemical composition similar to the native structure in the plant).

**Keywords:** Essential Oils; Terpenes; Extraction Methods; Hydrodistillation; Solvent-Free Extraction; Aromatic and Medicinal Plants.

\* Auteur correspondant: BOUKHATEM Mohamed Nadjib, E-mail: mn.boukhatem@yahoo.fr

## INTRODUCTION

L'extraction d'une l'huile essentielles (HE) est nécessairement une opération complexe et délicate. Elle a pour but, en effet, de capter et recueillir les produits les plus volatils, subtils et les plus fragiles qu'élabore le végétal, et cela sans en altérer la qualité. Pour mesurer la difficulté de l'entreprise, il suffit de garder présente à l'esprit la rapidité avec laquelle se dégage, puis disparaît ou se dénature, le parfum d'une fleur, même la plus odorante, lorsqu'on en a froissé les pétales. Une fois la cuticule cireuse des poches épidermiques brisée, l'essence s'en échappe et plusieurs molécules odorantes se dispersent dans l'air ambiant [1,2].

D'un point de vue général, il est intéressant de noter que les HE ne sont pas nécessairement identiques à celles produites par les plantes. Aussi poétique que soit l'idée qu'une HE puisse correspondre à l'esprit de la plante, et donc être une réplique exacte de ce qui est présent dans le végétal, elle n'en demeure pas moins erronée, du moins le plus souvent. Les HE subissent généralement des modifications de leur composition chimique lors du processus d'extraction causées par la chaleur ou bien par leurs interactions avec l'eau. En fait, seules les HE issues de l'expression à froid, n'ayant pas eu de contact avec le jus de fruit et protégées de l'oxydation, pourraient correspondre à la véritable essence de la plante [3,4].

Une revue de littérature fait apparaître que plusieurs méthodes d'extraction ont été mises au point pour la distillation des molécules terpéniques des plantes à parfum [5-8]. Cependant les composés volatiles sont connus comme étant thermosensibles et vulnérables aux réactions chimiques. La perte de certains constituants, la dégradation de quelques composés insaturés par effet thermique ou par hydrolyse, ainsi que la présence de résidus de solvants organiques plus ou moins toxiques peuvent être engendrés par ces techniques d'extraction. Ces inconvénients ont attiré l'attention de plusieurs laboratoires de recherche et ont permis la mise au point de nouvelles techniques d'extraction des HE et des arômes, beaucoup plus écologiques, comme celles assistées par micro-ondes, aux ultrasons ou encore l'utilisation d'un solvant supercritique [9-11]

Au cours de cet article de synthèse, nous allons passer en revue et développer les procédés d'extraction et de distillation des huiles

aromatiques et des essences végétales, qu'elles soient traditionnelles ou innovantes. L'accent sera mis aussi sur les différents avantages et inconvénients de chaque technique, dans le souci permanent d'obtenir ces constituants aromatiques dans des concentrations maximales, et dans un état chimique le plus proche possible de leur structure native.

## LOCALISATION ET RENDEMENT EN HUILES ESSENTIELLES

A priori, toutes les plantes possèdent la faculté de produire des composés volatils mais seulement à l'état de traces le plus souvent. Parmi les espèces végétales, 10% seulement sont dites « aromatiques ». La capacité à accumuler l'HE est cependant la propriété de certaines familles de plantes réparties au sein de l'ensemble du règne végétal, aussi bien représentées par la classe des gymnospermes Cupressaceae (bois de cèdre) et Pinacea (pin et sapin) que celle des angiospermes. Les familles les plus importantes sont les dicotylédones comme celles des Apiaceae (coriandre), Asteracea (camomille), Geraniaceae (géranium), Illiciaceae (anis), Lamiaceae (menthe), Lauraceae (cannelle), Myricaceae (noix), Myrtaceae (eucalyptus), Oleacea (jasmin), Rosacea (rose), Sandatalacea (bois de santal) et Rutacea (citron). Les monocotylédones sont principalement représentées par les familles Poacea (vétiver) et Zingiberaceae (gingembre) [12-14].

Les HE sont des sécrétions naturelles élaborées par le végétal et contenues dans les cellules ou parties de la plante comme celles des fleurs (rose), sommités fleuries (lavande), feuilles (citronnelle), écorces (cannelier), racines (iris), fruits (vanillier), bulbes (ail), rhizomes (gingembre) ou graines (muscade). Pour certaines HE comme celles de lavande ou de sauge, c'est la plante entière qui est utilisée [15,16].

Seules les parties sécrétrices ou les plus concentrées de la plante sont récoltées à la période de rendement optimum : avant la floraison (menthes), pendant (lavandes) et après celle-ci (plantes à graines) ou encore après la rosée du matin (fleurs fragiles) [17, 18]. Les quantités d'HE produites par les plantes sont minimales, entraînant des rendements d'extraction extrêmement faibles, généralement inférieurs à 2%. Le rendement le plus faible est observé pour l'iris qui demande environ 4 kg de poudre pour obtenir 1 g d'absolue, ce qui explique le tarif exorbitant de cette huile [19].

## MÉTHODES D'EXTRACTION DES HUILES ESSENTIELLES

### 1. Extraction par entraînement à la vapeur d'eau

C'est l'une des méthodes officielles pour l'obtention des HE (Figure 1) [20]. Dans ce système d'extraction, le matériel végétal est soumis à l'action d'un courant de vapeur sans macération préalable. Les vapeurs saturées en composés volatils sont condensées puis décantées dans l'essencier, avant d'être séparées en une phase aqueuse (HA) et une phase organique (HE). L'absence de contact direct entre l'eau et la matière végétale, puis entre l'eau et les molécules aromatiques, évite certains phénomènes d'hydrolyse ou de dégradation pouvant nuire à la qualité de l'huile. De plus, le parfum de l'HE obtenue est plus délicat et la distillation, régulière et plus rapide, fait que les notes de tête sont riches en esters [21].

Les fractions dites « de tête », fragrances très volatiles dues à des molécules légères,

apparaissent en premier. Le plus souvent, une demi-heure permet de recueillir 95 % des molécules volatiles, ce qui suffit aux besoins de l'industrie et de la parfumerie, comme pour la lavande. L'emploi en aromathérapie impose de prolonger l'opération aussi longtemps qu'il est nécessaire afin de récupérer la totalité des composants aromatiques volatils [3, 22, 23].

### 2. Extraction par Hydrodistillation

Elle consiste à immerger la matière première dans un bain d'eau et l'ensemble est porté à ébullition (Figure 2). Elle est généralement conduite à pression atmosphérique. La distillation peut s'effectuer avec ou sans cohobage des eaux aromatiques obtenues lors de la décantation. Ce procédé présente des inconvénients dus principalement à l'action de la vapeur d'eau ou de l'eau à l'ébullition ; Certains organes végétaux, en particulier les fleurs, sont trop fragiles et ne supportent pas les traitements par entraînement à la vapeur d'eau et par hydrodistillation (HD) [24].

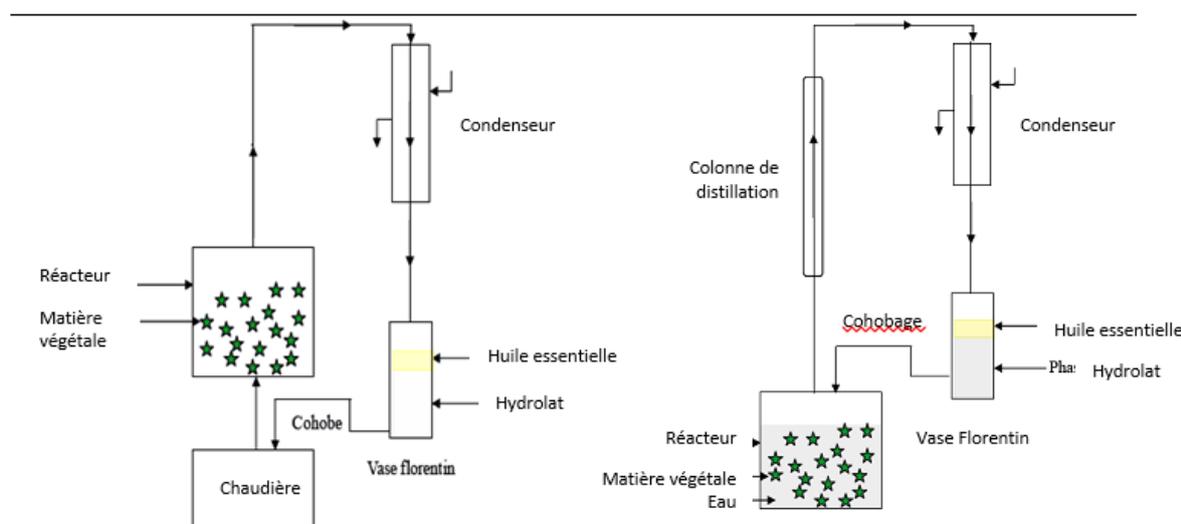


Figure 1. Principe schématisé de l'extraction par entraînement à la vapeur (EVE) [24].

Cependant, le contact direct des constituants de l'HE avec l'eau occasionne des réactions chimiques conduisant à des changements dans la composition finale de l'extrait [21,25]. Les conditions opératoires et, notamment, la durée de distillation ont une influence considérable sur le rendement et la composition de l'HE. C'est pourquoi sont développés, aujourd'hui, des modèles mathématiques qui permettent d'optimiser, au mieux, ces conditions afin de produire des HE de manière reproductible.

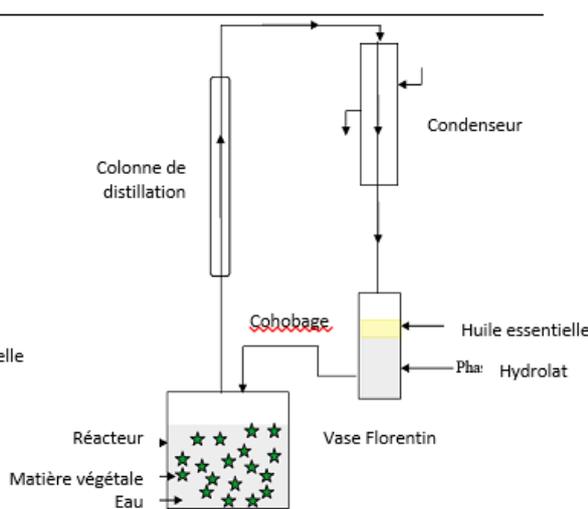


Figure 2. Principe schématisé de l'hydrodistillation (HD) [24].

La labilité des constituants des HE explique que la composition du produit obtenu par HD soit, le plus souvent, différente de celle du mélange initialement présent dans les organes sécréteurs du végétal [26-29]. L'hydrodistillation possède des limites. Le chauffage prolongé et puissant engendre une détérioration de certains végétaux et la dégradation de certaines molécules aromatiques. L'eau, l'acidité et la température peuvent induire l'hydrolyse des esters mais

aussi des réarrangements, des isomérisations, des racémisations et/ou des oxydations [30]. On comprend mieux les variations importantes de composition que fait ressortir l'analyse de la bibliographie sur l'HE.

### 3. Expression à froid

La technique est réservée à l'extraction des essences volatiles contenues dans les péricarpes d'agrumes en déchirant ces dernières par un traitement mécanique. Elle consiste à rompre ou dilacérer les parois des sacs oléifères contenus dans le mésocarpe situé juste sous l'écorce du fruit, l'épicarpe, pour en recueillir le contenu qui n'a subi aucune modification.

Les essences de *Citrus* ont longtemps été extraites manuellement, la mécanisation et l'industrialisation de la technique d'expression à froid ne s'étant effectuées qu'au début du XX<sup>e</sup> siècle, afin de diminuer les coûts de production et d'améliorer les rendements pour faire face à l'augmentation de la demande. Les systèmes récents, comme la « *Food Machinery Corporation-in-line* » (FMC), permettent d'extraire le jus de fruit et l'essence de manière quasi-simultanée sans contact des deux. C'est pourquoi l'expression à froid est la méthode de choix pour extraire ces essences, d'autant que la distillation n'est plus une technique très appropriée. En effet, la distillation produit des huiles aromatiques de moindre qualité principalement due à une présence importante d'aldéhydes, composés sensibles à l'oxydation et à la chaleur [31-34].

### 4. Extraction par solvant organique

Les solvants les plus utilisés à l'heure actuelle sont l'hexane, cyclohexane, l'éthanol, moins fréquemment le dichlorométhane et l'acétone. Le solvant choisi, en plus d'être autorisé, devra posséder une certaine stabilité face à la chaleur, la lumière ou l'oxygène. Sa température d'ébullition sera de préférence basse afin de faciliter son élimination, et il ne devra pas réagir chimiquement avec l'extrait. L'extraction est réalisée avec un appareil de Soxhlet. Ces solvants ont un pouvoir d'extraction plus élevé que l'eau, si bien que les extraits ne contiennent pas uniquement des composés volatils, mais également bon nombre de composés non volatils tels que des cires, des pigments, des acides gras et bien d'autres substances [35].

En fonction de la technique et du solvant utilisé, on obtient des hydrolysats (eau comme

solvant), des alcoolats (éthanol dilué), des teintures (éthanol/eau), des résinoïdes (extraits éthanoliques concentrés) et des concrètes (extraits à froid et à chaud au moyen de solvants divers) [27].

La technique d'extraction « classique » par solvant, consiste à placer, dans un extracteur, un solvant volatil et la matière végétale à traiter. Grâce à des lavages successifs, le solvant va se charger en molécules aromatiques, avant d'être envoyé au concentrateur pour y être distillé à pression atmosphérique.

L'emploi restrictif de l'extraction par solvants organiques volatils se justifie par son coût, les problèmes de sécurité et de toxicité, ainsi que la réglementation liée à la protection de l'environnement. Cependant, les rendements sont généralement plus importants par rapport à la distillation et cette technique évite l'action hydrolysante de la vapeur d'eau [26].

Face à cette situation, deux nouvelles techniques ont été mises au point, ces dernières années, pour la distillation des substances d'arômes à partir des plantes : l'extraction assistée par micro-ondes et l'extraction par le CO<sub>2</sub> supercritique.

### 5. Extraction assistée par micro-ondes

L'avantage de ce procédé est de réduire considérablement la durée de distillation et incrémenter le rendement. Toutefois, aucun développement industriel n'a été réalisé à ce jour. La distillation assistée par micro-ondes fait aujourd'hui l'objet de beaucoup d'études et ne cesse d'être améliorée parce qu'elle présente beaucoup d'avantages : technologie verte, économie d'énergie et de temps, investissement initial réduit et dégradations thermiques et hydrolytiques minimisées [36-38].

L'emploi des micro-ondes constitue, par ailleurs, une méthode d'extraction à part entière en plein développement. A titre d'exemple, La SFME (Solvent Free Microwave Extraction) est une combinaison originale des techniques de chauffage par micro-ondes et de distillation sèche. Elle consiste à placer le matériel végétal dans un réacteur au sein d'un four micro-ondes sans ajout d'eau ou de solvant (Figure 3). Le chauffage interne de l'eau contenue dans la plante permet d'en dilater ses cellules et conduit à la rupture des glandes et des récipients oléifères. L'HE ainsi libérée est évaporée avec l'eau de la plante [39]. Comparée à l'hydrodistillation traditionnelle,

la SFME se caractérise par une diminution de la consommation énergétique et des rejets en CO<sub>2</sub> mais, surtout, par un temps d'extraction de l'ordre de 9 fois plus rapide. Les HE issues de ce procédé sont composées d'un taux plus important en composés oxygénés, de valeurs odorantes plus significatives, alors que les monoterpènes sont présents en moindre quantité [40-41].

Le protocole expérimental de l'extraction sans solvant assistée par micro-ondes (SFME) s'articule autour de trois points importants :

- La quantité de matière végétale a été fixée de manière à obtenir une quantité d'HE suffisante pour une séparation par simple décantation. Le but de ce protocole étant d'éviter l'usage de solvant organique afin d'obtenir un produit le plus « propre » possible ;

- La puissance micro-ondes appliquée (300-450 Watts) lors de l'extraction SFME est obligatoirement fonction de la quantité de matière végétale à traiter. Cette grandeur représente la quantité de puissance appliquée en Watts par kilogramme de matériel végétal traité ;

- Le temps total de l'extraction est composé du temps de chauffage (première étape = 10 mn) et du temps d'extraction (seconde étape = 10 mn). La capacité de chauffage des micro-ondes étant nettement supérieure à un chauffage traditionnel. La durée de l'extraction sous micro-ondes sera considérablement réduite par rapport à une hydrodistillation classique [24,42].

Là encore, des expériences préliminaires ainsi que les données de la littérature [37] ont montré que sous micro-ondes, contrairement à une extraction classique de type « hydrodistillation », il n'était pas nécessaire de chauffer pendant de longues périodes pour obtenir des rendements intéressants.

La micro-onde agit sur certaines molécules, telles que l'eau, qui absorbent l'onde, et convertissent son énergie en chaleur. Contrairement au chauffage classique par conduction ou convection, le dégagement de chaleur a lieu dans la masse. Ainsi dans une plante, les micro-ondes sont absorbées par les parties les plus riches en eau (les vacuoles, véritables réservoirs liquides des cellules), puis converties en chaleur. Il en résulte une soudaine augmentation de la température à l'intérieur du matériel, jusqu'à ce que la pression interne dépasse la capacité d'expansion des parois cellulaires. La vapeur détruit la structure des cellules végétales, et les substances situées

à l'intérieur des cellules peuvent alors s'écouler librement à l'extérieur du tissu biologique, et l'HE est alors entraînée par la vapeur d'eau [24].

Lucchesi et al. [26] ont extrait des HE par SFME de trois herbes aromatiques: basilic, menthe et thym. Avec cette technique, ils ont isolé et concentré les composés volatiles en une seule étape, sans ajout de solvant ou d'eau. Les HE extraites sont plus riches en composés oxygénés, comparativement à la méthode conventionnelle. En fait, l'abondance des composés oxygénés dans l'HE est liée au chauffage rapide des substances polaires avec les micro-ondes et à la faible quantité d'eau dans le milieu, ce qui empêche la dégradation des composés par réactions thermiques et hydrolytiques. Cette technique offre plusieurs avantages comme un temps d'extraction plus courts, une réduction de la quantité de solvant, une très bonne reproductibilité avec de bons rendements.

Les HE obtenues par distillation ne représentent jamais exactement l'arôme et le parfum existants naturellement dans la plante. L'extraction assistée aux micro-ondes, une nouvelle technique innovante et écologique, peut permettre de résoudre certains problèmes de la distillation.

#### **6. Extraction par fluide à l'état supercritique**

L'originalité de la technique d'extraction par fluide supercritique, dite SFE, provient de l'utilisation de solvants dans leur état supercritique, c'est-à-dire dans des conditions de températures et de pressions où le solvant se trouve dans un état intermédiaire aux phases liquide et gazeuse et présente des propriétés physico-chimiques différentes, notamment un pouvoir de solvation accru. Si, en pratique, de nombreux solvants peuvent être employés, 90% des SFE sont réalisées avec le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), principalement pour des raisons pratiques. En plus de sa facilité d'obtention due à ses pression et température critiques relativement basses, le CO<sub>2</sub> est relativement non toxique, disponible à haute pureté et à faible prix, et il possède l'avantage d'être éliminé aisément de l'extrait [43].

La SFE est une technique dite « verte » utilisant pas ou peu de solvant organique et présentant l'avantage d'être bien plus rapide que les méthodes traditionnelles. Les compositions chimiques des HE ainsi obtenues peuvent présenter des différences, qualitatives et quantitatives, avec celles issues de l'hydrodistillation [6, 44, 45].

## CONCLUSION

En somme, l'extraction des HE de la matière végétale peut être réalisée au moyen de plusieurs procédés, basés sur des techniques anciennes ou récentes. Ces dernières, bien que présentant de nombreux avantages, notamment celui de réduire considérablement le temps d'extraction, ne sont pas, pour l'instant, reconnues par la Pharmacopée Européenne. Cependant, quel que soit le procédé utilisé, l'extrait final correspond à une concentration des composés initialement présents dans la matière première. De plus, les méthodes de production tout comme l'origine géographique, le climat, le sol, la période de récolte ou bien encore les pratiques agricoles, peuvent avoir une influence directe sur la composition chimique de l'huile essentielle distillée. Les prochaines années verront raisonnablement augmenter, de façon significative, le nombre de publications relatives à l'utilisation de nouvelles techniques innovantes, fiable et rapides, dans le domaine de l'extraction des substances aromatiques.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **Lahlou, M. (2004).** Methods to study the phytochemistry and bioactivity of essential oils. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 18(6), 435-448.
- [2]. **Richter, J., & Schellenberg, I. (2007).** Comparison of different extraction methods for the determination of essential oils and related compounds from aromatic plants and optimization of solid-phase microextraction/gas chromatography. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 387(6), 2207-2217.
- [3]. **Kaloustian, J., & Hadji-Minaglou, F. (2012).** La connaissance des huiles essentielles: Qualitologie et aromathérapie: entre science et tradition pour une application médicale raisonnée. Collection *Phytothérapie pratique*, Springer-Verlag, Paris, France.
- [4]. **Tongnuanchan, P., & Benjakul, S. (2014).** Essential oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. *Journal of Food Science*, 79(7), R1231-R1249.
- [5]. **Khalid, K. A., Cai, W., & Ahmed, A. M. (2009).** Effect of harvesting treatments and distillation methods on the essential oil of Lemon Balm and Apple Geranium plants. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 12(2), 120-130.
- [6]. **Gomes, P. B., Mata, V. G., & Rodrigues, A. E. (2007).** Production of rose geranium oil using supercritical fluid extraction. *Journal of Supercritical Fluids*, 41(1), 50-60.
- [7]. **Andrade, M. A., Cardoso, M. G., Batista, L. R., Freire, J. M., & Nelson, D. L. (2011).** Antimicrobial activity and chemical composition of essential oil of *Pelargonium odoratissimum*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 21(1), 47-52.
- [8]. **Slima, A. B., Ali, M. B., Barkallah, M., Traore, A. I., Boudawara, T., Allouche, N., & Gdoura, R. (2013).** Antioxidant properties of *Pelargonium graveolens* L'Her essential oil on the reproductive damage induced by deltamethrin in mice as compared to alpha-tocopherol. *Lipids in Health and Disease*, 12(1), 30.
- [9]. **Gavahian, M., Farahnaky, A., Farhoosh, R., Javidnia, K., & Shahidi, F. (2015).** Extraction of essential oils from *Mentha piperita* using advanced techniques: Microwave versus ohmic assisted hydrodistillation. *Food and Bioprocess Technology*, 9(4), 50-58.
- [10]. **Chemat, F., Fabiano-Tixier, A. S., Vian, M. A., Allaf, T., & Vorobiev, E. (2015).** Solvent-free extraction of food and natural products. *Trends in Analytical Chemistry*, 71, 157-168.
- [11]. **Mohammadhosseini, M. (2015).** Chemical composition of the essential oils and volatile fractions from flowers, stems and roots of *Salvia multicaulis* Vahl. by using MAHD, SFME and HS-SPME methods. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 18(6), 1360-1371.
- [12]. **Spichiger, R. E. (2002).** Botanique systématique des plantes à fleurs: une approche phylogénétique nouvelle des angiospermes des régions tempérées et tropicales. *PPUR Presses Polytechniques*, Lausanne, Suisse.
- [13]. **Roux, D., & Catier, O. (2007).** Botanique, Pharmacognosie et Phytothérapie. *Wolters Kluwer*, France.
- [14]. **Khandelwal, K. (2008).** Practical pharmacognosy. *Pragati Books*.
- [15]. **Serrato-Valenti, G., Bisio, A., Cornara, L., & Ciarallo, G. (1997).** Structural and histochemical investigation of the glandular trichomes of *Salvia aurea* L. leaves, and chemical analysis of the essential oil. *Annals of Botany*, 79(3), 329-336.
- [16]. **Parthasarathy, V. A., Chempakam, B., & Zachariah, T. J. (2008).** Chemistry of spices. Édition *CABI*, Londres, Royaume-Uni.
- [17]. **Maffei, M., Chialva, F., & Sacco, T. (1989).** Glandular trichomes and essential oils in developing peppermint leaves. *New Phytologist*, 111(4), 707-716.
- [18]. **Sallé, J. L. (1991).** Le totum en phytothérapie, approche de la phyto-biothérapie. Edition *Frison-Roche*, Paris, France.
- [19]. **Shiva, M. P., Lehri, A., & Shiva, A. (2002).** Aromatic & medicinal plants: yielding essential oil for pharmaceutical, perfumery, cosmetic industries and trade. *International Book Distributors*, Dehradun, Inde.
- [20]. **Pharmacopée Européenne. (2007).** Direction de la Qualité du Médicament & Soins de Santé du Conseil de l'Europe (DEQM), Strasbourg, France.
- [21]. **Raaman, N. (2006).** Phytochemical techniques. *New India Publishing*, New Delhi, Inde.
- [22]. **Masango, P. (2005).** Cleaner production of essential oils by steam distillation. *Journal of Cleaner Production*, 13(8), 833-839.
- [23]. **Gavahian, M., & Chu, Y. H. (2018).** Ohmic accelerated steam distillation of essential oil from lavender in comparison with conventional steam

- distillation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 50, 34-41.
- [24]. **Farhat, A. (2010)**. Vapo-diffusion assistée par micro-ondes: conception, optimisation et application. Thèse de Doctorat en Sciences (option : Sciences des Procédés, Sciences des Aliments), Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse (France) & Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès (Tunisie).
- [25]. **Walton, N. N. J., & Brown, D. D. E. (1999)**. Chemicals from plants: perspectives on plant secondary products. World Scientific.
- [26]. **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 (option : Chimie), Faculté des Sciences et Technologies, Université de la Réunion, France.
- [27]. **Hernandez Ochoa, L. R. (2005)**. Substitution de solvants et matières actives de synthèse par un combine (solvant/actif) d'origine végétale. Thèse de Doctorat en Science des Procédés (option Sciences des Agroressources), Institut National Polytechnique, Toulouse, France.
- [28]. **Boukhatem, M. N., Hamaidi, M. S., Saidi, F., & Hakim, Y. (2010)**. Extraction, composition et propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle du Géranium Rosat (*Pelargonium graveolens*) cultivé dans la plaine de Mitidja (Algérie). *Nature & Technology*, (3), 37.
- [29]. **Boukhatem M.N. (2018)**. Plantes Aromatique et Médicinale : le Géranium Odorant. Description Botanique, Composition Chimique et Vertus Thérapeutiques. Editions Universitaires Européennes. ISBN : 6202277475
- [30]. **Bruneton, J. (1999)**. Huiles essentielles. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. Edition Tec & Doc, 3<sup>ème</sup> édition, Lavoisier, Paris, France.
- [31]. **Belsito, E. L., Carbone, C., Di Gioia, M. L., Leggio, A., Liguori, A., Perri, F., & Viscomi, M. C. (2007)**. Comparison of the volatile constituents in cold-pressed bergamot oil and a volatile oil isolated by vacuum distillation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(19), 7847-7851.
- [32]. **Chemat, F. (2010)**. Techniques for oil extraction. *Citrus Essential Oils: Flavor and Fragrance*, 9-36.
- [33]. **Sawamura, M. (2011)**. Citrus essential oils: flavor and fragrance. John Wiley & Sons, New Jersey, USA.
- [34]. **Ferhat, M. A., Boukhatem, M. N., Hazzit, M., & Chemat, F. (2016)**. Rapid extraction of volatile compounds from Citrus fruits using a microwave dry distillation. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 8(3), 753-781.
- [35]. **Hubert, R. (1992)**. Epices et aromates. Edition Tec & Doc, Lavoisier, France.
- [36]. **Lucchesi, M. E., Chemat, F., & Smadja, J. (2004)**. Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: comparison with conventional hydro-distillation. *Journal of Chromatography A*, 1043(2), 323-327.
- [37]. **Chemat, F., Abert-Vian, M., & Fernandez, X. (2013)**. Microwave-assisted Extraction for Bioactive Compounds. Food Engineering Series, Springer, New York, USA.
- [38]. **Olivero-Verbel, J., González-Cervera, T., Güette-Fernandez, J., Jaramillo-Colorado, B., & Stashenko, E. (2010)**. Chemical composition and antioxidant activity of essential oils isolated from Colombian plants. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 20(4), 568-574.
- [39]. **Wang, Z., Ding, L., Li, T., Zhou, X., Wang, L., Zhang, H., & He, H. (2006)**. Improved solvent-free microwave extraction of essential oil from dried *Cuminum cyminum* L. And *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. *Journal of Chromatography A*, 1102(1), 11-17.
- [40]. **Ferhat, M. A., Meklati, B. Y., Smadja, J., & Chemat, F. (2006)**. An improved microwave Clevenger apparatus for distillation of essential oils from orange peel. *Journal of Chromatography A*, 1112(1), 121-126.
- [41]. **Golmakani, M. T., & Rezaei, K. (2008)**. Comparison of microwave-assisted hydrodistillation with the traditional hydro-distillation method in the extraction of essential oils from *Thymus vulgaris* L. *Food Chemistry*, 109(4), 925-930.
- [42]. **Ferhat, M. A., Meklati, B. Y., Visinoni, F., Vian, M. A., & Chemat, F. (2008)**. Solvent free microwave extraction of essential oils. Green chemistry in the teaching laboratory. *Chimica Oggi*, 21-23.
- [43]. **Leszczynska, D. (2007)**. Management de l'innovation dans l'industrie aromatique: Cas des PME de la région de Grasse. Editions l'Harmattan, Paris, France.
- [44]. **Peterson, A., Machmudah, S., Roy, B. C., Goto, M., Sasaki, M., & Hirose, T. (2006)**. Extraction of essential oil from geranium (*Pelargonium graveolens*) with supercritical carbon dioxide. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 81(2), 167-172.
- [45]. **Pereira, C. G., & Meireles, M. A. A. (2010)**. Supercritical fluid extraction of bioactive compounds: fundamentals, applications and economic perspectives. *Food and Bioprocess Technology*, 3(3), 340-372.