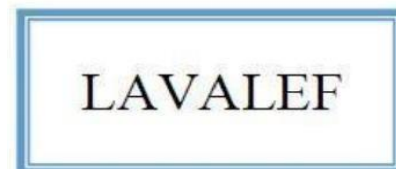


**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique d'Alger



Département de Génie Chimique

Laboratoire de Valorisation des Energies Fossiles

Mémoire de Projet de Fin d'Etude  
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Chimique

---

## **Développement de l'extraction des HE à l'échelle industrielle**

---

Feriel KHEDIM et Assia SILMI

Sous la direction de M. E.H BENYOUSSEF      Professeur (ENP)

Présenté et soutenu publiquement le : 28/06/2022

### **Composition du Jury:**

|              |                    |                        |     |
|--------------|--------------------|------------------------|-----|
| Président    | M. T. AHMED-ZAID   | Professeur             | ENP |
| Promoteur    | M. E.H. BENYOUSSEF | Professeur             | ENP |
| Examinatrice | Mme F. MOHELLEBI   | Professeur             | ENP |
| Examinatrice | Mme F. KIES        | Maitre de conférence A | ENP |



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique d'Alger



Département de Génie Chimique

Laboratoire de Valorisation des Energies Fossiles

Mémoire de Projet de Fin d'Etude

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Chimique

---

## **Développement de l'extraction des HE à l'échelle industrielle**

---

Feriel KHEDIM et Assia SILMI

Sous la direction de M. E.H BENYOUSSEF

Professeur (ENP)

Présenté et soutenu publiquement le : 28/06/2022

### **Composition du Jury:**

|              |                    |                        |     |
|--------------|--------------------|------------------------|-----|
| Président    | M. T. AHMED-ZAID   | Professeur             | ENP |
| Promoteur    | M. E.H. BENYOUSSEF | Professeur             | ENP |
| Examinatrice | Mme F. MOHELLEBI   | Professeur             | ENP |
| Examinatrice | Mme F. KIES        | Maitre de conférence A | ENP |

## ملخص

تتناول هذه الوثيقة الدراسة الاقتصادية التقنية لإنتاج الزيوت الأساسية من نباتات عطرية مختلفة باستخدام تقنية التقطير بالبخار.

تم جمع بيانات النباتات المستخدمة في هذه الدراسة من أعمال سابقة مختلفة حول التركيب الكيميائي والمحصول وحركية الاستخلاص لثلاثة أنواع نباتية مزروعة في الجزائر: الكزبرة ، الحبة السوداء ، الشيح الأبيض. بالإضافة إلى أنواع النباتات الأربعة التي تمت مراجعتها العام الماضي: إكليل الجبل، الفستق الحلبي والنعناع والينسون الأخضر. من تحليل الربحية الذي تم إجراؤه بناءً على الافتراضات والتوقعات المختلفة التي تم تقديرها، كان من الواضح تمامًا أن إنتاج الزيت العطري باستخدام تقنية التقطير بالبخار مربح للغاية والذي ينبغي أن يكون عاملاً جاذباً للمستثمرين المحتملين.

**الكلمات المفتاحية:** زيت عطري ، تقنيات الاستخراج ، *Nigella sativa L.* ، *Coriandrum Sativum L.* ، *Artemisia herba-alba.* ، التركيب الكيميائي ، المحصول ، حركية الاستخراج ، دراسة فنية اقتصادية ، تقدير الاستثمار ، دراسة السوق، الربحية، مدة العائد على الاستثمار

## Abstract:

This document examines the technical economical study of producing essential oil from various aromatic plants using steam distillation technology.

The plants data used in this study were collected from various previous works, about the chemical composition, yield and extraction kinetics of three plant species grown in Algeria: Coriander, black cumin and white wormwood. In addition to the four plants species reviewed last year: Rosemary, Pistachio, Spearmint and Anise.

From the profitability analysis carried out based on the various calculations and projections made, it was quite clear that the production of essential oil using steam distillation technology is highly profitable which should attracts potential investors.

**Keywords:** Essential oil, Extraction techniques, *Coriandrum sativum L.*, *Nigella sativa L.*, *Artemisia herba-alba*, chemical composition, yield, extraction kinetics, technical-economic study, investment estimation, market study, profitability, duration of return on investment

## Résumé:

Ce document examine l'étude technico-économique de la production d'huile essentielle à partir de diverses plantes aromatiques à l'aide de la technologie de distillation à la vapeur d'eau.

Les données végétales utilisées dans cette étude ont été recueillies à partir de divers travaux antérieurs, portant sur la composition chimique, le rendement et la cinétique d'extraction de trois espèces végétales cultivées en Algérie : la coriandre, le cumin noir et l'armoise blanche, ainsi que les quatre espèces végétales revues l'année dernière : Le Romarin, le Pistachier, la Menthe verte et l'Anis vert.

De l'analyse de rentabilité réalisée sur la base des différentes hypothèses et projections faites, il ressort clairement que la production d'huile essentielle à l'aide de la technologie de distillation à la vapeur d'eau est très rentable, ce qui devrait être attrayant pour les investisseurs potentiels.

**Mots clés :** Huile essentielle, Techniques d'extraction, *Coriandrum sativum L.*, *Nigella sativa L.*, *Artemisia herba-alba*, composition chimique, rendement, cinétique d'extraction, étude technico-économique, estimation d'investissement, étude de marché, rentabilité, durée de retour sur investissement.

# Remerciements

*Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé, la patience et la volonté d'entamer et de compléter ce travail.*

*Nos vifs remerciements et notre reconnaissance s'adressent à Monsieur E.H. Benyoussef professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique pour son encadrement, pour sa patience, son soutien, ses remarques et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Nous tenons à remercier sincèrement Monsieur T.AHMED ZAID, professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique pour le grand honneur qu'il nous a fait de présider le Jury de soutenance.*

*Nous remercions également Professeur F. MOHELLEBI et Madame F. Kies maître de conférence à l'Ecole Nationale Polytechnique, pour avoir accepté d'examiner et d'évaluer se projet*

*Nous souhaitons adresser aussi nos remerciements les plus sincères au corps professoral de l'Ecole Nationale Polytechnique et en particulier ceux du département du Génie Chimique, pour la richesse et la qualité de leur enseignement et les connaissances qu'ils nous ont transmises tout au long de notre formation*

*Nous clôturons par remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail*

# Dédicaces

*Je dédie ce travail à ma famille, à vous :*

*Mon très cher père **Ahmed**,*

*Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes soit-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Je suis très fière d'être votre fille et de pouvoir enfin réaliser, ce que vous avez tant espéré et attendu de moi. Grâce à toi papa j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Vous êtes et vous resterez pour moi ma référence et la lumière qui illumine mon chemin. Je voudrais te remercier pour ta générosité, ta compréhension, ton encouragement....*

*Ma très chère maman **Siham**,*

*À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ... à la personne que j'aime le plus au monde... Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Toutes ces années d'études depuis la maternelle jusqu'à ce jour ne pouvaient être pour moi un succès sans tes bénédictions. Merci maman pour ton amour, pour ton soutien moral et émotionnel, ta patience, ta compréhension, et présence.*

*Mon très cher frère **Mourad**,*

*Je tiens à te remercier pour ton soutien, ta présence, ta bonté, et ton encouragement et d'être la personne qui dit toujours: « Voyons comment nous pouvons résoudre ce problème » au lieu de « Je te l'avais bien dit »...*

*Ma très douce sœur **Ines**,*

*Ton sourire, tes blagues et l'écho de ton cœur dessinent instantanément un sourire sur mon visage, personne au monde ne possède ce pouvoir magique, à part toi, ma petite sœur : mon éternelle complice!*

*J'implore Dieu, tout puissant, de vous accorder une bonne santé, une longue vie et beaucoup de bonheur.*

*À mon binôme **Assia**, C'était un plaisir de partager avec toi cette expérience enrichissante. Merci à toi.*

*Feriel*

# Dédicaces

*Je dédie ce travail,*

*A ceux qui m'ont appris à balbutier mes premières paroles, à faire mes premières pas dans la vie, à sourire,*

*Ceux qui ont attendu avec patience les fruits d'une bonne éducation, **mes parents,***

*Elle m'a donnée la vie, le symbole de tendresse, c'est elle qui s'est sacrifiée pour mon bonheur, réussite, ma chère adorable **Maman,***

*Il m'a donné la vie, c'est lui qui a été mon ombre durant toutes l'année d'études, a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, me soutenir et me protéger, mon chère **Papa,***

*Que dieu vous protège et vous garde mes chers,*

*Mes chères frère et sœur **Abdelghani** et **Amina** qui ont toujours été présents pour m'encourager et me soutenir, je vous souhaite que la réussite et le bonheur dans votre vie ;*

*Mes chers tantes, oncle, cousines qui mon soutenu moralement durant mon cursus ;*

*Par la même occasion, je profite pour dire merci à mon binôme **Feriel,** avec qui j'ai partagé des moments inoubliables, pour sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

*A mes collègues de la promotion 2021-2022 à qui je porte un grand respect pour elles.*

*A tous les enseignants qui ont donnés beaucoup d'effort pour notre réussite,*

*A tous ceux que j'aime.*

## *Assia*

## **Table des matières**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Table des matières</b>  |           |
| <b>Liste des tableaux</b>  |           |
| <b>Liste des figures</b>   |           |
| <b>Liste des abréviations</b>  |           |
| <b>Introduction générale</b> .....   | <b>18</b> |
| <b>Chapitre 1 : Généralité sur les Huiles Essentielles</b> .....                   | <b>20</b> |
| <b>Introduction</b> .....  | <b>21</b> |
| <b>1.1</b> Définition des huiles essentielles .....                                | <b>21</b> |
| <b>1.2</b> Différence entre essence et huile essentielle.....                      | <b>22</b> |
| <b>1.3</b> Répartition et localisation de l'huile essentielle dans la plante ..... | <b>22</b> |
| <b>1.3.1</b> Les tissus de sécrétion externe.....                                  | <b>22</b> |
| <b>1.3.1.1</b> Les papilles épidermiques.....                                      | <b>22</b> |
| <b>1.3.1.2</b> Les poils sécréteurs .....  | <b>22</b> |
| <b>1.3.2</b> Les tissus de sécrétion interne .....                                 | <b>23</b> |
| <b>1.3.2.1</b> Les Cellules sécrétrices isolées.....                               | <b>23</b> |
| <b>1.3.2.2</b> Les poches sécrétrices.....   | <b>24</b> |
| <b>1.3.2.3</b> Les canaux sécréteurs .....   | <b>25</b> |
| <b>1.4</b> Rôle de l'huile essentielle dans la plante .....                        | <b>25</b> |
| <b>1.5</b> La composition chimique des huiles essentielles .....                   | <b>26</b> |
| <b>1.5.1</b> Les Terpènes .....  | <b>26</b> |
| <b>1.5.1.1</b> Les Hemiterpènes .....  | <b>26</b> |
| <b>1.5.1.2</b> Les Monoterpènes : [C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> ] .....         | <b>27</b> |
| <b>1.5.1.3</b> Les Sesquiterpènes.....   | <b>28</b> |
| <b>1.5.1.3.1</b> Les lactones sesquiterpéniques .....                              | <b>28</b> |
| <b>1.5.1.4</b> Les Diterpènes .....  | <b>29</b> |
| <b>1.5.2</b> Les phénylpropanoïdes .....   | <b>30</b> |
| <b>1.5.3</b> Autres composés .....   | <b>31</b> |
| <b>1.5.3.1</b> Les composés soufrés .....  | <b>31</b> |
| <b>1.5.3.2</b> Les composés azotés.....  | <b>31</b> |
| <b>1.5.3.3</b> Les composés inorganiques .....                                     | <b>31</b> |
| <b>1.6</b> Variabilité de la composition chimique .....                            | <b>32</b> |
| <b>1.6.1</b> Facteur intrinsèques .....  | <b>32</b> |



|   |   |           |
|---|---|-----------|
| 1.6.1.1   | Chémotypes .....                                | 32        |
| 1.6.1.2   | Partie de la plante.....                        | 32        |
| 1.6.1.3   | Stades phénologiques.....                       | 33        |
| 1.6.2   | Facteurs extrinsèques .....                     | 33        |
| 1.6.2.1   | La lumière du soleil .....                      | 33        |
| 1.6.2.2   | La précipitation.....                           | 33        |
| 1.6.2.3   | Propriétés du sol .....                         | 33        |
| 1.6.2.4   | Temps de distillation.....                      | 34        |
| 1.7   | Caractéristiques des huiles essentielles.....   | 34        |
| 1.7.1   | Propriétés organoleptiques.....                 | 34        |
| 1.7.1.1   | La couleur .....                                | 34        |
| 1.7.1.2   | L'aspect.....                                   | 34        |
| 1.7.1.3   | L'odeur .....                                   | 35        |
| 1.7.1.4   | La saveur.....                                  | 35        |
| 1.7.2   | Propriétés physicochimiques .....               | 35        |
| 1.7.2.1   | La densité relative à 20°C.....                 | 35        |
| 1.7.2.2   | L'indice de réfraction.....                     | 35        |
| 1.7.2.3   | L'indice d'acide .....                          | 35        |
| 1.7.2.4   | L'indice d'ester .....                          | 36        |
| 1.7.2.5   | Le pouvoir rotatoire .....                      | 36        |
| 1.7.3   | Les techniques instrumentales .....             | 36        |
| 1.7.3.1   | La chromatographie en phase liquide (CPL) ..... | 36        |
| 1.8   | Les filières des huiles essentielles .....      | 37        |
| 1.8.1   | Aromathérapie .....                             | 37        |
| 1.8.2   | Pharmacologie et usages médicaux .....          | 37        |
| 1.8.3   | Utilisations en médecine vétérinaire.....       | 38        |
| 1.8.4   | Industrie cosmétique.....                       | 38        |
| <b>Conclusion</b> .....                                       |   | <b>39</b> |
| <b>Chapitre 2 :Procédés d'extraction et équipements</b> ..... |   | <b>40</b> |
| <b>Introduction</b> .....                                     |   | <b>41</b> |
| 2.1   | Les méthodes conventionnelles .....             | 41        |
| 2.1.1   | Entrainement à la vapeur .....                  | 41        |
| 2.1.2   | Hydro-distillation.....                         | 42        |
| 2.1.3   | Hydro-diffusion .....                           | 43        |
| 2.1.4   | Expression à froid.....                         | 43        |
| 2.2   | Les méthodes innovantes .....                   | 44        |

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| <b>2.2.1</b>                                 | Hydro-distillation assistée par micro-onde .....                              | <b>44</b> |
| <b>2.2.2</b>                                 | Extraction assistée par micro-onde sans solvant.....                          | <b>45</b> |
| <b>2.2.3</b>                                 | Entrainement à l'air assisté par micro-onde.....                              | <b>46</b> |
| <b>2.2.4</b>                                 | Hydro-distillation par micro-onde sous pression réduite .....                 | <b>47</b> |
| <b>2.2.5</b>                                 | Extraction assistée par ultrason (EAU).....                                   | <b>47</b> |
| <b>2.2.6</b>                                 | Extraction par hydro-diffusion assistée par micro-onde et gravité (MHG) ..... | <b>48</b> |
| <b>2.2.7</b>                                 | Entrainement à la vapeur assisté par micro-onde .....                         | <b>49</b> |
| <b>2.2.8</b>                                 | Extraction par détente instantanée contrôlée (DIC).....                       | <b>50</b> |
| <b>Conclusion</b> .....                      |   | <b>50</b> |
| <b>Chapitre 3 : Travaux antérieurs</b> ..... |   | <b>51</b> |
| <b>Introduction</b> .....                    |   | <b>52</b> |
| <b>3.1</b>                                   | Présentation des substrats végétaux .....                                     | <b>52</b> |
| <b>3.1.1</b>                                 | Coriandrum sativum L. (Coriandre) .....                                       | <b>52</b> |
| <b>3.1.1.1</b>                               | Origine .....   | <b>52</b> |
| <b>3.1.1.2</b>                               | Localisation de l'HE dans la plante .....                                     | <b>53</b> |
| <b>3.1.1.3</b>                               | Propriétés physico-chimique et organoleptiques .....                          | <b>56</b> |
| <b>3.1.1.4</b>                               | Usages.....   | <b>57</b> |
| <b>3.1.2</b>                                 | Nigella sativa. (Nigelle).....  | <b>58</b> |
| <b>3.1.2.1</b>                               | Origine .....   | <b>58</b> |
| <b>3.1.2.2</b>                               | Localisation de l'HE dans la plante .....                                     | <b>59</b> |
| <b>3.1.2.3</b>                               | Propriétés physico-chimiques et organoleptiques.....                          | <b>60</b> |
| <b>3.1.2.4</b>                               | Usages.....   | <b>61</b> |
| <b>3.1.3</b>                                 | Artemisia Herba Alba Asso (Armoise blanche) .....                             | <b>61</b> |
| <b>3.1.3.1</b>                               | Origine .....   | <b>61</b> |
| <b>3.1.3.2</b>                               | Localisation de l'HE dans la plante .....                                     | <b>63</b> |
| <b>3.1.3.3</b>                               | Propriétés physico-chimiques et organoleptiques.....                          | <b>64</b> |
| <b>3.1.3.4</b>                               | Usages.....   | <b>65</b> |
| <b>3.2</b>                                   | Composition chimique et rendement .....                                       | <b>65</b> |
| <b>3.2.1</b>                                 | Coriandrum sativum L.(Coriandre) .....  | <b>65</b> |
| <b>3.2.1.1</b>                               | Composition chimique.....   | <b>65</b> |
| <b>3.2.1.2</b>                               | Paramètres influençant la composition et le rendement .....                   | <b>82</b> |
| <b>3.2.1.2.1</b>                             | Paramètre intrinsèque .....   | <b>82</b> |
| <b>3.2.1.2.1.1</b>                           | Période de récolte .....  | <b>82</b> |
| <b>3.2.1.2.1.2</b>                           | Mode de stockage .....  | <b>83</b> |
| <b>3.2.1.2.1.3</b>                           | Nature de la matière végétale .....   | <b>84</b> |
| <b>3.2.1.2.2</b>                             | Paramètres opératoire .....   | <b>85</b> |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| 3.2.1.2.2.1 | Durée .....   | 85  |
| 3.2.1.2.2.2 | Méthode d'extraction.....                                       | 86  |
| 3.3         | Nigella Sativa L. (Nigelle).....                                | 87  |
| 3.3.1       | Composition chimique .....                                      | 87  |
| 3.3.1.1     | Paramètres influençant la composition et le rendement .....     | 100 |
| 3.3.1.1.1   | Paramètre intrinsèque .....                                     | 100 |
| 3.3.1.1.1.1 | Période de récolte .....  | 100 |
| 3.3.1.1.1.2 | Facteurs climatiques .....                                      | 101 |
| 3.3.1.1.1.3 | Durée et mode de stockage .....                                 | 101 |
| 3.3.1.1.2   | Paramètres opératoire .....                                     | 102 |
| 3.3.1.1.2.1 | Durée .....   | 102 |
| 3.3.1.1.2.2 | Méthode d'extraction.....                                       | 103 |
| 3.3.2       | Artemisia herba alba.(Armoise blanche) .....                    | 104 |
| 3.3.2.1     | Composition chimique.....                                       | 104 |
| 3.3.2.2     | Paramètres influençant la composition et le rendement .....     | 119 |
| 3.3.2.2.1   | Paramètre intrinsèque .....                                     | 119 |
| 3.3.2.2.1.1 | Période de récolte .....  | 119 |
| 3.3.2.2.1.2 | Durée et Mode de séchage et de stockage .....                   | 120 |
| 3.3.2.2.1.3 | Nature de la matière végétale .....                             | 121 |
| 3.3.2.2.2   | Paramètres opératoire .....                                     | 122 |
| 3.3.2.2.2.1 | Durée .....   | 122 |
| 3.4         | Cinétique d'extraction .....                                    | 123 |
| 3.4.1       | Coriandrum Sativum.....   | 123 |
| 3.4.1.1     | Cinétique de l'hydro-distillation.....                          | 123 |
| 3.4.1.1.1   | Influence de la matière végétale sur le rendement en HE.....    | 123 |
| 3.4.1.1.2   | Cinétique des constituants majoritaires .....                   | 124 |
| 3.4.1.2     | Cinétique d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau ..... | 126 |
| 3.4.2       | Nigella Sativa.....   | 128 |
| 3.4.2.1     | Cinétique d'hydro-distillation.....                             | 128 |
| 3.4.2.1.1   | Cinétique d'extraction à partir des graines .....               | 128 |
| 3.4.2.1.2   | Cinétique d'extraction à partir de l'huile végétale.....        | 129 |
| 3.4.3       | Artemisia herba alba .....                                      | 129 |
| 3.4.3.1     | Cinétique d'hydro-distillation.....                             | 129 |
| 3.4.3.1.1   | Cinétique globale .....   | 129 |
| 3.4.3.1.2   | Effet du séchage sur le rendement en huile essentielle.....     | 130 |
| 3.4.3.1.3   | Influence de la nature de la plante sur le rendement.....       | 131 |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| 3.5       | Travaux antérieurs de Bensaid et Zerrougui, 2021 .....                    | 132 |
|           | <b>Conclusion</b> .....   | 132 |
|           | <b>Chapitre 4 : Etude du marché</b> .....                                 | 133 |
|           | <b>Introduction</b> .....   | 134 |
| 4.1       | Prix des huiles essentielles et des plantes aromatiques.....              | 134 |
| 4.2       | Marché mondial des huiles essentielles .....                              | 135 |
| 4.2.1     | Production mondiale.....  | 135 |
| 4.2.2     | Les échanges mondiaux .....   | 136 |
| 4.2.2.1   | Importation .....   | 136 |
| 4.2.2.2   | Exportation .....   | 137 |
| 4.3       | Marché Algérien des huiles essentielles .....                             | 138 |
| 4.3.1     | Importations et exportations .....  | 138 |
| 4.3.1.1   | Importations.....   | 138 |
| 4.3.1.2   | Exportations.....   | 140 |
| 4.3.2     | Potentiel agricole pour la production des huiles essentielles .....       | 140 |
|           | <b>Conclusion</b> .....   | 141 |
|           | <b>Chapitre 5 : Etude Economique et Financière</b> .....                  | 142 |
|           | <b>Introduction</b> .....   | 143 |
| 5.1       | Première partie : Contexte générale de l'étude .....                      | 143 |
| 5.1.1     | Présentation du projet .....  | 143 |
| 5.1.2     | But et objectifs du projet.....   | 143 |
| 5.2       | Deuxième partie : Etude de faisabilité du projet.....                     | 144 |
| 5.2.1     | Technique de production envisagée.....                                    | 144 |
| 5.2.1.1   | La méthode d'extraction .....   | 144 |
| 5.2.1.2   | Les matériels utilisés.....   | 145 |
| 5.2.1.3   | Coût total du matériel .....  | 146 |
| 5.2.2     | La capacité de production envisagée .....                                 | 147 |
| 5.2.2.1   | Rendement et Durée d'extraction moyens.....                               | 147 |
| 5.2.2.2   | La masse volumique moyenne.....   | 148 |
| 5.2.2.3   | Programme de production.....  | 149 |
| 5.2.2.3.1 | Hypothèses.....   | 149 |
| 5.2.2.3.2 | Bilan matière sur le procédé d'extraction et capacité de production ..... | 149 |
| 5.2.3     | Coût d'investissement.....  | 150 |
| 5.2.3.1   | Estimation du coût d'investissement .....                                 | 150 |
| 5.2.3.2   | Éléments de l'investissement total .....                                  | 151 |
| 5.2.3.3   | Calcul du cout d'investissement .....                                     | 152 |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 5.2.3.3.1 | Approche 1 : Estimation par poste de dépense .....                        | 152        |
| 5.2.3.3.2 | Approche 2 : Méthode de Peters et Timmerhaus.....                         | 155        |
| 5.2.3.4   | Financement de l'investissement .....                                     | 156        |
| 5.3       | Troisième partie : Etude financière du projet .....                       | 157        |
| 5.3.1     | Chiffre d'affaire pour la vente des HE.....                               | 157        |
| 5.3.2     | Les charges de l'unité .....  | 158        |
| 5.3.2.1   | Les charges de fonctionnement.....  | 158        |
| 5.3.2.1.1 | Charges de personnel.....   | 158        |
| 5.3.2.1.2 | Achat de la matière première est d'autres fournitures consommables .....  | 158        |
| 5.3.2.2   | Les charges externes .....  | 158        |
| 5.3.2.2.1 | Services.....   | 158        |
| 5.3.2.2.2 | Impôts et taxes .....   | 158        |
| 5.3.2.2.3 | Frais financier .....   | 158        |
| 5.3.2.2.4 | Frais divers .....  | 158        |
| 5.3.2.3   | Charges hors exploitation .....   | 159        |
| 5.3.3     | Compte d'exploitation prévisionnel de l'unité et Bénéfices générées ..... | 159        |
| 5.3.4     | Le taux de Rentabilité des investissements.....                           | 161        |
| 5.3.5     | Durée de retour sur investissement.....                                   | 161        |
|           | <b>Conclusion :</b> .....   | <b>162</b> |
|           | <b>Conclusion générale</b> .....  | <b>163</b> |
|           | <b>Références</b> .....   | <b>165</b> |

## Liste des tableaux

### Chapitre 1 : Généralités sur les huiles essentielles

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau 1.1</b> : Exemples des différents organes végétaux contenant de l'HE ..... | 21 |
| <b>Tableau 1.2</b> : Les huiles essentielles et leurs applications médicinales .....  | 38 |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tableau 3.1</b> : Propriétés organoleptiques de l'HE de <i>Coriandrum Sativum</i> .....   | 56  |
| <b>Tableau 3.2</b> : Propriétés physico chimique de l'HE de <i>Coriandrum Sativum</i> .....  | 57  |
| <b>Tableau 3.3</b> : Propriétés physico-chimiques de l'HE de <i>Nigella Sativa</i> .....   | 60  |
| <b>Tableau 3.4</b> : Propriétés physico-chimiques de l'HE de <i>Nigella Sativa</i> .....   | 60  |
| <b>Tableau 3.5</b> : Propriétés organoleptiques de l'HE d' <i>Artemisia Herba Alba</i> .....   | 64  |
| <b>Tableau 3.6</b> : Propriétés physico-chimiques de l'HE d' <i>Artemisia Herba Alba</i> .....   | 64  |
| <b>Tableau 3.7</b> : composition chimique de l'huile essentielle de coriandre de différentes régions d'Algérie .....   | 66  |
| <b>Tableau 3.8</b> : Composition chimique de l'huile essentielle de coriandre de différents pays .....   | 67  |
| <b>Tableau 3.9</b> : Composition chimique de l'huile essentielle de coriandre de différents pays (suite).....  | 74  |
| <b>Tableau 3.10</b> : Comparaison du rendement en huile essentielle (ml/100 g de matière végétale sèche) selon les méthodes de séchage.....  | 83  |
| <b>Tableau 3.11</b> : Effet de la nature et l'état de la matière végétale sur le rendement en HE de <i>Coriandrum sativum</i> ...  | 84  |
| <b>Tableau 3.12</b> : Influence de la durée d'extraction par hydrodistillation sur le rendement en HE des graines de coriandre .....   | 85  |
| <b>Tableau 3.13</b> : Influence de la durée d'extraction par hydrodistillation sur le rendement en HE des feuilles de <i>Coriandrum sativum</i> .....                              | 86  |
| <b>Tableau 3.14</b> : Influence du type d'extraction sur le rendement en HE des graines de <i>Coriandrum sativum</i> .....   | 86  |
| <b>Tableau 3.15</b> : Composition chimique de l'huile essentielle de Nigelle de différentes régions en Algérie .....   | 87  |
| <b>Tableau 3.16</b> : Composition chimique de l'huile essentielle de nigelle de différents pays .....  | 90  |
| <b>Tableau 3.17</b> : Composition chimique de l'huile essentielle de nigelle de différents pays (suite).....   | 95  |
| <b>Tableau 3.18</b> : Influence de la durée d'extraction par hydrodistillation sur le rendement en HE des graines de <i>Nigella sativa</i> .....                                   | 102 |
| <b>Tableau 3.19</b> : Influence du type d'extraction sur le rendement en HE des graines de <i>Nigella sativa</i> .....   | 103 |
| <b>Tableau 3.20</b> : composition chimique de l'huile essentielle d'Armoise blanche de différentes régions en Algérie .  | 105 |
| <b>Tableau 3.21</b> : Composition chimique de l'huile essentielle d'Armoise blanche de différents pays .....   | 112 |
| <b>Tableau 3.22</b> : Influence de la période de séchage à l'ombre sur le rendement en huile essentielle et la teneur en eau de la biomasse.....                                   | 120 |
| <b>Tableau 3.23</b> : Influence de la période de séchage au four de la biomasse à 35°C sur le rendement et la composition des huiles essentielles. ....                            | 120 |
| <b>Tableau 3.24</b> : Effet de la nature de la matière végétale sur le rendement en HE d' <i>Artemisia Herba alba</i> .....  | 121 |
| <b>Tableau 3.25</b> : Influence de la durée d'extraction par hydrodistillation des parties aériennes d'armoise blanche sur le rendement en HE .....                                | 122 |
| <b>Tableau 3.26</b> : Rendements en huile essentielle obtenus lors de l'hydro-distillation des graines de coriandre d'Algérie pour trois granulométries différentes.....           | 123 |
| <b>Tableau 3.27</b> : Evolution des rendements des composés majoritaires de l'huile essentielle au cours de l'hydro-distillation des graines de coriandre réduites en poudre. .... | 124 |
| <b>Tableau 3.28</b> : Rendement des constituants majoritaires en fonction du temps d'hydrodistillation .....   | 125 |

**Tableau 3.29** : Variation du rendement en huile essentielle avec la durée d'extraction lors de la planification factorielle des expériences. .... 127

**Tableau 3.30** : Variation du rendement en huiles essentielles d'A. herba alba en fonction de la durée de séchage. 130

**Tableau 3.31** : Résumé des résultats des travaux antérieur de Bensaid et Zerrougui. .... 132

### **Chapitre 4 : Etude du marché**

**Tableau 4.1** : Les prix de quelques huiles essentielles vendues dans le secteur parapharmacie. .... 134

**Tableau 4.2** : Estimation de la production mondiale des huiles essentielles pour l'année 2019 et les pays producteurs. .... 136

**Tableau 4.3** : Pays importateurs des huiles essentielles. .... 137

**Tableau 4.4** : Pays exportateurs des huiles essentielles. .... 138

**Tableau 4.5** : Les importations des huiles essentielles en Algérie (2013-2020). .... 139

**Tableau 4.6** : Les exportations des huiles essentielles en Algérie (2013-2020). .... 140

**Tableau 4.7** : Exemple de plantes cultivées et consommées en Algérie. .... 141

### **Chapitre 5 : Etude économique et financière**

**Tableau 5.1** : Quelques avantages et inconvénients de l'hydro distillation et la distillation à la vapeur ..... 144

**Tableau 5.2** : Calcul du coût total du matériel contenant un alambic d'une capacité de 2000 L ..... 146

**Tableau 5.3** : Calcul du coût total du matériel contenant un alambic d'une capacité de 4000 L ..... 146

**Tableau 5.4** : Rendement minimal et maximal moyens d'huiles essentielles extraites de 7 plantes aromatiques. .... 147

**Tableau 5.5** : Durée d'extraction moyenne d'huiles essentielles distillée de 7 plantes aromatiques ..... 148

**Tableau 5.6** : Masse volumique moyenne des 7 plantes aromatiques étudiées. .... 148

**Tableau 5.7** : Calcul de la masse végétale à traiter annuellement ..... 149

**Tableau 5.8** : Calcul de la quantité d'huiles essentielles produites annuellement ..... 150

**Tableau 5.9** : Estimations des coûts d'infrastructures pour un Alambic de 2\*1000L ..... 152

**Tableau 5.10** : Estimations des coûts d'équipements de construction pour un Alambic de 2\*1000L ..... 153

**Tableau 5.11** : Estimations des frais généraux et couts indirects pour un Alambic de 2\*1000L ..... 153

**Tableau 5.12** : Estimations du coût de transport et d'assurance pour un Alambic de 2\*1000L ..... 153

**Tableau 5.13** : Estimations du coût de services de bureau pour un Alambic de 2\*1000L ..... 153

**Tableau 5.14** : Estimations des coûts d'infrastructures pour un Alambic de 2\*2000L ..... 154

**Tableau 5.15** : Estimations du coût des équipements de construction pour un Alambic de 2\*2000L ..... 154

**Tableau 5.16** : Estimations des frais généraux et couts indirects pour un Alambic de 2\*2000L ..... 154

**Tableau 5.17** : Estimations du coût de transport et d'assurance pour un Alambic de 2\*2000L ..... 155

**Tableau 5.18** : Estimations du coût de services de bureau pour un Alambic de 2\*2000L ..... 155

**Tableau 5.19** : Estimation de l'investissement total directe par la méthode de Peters et Timmerhaus pour le cas d'un alambic de 2\*1000L ..... 155

**Tableau 5.20** : Estimation de l'investissement total par la méthode de Peters et Timmerhaus pour le cas d'un alambic de 2\*2000L ..... 156

**Tableau 5.21** : Financement de l'investissement ..... 156

**Tableau 5.22** : Le chiffre d'affaire prévisionnel réalisé par l'unité pour les différentes quantités d'huiles produites ..... 157

**Tableau 5.23** : Comptes d'exploitation prévisionnels en (€) ..... 159

**Tableau 5.24** : Taux de rentabilité du capital investi ..... 161

**Tableau 5.25** : Temps de récupération du capital investi ..... 161

## Liste des figures

### Chapitre 1 : Généralités sur les huiles essentielles

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 1.1</b> : Poiles sécréteurs des huiles essentielles à différents stades de maturité chez <i>Pelargonium</i> sp. (a) Début de maturation, (b, c) remplissage avec l'HE, et (d) éclatement de la glande. C, cuticule ; HE, huile essentielle en microscope optique (x400) ..... | 23 |
| <b>Figure 1.2</b> : Cellule sécrétrice d'huile essentielle dans un rhizome de gingembre ( <i>Zingiber officinale</i> Roscoe) vue au microscope électronique à Balayage (x2149).....   | 24 |
| <b>Figure 1.3</b> : Poches sécrétrices d'une feuille d'eucalyptus vues en microscope électronique à balayage (x204).....  | 24 |
| <b>Figure 1.4</b> : Une coupe transversale de graine de Criste marine ( <i>Crithmum maritimum</i> .L.) montrant les canaux sécréteurs au microscope électronique à balayage (x 200).....  | 25 |
| <b>Figure 1.5</b> : Structure chimique de l'isoprène.....   | 26 |
| <b>Figure 1.6</b> : Disposition régulière (tête-à-queue) et irrégulière (Tête à tête) des unités d'isoprène .....   | 27 |
| <b>Figure 1.7</b> : Structure chimique de quelques molécules de monoterpènes et monoterpénoïdes.....  | 27 |
| <b>Figure 1.8</b> : Exemples de sesquiterpènes produits par le pin. ....  | 28 |
| <b>Figure 1.9</b> : Structures chimiques des principaux groupes de lactones sesquiterpéniques .....   | 29 |
| <b>Figure 1.10</b> : Structures de quelques diterpènes et diterpénoïdes .....   | 30 |
| <b>Figure 1.11</b> : Les principaux phénylpropanoïdes des huiles essentielles.....  | 30 |
| <b>Figure 1.12</b> : Structure chimique de l'isothiocyanate d'allyle .....  | 31 |
| <b>Figure 1.13</b> : Structure chimique de l'Indole .....   | 31 |
| <b>Figure 1.14</b> : Schéma d'un système de chromatographie en phase liquide. ....  | 37 |

### Chapitre 2 : Procédés d'obtention et équipements

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 2.1</b> : Schéma descriptif de l'extraction à l'entraînement de vapeur .....                         | 41 |
| <b>Figure 2.2</b> : Illustration schématique de l'équipement d'hydro-distillation.....                         | 42 |
| <b>Figure 2.3</b> : Processus de l'hydro-diffusion.....  | 43 |
| <b>Figure 2.4</b> : Schéma descriptif de l'extraction par expression à froid. ....                             | 44 |
| <b>Figure 2.5</b> : Appareillage de l'hydro-distillation assistée par micro-ondes. ....                        | 45 |
| <b>Figure 2.6</b> : Schéma de montage de l'extraction sans solvant assistée par micro-onde.....                | 46 |
| <b>Figure 2.7</b> : Schéma descriptif de l'entraînement à l'aire assisté par micro-onde. ....                  | 46 |
| <b>Figure 2.8</b> : Schéma descriptif de l'hydro-distillation par micro-onde sous pression réduite. ....       | 47 |
| <b>Figure 2.9</b> : Schéma descriptif de l'équipement de l'extraction assistée par ultrason. ....              | 48 |
| <b>Figure 2.10</b> : Appareillage de l'extraction par hydro-diffusion assistée par micro-onde et gravité. .... | 48 |
| <b>Figure 2.11</b> : Schéma descriptif de la méthode d'entraînement à la vapeur assisté par micro-onde. ....   | 49 |
| <b>Figure 2.12</b> : Schéma descriptif de l'extraction par détente instantanée contrôlée.....                  | 50 |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 3.1</b> : <i>Coriandrum sativum</i> (A) graines, (B) feuillage mature, (C) fleurs .....                               | 53 |
| <b>Figure 3.2</b> : Observation d'une partie de la coupe transversale de la tige de <i>Coriandrum sativum</i> .....             | 53 |
| <b>Figure 3.3</b> : Observation d'une coupe transversale du rachis de <i>Coriandrum sativum</i> au.....                         | 54 |
| <b>Figure 3.4</b> : Observation d'une coupe transversale de la feuille de <i>Coriandrum sativum</i> au.....                     | 54 |
| <b>Figure 3.5</b> : Observation des tissus de revêtement et de soutien du fruit de <i>Coriandrum sativum</i> .....              | 55 |
| <b>Figure 3.6</b> : Images au microscope électronique de la coupe transversale du méricarpe de <i>Coriandrum sativum</i> . .... | 55 |



|   |     |
|---|-----|
| <b>Figure 3.7</b> : Nigella sativa (plante entière, Fleur et graines).....  | 59  |
| <b>Figure 3.8</b> : Coupes transversales de la graine de nigelle (A : Huile de l'enveloppe de la graine, B : Endosperme, C : gouttelette d'huile).....  | 59  |
| <b>Figure 3.9</b> : Artemisia Herba Alba Asso (A) plante entière, (B)fleurs , (C) tige .....  | 62  |
| <b>Figure 3.10</b> : Coupes transversales de la tige d'Artemisia herba alba asso (A) Anatomie générale montrant les structures secondaires. (B) Détail de l'anatomie montrant les canaux sécréteurs dans le cortex.....   | 63  |
| <b>Figure 3.11</b> : Coupes transversales de la feuille d'Artemisia herba-alba (A) Anatomie générale montrant une feuille à structure isolée et grande chambre stomatique. (B) Détail de l'anatomie foliaire montrant les canaux sécréteurs au-delà du phloème du faisceau vasculaire ..... | 63  |
| <b>Figure 3.12</b> : Evolution du rendement en huile essentielle extraite par hydro-distillation en fonction du temps.....  | 124 |
| <b>Figure 3.13</b> : Evolution des rendements des constituants majoritaires de l'huile essentielle extraite par hydro-distillation en fonction du temps.....  | 125 |
| <b>Figure 3.14</b> : Tracé du rendement différentiel des constituants majoritaire en fonction du temps de distillation .....  | 126 |
| <b>Figure 3.15</b> : Evolution du rendement en HE en fonction de la durée d'entraînement à la vapeur .....  | 127 |
| <b>Figure 3.16</b> : Profil du rendement en l'huile essentielle de du Nigella Sativa en fonction du temps d'extraction....  | 128 |
| <b>Figure 3.17</b> : Evolution du rendement en HE lors de l'hydro-distillation. ....  | 129 |
| <b>Figure 3.18</b> : Cinétique d'extraction de l'huile essentielle d'Artemisia herba alba par hydro-distillation. ....  | 130 |
| <b>Figure 3.19</b> : L'évolution d'extraction par HD des HE des parties aériennes d'Artemisia herba alba influencées par différents durée de séchages .....   | 131 |
| <b>Figure 3.20</b> : Rendements des HE des parties aériennes fraîches et sèches d'A. Herba alba. ....   | 131 |

### Chapitre 5 : Etude économique et financière

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figure 5.1</b> : Schéma d'un alambic au cours d'une distillation à la vapeur d'eau ..... | 145 |
| <b>Figure 5.2</b> : Schéma des éléments de l'investissement total.....                      | 151 |

## Liste des abréviations

**AFNOR** : Association française de normalisation et l'organisation.

**CAMD** : Entraînement à l'air assisté par micro-ondes (Compressed Air Microwave Distillation).

**CPG** : Chromatographie en Phase Gazeuse.

**CPL** : Chromatographie en Phase Liquide.

**DIC** : Distillation Instantanée Contrôlée.

**EAU** : Extraction Assistée par Ultrasons.

**FID** : Détecteur à ionisation de flamme (Flame Ionization Detector).

**FTIR** : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (Fourier Transform Infrared Spectroscopy).

**HD** : Hydro-distillation.

**HE** : Huile Essentielle.

**HPLC** : Chromatographie en Phase Liquide à Haute Performance (High Performance Liquid Chromatography).

**INRAA** : Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie.

**ISO** : Organisation Internationale de Normalisation (International Organization for Standardization).

**IT** : Investissement Total.

**MAE** : Extraction assistée par micro-ondes (Microwave Assisted Extraction).

**MAHD** : Hydro-distillation assistée par micro-ondes (Microwave Assisted Hydro-distillation).

**MD** : Micro-Distillation.

**MHG** : Hydro-diffusion assistée par micro-ondes et gravité (Microwave Hydrodiffusion and Gravity).

**MPLC** : Chromatographie Liquide à Moyenne Pression (Medium Pressure Liquid Chromatography).

**MS** : Spectrométrie de masse (Mass Spectrometry).

**SD** : Entraînement à la vapeur (Steam Distillation).

**SDE** : Distillation et extraction simultanée (Simultaneous Distillation Extraction).

**SEC** : Chromatographie d'exclusion stérique (Size Exclusion Chromatography).

**SFC** : Chromatographie en phase supercritique (Supercritical Fluid Chromatography).

**SFE** : Extraction par un fluide supercritique (Supercritical Fluid Extraction).

**TRI** : Taux de Rentabilité des Investissements.

**VMHD** : Hydro-distillation par micro-ondes sous vide (Vaccum microwave Hydro-distillation).

# Introduction générale

Depuis l'Antiquité, des centaines de milliers de plantes couvrent la planète Terre, jouant un rôle vital dans la vie humaine et animale en produisant de l'oxygène, en fournissant de la nourriture, en régulant l'eau, en créant des habitats, etc. Il existe une grande variété de types, d'espèces et de familles de plantes, et chaque plante a des caractéristiques qui la rendent utile à certaines fins médicinales et nutritionnelles.

En fait, Les plantes aromatiques et les herbes médicinales sont les premiers composés pharmacologiques qui ont été utilisés dans les temps anciens pour traiter des maladies ou d'autres conditions anormales. Ainsi, malgré les progrès de la pharmacologie de nos jours, la résurgence de la médecine traditionnelle et l'utilisation thérapeutique de ces plantes reste endémique dans certains pays, notamment dans les pays en développement.

Par ailleurs, les plantes aromatiques et médicinales jouent un rôle économique considérable dans le secteur des industries de l'agroalimentaire, de la parfumerie, du cosmétique et de la pharmacie. Selon l'Organisation mondiale de la santé, 80 % de la population humaine des pays en développement s'appuie sur la médecine traditionnelle, principalement des médicaments à base de plantes, pour ses besoins en soins de santé primaires.

En effet, Ces plantes sont considérées comme une source de traitements et de remèdes naturels grâce à leur large éventail de métabolites secondaires qu'elles contiennent: alcaloïdes, antibiotiques, quinones, bio-polymères, anthocyanines, résines, stéroïdes, mais aussi huiles essentielles.

Ces dernières années, les huiles essentielles ont suscité l'intérêt croissant des scientifiques, des médecins, des biologistes et des thérapeutes en raison de l'étendue et de la diversité des secteurs d'application de ces extraits naturels. En conséquence, la demande en huiles essentielles ne cesse d'augmenter et le marché mondial de ces extraits se développe à un rythme très rapide

Au niveau mondial, la production d'huiles essentielles a été estimée en 2017 à plus de 150 000 tonnes évaluées à environ 6 milliards de dollars US, ce qui représente un triplement en volume depuis 1990 (45 000 tonnes), dont 50% depuis 2007. Selon plusieurs analyses économiques, le taux de croissance et les prévisions atteindront 35,5 milliards de dollars US d'ici 2028. (Barbieri et al.,2018)

Quant à l'Algérie, elle possède une richesse floristique remarquable qui est directement liée à son écosystème et à sa diversité paysagère. Le nombre de taxons de sa flore est estimé à environ 4000 dont 300 taxons endémiques, qui sont majoritairement présents dans le nord du pays. Dans le sud de l'Algérie, le Sahara, l'un des plus grands déserts du monde, les populations locales comptent encore sur les guérisseurs traditionnels pour leurs soins de santé. (Boudjelal et al.,2020)

L'exploitation industrielle de cette ressource florale inépuisable, à l'aide de technologies appropriées, ne peut que contribuer grandement à la croissance socio- économique de notre pays.

Cependant, bien qu'elle soit l'un des pays arabes les plus riches, l'Algérie est absente sur le marché international des huiles essentielles et des plantes aromatiques. Même au niveau local, la production d'huiles volatiles algériennes est insuffisante pour répondre à la demande croissante de sa population. En effet, ces 10 dernières années, le pays recourt à l'importation d'huile essentielles, quantifiée entre 318 jusqu'à 1040 tonnes par an. Toutefois, les exportations d'huiles essentielles nationales ont largement chuté depuis l'an 2017. (Benmansour et Benaïssa.,2021)

Il apparaît donc que le secteur des huiles essentielles en Algérie est peu développé malgré le fort potentiel. La connaissance de ces éléments cités précédemment, nous a motivé à faire cette recherche portée sur le thème de « développement de l'extraction des HE à l'échelle industrielle » dans l'espoir d'engager plus de startups dans ce secteur afin de concilier le progrès économique, technologique et social.

L'objectif de notre étude est d'identifier et d'analyser les paramètres opératoires des extractions d'huiles essentielles collectés à partir de différentes recherches et d'essayer d'estimer leurs valeurs moyennes afin de déterminer la rentabilité d'une unité d'extraction d'huiles essentielles au niveau national.

Notre travail présenté dans ce document est réparti en 5 chapitres :

Le premier chapitre est réservé à une étude bibliographique sur les huiles essentielles.

Le deuxième chapitre est consacré aux différentes méthodes et équipements d'extractions des HEs.

Dans le troisième chapitre, il sera question de collecter, résumer et discuter les divers études et recherches antérieurs sur les extractions de trois plantes aromatiques cultivé en Algérie.

Afin d'apprécier le potentiel de l'Algérie, l'étude de son marché des huiles volatiles fera l'objet d'un quatrième chapitre.

En dernier lieu, nous procéderons à une estimation du cout des unités, ainsi qu'à une étude technico-économique de l'installation. Une étude financière nous permettra de déterminer la rentabilité du projet.

# Chapitre 1

## Généralité sur les Huiles Essentielles

## Introduction

L'attrait des plantes médicinales et aromatiques ne cesse de croître en raison de l'intérêt croissant des consommateurs pour ces plantes à des fins culinaires, médicinales et autres applications anthropiques. Ces plantes produisent une grande variété de métabolites secondaires ; parmi eux, les huiles essentielles.

La nature d'une HE varie d'une plante à l'autre, d'une espèce à l'autre et au sein des familles botaniques. A ce jour, plus de 3000 variétés de composés aromatiques volatils ont été identifiées. Il est donc intéressant de développer une meilleure compréhension de leur composition chimique et de leurs propriétés physico-chimiques.

### 1.1 Définition des huiles essentielles

Le terme huile essentielle remonte au XVI<sup>e</sup> siècle et dérive du médicament *Quinta essentia*, nommé par Paracelse von Hohenheim de Suisse ( Dhifi et al .,2016). Les huiles essentielles ou « volatiles» doivent leur nom à leur inflammabilité (Fraunhofer et Joshi.,2019). De nombreux auteurs ont tenté de donner une définition des huiles essentielles. L'Organisation internationale de normalisation donne la définition suivante (ISO 9235 : 2013) : un produit obtenu à partir d'une matière première naturelle d'origine végétale, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par procédés mécaniques à partir de l'épicarpe d'agrumes, soit également par distillation sèche, après séparation de l'éventuelle phase aqueuse par des procédés physiques. (Jyotirmayee et Mahalik.,2021 ; Andacheh et al.,2020) définissent les huiles essentielles comme un liquide hydrophobe concentré qui contient des composés chimiques volatils dérivés de plantes. ( Shah et al.,2012 ; Geetha et Chakravarthula.,2018) ont donné une définition alternative qui suggère que les huiles essentielles sont un ensemble de composés lipophiles éthers sous forme liquide, obtenus à partir de plantes aromatiques par différentes techniques de distillation.

Elles pourraient être bio-synthétisées dans différents organes comme nous le verrons ci dessous:

**Tableau 1.1.1 : Exemples des différents organes végétaux contenant de l'HE**  
( Dhifi et al .,2016 ; El-Asbahani et al.,2015)

| <b>Partie de la plante contenant l'HE</b> | <b>Les plantes aromatiques</b>  |
|---|---|
| Les Fleurs                                | l'orange, la rose, la lavande, le jasmin, la violette, et le bouton floral de girofle ou les bractées d'ylang-ylang,  |
| Les feuilles                              | l'eucalyptus, la menthe, le thym, le laurier, la sarriette, la sauge, les aiguilles de pin et les organes souterrains des arbres, par exemple les racines de vétiver, |
| Les Rhizomes                              | le gingembre, l'acore odorant,  |
| Les zestes                                | les agrumes.  |
| Les Fruits                                | le fenouil, l'anis, les épicarpes d'agrumes   |
| Le Bois et l'écorce,                      | la cannelle, le bois de santal, le bois de rose   |

La quantité d'huiles essentielles trouvées dans ces parties peut aller de 0,01% à 10% du total (Virendra et Diwaker.,2006). Les familles végétales dans lesquelles elles peuvent être extraites sont : les Lamiaceae, les Lauraceae, les Asteraceae, les Rutaceae, les Myrtaceae, les Poaceae, les Cupressaceae et les Piperaceae (El-Asbahani et al.,2015)

### 1.2 Différence entre essence et huile essentielle

Pour certains auteurs, il faut faire la distinction entre l'essence de la plante et les huiles essentielles. Le premier terme correspond aux sécrétions naturelles produites par des cellules sécrétrices spécialisées de la plante. Le second fait référence à l'extrait obtenu par distillation à la vapeur ou à l'eau du végétal (El-Asbahani et al.,2015). Ces processus de distillation modifient la composition de l'huile essentielle par rapport à celle de l'essence en raison des phénomènes d'oxydoréduction et de l'impossibilité d'entraîner certaines molécules lourdes lors de l'extraction.( Barbelet.,2015)

### 1.3 Répartition et localisation de l'huile essentielle dans la plante

La sécrétion qui est une caractéristique commune des cellules vivantes qui implique la décharge de substances vers l'extérieur (sécrétion exotrope) ou dans des cavités intercellulaires particulières (sécrétion endotrope). La substance sécrétée peut contenir divers produits qui sont supposés être biosynthétisés in situ par des enzymes spécifiques dans les cellules glandulaires (Svoboda et al.,2000). Parmi ces produits figurent les huiles essentielles que l'on trouve le plus souvent dans des structures sécrétrices particulières. Le type de structure est spécifique à la famille ou à l'espèce de la plante.( Dhifi et al .,2016)

On retrouve 2 types de tissus :

#### 1.3.1 Les tissus de sécrétion externe

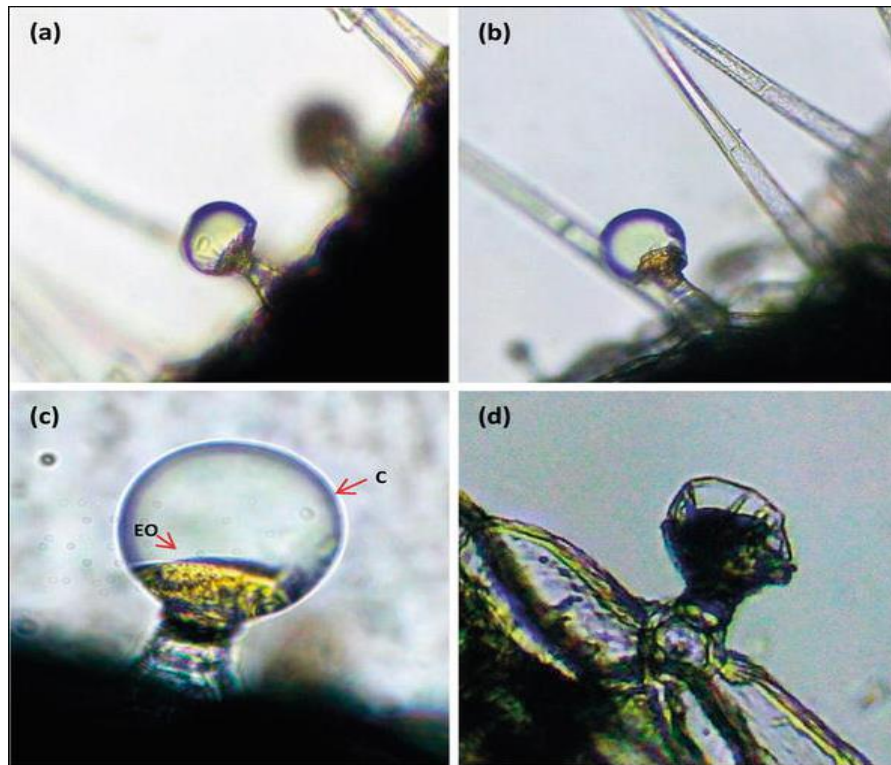
##### 1.3.1.1 Les papilles épidermiques

Ce sont des cellules épidermiques coniques qui sécrètent des essences que l'on rencontre généralement dans les pétales de fleurs (ex. Rosa sp.) (Sulborska et al.,2012)

##### 1.3.1.2 Les poils sécréteurs

Ce sont des trichomes glandulaires qui se développent à partir des cellules épidermiques. L'huile essentielle synthétisée s'accumule dans une poche entre les cellules sécrétrices et une cuticule commune (El-Asbahani et al.,2015). Il existe plusieurs types de trichomes glandulaires : les trichomes sessiles, pédonculés, peltés, capités et digitiformes (Rezakhanlo et Talebi, 2010). ils recouvrent les feuilles, les tiges et même des parties de fleurs telles que le calice de nombreuses plantes de la famille des Lamiacées. Ceux-ci incluent la lavande (*Lavandula* spp.) et la menthe (*Mentha* spp.). (Svoboda et al.,2000).





**Figure 1.1 : Poiles sécréteurs des huiles essentielles à différents stades de maturité chez *Pelargonium* sp. (a) Début de maturation, (b, c) remplissage avec l'HE, et (d) éclatement de la glande. C, cuticule ; HE, huile essentielle en microscope optique (x400) (Hazzoumi et al.,2019)**

### 1.3.2 Les tissus de sécrétion interne

Ces tissus sont situés à l'intérieur de la plante. Nous distinguons :

#### 1.3.2.1 Les Cellules sécrétrices isolées

C'est la structure sécrétrice la plus simple, elle existe dans tous les tissus de la plante, principalement au niveau de l'épiderme (Deschepper.,2017). Ces cellules sont spécialisées dans l'accumulation de l'huile essentielle à l'intérieur de leurs vacuoles. Lorsque la concentration en HE atteint des niveaux élevés, ces cellules meurent (El-Asbahani et al.,2015). Elles sont plus grandes que les autres cellules et possèdent une cuticule muqueuse épaisse. Ce type de cellule se trouve dans plusieurs tissus végétaux différents, notamment : le parenchyme foliaire de la citronnelle ; le tégument de la cardamome ; le rhizome de gingembre; le fruit mur de poivre ; l'écorce de cannellier de Ceylan et la racine de valériane. (Svoboda et al.,2000).

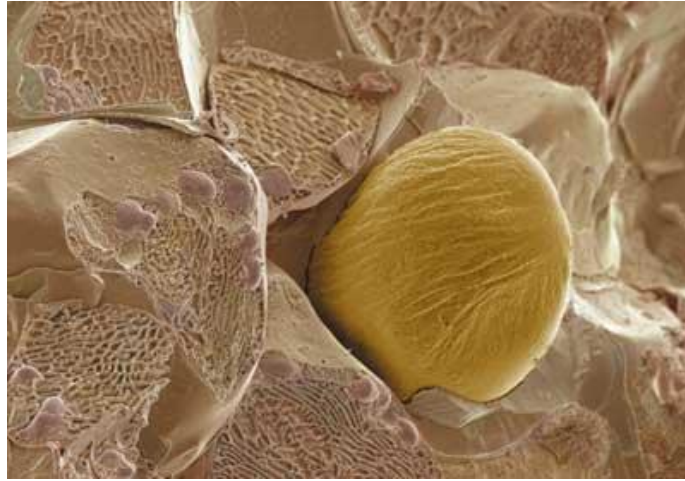


Figure 1.2 : Cellule sécrétrice d'huile essentielle dans un rhizome de gingembre (*Zingiber officinale* Roscoe) vue au microscope électronique à Balayage (×2149) (Svoboda et al.,2000).

### 1.3.2.2 Les poches sécrétrices

Autrement appelées cavités, sont des structures sphériques qui peuvent se former de deux manières : les cellules du parenchyme peuvent se séparer les unes des autres en laissant des espaces intercellulaires appelés « lacune », ou une seule cellule réelle peut se désintégrer et laisser une cavité à l'intérieur du tissu. Ces cavités s'élargissent continuellement et sont tapissées de cellules **sécrétrices**, ou d'un épithélium, qui produisent les huiles essentielles (Svoboda et al.,2000). Ces poches sont présentes chez l'eucalyptus et dans les fruits et les feuilles des plantes de la famille des Citrus. (Deschepper.,2017).

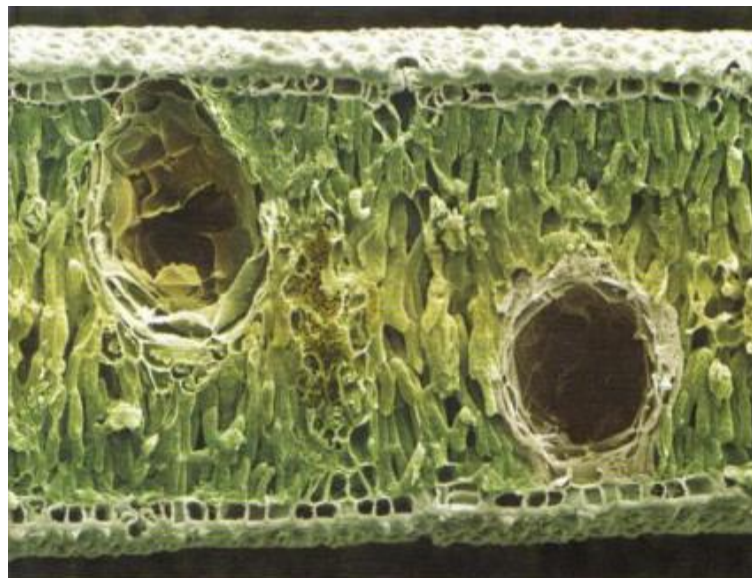
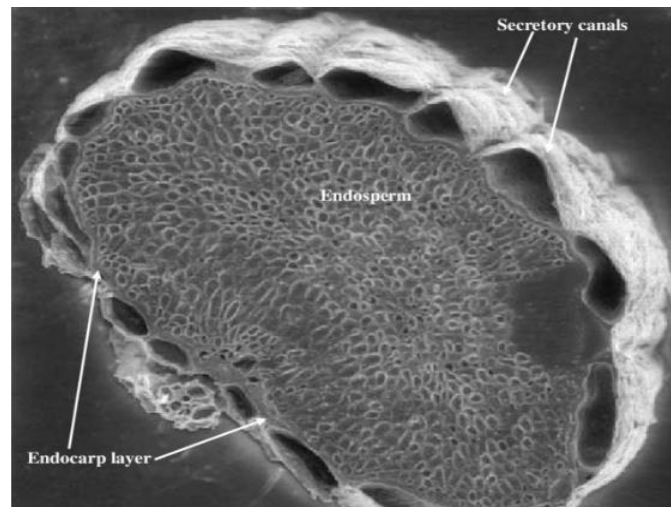


Figure 1.3 : Poches sécrétrices d'une feuille d'eucalyptus vues en microscope électronique à balayage (x204) (Deschepper.,2017)

### 1.3.2.3 Les canaux sécréteurs

Ce sont des cavités allongées. Ils peuvent souvent se ramifier pour créer un réseau s'étendant des racines à travers la tige jusqu'aux feuilles, fleurs et fruits.(P.Berton.,2007). Ils sont composés d'un épithélium qui entoure une cavité centrale. Ces canaux se trouvent dans toute la famille des Apiacées (Ombellifères) ainsi que dans les familles des Astéracées, des Clusiacées (Guttifères) et des Pinacées (Svoboda et al.,2000). Ils sont par exemple présents dans le fruit de l'anis (Deschepper.,2017) .cependant , le nombre de canaux sécréteurs est très variable chez les fruits d'Apiaceae, s'établissant à six chez Les graines de (*Carum copticum*) (Atia et al.,2009) et à deux canaux chez (*Coriandrum sativum*). (Izgi.,2020)



**Figure 1.4 : Une coupe transversale de graine de Criste marine (*Crithmum maritimum*.L.) montrant les canaux sécréteurs au microscope électronique à balayage (x 200) (Atia et al.,2009)**

Ces cinq différents tissus spécialisés dans le stockage et l'accumulation des HE offrent une protection idéale à ces produits fragiles contre les agressions extérieures auxquelles ils sont vulnérables (lumière, chaleur, humidité et oxydation). Ils libèrent leur contenu par arrachement après une variation d'humidité, ou par action mécanique. C'est le cas lors de l'extraction d'huile essentielle dont nous aborderons les principales approches dans le chapitre suivant.

## 1.4 Rôle de l'huile essentielle dans la plante

Les rôles biologiques des huiles essentielles dans les plantes restent hypothétiques, mais ils ont été associés à l'inhibition de la germination et de la croissance des plantes (El-Asbahani et al.,2015) ,ainsi qu'à la cicatrisation des blessures des organes végétaux et la protection contre les insectes nuisibles (Svoboda et al.,2000). Ces huiles attirent les pollinisateurs et dispersent les graines (Mugao et al.,2020) et Elles assurent également un rôle défensif contre les champignons et les micro-organismes pathogènes et contre les herbivores (El-Asbahani et al.,2015).

## 1.5 La composition chimique des huiles essentielles

Les huiles essentielles pures sont des mélanges de plus de 200 composants qui peuvent être essentiellement classés en deux groupes : (Virendra et Diwaker.,2006).

- **Fraction volatile** : elles représentent 90 à 95 % du poids de l'huile, contenant principalement des terpènes, leurs dérivés oxygénés (terpénoïdes) et des phénylpropanoïdes, ainsi que les aldéhydes aliphatiques, les alcools et les esters.
- **Résidu non volatil** : qui comprend 1 à 10 % de l'huile, contenant des hydrocarbures, des acides gras, des stérols, des caroténoïdes, des cires et des flavonoïdes

### 1.5.1 Les Terpènes

Les terpènes et les terpénoïdes résultent de la condensation de l'isoprène (2-méthyl-1,3-butadiène), et sont donc souvent appelés isoprénoïdes. Ils ont de nombreuses structures cycliques ou linéaires isomères, et divers degrés d'insaturations, de substitutions et de dérivés oxygénés, généralement appelés terpénoïdes.( Zuzarte et al., 2012). Dans l'ensemble, l'extrémité ramifiée de la chaîne est appelée la tête de la molécule et l'autre extrémité est appelée la queue (Fig.1.5) (Moghaddam et Mehdizadeh.,2017).

Les terpènes ont généralement des noms qui se terminent par « ene ». Par exemple : Limonène, Pinène, Pipérène, Camphène, etc. Les terpènes sont anti-inflammatoires, antiseptiques, antiviraux et bactéricides. Les terpènes peuvent être classés en hémiterpènes, monoterpènes, sesquiterpènes et diterpènes (Virendra et Diwaker.,2006).

#### 1.5.1.1 Les Hémiterpènes

Les Hémiterpènes sont les structures les plus simples parmi les terpènes. tout hydrocarbure formé à partir d'une seule unité isoprène et ayant cinq atomes de carbone est considéré comme un hémiterpène, dont le plus important d'entre eux est l'isoprène (voir Fig.1.5) (Virendra et Diwaker.,2006).

Les autres hémiterpénoïdes connus trouvés dans les plantes sont les acides tiglique, angélique, isovalérique et sénécioïque, ainsi que l'alcool isoamylique (Ludwiczuk et al.,2017)

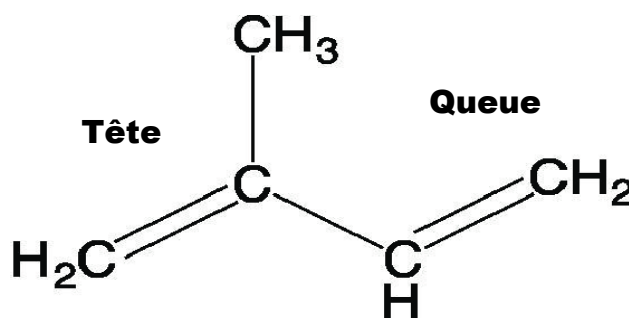


Figure 1.5 : Structure chimique de l'isoprène(Ali Almarie.,2020)

### 1.5.1.2 Les Monoterpènes : [C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>]

En se référant à l'unité isoprène sous le titre « les hemiterpènes », lorsque deux de ces unités isoprène se rejoignent « tête-bêche », le résultat est un monoterpène. (Virendra et Diwaker.,2006).

Les monoterpènes sont des composés naturels, la majorité étant des hydrocarbures insaturés (C<sub>10</sub>). Mais certains de leurs dérivés oxygénés tels que les alcools, les cétones et les acides carboxyliques sont appelés monoterpénoïdes.

Le couplage « tête-bêche » forme des terpènes réguliers, mais occasionnellement, d'autres mécanismes de couplage se produisent, conduisant à une formation irrégulière de terpènes (Fig.1.6) (Lorigooini, et al., 2020)

De plus, les monoterpènes peuvent être des dérivés linéaires (Linalol, Citronellol), ou des molécules cycliques (Limonène – Monocyclique ; Sabinène – bicyclique) (Fig.1.7)

- ❖ **Propriétés** : Analgésique, bactéricide, expectorante et stimulante. (Virendra et Diwaker.,2006).

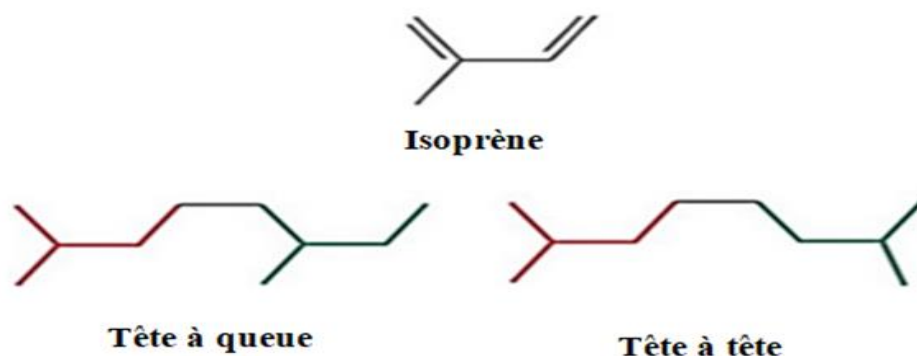


Figure 1.6 : Disposition régulière (tête-à-queue) et irrégulière (Tête à tête) des unités d'isoprène (Lorigooini, et al., 2020)

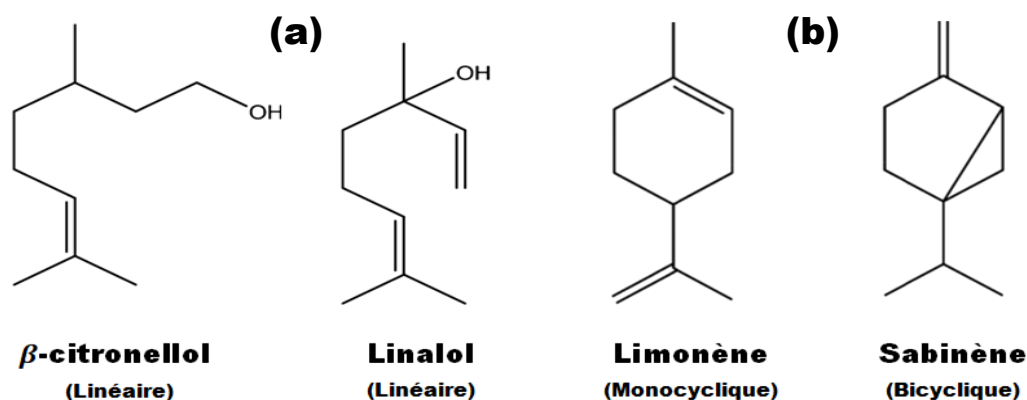


Figure 1.7 : Structure chimique de quelques molécules de monoterpènes et monoterpénoïdes((a) : Almatarneh et al.,2017; (b) :Jose da Silva et al.,2021)

### 1.5.1.3 Les Sesquiterpènes

Par définition, les Sesquiterpènes sont le résultat de la liaison de trois isoprènes, ce qui signifie qu'ils contiennent 15 atomes de carbone. Cela les amène à avoir des volatilités plus faibles et donc des points d'ébullition plus élevés que les monoterpènes. Par conséquent, moins d'entre eux (en pourcentage) contribuent à l'odeur des huiles essentielles. (Sell.,2016)

Les sesquiterpènes sont biogénétiquement dérivés du Pyrophosphate de Farnesyle et leur structure peut être linéaire, monocyclique ou bicyclique (Fig.1.8). Ils constituent un très grand groupe de métabolites secondaires, dont certains se sont avérés être des composés de stress formés à la suite d'une maladie ou d'une blessure.

- ❖ **Propriétés** : anti-inflammatoire, anti-septique, analgésique, anti-allergique. (Virendra et Diwaker.,2006)

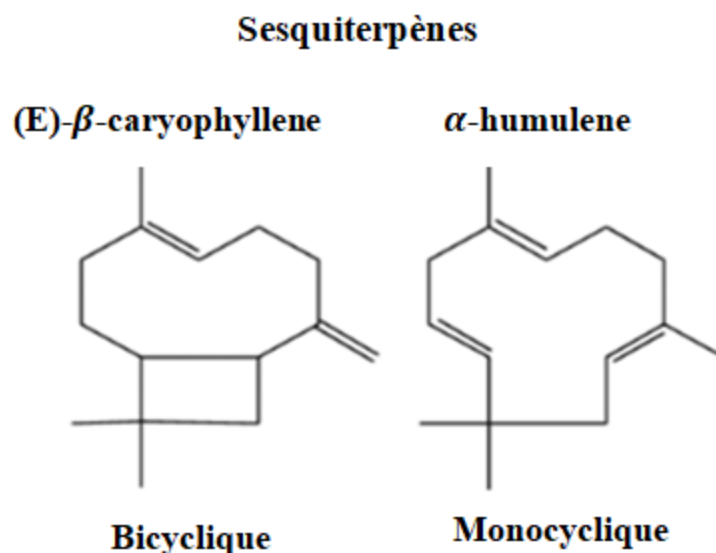


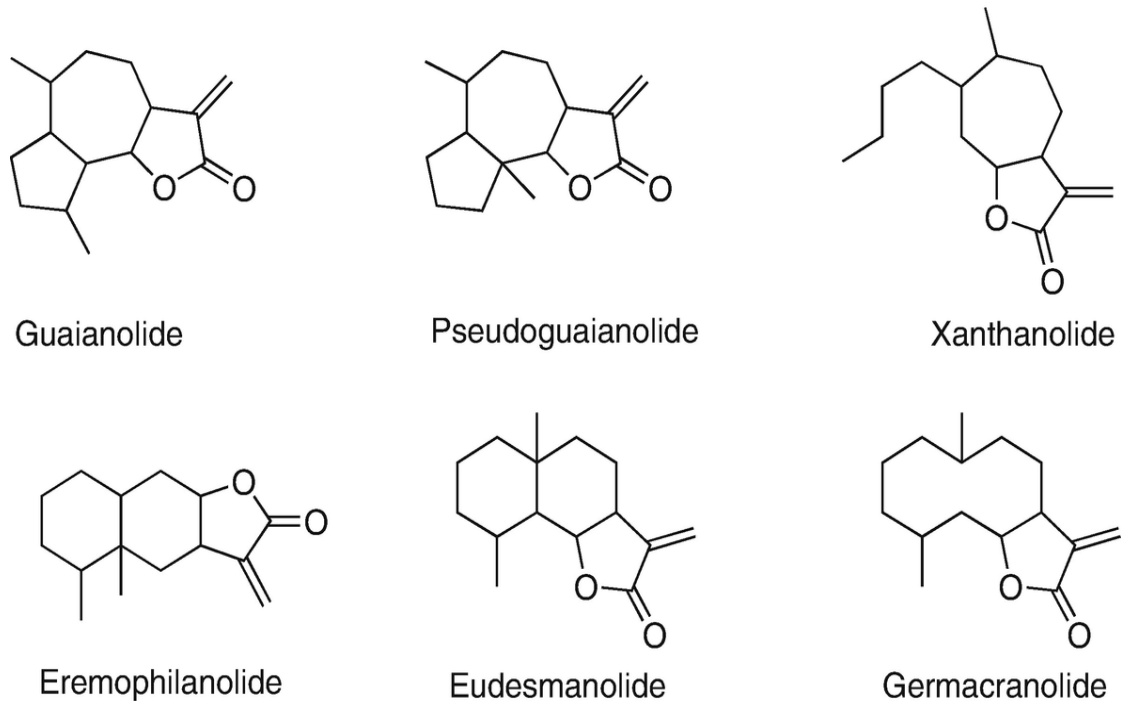
Figure 1.8 : Exemples de sesquiterpènes produits par le pin. (Köpke.,2010)

#### 1.5.1.3.1 Les lactones sesquiterpéniques

Les lactones sesquiterpéniques sont un groupe de métabolites secondaires trouvés dans le règne végétal comprenant un grand groupe de plus de 5000 structures rapportées. (Chadwick et al.,2013). Ils sont particulièrement caractéristiques des Astéracées mais se produisent sporadiquement dans d'autres familles (Virendra et Diwaker.,2006) telles que les Cactaceae, les Solanacées, les Araceae et les Euphorbiaceae (Favero et al.,2014)

Chimiquement, les composés peuvent être classés selon leurs squelettes carboxyliques (Seaman.,1982); Les germacranolides, les guaianolides, les pseudoguaianolides, les éremophilanolides, les xanthanolides et les eudesmanolides (Fig.1.9) sont les classes les plus représentatives de ce groupe de métabolites (Chadwick et al.,2013).

Les lactones sesquiterpéniques sont l'un des principaux constituants du latex dans les plantes productrices de latex, et ce sont souvent de puissants agents antimicrobiens ainsi que des antiappétants pour les insectes broyeurs et les oiseaux (Rustaiyan et al.,2017)



**Figure 1.9 : Structures chimiques des principaux groupes de lactones sesquiterpéniques. (Lepoittevin et Lafforgue.,2020)**

### 1.5.1.4 Les Diterpènes

Les diterpènes sont présents dans toutes les familles de plantes. Ils sont constitués de quatre unités isoprène possédant un squelette central de 20 carbones.(Da Cheng et al.,2015). Cette molécule est trop lourde pour permettre une évaporation avec de la vapeur dans le processus de distillation, on la trouve donc rarement dans les huiles essentielles extraites (Virendra et Diwaker.,2006).

Les diterpènes que l'on trouve généralement dans les HE comprennent le camphorène, le cafestol, le kahweol, le cambrène et le taxadiène (Fig.1.10) (Stephane et Jules., 2020).

❖ **Propriétés** : antifongique, expectorant, équilibreurs hormonaux, hypotenseur.

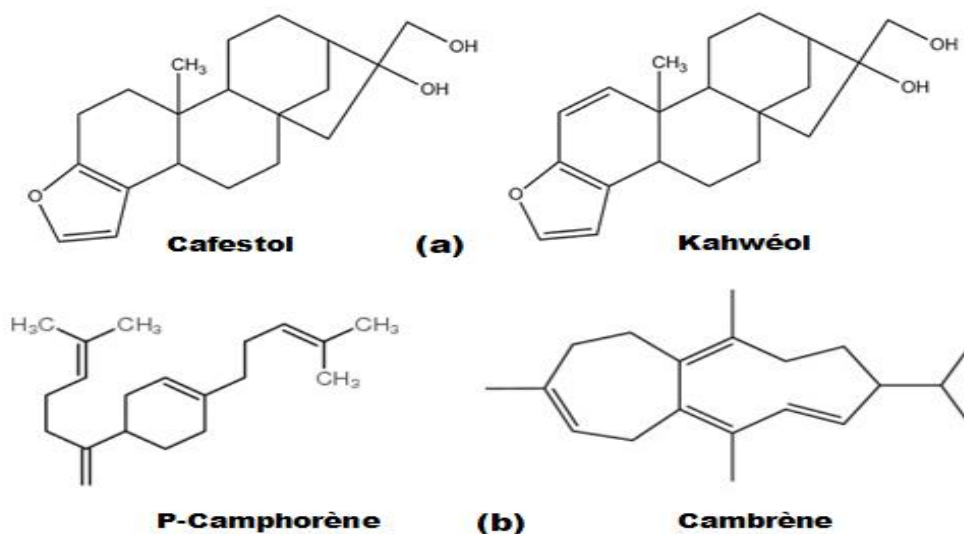


Figure 1.10 : Structures de quelques diterpènes et diterpénoïdes. ( a ) : Silva et al.,2012 ; ( b ) :Stephane et Jules.,2020 )

### 1.5.2 Les phénylpropanoïdes

Ils sont une famille de composés organiques qui ont généralement un cycle aromatique et une queue de propényle (chaîne à trois carbones lié au cycle par une extrémité) et sont synthétisés par les plantes à partir des acides aminés phénylalanines et tyrosine (Zhang et Stephanopoulos, 2016).

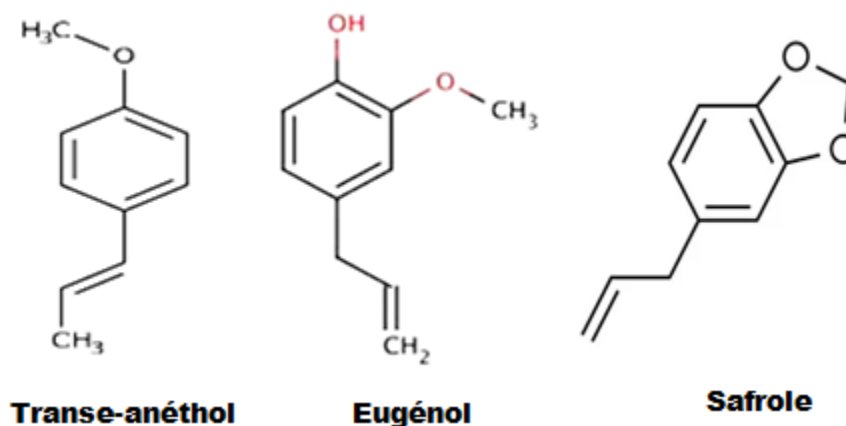


Figure 1.11 : : Les principaux phénylpropanoïdes des huiles essentielles (Santana de Oliveira et al.,2018)

Leurs principaux représentants dans les HE sont les hydrocarbures oxygénés anéthol, eugénol et safrole (Fig. 1.11) qui possèdent tous une double liaison carbone-carbone dans la chaîne latérale (et sont donc des alcènes phénylpropanoïdes ou phénylpropanoïdes) (Moghaddam et Mehdizadeh.,2017).L' $\alpha$ -asarone, la  $\beta$ -asarone, l'estragole, le méthyleugénol et le safrole sont tous des phénylpropanoïdes cancérigènes pour les rongeurs (Tisserand et Young, 2014.b).



### 1.5.3 Autres composés

#### 1.5.3.1 Les composés soufrés

Ces molécules plutôt réactives et piquantes ne se retrouvent que dans quelques HE. Ils comprennent les sulfures, les disulfures, les trisulfures, les sulfoxydes et les isothiocyanates. L'un des composés bien connus de ce groupe est l'isothiocyanate d'allyle (Fig. 1.12). Ces composés semblent être importants dans la défense des plantes et dans la détoxification de l'azote des plantes. (Moghaddam et Mehdizadeh.,2017)

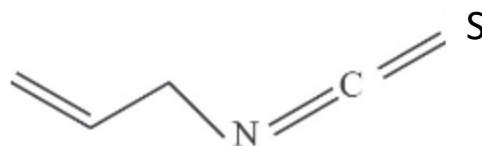


Figure 1.12 : Structure chimique de l'isothiocyanate d'allyle (Moghaddam et Mehdizadeh.,2017)

#### 1.5.3.2 Les composés azotés

Des exemples comprennent l'anthranilate de méthyle, l'indole, la pyridine et la pyrazine. L'anthranilate de méthyle est présent dans les huiles d'orange, de citron et de bergamote et l'huile de jasmin. L'indole est présent dans le néroli et certaines huiles d'agrumes. Les pyridines et les pyrazines sont présentes dans les huiles de poivre noir, d'orange douce et de vétiver (Morsy et al.,2017).

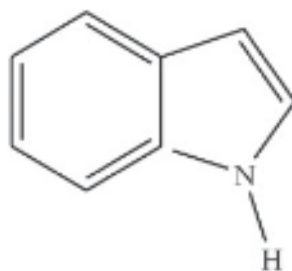


Figure 1.13 : Structure chimique de l'Indole (Moghaddam et Mehdizadeh.,2017)

#### 1.5.3.3 Les composés inorganiques

Comme l'acide cyanhydrique (cyanure d'hydrogène) est un acide inorganique hautement toxique que l'on trouve dans l'huile d'amande amère. Il se forme lors de la distillation, mais il est éliminé avant l'utilisation de l'huile (Tisserand et Young, 2014.a)

### 1.6 Variabilité de la composition chimique

La composition chimique, la concentration des composants individuels et le rendement des huiles essentielles, dépendent de nombreux facteurs intrinsèques (chémotype, l'origine de la plante, le type de partie de la plante, le stade de développement) et extrinsèques qui comprennent les facteurs environnementaux (conditions climatiques, date de semis et variations d'engrais), les conditions de culture (techniques agricoles) (température, humidité, rayonnement, vent, propriétés du sol, emplacement géographique, période et méthodes de récolte) et les techniques post-récolte (séchage, méthodes et extraction, temps de distillation, méthodes de quantification et conditions d'analyse) (Barra.,2009 ; Moghaddam et Mehdizadeh.,2017 ; Boaro et al.,2019 ; Tawfeeq.,2017 ; Zouari.,2013 ; Figueiredo et al.,2008)

#### 1.6.1 Facteur intrinsèques

##### 1.6.1.1 Chémotypes

Egalement appelés « Chimiovariétés » sont définis comme les mêmes espèces/sous-espèces/variétés d'un organisme contenant différents métabolites secondaires ou les mêmes métabolites secondaires avec des quantités différentes (Polatoglu.,2013) . Des changements génétiques et épigénétiques mineurs avec peu ou pas d'effet sur la morphologie ou l'anatomie peuvent produire de grands changements dans le phénotype chimique. (Moghaddam et Mehdizadeh.,2017).Ce phénomène est répandu dans la classification de la famille botanique des Labiées ou Lamiacées. (Clarke.,2008)

Des exemples de plantes produisant des huiles essentielles avec différents chémotypes incluent la lavande, le basilic, le romarin, la sauge et le thym (Belhadj et al.,2014 ; Muráriková et al.,2017 ; Bahmankar et al.,2019 ; Craft et al.,2017 ; Satyal et al.,2016)

##### 1.6.1.2 Partie de la plante

Un certain nombre d'articles ont rapporté la variabilité de la composition chimique des HE extraites de différentes parties de la plante. A cet égard, l'HE de *Blumea balsamifera* (L.) issue des feuilles est la plus riche en l-bornéol, tandis que l'HE issue des tiges est la plus riche en Diméthoxydurène (Yuan et al.,2016).

L'étude de la composition chimique des HE obtenues à partir des feuilles et des fleurs d'*Anethum graveolens* L. a été rapportée, notant des différences significatives dans la teneur en  $\alpha$ -phellandrène, limonène et anéthofurane (Radulescu et al., 2010).

### 1.6.1.3 Stades phénologiques

Les résultats d'études précédentes ont déterminé des différences et des similitudes possibles dans le rendement en huile et la composition chimique de diverses huiles essentielles à différents stades phénologiques chez *Cytisus triflorus* L'Her (Daghbouche et al.,2020), *Thymus algeriensis* (Zouari et al.,2012) et *Thymus maroccanus* (Aljaiyash et al.,2022). Les résultats indiquent que le rendement en huile et les compositions chimiques des huiles volatiles dépendent de l'influence de la croissance sur l'activité enzymatique et sur le métabolisme de la production d'HE (Moghaddam et Mehdizadeh.,2017).

### 1.6.2 Facteurs extrinsèques

#### 1.6.2.1 La lumière du soleil

Elle est, en général, fortement associée à l'activité photosynthétique des plantes et, par conséquent, à la fixation du carbone, à la croissance végétative et à l'accumulation d'huiles essentielles chez plusieurs espèces (Chang et al.,2008 ; Raffo et al.,2019).

La lumière est responsable de l'augmentation de la concentration des monoterpènes et des phénylpropanes chez *Ocimum basilicum* L , et provoque une augmentation de la concentration des monoterpènes chez *Satureja douglasii* Benth (Barra.,2009)

#### 1.6.2.2 La précipitation

La disponibilité de l'eau peut influencer le métabolisme secondaire car les réactions de biosynthèse se produisent en milieu aqueux (Barra.,2009).

La teneur totale en HE sur une base de plante entière diminue généralement, comme observé chez *Salvia officinalis*, *Lavandula angustifolia* et *Mentha spicata* (Chrysargyris et al.,2016 ; Raffo et al.,2019).

#### 1.6.2.3 Propriétés du sol

Les résultats de l'étude sur l'huile de *Thymus kotschyanus* ont montré que l'altitude, les matières organiques et la conductivité électrique du sol ont un effet direct sur la teneur en huile essentielle (Dizajeyekan et al. 2016). De plus, le pH du sol, est parfois responsable de changements dans la composition chimique des HE comme dans le cas de *Rosmarinus officinalis* L. (Barra.,2009).

De même, (Palà- Paúl et al., 2008), ont constaté que la distribution des terpènes était clairement influencée par le pH du sol. La population poussant dans un sol acide contenait une quantité significativement plus élevée de Mycènes alors que sa concentration était significativement plus faible dans les populations alcalines.

### 1.6.2.4 Temps de distillation

Selon les études citées (Wesołowska et al.,2010 ; Jeliaskov et al.,2013 ; Cannon et al.,2013)les huiles essentielles doivent être distillées en temps voulu pour libérer tous leurs constituants actifs. Pareillement, différents temps de distillation peuvent être utilisés pour maximiser la récupération de certains constituants dans les plantes (Moghaddam et Mehdizadeh.,2017).

## 1.7 Caractéristiques des huiles essentielles

La grande influence des paramètres rencontrés en dessus sur la composition chimique des huiles essentielles ont nécessité l'établissement de plusieurs critères de qualité. Les méthodes d'évaluation de la qualité peuvent être classées comme suit :

- L'évaluation des caractéristiques organoleptiques (couleur, aspect, odeur, saveur)
- Les analyses physico-chimiques (densité relative, indice d'acide, indice de réfraction, indice d'ester, pouvoir rotatoire)
- Les techniques instrumentales.

### 1.7.1 Propriétés organoleptiques

Les tests organoleptiques sont très subjectifs, mais ce sont toujours une partie très utile et nécessaire de l'évaluation des huiles essentielles.

#### 1.7.1.1 La couleur

La plupart sont claires, mais certaines huiles telles que le patchouli, la citronnelle, et la tanaïsie sont de couleur ambre, jaune ou même bleu foncé (Kumar.,2022). En général, les plantes plus jeunes produisent des HE de couleur plus foncée en raison de l'évaporation continue des fractions plus légères de l'huile. Parfois, leurs couleurs sont le résultat de la méthode d'extraction, tandis qu'à d'autres moments, la couleur de la plante affecte la couleur du produit final. Bien que la camomille ne soit pas bleue, elle contient un composant appelé Chamazulène, qui donne à l'HE une couleur bleu encre pendant la distillation (singh et al.,2022).

#### 1.7.1.2 L'aspect

à température ambiante, certaines huiles essentielles sont liquides comme la coriandre (Burdock et Carabin.,2009), d'autres peuvent être très épaisses et visqueuses comme le vétiver (Bharti et al.,2020) . En dessous de la température ambiante, les huiles d'anis et de rose se solidifient respectivement à 15°C et 18°C (Ali et al.,2016 ; Nedkov et al.,2009). à très basse températures, les huiles essentielles de menthe poivrée et d'eucalyptus cristallisent partiellement ou totalement. (Franchomme et al.,2001)

### 1.7.1.3 L'odeur

Elle diffère selon la plante extraite, on peut trouver des odeurs florales dans la lavande (Guo et Wang.,2020) , des arômes mentholés dans la menthe sauvage , des arômes épicés dans les huiles de graines de céleri et de cardamome ou encore une odeur sucrée dans l'huile de pin et de bois de santal.( Kumar.,2022)

### 1.7.1.4 La saveur

Elle est influencée par le type et la quantité de composés qu'elles contiennent. les mono-terpènes oxygénés sont le principal contributeur au goût des huiles essentielles (Mugao et al.,2020) on remarque une forte saveur dans les HE de Cannelle (Mariod.,2016) alors que l'huile essentielle de fenouil a un goût sucré (Miraldi.,1999)

## 1.7.2 Propriétés physicochimiques

L'importance commerciale des huiles dépend principalement de leurs propriétés physico-chimiques, qui fournissent des données de base pour déterminer leur aptitude à la consommation. Les indices physicochimiques sont listés ci-dessous :

### 1.7.2.1 La densité relative à 20°C

Elle est le rapport de la masse d'un volume donné d'huile à 20 °C à la masse d'un volume égal d'eau distillée à la même température (Iso 279 :1998). Elle est mesurée par un pycnomètre (Husnu Can Baser 1995).la majorité des huiles volatiles sont plus légères que l'eau ayant une densité allant de 0,8 à 1, à l'exception de l'huile de cannelle (densité 1,04), de l'huile de girofle (1,03-1,06) et de l'essence de gaulthérie (1,17).

### 1.7.2.2 L'indice de réfraction

L'indice de réfraction d'une huile par rapport à l'air est le rapport du sinus de l'angle d'incidence au sinus de l'angle de réfraction d'un rayon lumineux passant de l'air dans l'huile essentielle maintenue à une température constante (ISO 280 :1998). Elle varie avec la longueur d'onde de la lumière utilisée dans sa mesure (Husnu Can Baser.,1995) .

Les réfractomètres de type Abbe sont largement utilisés pour la détermination de ces indices. (Novidzro et al.,2019).Les huiles volatiles sont caractérisées par des indices de réfraction élevés qui varient de 1,43 à 1,61 à 20°C.

### 1.7.2.3 L'indice d'acide

C'est est une valeur numérique équivalente au nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium nécessaires pour neutraliser les acides libres présents dans 1 gramme d'huile (Iso 1242 : 1999). Cette valeur est utilisée pour mesurer l'étendue des glycérides dans l'huile, qui ont été décomposés par la lipase et d'autres facteurs physiques tels que la lumière et la chaleur. (Barkatullah et al.,2012)

### 1.7.2.4 L'indice d'ester

C'est le nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium nécessaire à la neutralisation des acides libérés par l'hydrolyse des esters contenus dans 1 g d'huile essentielle (Iso 709 :2001). L'indice d'ester illustre la teneur en acides gras associée à la glycérine. Il joue un rôle important dans le goût des huiles essentielles.(Thi Kim Ngan., 2019)

### 1.7.2.5 Le pouvoir rotatoire

La plupart des huiles essentielles placées dans un faisceau de lumière polarisée possèdent la propriété de faire tourner le plan de polarisation vers la droite (+, dextrogyre) ou vers la gauche (-, lévogyre) (Husnu Can Baser.,1995). Le pouvoir rotatoire est mesuré à la longueur d'onde de la raie D du sodium (589,3 nm) à une température de 19,5° à 20,5° dans une couche de 1 dm d'épaisseur (Iso 592 :1998). Les polarimètres sont utilisés pour la détermination de l'activité optique. Cette technique fournit des données utiles sur la pureté optique de l'huile (Barkatullah et al.,2012).

## 1.7.3 Les techniques instrumentales

Les propriétés physico-chimiques sont des indices nécessaires pour évaluer la qualité des huiles essentielles, mais elles ne permettent pas de retracer les falsifications et les fraudes, principalement dans les huiles essentielles économiquement importantes. Par conséquent, l'exploitation des méthodologies analytiques, telles que la chromatographie en phase gazeuse (GC) et la chromatographie en phase liquide sont pratiquement inévitables.

### 1.7.3.1 La chromatographie en phase liquide (CPL)

C'est une technique chromatographique sur colonne qui pompe à haute pression un échantillon (analyte) dissous dans un solvant (phase mobile) à travers le milieu stationnaire emballé dans une colonne (phase stationnaire). Les propriétés de l'échantillon et du solvant, ainsi que la nature de la phase stationnaire, déterminent le temps de rétention des analytes (la vitesse à laquelle ils traversent la colonne) (Petrova et Sauer.,2017).

La figure 1.14 montre les principaux composants de la chromatographie liquide.

Généralement, les techniques de chromatographie en phase liquide à haute pression (HPLC), de chromatographie liquide à moyenne pression (MPLC), de chromatographie d'exclusion de taille (SEC) (= chromatographie de perméation sur gel) et de chromatographie en fluide supercritique (SFC) sont utilisées pour le préfractionnement de mélanges complexes d'huiles essentielles avant l'analyse chromatographique en phase gazeuse.(Lucaccioni et al.,1993 ; Synder et al.,2011).

La spectrométrie de masse (MS) est la méthode de détection la plus puissante pour ce type de chromatographie.

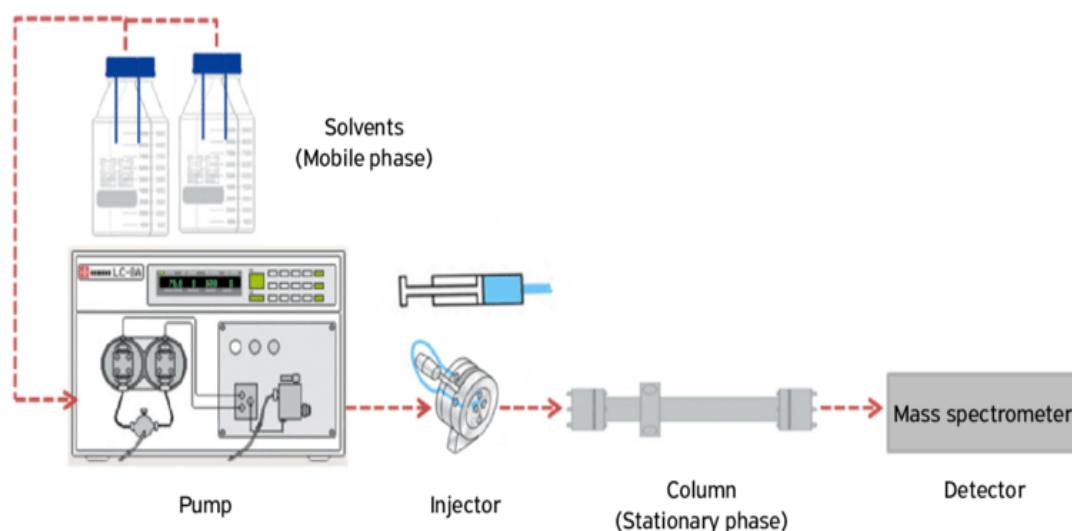


Figure 1.14 : Schéma d'un système de chromatographie en phase liquide. (Lázaro et al.,2015)

### 1.8 Les filières des huiles essentielles

Les applications des HE sont étendues aux applications pharmaceutiques, alimentaires, de parfumerie, sanitaires et de beauté. Les huiles essentielles sont utilisées en fonction de la source, de la qualité et des méthodes d'extraction.

#### 1.8.1 Aromathérapie

Elle fait partie des thérapies complémentaires qui sont utilisées pour le traitement de nombreuses maladies avec l'utilisation des HE comme agents thérapeutiques majeurs. L'inhalation, les bains et les applications locales sont les principales approches utilisées en "aromathérapie" qui utilisent les HE pour pénétrer dans la surface de la peau humaine avec l'aura marquée (Hanif et al.,2019). L'aromathérapie utilise plusieurs combinaisons et permutations pour soulager plusieurs maux comme l'indigestion, la dépression, l'insomnie, les maux de tête, les problèmes respiratoires, les douleurs musculaires, les articulations enflées, les affections cutanées, etc (Ali et al.,2015)

#### 1.8.2 Pharmacologie et usages médicaux

Plusieurs HE ont un effet fongicide, antidépresseur, antibactérien, stimulant et relaxant et peuvent être utilisées comme agent thérapeutique efficace (Evesron et Dotto.,2022). Les maladies pathogènes causées par des virus peuvent également être traitées à l'aide d'huiles essentielles (Ojah.,2020). Certaines huiles essentielles sont utilisées pour traiter les patients atteints de maladies cardiovasculaires, qui comprennent les crises cardiaques, les maladies cérébrovasculaires, l'hypertension et l'insuffisance cardiaque (Kamyab et al.,2021).

Le tableau 1.2 donne quelques applications médicinales potentielles des HE :

**Tableau 1.2 : Les huiles essentielles et leurs applications médicinales**

| <b>Huile essentielle</b>                  | <b>Applications médicinales</b>   | <b>Références</b>   |
|---|---|---|
| le Romarin<br>(Rosmarinus officinal)      | Antioxydant, antimicrobien  | (Rašković et al.,2014 ; Nieto et al.,2018)                                |
| La menthe poivrée<br>(Mentha piperita L.) | Antioxydant, anti-inflammatoire, analgésique, cytoprotecteur,                         | (Woo et al.,2013 ; Sun et al.,2014 ; McKay et Blumberg.,2006)             |
| la citronnelle<br>(cymbopogon citratus)   | antispasmodique, analgésique, antiémétique, antitussif, antirhumatismal, antiseptique | (Shah et al.,2011; Boukhatem et al.,2014)                                 |
| Le fenouil (Foeniculum vulgare)           | Antioxydant, anti-inflammatoire, analgésique, antimicrobien,                          | (Ruberto et al.,2000 ; Özbek.,2005 ;Kooti et al.,2015)                    |
| le cumin<br>(Cuminum cyminum L.)          | Antimicrobien, antifongique   | (Iacobellis et al.,2005 ; Mohammadpour et al.,2012 ; Ghasemi et al.,2019) |

Comme indiqué dans le tableau 2, un Bon nombre de ces plantes aromatiques possèdent des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, immunostimulantes et antimicrobiennes. Certaines huiles ont également des propriétés analgésiques, antispasmodiques, antiparasitaires, antifongiques et de nombreuses autres propriétés médicinales.

### **1.8.3 Utilisations en médecine vétérinaire**

Plusieurs HE comme l'huile de citronnelle sont utilisées comme insecticides ou comme insectifuges et dans les applications vétérinaires (Hanif et al.,2019). Les huiles essentielles sont utilisées dans l'alimentation des animaux comme activateur de la production de suc pancréatique et gastrique, stimulant pour la production de salive, stimulant de l'appétit, antioxydant et antimicrobien pour l'amélioration des performances des poulets de chair (Jang et al.,2004)

### **1.8.4 Industrie cosmétique**

L'inclusion des HE et de leurs composants individuels dans la fabrication d'une large gamme de produits cosmétiques a été stimulée par l'efficacité reconnue de ces types de substances en matière de santé et de beauté, apportant différents avantages à la formulation. Ces bénéfices sont illustrés par les propriétés antiseptiques de certaines huiles essentielles (par exemple, les huiles essentielles de citron et d'orange) associées à leur forte teneur en terpènes tels que le limonène, qui en font des actifs très prometteurs pour le soin de la peau et des cheveux (Guzmán et Lucia.,2021 ;Shankar et al.,2021).



### Conclusion

Les huiles essentielles, également appelées huiles volatiles, sont des mélanges complexes de substances volatiles présentes dans l'écorce, les tiges, les fleurs, les graines et d'autres parties de nombreuses plantes. Ces huiles sont contenues dans des cellules, des conduits ou des cavités de sécrétion, ou dans des poils glandulaires.

Ils sont principalement composés de terpènes (monoterpènes, diterpènes sesquiterpènes) et de phénylpropanoïdes mais certains contiennent également des quantités modérées d'hydrocarbures, ou de composés soufrés.

La teneur de ces composés est affectée par plusieurs facteurs tels que le climat et les conditions du sol, les pratiques de production, le stade de croissance des plantes à la récolte et les conditions post-récolte.

Leur évaluation de la qualité nécessite des analyses multiples. La première et la plus simple analyse est effectuée par les organes sensoriels, c'est-à-dire l'odeur, la couleur et la viscosité. D'autres techniques instrumentales développées au cours des dernières décennies sont également utilisées pour détecter l'adultération dans les huiles essentielles.

Grâce à leur composition chimique, les huiles essentielles possèdent de nombreuses activités biologiques (antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes, etc. .) qui leur confèrent un grand intérêt dans les industries de l'aromathérapie, de la cosmétique, ainsi que dans le domaine de la santé humaine.

## Chapitre 2

# **Procédés d'extraction et équipements**

### Introduction

Les huiles essentielles avant d'être utilisées sont extraites de la matière végétale par différentes méthodes. Ces techniques peuvent être classées en deux catégories : les méthodes conventionnelles/classiques et les méthodes avancées/innovantes, parmi lesquels les plus courantes telles que l'hydro-distillation (HD), l'entraînement à la vapeur, le pressage à froid, l'extraction par solvant et les méthodes de distillation-extraction simultanées, entre autres.

### 2.1 Les méthodes conventionnelles

#### 2.1.1 Entraînement à la vapeur

La distillation à la vapeur est l'une des méthodes les plus anciennes et officiellement approuvées pour l'extraction des HE des matières végétales (Li et al., 2014). Ce processus d'isolement peut durer entre 1 et 10 heures. La quantité d'huile produite dépend de la durée de la distillation, de la température, de la pression et du type de matériel végétal (Stratakos et Koidis., 2015).

Durant le processus, l'eau est chauffée dans une chaudière pour produire de la vapeur surchauffée, qui est transportée par un tuyau jusqu'au récipient (alambic). La vapeur aide à libérer les molécules d'HE de la plante, en augmentant la température et la pression. Les molécules d'huile libérées par la plante se mélangent alors à la vapeur. Ce mélange monte à travers le distillateur et atteint le condenseur, ce dispositif permet au mélange de se refroidir et de passer en phase liquide. Enfin, le mélange liquide atteint le florentin, dans lequel l'huile et l'eau sont séparées. Cette eau est connue sous le nom d'hydrolat. (Valderrama et Ruiz., 2018).

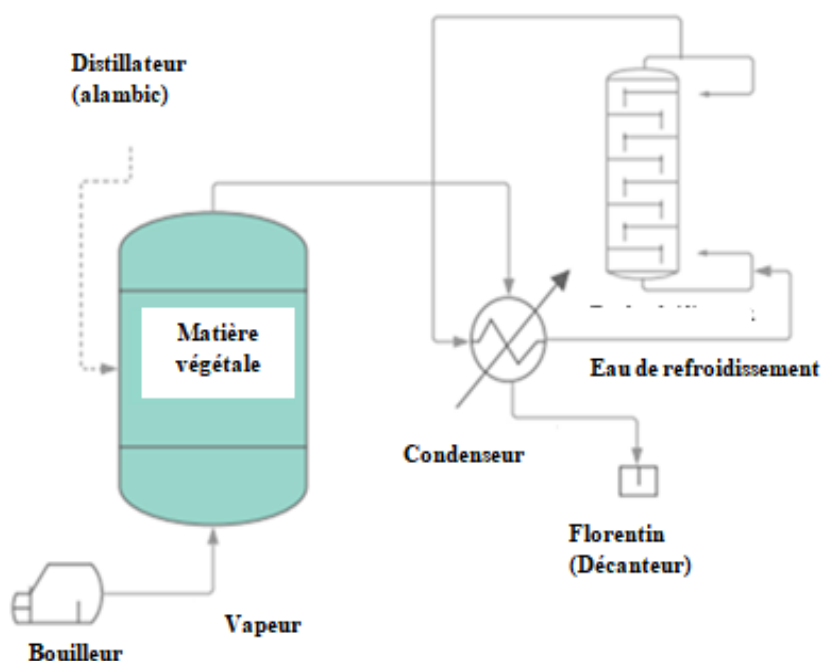


Figure 2.1 : Schéma descriptif de l'extraction à l'entraînement de vapeur. (Valderrama et Ruiz., 2018).

### 2.1.2 Hydro-distillation

L'hydro-distillation (HD) est une variante de l'entraînement à la vapeur, recommandée par la Pharmacopée française pour l'extraction des HE des épices séchées et le contrôle-qualité des HE en laboratoire (Li et al., 2014). Il existe trois types d'hydro-distillation : avec immersion dans l'eau, avec injection directe de vapeur et avec immersion dans l'eau et injection de vapeur en même temps (Hesham et al., 2016). Il s'agit d'un processus multilatéral qui peut être utilisé pour les grandes ou les petites industries. Le temps de distillation dépend de la matière végétale traitée.

Son principe repose sur la distillation azéotrope. En effet au lieu de l'apport de vapeur, les matières végétales en HD sont directement immergées dans l'eau. Ce mélange solide-liquide est ensuite chauffé jusqu'à ébullition sous pression atmosphérique, formant un mélange hétérogène qui atteint sa température d'ébullition à un point inférieur proche de 100 °C, dans un alambic, où la chaleur permet la libération de molécules odorantes dans les cellules végétales. Le mélange de vapeur d'eau et d'huile est condensé par refroidissement indirect avec de l'eau. Du condenseur, le distillat s'écoule dans un séparateur, où l'huile se sépare automatiquement de l'eau distillée (Talati., 2017 ; El Asbahani et al., 2015 ; Li et al., 2014 ).

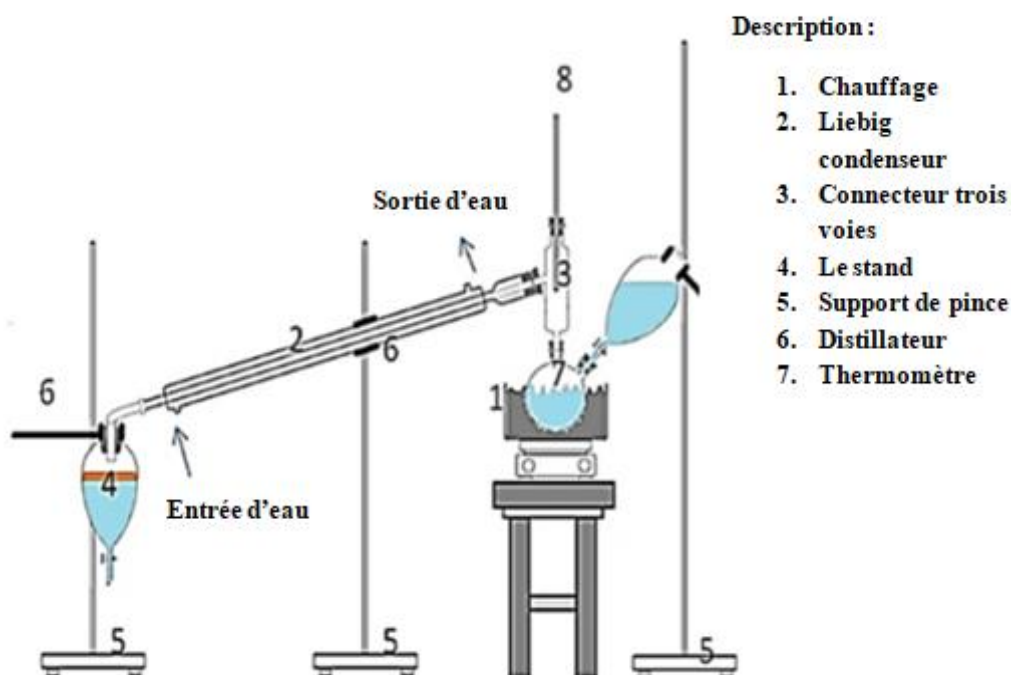


Figure 2.2 : Illustration schématique de l'équipement d'hydro-distillation (Mahfud et al., 2017).

### 2.1.3 Hydro-diffusion

L'hydro-diffusion consiste à permettre à la vapeur d'entrer par le haut de la charge de l'installation et de se diffuser à travers la charge par gravité (Lawrence., 1995). L'avantage de l'hydro-diffusion par rapport à la distillation est que le processus est plus rapide, en particulier pour les matériaux fibreux tels que les bois et les écorces. Les huiles résultantes auraient un arôme supérieur et une couleur plus riche obtenue par distillation ordinaire (Mohamed., 2005). Un autre aspect de l'hydro-diffusion est que la vitesse de vaporisation de l'huile n'est pas influencée par la volatilité des composants de l'huile, mais par leur degré de solubilité dans l'eau. Par conséquent, les constituants à haut point d'ébullition mais plus solubles dans l'eau de l'huile dans les tissus végétaux distillent avant les constituants à bas point d'ébullition mais moins solubles dans l'eau (Talati., 2017).

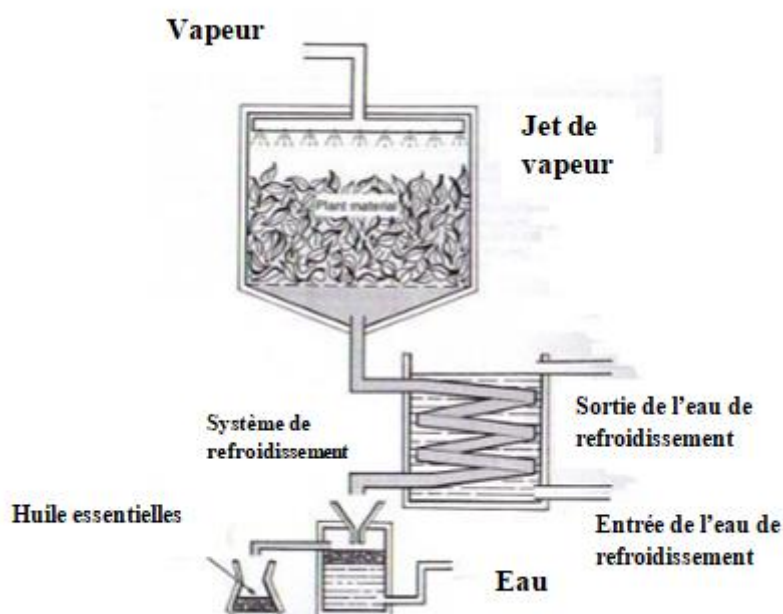


Figure 2.3 : Processus de l'hydro-diffusion. (Mohamed., 2005).

### 2.1.4 Expression à froid

L'expression à froid est le procédé le plus ancien pour l'obtention des huiles essentielles (Reyes-Jurado et al., 2015), et est utilisée exclusivement dans la production des HE à partir des agrumes (Stratakos et Koidis., 2015). Ce processus garantit que l'huile résultante est pure à 100% et conserve toutes les propriétés de la plante (Hesham et al., 2016).

Cette technique est une extraction sans chauffage des huiles essentielles (Li et al., 2014). Elle fait référence à tout processus physique au cours duquel les glandes à huile essentielle de la peau et des cuticules sont brisées afin que l'huile soit libérée. Ce processus aboutit à la production d'une émulsion aqueuse, qui est ensuite centrifugée pour séparer l'huile essentielle (Stratakos et Koidis., 2015).

La presse à froid a une entrée pour l'alimentation avec les graines et deux sorties l'une dans laquelle l'huile est obtenue et l'autre où le tourteau non huilé sort (Çakaloğlu et al., 2018).

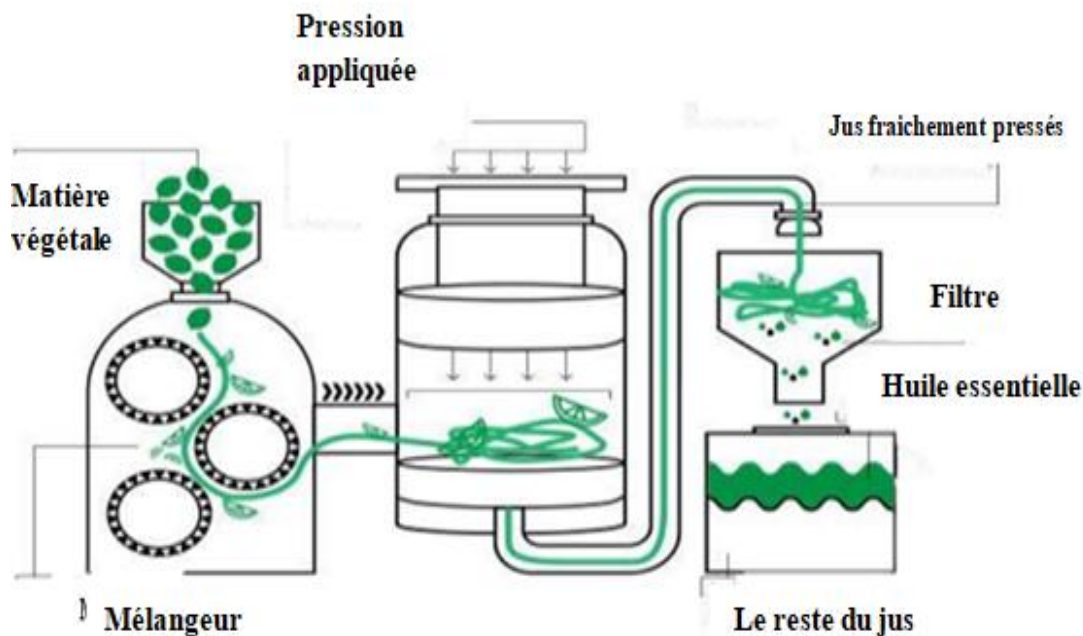


Figure 2.4 : Schéma descriptif de l'extraction par expression à froid (Belhamel et Belaachi., 2021).

## 2.2 Les méthodes innovantes

### 2.2.1 Hydro-distillation assistée par micro-onde

L'MAHD est une technique avancée émergente et innovante d'extraction d'huiles volatiles à partir de matières végétales (Nitthiyah et al., 2017). L'application de cette technique dans les processus de séparation et d'extraction a montré qu'elle réduisait le temps d'extraction (Hesham et al., 2016).

Lorsque la chaleur est appliquée par micro-ondes à l'humidité (eau) qui est à l'intérieur des cellules des matières végétales, il y a évaporation, expansion et par la suite génération de haute pression sur la paroi cellulaire de la glande sébacée. La pression interne générée pousse la paroi cellulaire de cette glande et étire intensément la paroi au point qu'elle pourrait se rompre. Cela faciliterait le processus de libération de l'huile essentielle de la matière végétale vers le solvant environnant (eau). Ce phénomène peut être accentué si le matériel végétal est trempé dans des solvants comme l'eau avec une efficacité de chauffage par micro-ondes élevée (valeur du facteur de dissipation plus élevée) (Nitthiyah et al., 2017).

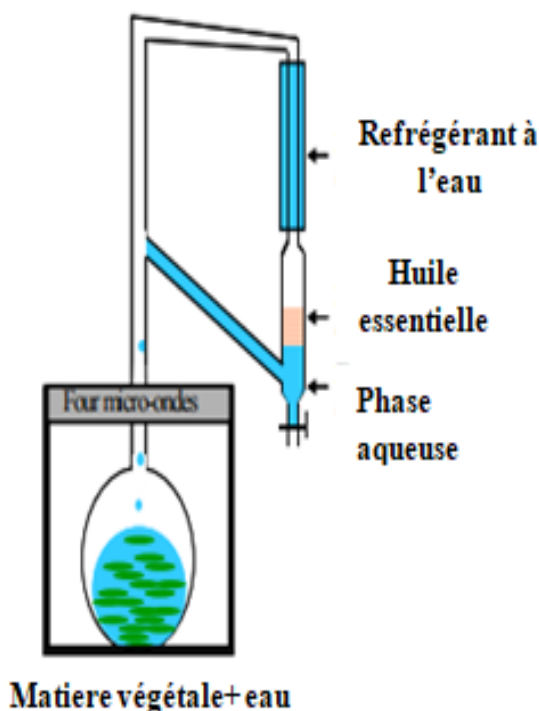


Figure 2.5 : Appareillage de l'hydro-distillation assistée par micro-ondes. (Bousbia., 2011).

### 2.2.2 Extraction assistée par micro-onde sans solvant

Les préoccupations récentes concernant les dangers naturels et environnementaux des solvants organiques appliqués dans les techniques d'extraction ont conduit au développement de techniques d'extraction sans solvant (Li et al., 2014). Cette méthode est basée sur la distillation sèche par micro-ondes à pression atmosphérique des plantes fraîches sans ajout d'eau ni de solvant organique (El Asbahani et al., 2015).

Durant le procédé, le matériel végétal est humidifié avant l'extraction en le trempant dans une certaine quantité d'eau pendant 1 à 2 h. Après cela, les matériaux humidifiés sont soumis à la cavité du four à micro-ondes et un condenseur est utilisé pour collecter les HE extraites dans une procédure de pré-réglage. La puissance d'irradiation, la température et le temps d'extraction sont contrôlés par le panneau de l'instrument. L'huile essentielle séparée est séchée sur du sulfate de sodium anhydre et stockée à 4°C dans l'obscurité (Li et al., 2012).

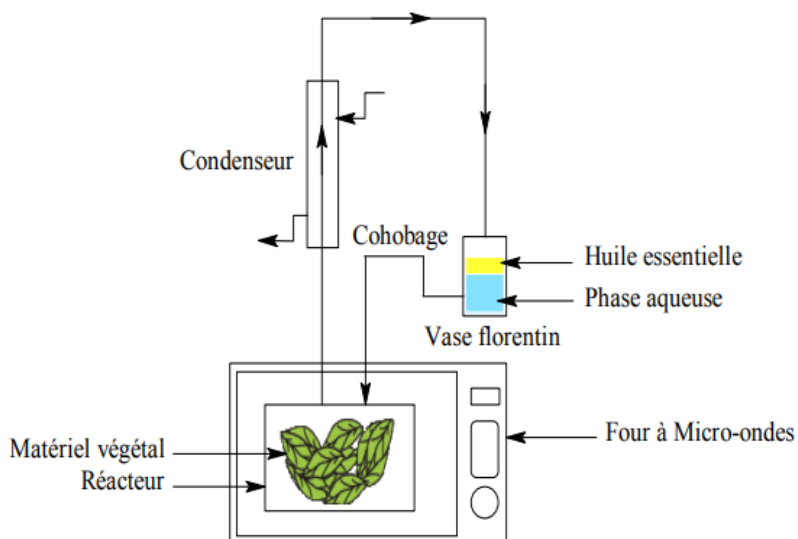


Figure 2.6 : Schéma de montage de l'extraction sans solvant assistée par micro-onde (SFME). (Chenni et Douniazad., 2017).

### 2.2.3 Entraînement à l'air assisté par micro-onde

La première extraction assistée par micro-ondes (MAE) des HE a été proposée sous forme de distillation par micro-ondes à air comprimé (CAMD). Basé sur le principe de la distillation à la vapeur, l'air comprimé est injecté en continu dans l'extracteur où les matrices végétales sont immergées dans l'eau et chauffées par micro-ondes. L'eau et les HE sont condensés et séparés à l'extérieur du réacteur à micro-ondes. Cette extraction peut se faire en seulement 5 min (Li et al., 2014).

L'équipement de la CAMD ressemble à celui de l'entraînement à la vapeur. Il est constituée de trois parties ; un compresseur envoyant de l'air dans un ballon contenant la matière végétale placé dans un four micro-onde et un réfrigérant (Farhat., 2010).

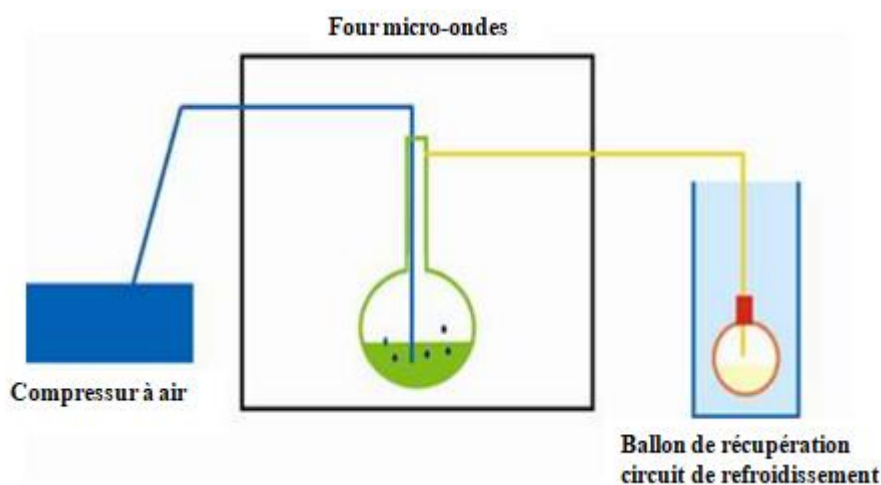


Figure 2.7 : Schéma descriptif de l'entraînement à l'air assisté par micro-onde. (Aboudaou., 2017).



### 2.2.4 Hydro-distillation par micro-onde sous pression réduite

La méthode d'extraction d'hydro-distillation par micro-onde sous pression réduite (VMHD) a été développée par la société Archimex dans les années 1994 (Farhat., 2010). Elle a été conçue pour éviter l'hydrolyse. Les matières végétales fraîches sont exposées à une irradiation aux micro-ondes afin de libérer les extraits ; la réduction de la pression à 100-200 mbar permet l'évaporation du mélange eau-huile azéotropique à une température inférieure à 100 °C. Cette opération peut être répétée en fonction du rendement souhaité (Li et al., 2014).

Le système (figure 2.8) se compose principalement d'une enceinte constituée d'un réacteur de double enveloppe et d'un agitateur, un micro-onde, un condenseur et un système permettant de réguler la pression à l'intérieur du réacteur ainsi que de la température de la double enveloppe (Boutemak., 2011 ; Farhat., 2010).

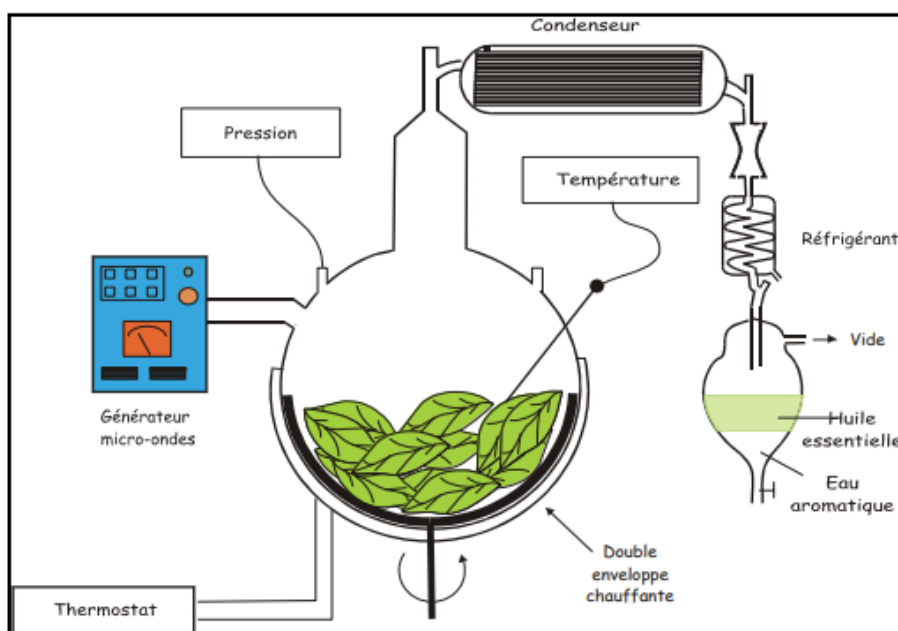


Figure 2.8 : Schéma descriptif de l'hydro-distillation par micro-onde sous pression réduite. (Boutemak., 2011).

### 2.2.5 Extraction assistée par ultrason (EAU)

L'extraction assistée par ultrasons (EAU) a été reconnue dans l'industrie de l'extraction phytopharmaceutique pour une large gamme d'extraits de plantes (Reyes-Jurado et al., 2015). Ces principaux avantages sont les effets minimaux sur les composés extractibles, la réduction et l'évitement de l'utilisation des solvants organiques et une réduction du temps d'extraction (Stratakos et Koidis., 2015). Elle permet d'intensifier et de sélectionner l'extraction des HE en accélérant leur libération du matériel végétal lorsqu'ils sont utilisés en combinaison avec d'autres techniques (hydro-distillation et extraction par solvant) (El Asbahani et al., 2015).

L'effondrement des bulles de cavitation générées lors des ultrasons donne naissance à des micro-jets pour détruire les glandes des HE afin de faciliter le transfert de masse et la libération des HE des végétales. Cet effet de cavitation dépend fortement des paramètres de fonctionnement (par exemple, la fréquence et l'intensité des ultrasons, la température). En plus de l'amélioration du rendement, les HE obtenues par l'EAU ont montré moins de dégradation thermique avec une haute qualité et une bonne saveur (Li et al., 2014).

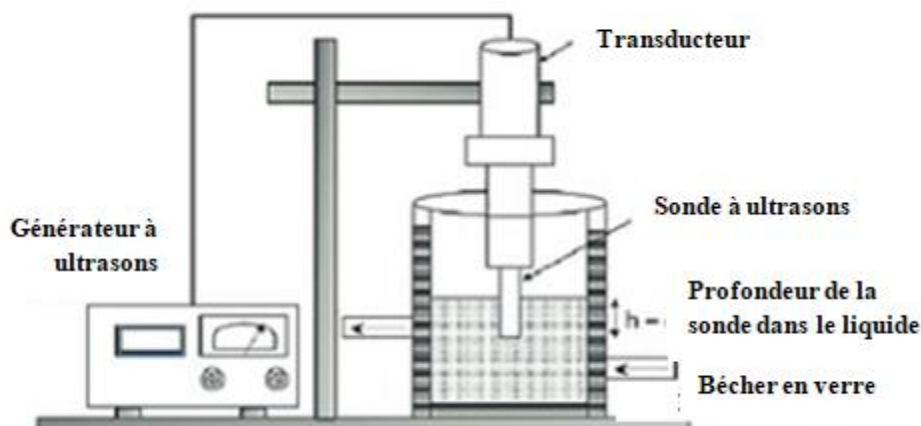


Figure 2.9 : Schéma descriptif de l'équipement de l'extraction assistée par ultrason. (Rojas Molina et al., 2016).

### 2.2.6 Extraction par hydro-diffusion assistée par micro-onde et gravité (MHG)

La méthode d'extraction par hydro-diffusion assistée par micro-onde et gravité (MHG) a été conçue et développée pour la première fois par Chemat et ses collègues (El Asbahani et al., 2015). Cette technique d'extraction verte est un mélange de chauffage par micro-ondes et de gravité à pression atmosphérique. (Hesham et al., 2016).

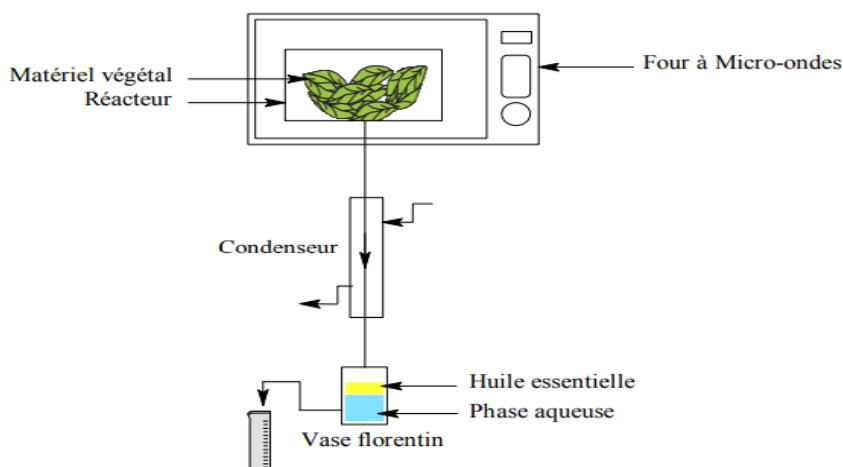


Figure 2.10 : Appareillage de l'extraction par hydro-diffusion assistée par micro-onde et gravité. (Chenni et Douniazad., 2017).

La MHG est Basée sur un principe relativement simple, cette méthode consiste à placer du matériel végétal dans un réacteur à micro-ondes, sans ajout de solvant et d'eau. L'échauffement interne de l'eau contenue dans le matériel végétal distend les cellules végétales et entraîne la rupture des glandes et des réceptacles oléifères. L'action chauffante des micro-ondes libère ainsi l'huile essentielle et l'eau qui sont transférées de l'intérieur vers l'extérieur du matériel végétal (Vian et al., 2008).

### 2.2.7 Entraînement à la vapeur assisté par micro-onde

Les procédés d'entraînement à la vapeur assisté par micro-onde ont été étudiés par Sahraoui et ses collègues en 2008 et Naima Sahraoui en 2011 pour l'extraction respectivement des HE d'écorce d'orange et de fleur de Lavande sèche (El Asbahani et al., 2015).

Ce procédé est une combinaison de techniques traditionnelles, à savoir, une distillation à la vapeur (SD) et une technologie innovante, un chauffage par micro-ondes. En effet, le chauffage par micro-ondes a permis d'initier et de renforcer les transferts de masse et de chaleur à l'intérieur des matrices végétales vers l'extérieur ce qui se traduit par une réduction considérable du temps d'extraction (Sahraoui et Boutekdjiret., 2015)

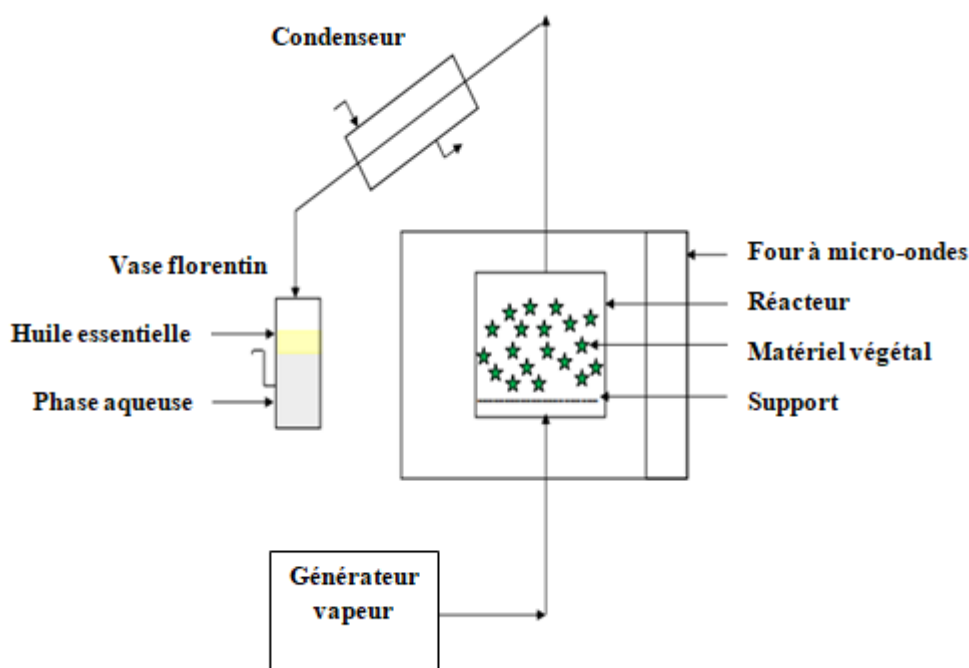


Figure 2.11 : Schéma descriptif de la méthode d'entraînement à la vapeur assisté par micro-onde. (Boutemak., 2011).

### 2.2.8 Extraction par détente instantanée contrôlée (DIC)

La méthode d'extraction par détente instantanée contrôlée a été particulièrement étudiée par Allaf et ses collègues (El Asbahani et al., 2015), elle a d'abord été utilisée pour la texturation et le séchage de divers produits et a ensuite été étendue comme méthode de référence pour l'extraction d'huiles essentielles de haute qualité (Stratakos et Koidis., 2015).

Le procédé consiste en l'extraction-séparation directe, qui n'est pas comme la diffusion moléculaire dans les techniques conventionnelles. Il permet d'éliminer les composés volatils à la fois par évaporation de courte durée, à haute température (180 °C) et haute pression (10 bar) suivi par une auto-vaporisation des structures végétales alvéolées résultant d'une perte de charge instantanée multi-cycles (Li et al., 2014).

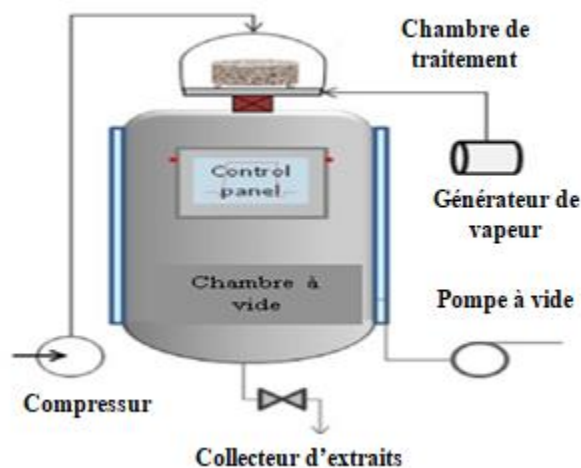


Figure 2.12 : Schéma descriptif de l'extraction par détente instantanée contrôlée. (Allaf et al., 2013).

## Conclusion

La demande progressive d'utilisation des huiles essentielles par de nombreuses et diverses industries est l'une des raisons pour laquelle plusieurs recherches ont été réalisées et brevetées sur les différentes techniques d'extractions, leurs fonctionnements, leurs équipements et leurs fiabilités.

Le choix de la méthode d'extraction constitue un point critique qui peut affecter la qualité de l'huile essentielle produite. De ce contexte, des méthodes plus innovantes, par exemple les procédés assistés par micro-onde, ont été développées pour palier aux insuffisances des méthodes traditionnelles de part de leurs durées d'extraction, de leurs rendements, de leurs efficacités, de leurs coûts et leurs compatibilités avec l'environnement.

# Chapitre 3

## **Travaux antérieurs**

## Introduction

Dans ce chapitre, nous avons choisi d'étudier trois plantes aromatiques, à savoir, la coriandre (*Coridrum sativum*), la nigelle (*Nigella sativa*) et l'armoise blanche (*Artemisia herba alba*). Ces plantes se trouvent en abondance dans le marché Algériens. En plus, leurs utilisations est divers, ils peuvent être utilisées dans la vie quotidiennes (cuisine, médecine traditionnelle, produits cosmétiques,...etc) et dans plusieurs autres secteurs (agro-alimentaire, pharmaceutique, aromathérapie,... etc). Afin d'étudier la composition chimique, le rendement et la cinétique d'extraction de ces plantes, divers recherches ont été collectées, présentées et analysées dans ce chapitre.

### 3.1 Présentation des substrats végétaux

#### 3.1.1 *Coriandrum sativum* L. (Coriandre)

##### 3.1.1.1 Origine

La **Coriandre** (*Coriandrum sativum*) est une plante herbacée annuelle qui pousse de 25 à 70 cm de hauteur (Mahleyuddin et al , 2021) . Elle est l'une des plus anciennes cultures d'épices au monde (Coskuner et Karababa, 2007), Appartenant à la famille des Apiacées dans l'ordre des Apiales qui contient environ 300 genres et plus de 3000 espèces (Asgarpanah et Kazemivash.,2012).

L'aire de répartition géographique d'origine du *Coriandrum sativum* est incertaine, mais il a été suggéré qu'elle se trouve dans le Proche-Orient (Diederichsen, 1996), les pays méditerranéens (Sahib et al.,2013 ; Meena et al., 2014) du sud de l'europe , de l'Afrique du Nord et du sud-ouest de l'Asie.( Balasubramanianet al.,2012). Aujourd'hui elle est largement cultivée en Europe, en Afrique du Nord, en Inde, en Amérique du Sud, en Malaisie, en Thaïlande et en Chine.. (Maroufi et al., 2010).

*Coriandrum sativum* est une plante aromatique qui peut être cultivé sur une variété de sols, mais elle préfère les sols noirs et limoneux bien drainés, légers, humides et lourds (Saleem et al 2022) ,la coriandre ressemble beaucoup au persil plat (Bhat et al 2014),elle a des racines minces en forme de fuseau, une tige dressée (Burdock et Carabin, 2009), des feuilles vertes ou vert foncé, lancéolées, ayant des surfaces lisses mutuellement et sont de forme flexible et lobées (Arif et al.,2021) et de petites fleurs ombelles blanches rosées .(Yashni et al 2020)

La plante fleurit de juin à juillet et donne des fruits ronds constitués de deux péricarpes (Burdock et Carabin, 2009). Ces fruits sont presque globuleux ovales et il y a de nombreuses crêtes longitudinales à la surface. La longueur de ce fruit est de 3 à 5 mm et la couleur, une fois séchée, est généralement brune, mais peut être verte, paille ou blanc cassé (Coskuner et Karababa, 2007). La graine de cette plante est un schizocarpe sec globuleux presque ovale avec deux méricarpes et de multiples crêtes longitudinales à la surface possédant une saveur douce, légèrement piquante, semblable à celle des agrumes avec un soupçon de sauge. (Mandal Et Mandal. ,2015)



Figure 3.1 : *Coriandrum sativum* (A) graines, (B) feuillage mature, (C) fleurs (Galata 2013)

Les fruits et les feuilles immatures dégagent une odeur déplaisante (Mandal Et Mandal, 2015), tandis que les fruits mûrs présentent une odeur et un goût acidulé agréable (Burdock et Carabin, 2009).

### 3.1.1.2 Localisation de l'HE dans la plante

L'huile essentielle de coriandre peut être extraite de différentes parties de la plante (Mandal et Mandal, 2015). Des observations microscopiques sur des coupes histologiques effectuées au niveau de la tige, du rachis, des feuilles, et des fruits de coriandre montrent la présence de plusieurs canaux sécréteurs d'huile essentielle dans chacune de ces parties. (Kachetel et Sahmi.,2017)

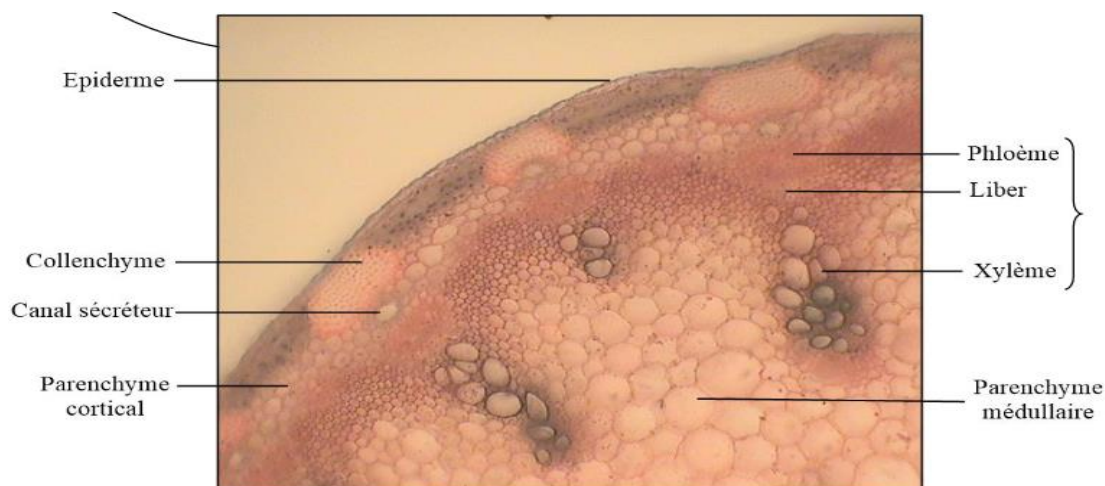


Figure 3.2 : Observation d'une partie de la coupe transversale de la tige de *Coriandrum sativum* (Kachetel et Sahmi.,2017)

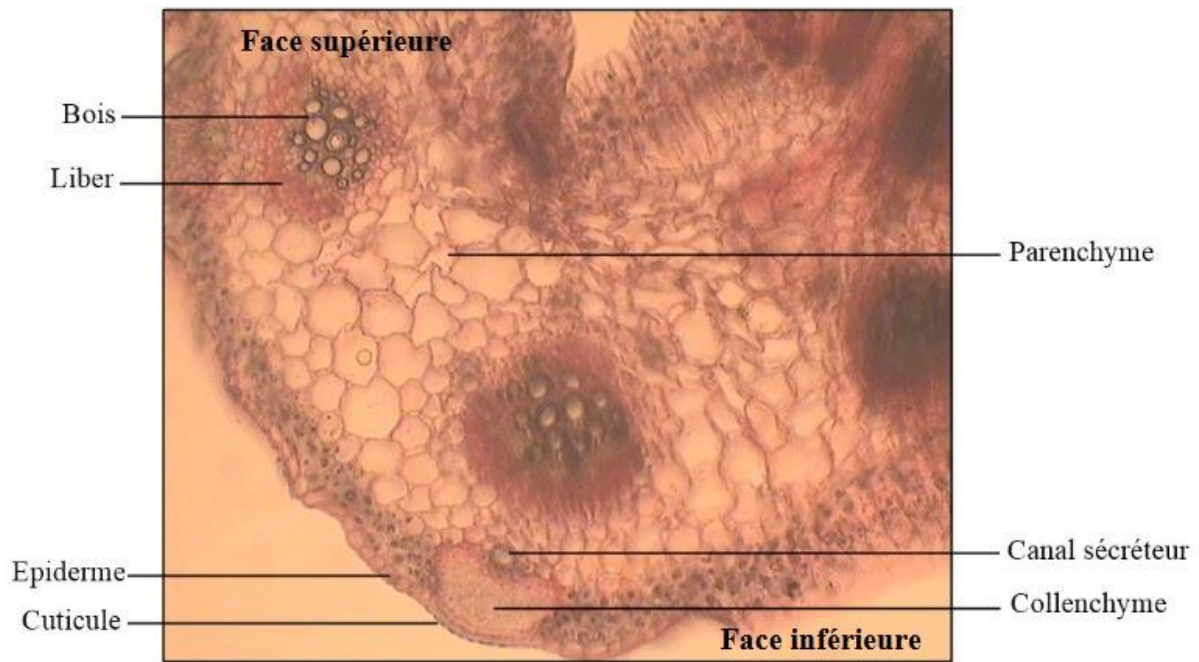


Figure 3.3 : Observation d'une coupe transversale du rachis de *Coriandrum sativum* au (Kachetel et Sahmi.,2017)

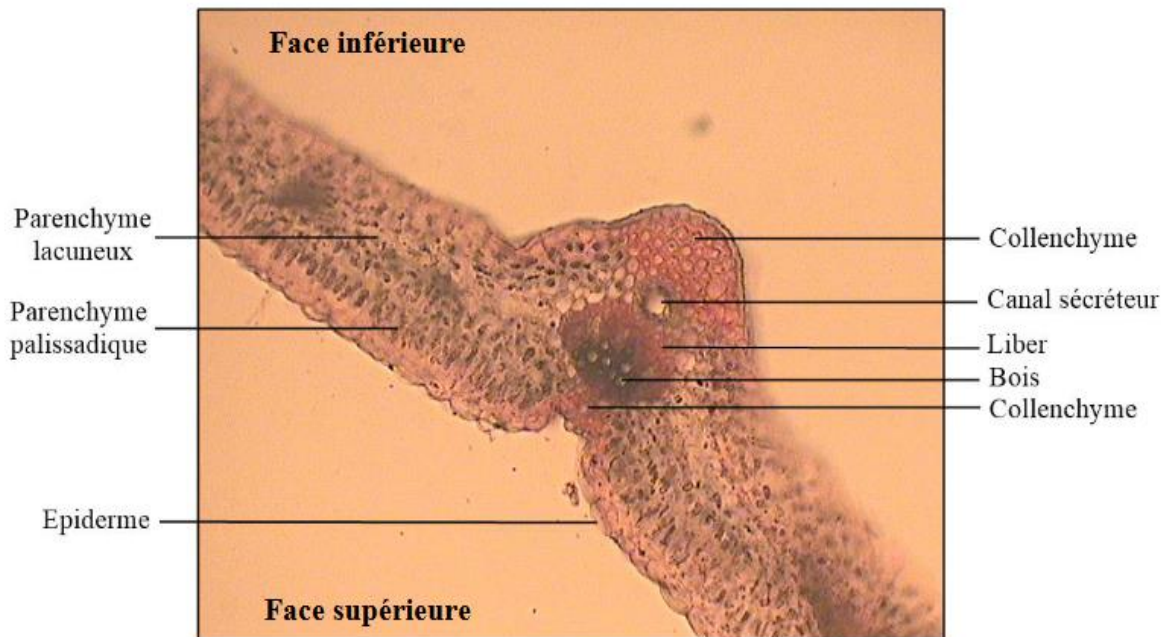


Figure 3.4 : Observation d'une coupe transversale de la feuille de *Coriandrum sativum* au (Kachetel et Sahmi.,2017)



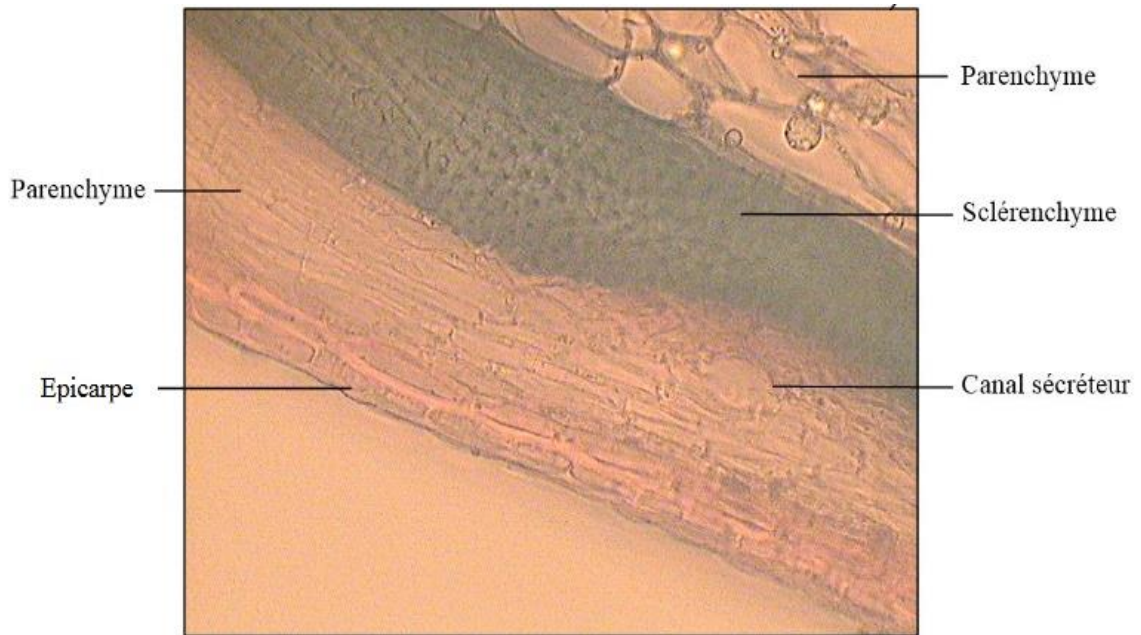


Figure 3.5 : Observation des tissus de revêtement et de soutien du fruit de *Coriandrum sativum* (Kachetel et Sahmi.,2017)

(Galata et al.,2014) ont aussi effectués une coupe transversale d'une graine de coriandre. Une image haute résolution a été obtenue de cette coupe (Fig 3.6). Quatre vittae, ou canaux sécréteurs sont clairement visibles. Ces vittae sont les sites de stockage des Huiles essentielles de méricarpe de coriandre.

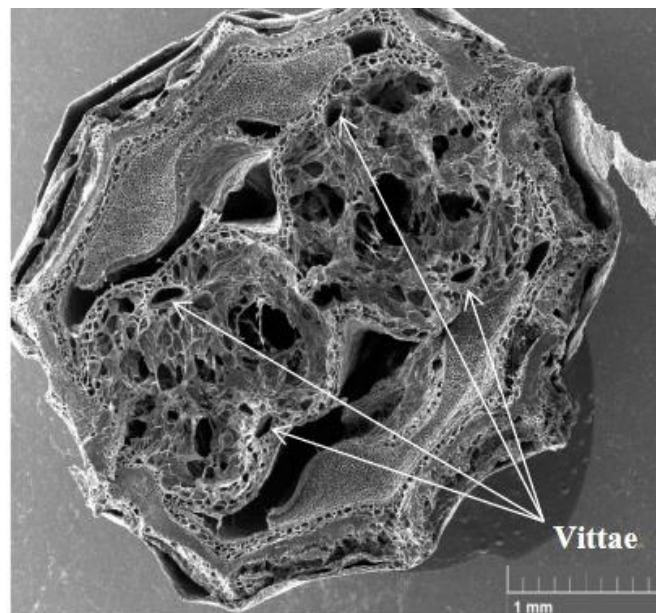


Figure 3.6 : Images au microscope électronique de la coupe transversale du méricarpe de *Coriandrum sativum*. (Galata et al.,2014)

### 3.1.1.3 Propriétés physico-chimique et organoleptiques

Les propriétés organoleptiques de l'huile essentielle de *Coriandrum sativum* sont portées sur 4 volets : la couleur, la saveur, l'apparence et l'odeur. Ces dernières ont été recueillies à partir de différentes études menées sur la plante de *Coriandrum sativum* et elles sont représentées dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1 : Propriétés organoleptiques de l'HE de *Coriandrum Sativum*

| Pays            | Régions     | Partie de la plante                | Apparence               | Couleur                | Odeur   | Saveur                                 | Référence                  |
|-----------------|-------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------|---|--|----------------------------|
| -               |             | Graines                            | Liquide huileux         | Incolore à jaune pâle  | Caractéristique de linalool                           |  | (AFNOR 2000)               |
| -               | -           |                                    | Liquide mobile, clair   | Incolore à jaune pâle  | Caractéristique et épicée, rappelant celle du linalol |  | (ISO 1997)                 |
| -               | -           |                                    | Liquide                 | Incolore ou jaune pâle | Caractéristique                                       | Douce, sucrée, et aromatique           | (Mandal et Mandal.,2015)   |
| -               | -           | -                                  | Liquide                 | Incolore               | caractéristique, épicé                                |  | (Kostova et al.,2020)      |
| <b>Algérie</b>  | Tizi-Ouzou  | -                                  | Liquide mobile, limpide | Jaune clair            | Caractéristique                                       | -                                      | (Kachetel et Sahmi.,2017)  |
| <b>Inde</b>     | Satara      | Graines                            |                         | Incolore à jaune pâle  | Caractéristique                                       | épicé                                  | (Mohite et Salunkhe.,2019) |
|                 | Uttarakhand |                                    |                         | Jaune                  | Agréable  |  | (Pande et al.,2010)        |
| <b>Pakistan</b> | Faisalabad  |                                    | Liquide                 | Jaune pâle             | -   | -                                      | (Anwar et al., 2011)       |
| <b>Estonie</b>  | Tartu       |                                    |                         | vert-jaune             | Forte et caractéristique                              |  | (Orav et al.,2010)         |
| <b>Soudan</b>   | Nile        |                                    | Liquide                 | Jaune pâle             | aromatique caractéristique                            |  | (Hassan et Elhassan.,2017) |
| <b>Chine</b>    | Wuhan       | Feuilles, tiges, fleurs et graines |                         | Jaune foncé            |   | chaleureux, presque piquant, doux-amer | (Islam et al., 2009)       |

Parmi les propriétés physico-chimiques des huiles essentielles, on retrouve l'indice de réfraction et la densité qui sont toute les deux des propriétés importantes pouvant être utilisées comme critère de diagnostic pour évaluer la pureté des huiles.

Le tableau 3.2 donne les différentes valeurs de référence des propriétés physico-chimiques de l'HE de coriandre de différents pays.

Tableau 3.2 : Propriétés physico chimique de l'HE de *Coriandrum Sativum*

| Pays                 | Méthode d'extraction | Partie de la plante | Densité relative $d_{20}^{20}$ ( $g/cm^3$ ) | Indice de réfraction $n_{20}$       | Pouvoir rotatoire à 20°C | Indice d'acide $I_a$ | Indice d'ester | Référence                  |
|----------------------|----------------------|---------------------|---|-------------------------------------|--------------------------|----------------------|----------------|----------------------------|
| -                    | SD                   | Graines             | 0,862 –0,878                                | 1,462 –1,47                         | +7° à +13°               | ≤ 3                  |                | (Iso 1997 )                |
| -                    | -                    | -                   | 0.8617                                      | 1.462± 0,01                         |                          | 2.02±0,01            |                | (Kostova et al.,2020)      |
| Algerie (Tizi Ouzou) | HD                   | Graines             | 0,869                                       | 1,4627                              | +5°                      | 5,57                 | 11,8           | (Kachetel et Sahmi.,2017)  |
| Algerie (Oran)       |                      |                     | 0,607                                       | 1,468                               | +13,5°                   | 2,87                 | 165,43         | (Ouis.,2015)               |
| Maroc                |                      |                     | 0,868                                       |                                     | +13°                     | 2                    | 21,51          | ( EL amrani et al.,2019)   |
| Soudan               |                      |                     | 0,876                                       | 1,46268                             |                          |                      |                | (Hassan et Elhassan.,2017) |
| Inde                 |                      |                     | 0,84  | 1,427                               |                          |                      | 10,56          | (Jeya et al.,2019)         |
| Pakistan             |                      |                     | 0,831                                       | 1,459                               | +11,5°                   | 4,0                  | 23,7           | (Anwar et al., 2011)       |
| Chine                |                      |                     |   | Feuilles , tiges, fleurs et graines | 0,870 –0,885             | 1,463–1,471          | +8°à +13°      | 5                          |

Des petites variations sont observées dans les caractéristiques physicochimiques des huiles essentielles de coriandre à travers les pays car des facteurs tels que la partie de la plante utilisée (feuilles, tiges, fleurs ou graines), le lieu de culture, la méthode et les conditions d'extraction peuvent influencer ces propriétés.

Par exemple, (Parthasarathy et Zachariah., 2008) a trouvé que l'immaturation des fruits peuvent entraîner une diminution des valeurs de densité relative, de rotation optique de l'HE de coriandre.

### 3.1.1.4 Usages

La coriandre est une plante cultivée dans le monde entier comme culture culinaire, médicinale ou oléagineuse (Gaston et al.,2016). Elle est largement utilisée comme assaisonnement dans la cuisine orientale en raison de son arôme et de sa saveur uniques (Prachayasittikul et al., 2018).c'est une épice populaire et est finement moulue pour être un ingrédient majeur de la poudre de curry. Ses fruits sont utilisés dans la préparation du poisson, de la viande et aussi pour la cuisson ( Mahendra et Bisht.,2011)

En tant qu'une plante médicinale, *C. sativum* L. a été crédité d'une longue liste d'utilisations médicinales. En effet, Plusieurs études affirment que chaque partie de la plante possède des valeurs nutritionnelles et médicinales différentes (Mahleyuddin et al. 2021). Les graines en poudre, l'extrait sec, le thé et la décoction ont été recommandés pour les troubles dyspeptiques, la perte d'appétit, les convulsions, l'insomnie et l'anxiété (Msaada et al., 2007). Elle est aussi utilisée pour traiter les troubles des systèmes respiratoire et urinaire, ainsi que l'inflammation, et d'autres conditions (Wei, et al.,2019 )

De plus, les huiles essentielles et divers extraits de coriandre se sont avérés posséder des propriétés antibactériennes (Rezaei et al., 2015 ; Ali et Malik.,2021 ; Lo Cantore et al.,2004 ), antioxydantes (Mandal et Mandal.,2015 ; Bhat et al., 2014 ; Msaada et al., 2017), des activités antidiabétiques (Hajlaoui et al.,2021 ; Asgarpanah et Kazemivash.,2012), anticancéreuses et antimutagènes (Al Snafi.,2016 ; Raut et Karuppayil.,2014), des effets sur le système nerveux central (Caputo et al.,2016) et de nombreuse autres applications notamment dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique et la cosmétique. (Maroufi et al., 2010)

### 3.1.2 *Nigella sativa*. (Nigelle)

#### 3.1.2.1 Origine

La nigelle (*Nigella Sativa*), est une plante herbacée annuelle appartenant à la famille des renonculacées (Atta,2003) qui atteint 20-90 cm de haut, avec des feuilles finement divisées, les segments des feuilles étant étroitement linéaires à filiformes. Les fleurs sont délicates, et généralement de couleur blanche, jaune, rose, bleu pâle ou violet pâle, avec 5-10 pétales. Le fruit est une grande capsule gonflée composée de 3-7 follicules unis, chacun contenant de nombreuses graines (Aftab et al, 2013). Elle appartient à la famille des renonculacées, et est connue sous le nom de black seed ou black cumin en anglais (Dzoyem et al, 2017) et habbat al-barakah en arabe (Darwish, 1980).

*Nigella sativa*, une plante originaire d'Europe du Sud, d'Afrique du Nord et d'Asie du Sud-Ouest, est aujourd'hui cultivée dans de nombreux pays du monde, notamment la région méditerranéenne du Moyen-Orient, l'Europe du Sud, l'Inde, le Pakistan, la Syrie, la Turquie et l'Arabie saoudite (Baliga et al, 2015).

La nigelle pousse dans les endroits chauds et peu humide, sur des terrains argileux ou sablonneux (Djammel et al, 2018). La période de semis est d'octobre à novembre et la récolte d'avril à mai (Sudhir et al, 2016). Jusqu'à ce jour, 21 espèces différentes de Nigelle ont été signalées (Sudhir et al, 2016), *Nigella sativa* , *Nigella damascena* , *Nigella arvensis*, *Nigella integrifolia*, *Nigella nigellastrum*, *Nigella gallica*, *Nigella glandulifera*, *Nigella Hispanica*, *Nigella Orientalis*... (Sobhi, 2014). Cependant, *Nigella Sativa* est l'espèce la plus étudiée, suivie de *Nigella Damascene* et *Nigella Arvensis* (Sudhir et al, 2016).



Figure 3.7 : *Nigella sativa* (plante entière, Fleur et graines)  
(Sharma et al, 2009)

### 3.1.2.2 Localisation de l'HE dans la plante

Les observations microscopiques de la coupe transversale de la graine de nigelle montrent l'existence de téguments internes et externes et d'une couche protectrice (l'endosta) constituée d'une seule assise de cellule à section rectangulaire, à parois transversales et latérales qui protège les réserves en huile et autres, en empêchant la pénétration de certains micro-organismes ayant une action destructrice sur les parois. Cela permet de conclure que l'huile essentielle de la graine se trouve dans des dépôts endogènes. (Benyoussef et al, 2001). L'étude de Hadjaj (Hadjaj, 2015) a permis de confirmer les observations de Benyoussef.

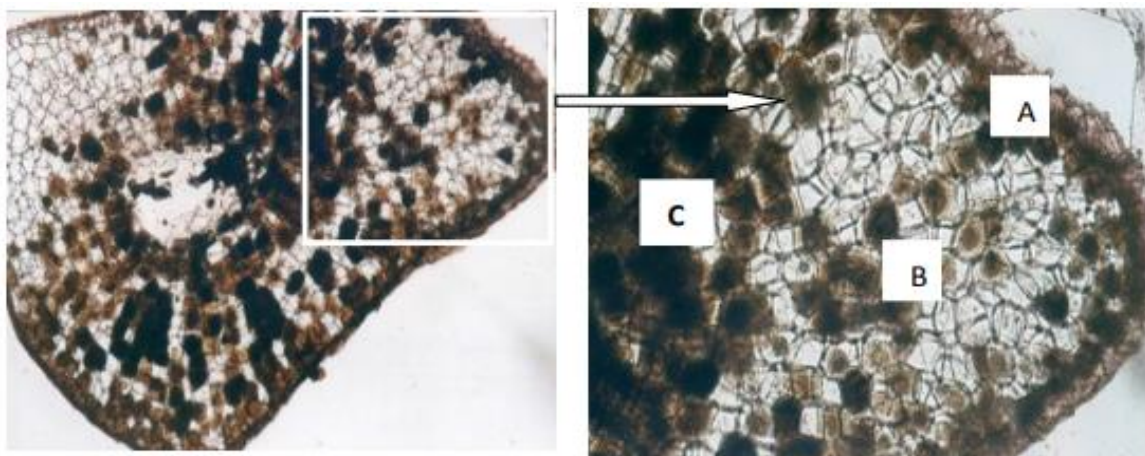


Figure 3.8 : Coupes transversales de la graine de nigelle (A : Huile de l'enveloppe de la graine, B : Endosperme, C : gouttelette d'huile)(Hadjaj, 2015).

### 3.1.2.3 Propriétés physico-chimiques et organoleptiques

Selon la norme AFNOR, l'huile essentielle de la nigelle est un liquide caractérisé par une couleur jaune et une odeur caractéristique (AFNOR, 2000).

Le tableau 3.3 représente les propriétés organoleptiques de l'huile essentielles de *Nigella sativa* des travaux antérieurs dans différentes région en Algérie qui ont porté sur l'étude de l'aspect, la couleur ; et l'odeur.

Tableau 3.3 : Propriétés physico-chimiques de l'HE de *Nigella Sativa*

| Région  |                | Aspect          | Couleur                   | Odeur  | Référence                         |
|---------|----------------|-----------------|---------------------------|--|-----------------------------------|
| -       |                | Liquide         | Jaune                     | Caractéristique                              | AFNOR, (2000)                     |
| Algérie | Ouargla        | Liquide, mobile | Incolore                  | Odeur forte rappelant l'odeur des grains     | Boudjemaa, et Ben guegua, (2010). |
|         | Sétif          | Liquide         | Jaune                     | Une forte odeur rappelant l'odeur des grains | Guernou, et Bouhedir, (2013).     |
|         | Sidi Bel Abbés | Liquid mobile   | Jaune-brun à marron-clair | Aromatisée et prononcée                      | Hadjazi, (2016).                  |

Le tableau 3.4 rassemble les propriétés physico-chimiques de l'huile essentielle de la nigelle obtenues par plusieurs auteurs.

Tableau 3.4 : Propriétés physico-chimiques de l'HE de *Nigella Sativa*

|   | Egypte        | Tunisie                     | Iran                        | Maroc                 | Bangladesh              |
|---|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Densité   | 0.9210±0.0002 | ND                          | ND                          | ND                    | 0.9071±0.0041           |
| Indice de réfraction à 22°C                       | 1.4721±0.0002 | 1.47±0.01                   | 1.46±0.01                   | 1.473±0.002           | 1.4683±0.0030           |
| Indice de saponification (mg de KOH/g d'huile)    | 203±3.0       | 211±5.32                    | 218±8.24                    | ND                    | 204±2                   |
| Indice d'iode (g de I <sub>2</sub> /100g huile)   | 128±21        | 118±3.45                    | 101±2.72                    | 126±4                 | 115±0.8                 |
| Matières insaponifiables                          | 1.8±0.3       | ND                          | ND                          | ND                    | 1.2±0.7                 |
| Acidité exprimée en % d'acide oléique             | 6.7±0.4       | 22.7±0.35                   | 18.6±0.28                   | 2.3±0.5               | ND                      |
| Indice de peroxyde (meq O <sub>2</sub> /Kg huile) | 10.7±0.4      | 5.65±1.87                   | 4.35±1.38                   | 11.4±2.5              | 12.7±0.1                |
| Référence   | Atta, (2003)  | Cheikh-Rouhou et al, (2007) | Cheikh-Rouhou et al, (2007) | Gharby, et al, (2015) | Abbas Ali et al, (2012) |

ND : non déterminé

D'après le tableau 3.4, des petites variations dans les propriétés physico-chimiques de l'HE de graines de Nigelle extraite par la méthode d'extraction par solvant sont observées à travers les pays. Cela peut être dû à des différences géographiques et climatiques où les graines de Nigelle ont été cultivées, à la quantité de solvant utilisée et à la durée d'extraction.

Par exemple, les huiles essentielles de graines de nigelle du Tunisie et du Maroc sont extraites par le solvant hexane mais avec une durée d'extraction différente (4 heures pour celle de la Tunisie et 8 heures pour celle du Maroc).

### 3.1.2.4 Usages

*Nigella sativa* L. est une herbe annuelle possédant un large éventail d'utilisations médicinales, malgré son importance commerciale en tant que plante à épices (Datta, et al, 2012). Ses graines entières ou moulues servent à saupoudrer le pain, les gâteaux, les sauces et les soupes pour les aromatisés (Toparlan, 2012). Elle est aussi utilisées dans la préparation de l'épice « ras el hanout », un mélange de 24 à .027 épices utilisé pour aromatiser les soupes (Belabid, 2015).

*N. sativa* est utilisée à des fins médicinales depuis des siècles, à la fois comme herbe et pressée en l'huile, en Asie, au Moyen-Orient et en Afrique (Sharma et al, 2009). Elle a été utilisée pour le traitement d'une variété de troubles, de maladies et d'affections concernant le système respiratoire, le tube digestif, la fonction rénale et hépatique, le système cardiovasculaire ainsi que pour le bien-être général (Aftab et al, 2013).

L'huile essentielle des graines est connue pour ses activités antitumorale, antioxydante, antibactérienne et son effet stimulant du système immunitaire (Ghedira, 2010). Elle est également utilisée pour traiter les affections respiratoires telles que la bronchite, l'asthme et l'emphysème (Khoddami et al, 2011).

### 3.1.3 *Artemisia Herba Alba* Asso (Armoise blanche)

#### 3.1.3.1 Origine

*Artemisia herba alba* est un genre de petites herbes arbustes qui appartient à l'importante famille des Asteraceae, l'une des plus grandes familles, qui comprend environ 1 000 genres et plus de 20 000 espèces. (Abad et al., 2012 ; Nigam et al.,2019). Au sein de cette famille, *Artemisia* comprend plus de 500 espèces.(Abu-Darwish et al.,2015 ; Gacem et al.,2020).

L'armoise blanche se trouve principalement en Afrique du Nord et au sud-ouest de l'Europe. (Abderabbi et al., 2018 ; ouguirti et al.,2021) Au nord de la Méditerranée elle est abondante dans la péninsule ibérique surtout dans le centre, l'est, le sud-est et le sud de l'Espagne.(Salido et al.,2004). Elle pousse également dans les steppes d'Afrique du Nord (Maroc, Algérie et Tunisie), d'Égypte, du désert du Sinaï, du Moyen-Orient et d'Asie occidentale.(Moufid et Eddouks.,2012).

En Algérie, 11 sous espèces ou variétés d'*Artemisia* ont été décrites (Dob et Benabdelkader., 2006) dont la plus importante est l'*Artemisia herba alba* qui a une large répartition géographique couvrant environ 4 millions d'hectares, situés principalement dans la zone steppique. (Abderabbi et al.,2018 ; Moufid et Eddouks, 2012). Elle pousse dans les climats arides et semi-arides (Rebhi et al.,2019), dont les précipitations varient entre 0 et 50 cm (Gacem et al. 2020).La plasticité de cette espèce est la raison de sa présence dans les déserts .Elle constitue donc une plante candidate pour la préservation de la biodiversité dans ces régions.(Abderabbi et al.,2018)

Plusieurs noms sont attribués à cette plante ; « desert wormwood » en anglais ; « armoise blanche » en français ; « shaih » en arabe (Fatmi et al.,2018) ; Au Maroc occidental, elle porte aussi le nom de « kaysoum » et en tamazight (berbère), l'armoise se dénomme « izerg » ou « Ifsi ». (Hachani.,2019 ; Bougoutaia.,2018).

L'*Artemisia herba alba* est une herbe vivace verdâtre-argentée qui pousse de 20 à 40 cm de hauteur (Al wahaibi et al.,2018 ) ; c'est une chaméphyte (c'est-à-dire que les bourgeons donnant lieu à une nouvelle croissance chaque année naissent près du sol).(mohammed et al.,2010).

Les tiges sont rigides et dressées (Younsi et al.,2018). Les feuilles grises des pousses stériles sont pétiolées, ovales à contour orbiculaire tandis que les feuilles des tiges florifères sont beaucoup plus petites. Les inflorescences sont sessiles, oblongues et effilées à la base. (Mohammed et al., 2010). Chaque 3 à 8 fleurs sont groupées en grappes ovoïdes à involucre scarieux à capitules très petite (1 à 1,5 mm).(Abderrabi.,2018).

La floraison commence de septembre à décembre mais le développement complet commence à la fin de l'été avec une tige à poils laineux. (Mohammed et al.,2021)



**Figure 3.9 : Artemisia Herba Alba Asso (A) plante entière, (B)fleurs , (C) tige (Boudraa et al.,2020)**



*Artemisia herba alba* est connue par son fort parfum piquant, principalement lorsqu'elle est mouillée. Elle a également un goût amer et une mauvaise odeur qui jouent le rôle de protection en empêchant les herbivores de s'en nourrir. (Salem.,2016)

### 3.1.3.2 Localisation de l'HE dans la plante

Pour chercher des spécificités anatomiques de la plante et localiser éventuellement les sites sécréteurs des huiles essentielles ; (Janačković et al.,2019) ont réalisés des coupes transversales d'une tige et d'une feuille d' armoise blanche qui sont illustrées aux figures 3.10 et 3.11 respectivement.

L'étude réalisée par (Amitouche et Chemloul., 2012) suggère que les huiles essentielles d'armoise blanche sont présentes dans tous ses organes sauf les racines. Cela a été confirmé par (Janačković et al., 2019) qui ont également remarqués de petits canaux sécréteurs dans le cortex de la tige (figure 3.10- B) et dans son parenchyme foliaire (Figure 3.11-B).

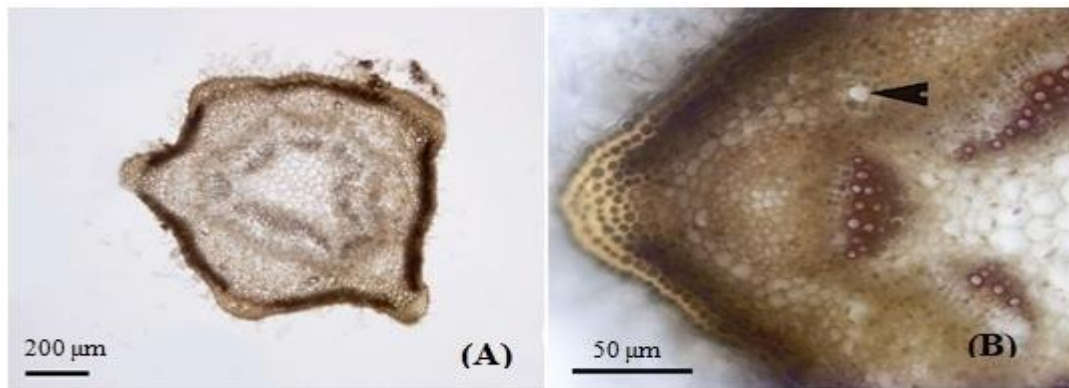


Figure 3.10 : Coupes transversales de la tige d'*Artemisia herba alba* asso (A) Anatomie générale montrant les structures secondaires. (B) Détail de l'anatomie montrant les canaux sécréteurs dans le cortex (pointe de flèche).  
(Janačković et al.,2019)

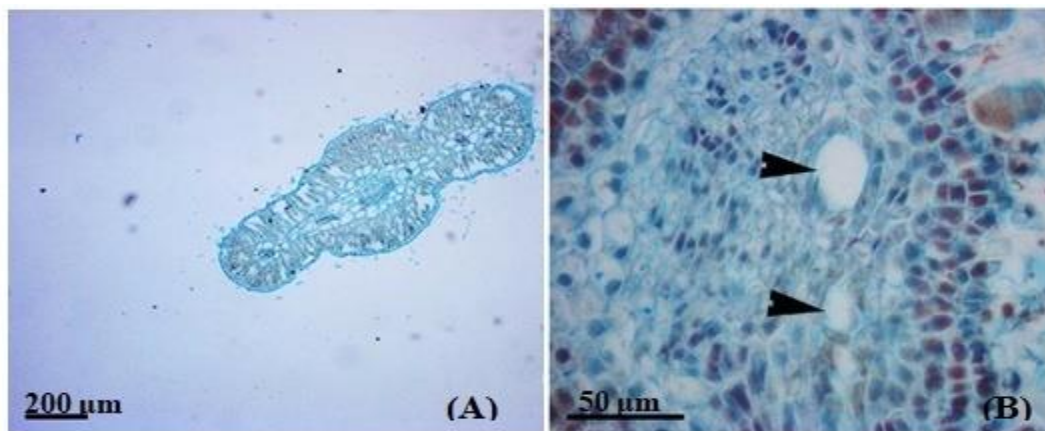


Figure 3.11 : Coupes transversales de la feuille d'*Artemisia herba-alba* (A) Anatomie générale montrant une feuille à structure isolée et grande chambre stomatique. (B) Détail de l'anatomie foliaire montrant les canaux sécréteurs au-delà du phloème du faisceau vasculaire.  
(Janačković et al.,2019)

3.1.3.3 Propriétés physico-chimiques et organoleptiques

Les propriétés physico-chimiques et organoleptiques sont utilisées pour déterminer la qualité des huiles essentielles extraites des plantes. Les tableaux 3.5 et 3.6 donnent les propriétés organoleptiques et physico-chimiques respectivement de l'huile essentielle d'armoise blanche des travaux intérieurs de références.

Tableau 3.5 : Propriétés organoleptiques de l'HE d'Artemisia Herba Alba

| Région  |          | Aspect          | Couleur        | Odeur                  | Référence                  |
|---------|----------|-----------------|----------------|------------------------|----------------------------|
| -       |          | Liquide limpide | Jaune pale     | Odeur aromatique       | AFNOR.,1986                |
| Algérie | Mila     | Fluide          | Jeune vif      | Une forte odeur        | Kheffach.,2015             |
|         | Tébessa  | Liquide         | Jaune claire   | forte                  | Magraoui et Zahaf .,2018   |
|         | Biskra   | Liquide limpide | Jaune claire   | Forte odeur (agréable) | Aoun., 2019                |
|         | Djanet   | Liquide limpide | Jaune foncé    | Forte                  | Benyahia et Medakene.,2019 |
|         | Djelfa   | ND              | Jaune foncé    | Forte                  | Goudjil.,2016              |
|         | Ghardaïa | Liquide         | Jaune verdâtre | Forte odeur aromatique | Raoudi et Krami, (2019).   |
|         | Msila    | Liquide         | Jaune pale     | Peu désagréable        | Keddachi et Mihoubi.,2015  |
|         | Khenchla | Liquide         | Jaune clair    | Forte                  | Zerrouak et hadji., 2019   |

ND : Non Déterminé.

Tableau 3.6 : Propriétés physico-chimiques de l'HE d'Artemisia Herba Alba

|   | Algérie        |                            |                            |                 |                             |
|---|----------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------------|
|   | Mila           | Djanet                     | Tebessa                    | Djelfa          | Msila                       |
| Densité   | 0.933          | 0.912                      | 0.9793                     | 0.893           | 0.97                        |
| Indice d'acidité en % d'acide oléique             | 3.87           | 1.68                       | 1.1222                     | 0.95            | 0.64                        |
| Indice de réfraction                              | 1.464          | 1.4799                     | 1.470                      | 1.483           | 1.4730                      |
| Indice de peroxyde (meq O <sub>2</sub> /Kg huile) | 16.049         | ND                         | ND                         | ND              | ND                          |
| Indice d'iode                                     | 5.333          | ND                         | ND                         | ND              | ND                          |
| Référence   | Kheffach, 2015 | Benyahia et Medakene, 2019 | Magraoui et Zahaf, (2018). | Goudjil, (2016) | Keddachi et Mihoubi, (2015) |

ND : Non déterminé.

Des variations dans les caractéristiques physico-chimiques d'HE d'armoise blanche ont été observées à travers les différentes régions d'Algérie à cause de quelques paramètres influençant tels que le lieu et la période de la récolte, le mode de séchage et de stockage, la méthode et les conditions d'extraction.

Par exemple, l'indice d'acidité de l'HE d'armoise blanche de la région de Mila est de 3.87 et celui de la région de Djanet est de 1.68, cette différence peut être due à la période de récolte de la plante qui été en Novembre pour la région de Mila et en Avril pour la région de Djanet.

### 3.1.3.4 Usages

*Artemisia herba-alba* une plante de la grande famille d'Astéracées qui est caractéristique des steppes du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord (Rezzag et Zahi, 2021), a des applications dans de nombreux domaines : en thérapeutique, en industrie agroalimentaire et en cosmétologie (Dahmani, 2004).

Dans la cuisine, elle est utilisée comme aromatisant pour le thé et le café (Magraoui et Zahaf, 2018). Tandis que dans la médecine traditionnelle, sert au traitement du rhume, du taux, des troubles intestinaux et comme agent antidiabétique (Akrouit et al, 2009).

Plusieurs études scientifiques portées sur les extraits et les huiles essentielles de l'armoise blanche montraient que ces derniers possèdent un certain nombre d'activités biologiques telles que anti hyper glycémique, antimicrobien, antioxydant et anti-inflammatoire (Miloudi et al, 2018).

En plus, les feuilles et les sommités fleuries de cette herbe sont anti gastralgiques, emménagogue, stomachiques et vermifuges (Zerrouak et hadji, 2019).

## 3.2 Composition chimique et rendement

### 3.2.1 *Coriandrum sativum* L.(Coriandre)

#### 3.2.1.1 Composition chimique

La composition chimique de l'huile essentielle de différentes plantes varie en fonction de l'origine géographique. Les tableaux 3.7, 3.8 et 3.9 représentent les constituants chimiques de l'huile essentielle de coriandre collectés à partir de différentes sources et origines géographiques dans le monde. :

Tableau 3.7 : composition chimique de l'huile essentielle de coriandre de différentes régions d'Algérie

|    |                                  | Algérie-Centre        | Algérie-Est               |                                |
|----|----------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------------|
|    | Partie de la plante              | Tige, fleurs, feuille | Grains                    |                                |
|    | Méthode d'extraction             | HD                    | HD                        |                                |
|    | Durée d'extraction (h)           | 3                     | 9                         | 3                              |
|    | Région                           | Djelfa                | Sétif                     | Sétif                          |
| No | Référence                        | Mansouri et al (2018) | Benyoussef et al., (1999) | Zoubiri, A. Baaliouamer.(2010) |
| 1  | $\alpha$ -pinène                 | 2.52                  | 0.1                       | 3.41                           |
| 2  | camphène                         | 0.23                  | -                         | -                              |
| 3  | $\beta$ -pinène                  | 0.28                  | -                         | 0.78                           |
| 4  | myrcène                          |                       | 0.2                       |                                |
| 5  | p-cymène                         | 01.05                 | 0.2                       | 1.76                           |
| 6  | limonène                         |                       | -                         | 1.23                           |
| 7  | $\gamma$ -terpinène              | 3.25                  | 0.6                       | -                              |
| 8  | cinéol-1,8                       |                       | 0.1                       |                                |
| 9  | linalool                         | 60.91                 | 70.2                      | 73.11                          |
| 10 | camphre                          | 1.98                  | 1.8                       | 1.85                           |
| 11 | terpinène4-ol                    |                       | 0.5                       |                                |
| 12 | $\alpha$ -terpinéol              | 0.32                  | 0.3                       |                                |
| 13 | octanal                          |                       | 2.2                       |                                |
| 14 | dodécane                         |                       | 0.5                       |                                |
| 15 | acétate de géranyle              |                       | 1.6                       |                                |
| 16 | dodécanal                        |                       | 0.5                       |                                |
| 17 | $\beta$ -caryophyllène           |                       | 0.2                       |                                |
| 18 | $\alpha$ -humulène               |                       | 0.8                       |                                |
| 19 | nérolidol                        |                       | 0.5                       |                                |
| 20 | acide myristique                 |                       | 5.9                       |                                |
| 21 | $\beta$ -myrcene                 | 0.29                  | 0.65                      |                                |
| 22 | p-mentha-1,4-dien-7-ol           |                       |                           | 6.51                           |
| 23 | p-mentha-1,8-diene               |                       |                           | 0.28                           |
| 24 | Borneol                          | 0.07                  |                           | 0.46                           |
| 25 | 4-Terpineol                      |                       |                           | 0.19                           |
| 26 | Terpineol                        |                       |                           | 0.2                            |
| 27 | Decanal                          | 01.07                 |                           | 0.43                           |
| 28 | Propanal,2-methyl-3-phenyl-      |                       |                           | 1.51                           |
| 29 | Lavandulol                       |                       |                           | 0.43                           |
| 30 | Geranyl acetate                  | 2.19                  |                           | -                              |
| 31 | Neryl acetate                    |                       |                           | 3.22                           |
| 32 | Acide tetradecanoïque            |                       |                           | 0.98                           |
| 33 | Geraniol                         | 1.34                  |                           |                                |
| 34 | Thymol                           | 0.36                  |                           |                                |
| 35 | Carvacrol                        | 1.2                   |                           |                                |
| 36 | Eugenol                          | 8.95                  |                           |                                |
| 37 | Trans( $\beta$ ) caryphyllene    | 0.68                  |                           |                                |
| 38 | Aceteugenol                      | 6.7                   |                           |                                |
|    | <b>Total composés identifiés</b> | 93.39                 | 86.85                     | 96.35                          |

## Chapitre 3 : Travaux antérieurs

**Tableau 3.8 : Composition chimique de l'huile essentielle de coriandre de différents pays**

|     | Pays                           | Tunisie               |                         | Iran                 |                           |      |                          | Pakistan | Inde                 | Turquie              |                        |                        | Tadjikistan       |                         |
|-----|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|------|--------------------------|----------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|
|     | Partie de la plante            |                       |                         | Graines              |                           |      |                          |          |                      | Feuilles et tige     | graines                | Feuilles               | Parties aériennes |                         |
|     | Méthode d'extraction           | HD                    |                         | HD                   | HD                        | MAHD | HD                       | MAHD     | HD                   | HD                   | SD                     | -                      | HD                | HD                      |
|     | Durée d'extraction (min)       | 90                    | -                       | 240                  | 240                       | 70   | 240                      | 40       | 180                  | 360                  | 180                    | 240                    | 240               | -                       |
| No. | Référence                      | (Msaada et al., 2007) | (Hajlaoui et al., 2021) | (Sriti et al., 2018) | (Ghazanfari et al., 2020) |      | (Sourmaghi et al., 2015) |          | (Anwar et al., 2011) | (Singh et al., 2006) | (Türkman et al., 2016) | (Telci et al., 2006.a) | (Yildiz., 2015)   | (Sharopov et al., 2017) |
| 1   | Heptanal                       | Tr                    |                         |                      | 0,2                       | 0,1  |                          |          | 0.03 ± 0.05          |                      |                        |                        |                   |                         |
| 2   | tricyclene                     |                       |                         |                      |                           |      |                          |          |                      |                      |                        |                        |                   |                         |
| 3   | $\alpha$ -Thujene              | Tr                    | Tr                      | 0,04                 |                           |      |                          |          | 0.02 ± 0.05          | tr                   |                        |                        |                   |                         |
| 4   | $\alpha$ -Pinene               | 0,02                  | 4,44                    | 2,32                 | 6,8                       | 5,9  | 3,46                     | 0,15     | 1.63 ± 0.05          | 4,09                 |                        |                        | 1,64              | 0,4                     |
| 5   | Sabinene                       | 0,03                  | 0,21                    | 0,19                 |                           |      |                          |          | 0.12 ± 0.07          | 0,24                 |                        | 0,10                   |                   | 0,1                     |
| 6   | $\beta$ -Pinene                | 0,05                  | 0,66                    | 0,25                 | 1,5                       | 1    | 0,63                     |          | 0.23 ± 0.06          | 0,86                 |                        | 0,30                   | 0,87              | 0,5                     |
| 7   | $\delta^3$ -Carene             | 0,02                  | -                       |                      | 0,2                       |      |                          |          |                      | tr                   |                        |                        |                   |                         |
| 8   | $\beta$ -Thujene               |                       |                         |                      | 0,2                       | 0,1  |                          |          |                      |                      |                        |                        |                   |                         |
| 9   | $\alpha$ -Terpinene            | 0,01                  | tr                      | 0,08                 | 0,1                       | 0,1  |                          |          | 0.03 ± 0.03          | tr                   |                        |                        |                   |                         |
| 10  | <i>p</i> -Cymene               | Tr                    | 1,74                    | 1,70                 |                           |      | 2,94                     | 0,30     | 1.12 ± 0.02          | 0,45                 |                        | 0,6 – 1,0              |                   | 0,2                     |
| 11  | 3-ethyl-2-methyl-heptane       |                       |                         |                      | 0,1                       |      |                          |          |                      |                      |                        |                        |                   |                         |
| 12  | Limonene                       | 0,02                  | 1,23                    |                      |                           |      |                          |          |                      | 0,63                 |                        | 0,5 – 0,6              |                   | 0,1                     |
| 10  | 1,8-Cineole                    | 0,20                  |                         |                      |                           |      |                          |          |                      | 0,43                 |                        | Tr – 0,1               |                   | 0,1                     |
| 11  | ( <i>Z</i> )- $\beta$ -Ocimene | tr                    |                         |                      |                           |      |                          |          |                      | tr                   |                        |                        |                   |                         |
| 12  | Trans- $\beta$ -Ocimene        |                       |                         |                      |                           |      |                          |          |                      | 0,06                 |                        |                        |                   |                         |
| 13  | $\gamma$ -Terpinene            | Tr                    | 5,35                    | 6,26                 |                           |      | 5,26                     | 1,37     | 4.17 ± 0.04          | 0,65                 |                        | 0,9 – 1,1              |                   |                         |
| 14  | Linalyl acetate                |                       |                         |                      |                           |      |                          |          |                      |                      |                        |                        |                   |                         |
| 15  | cis-Linalool oxide (furanoid)  | 0,27                  | 0,5                     | 0,13                 |                           |      |                          |          |                      | 0,51                 |                        | 0,10                   |                   |                         |
| 16  | Terpinolene                    | 0,15                  |                         |                      | 7                         |      |                          |          | 0.53 ± 0.01          | 0,20                 |                        | 0,10                   |                   |                         |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|    |                                 |       |       |       |     |      |      |       |             |       |          |           |       |     |
|----|---------------------------------|-------|-------|-------|-----|------|------|-------|-------------|-------|----------|-----------|-------|-----|
| 17 | Linalool                        | 87,54 | 76,41 | 79,22 | 49  | 52,6 | 66,3 | 63,27 | 69.60 ± 0.2 | 75,30 |          | 63,5 --71 | 21,61 |     |
| 18 | trans-Linalool oxide (furanoid) | Tr    |       |       |     |      |      |       |             | tr    |          |           |       |     |
| 19 | $\beta$ -Ocimene                |       |       | 0,06  |     |      |      |       |             |       |          |           |       |     |
| 20 | <i>m</i> -Cymene                |       |       |       | 1,8 | 1,5  |      |       |             |       |          |           |       |     |
| 21 | Camphor                         | 0,17  | 2,20  | 2,63  |     |      | 0,56 | 0,28  | 0.38 ± 0.02 | 0,14  |          | 1,70      | 0,53  |     |
| 22 | Cymene                          |       |       |       |     |      |      |       |             |       |          |           |       |     |
| 23 | Borneol                         | 0,34  | 0,23  | 0,52  | 0,1 | 0,1  | 0,23 | 0,11  | 0.18 ± 0.04 | 0,30  |          | -         |       |     |
| 24 | 3-Chlorohexane                  |       |       |       | 0,1 | 0,2  |      |       |             |       |          |           |       |     |
| 25 | Menthol                         | 0,05  |       |       |     |      |      |       |             |       |          |           |       |     |
| 26 | Citronellol                     |       | 0,58  |       | 0,5 | 0,4  | 0,54 | 0,51  |             |       |          | 0,10      |       |     |
| 27 | Terpinen-4-ol                   | Tr    | 0,23  | 0,43  | 0,3 | 0,3  | 0,30 | 0,18  | 0.39 ± 0.02 | 0,18  |          |           |       |     |
| 28 | <i>p</i> -Cymen-8-ol            | Tr    |       |       |     |      |      |       |             |       |          |           |       |     |
| 29 | terpinene                       |       |       |       |     |      |      |       |             |       |          |           |       |     |
| 30 | cis-Hex-3-enyl butyrate         | 0,01  |       |       |     |      |      |       |             |       |          |           |       |     |
| 31 | $\beta$ -Phellandrene           |       |       | 0,09  | 0,7 | 0,4  |      |       |             |       |          |           |       |     |
| 32 | Neophytadiene                   |       |       |       |     |      |      |       |             |       | 0 – 1,20 |           |       |     |
| 33 | $\alpha$ -Terpineol             | 0,05  | 0,26  | 0,32  |     |      | 0,53 | 0,11  |             | 0,42  |          | 0,30      |       |     |
| 34 | Nonane                          |       |       |       |     |      |      |       |             |       |          |           | 0,18  | 0,1 |
| 35 | Citronellyl valerate            |       |       |       | 0,1 |      |      |       |             |       |          |           |       |     |
| 36 | cis-Dihydrocarvone              | 2,36  |       |       |     |      |      |       |             |       |          | 0,10      |       |     |
| 37 | tridecenal                      |       |       |       |     |      |      |       |             |       |          |           | 2,06  |     |
| 38 | Nerol                           | Tr    |       |       |     |      |      |       |             | 0,17  |          |           |       |     |
| 39 | $\alpha$ -Campholene aldehyde   |       |       |       |     |      |      |       |             | tr    |          |           |       | 0,1 |
| 40 | Terpineol                       |       |       |       |     |      |      |       |             |       |          |           |       |     |
| 41 | $\beta$ -Citronellol            | 0,52  |       |       |     |      |      |       | 0.65 ± 0.02 |       |          |           |       |     |
| 42 | 5-Methyl-undecane               |       |       |       | 0,1 |      |      |       |             |       |          |           |       |     |
| 43 | Neral                           | 0,13  |       |       |     |      |      |       |             |       |          |           |       |     |
| 44 | <i>p</i> -cymene-8-ol           |       |       |       |     |      |      |       |             |       |          |           |       |     |
| 45 | decenal                         |       |       |       |     |      |      | 0,18  |             |       |          | 0,1 – 0,3 |       |     |
| 46 | Verbenene                       |       |       |       |     |      |      |       |             | tr    |          |           |       |     |
| 47 | Carvone                         | 0,08  | -     |       |     |      | 0,35 | 0,25  |             |       |          | 0,70      | 1,75  |     |
| 48 | Trans-Pinocarveol               |       |       |       |     |      |      |       |             | 0,08  |          |           |       |     |
| 49 | Geraniol                        | Tr    | 0,15  | 0,74  | 1,5 | 1,1  | 1,55 | 0,91  |             | 0,81  |          | 1,9 – 2,5 |       |     |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|    |                        |      |      |      |     |     |      |      |                 |                 |             |              |             |     |
|----|------------------------|------|------|------|-----|-----|------|------|-----------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|-----|
| 50 | Geranial               | 0,03 |      |      |     |     |      |      |                 |                 |             |              |             |     |
| 51 | $\alpha$ -Phellandrene |      |      |      |     |     |      |      |                 | 0,07            |             |              |             |     |
| 52 | Anethole               | 0,01 | -    |      |     | 0,1 |      |      | 1.15 $\pm$ 0.03 |                 |             |              |             |     |
| 53 | Trans geraniol         |      |      |      |     |     |      |      |                 |                 |             |              |             |     |
| 54 | Thymol                 | 1,85 |      |      |     |     |      |      | 0.28 $\pm$ 0.02 |                 |             |              |             |     |
| 55 | Carvacrol              | 0,46 |      |      |     |     |      |      |                 |                 |             |              |             |     |
| 56 | Decane                 |      |      |      | 5   | 7,3 |      |      |                 |                 |             |              |             | tr  |
| 57 | Cyclododecanol         |      |      |      |     |     |      |      |                 |                 | 5,14 – 7,86 |              |             |     |
| 58 | $\delta$ -Elemene      | 0,01 | -    |      |     |     |      |      |                 |                 |             |              |             |     |
| 59 | 1-Tetradecanol         |      |      |      |     |     | 0,12 | 0,26 |                 |                 |             |              |             | 9,2 |
| 60 | Myrtenyl acetate       |      |      |      |     | 0,1 |      | 0,11 | 0,15            |                 |             |              |             |     |
| 61 | Eugenol                | 0,01 |      |      |     |     |      |      |                 |                 |             |              |             |     |
| 62 | Neryl acetate          | Tr   |      |      |     |     | 0,12 | 0,17 |                 |                 | 0,14        |              |             |     |
| 63 | Geranyl acetate        | 0,83 | 1,81 | 1,75 | 3   | 2,6 | 0,06 | 8,49 | 4.99 $\pm$ 0.02 |                 | 8,12        |              | 3,1 – 3,2   |     |
| 64 | Verbenone              |      |      |      |     |     |      |      |                 |                 | 0,13        |              |             |     |
| 65 | $\beta$ -Caryophyllene | 0,03 |      |      | 0,2 | 0,2 |      |      | 0.07 $\pm$ 0.03 |                 | 0,39        |              |             |     |
| 66 | (E)-2-Tetradecenal     |      |      |      | 0,1 | 0,1 |      |      |                 |                 |             |              |             | 0,3 |
| 67 | 1-Octen-3-yl acetate   |      |      |      |     |     |      |      |                 |                 |             |              |             | 0,1 |
| 68 | $\alpha$ -Humulene     | 0,02 |      |      |     |     |      |      |                 |                 | 0,09        |              |             |     |
| 69 | 2,5-Dimethyl-Heptane   |      |      |      | 0,1 |     |      |      |                 |                 |             |              |             |     |
| 70 | Germacrene-D           | 0,05 |      |      |     |     |      |      |                 |                 |             |              |             |     |
| 71 | Eugenyl acetate        | 0,07 |      |      |     |     |      |      |                 |                 |             |              |             |     |
| 72 | Camphene               |      | 0,40 | 0,19 | 0,5 |     |      |      | 0.02 $\pm$ 0.04 |                 | 0,05        |              |             | 0,1 |
| 73 | Myrcene                |      | 0,56 |      |     |     |      |      |                 |                 | 0,32        |              | 0,30 – 0,40 |     |
| 74 | Undecanoicacid         |      |      |      |     |     |      |      |                 |                 |             |              | 0,2         | 0,9 |
| 75 | Octanal                |      | Tr   |      | 0,2 |     |      |      | 0.10 $\pm$ 0.03 |                 |             |              |             | 0,4 |
| 76 | Isoborneol             |      |      |      |     |     |      |      |                 |                 |             |              |             |     |
| 77 | Octanol                |      | 0,30 |      | 1   | 1   |      |      |                 |                 | 0,11        |              | 0,1 – 0,4   | 0,1 |
| 78 | 5-Methyl-nonane        |      |      |      | 0,4 | 0,5 |      |      |                 |                 |             |              |             |     |
| 79 | Decyldecanoate         |      |      |      |     |     |      |      |                 |                 |             |              |             | 0,3 |
| 80 | 13-Tetradecenal        |      |      |      |     |     |      |      |                 |                 |             | 4,87 – 11,19 |             |     |
| 81 | Citronellal            |      | 0,49 |      |     |     |      | 0,21 | 0,24            | 0.45 $\pm$ 0.02 | 0,09        |              | -           |     |
| 82 | bornyl acetate         |      |      |      |     |     |      |      | 0,13            |                 |             |              |             |     |
| 83 | Cuminaldehyde          |      | 0,90 |      |     |     |      |      |                 | 0.07 $\pm$ 0.01 | 0,58        |              |             |     |
| 84 | Propyl-cyclopentane    |      |      |      | 0,4 | 0,4 |      |      |                 |                 |             |              |             |     |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|     |                                   |  |      |      |     |     |      |      |                 |      |              |          |      |
|-----|-----------------------------------|--|------|------|-----|-----|------|------|-----------------|------|--------------|----------|------|
| 85  | (2E)-Hexadecenal                  |  |      |      |     |     |      |      |                 |      |              |          | 0,4  |
| 86  | tetradecenal                      |  |      |      |     |     |      |      |                 |      |              | 2,35     |      |
| 87  | Decanol                           |  | 0,10 |      | 0,3 | 0,2 | 0,11 |      |                 |      | 8,29 – 16,16 | 3,97     | 14,9 |
| 88  | (2Z)-Undecenal                    |  |      |      |     |     |      |      |                 |      |              |          | 3,0  |
| 89  | p-Xylene                          |  |      |      |     | 0,9 |      |      |                 |      |              |          |      |
| 90  | Safrole                           |  | 0,27 |      |     |     |      |      |                 |      |              |          |      |
| 91  | Undecanal                         |  | tr   |      | 0,2 | 0,1 | 0,08 |      |                 | 0,13 | 2,80 – 3,77  | 3,78     |      |
| 92  | 6-Methyl-5-heptan-2-one           |  |      |      |     |     |      |      |                 | Tr   |              |          |      |
| 93  | $\alpha$ -terpenyl acetate        |  | 0,14 |      |     |     |      |      |                 |      |              |          |      |
| 94  | Citeral dimethoxy                 |  |      |      |     |     | 0,10 | 0,19 |                 |      |              |          |      |
| 95  | 2-Methyloctane                    |  |      |      |     |     |      |      |                 |      |              |          | 0,2  |
| 96  | Undecane                          |  |      |      |     |     |      |      |                 |      |              |          | 0,1  |
| 97  | Decanal                           |  |      | 0,40 | 1,5 | 1   | 0,25 | 0,19 | 0,14 $\pm$ 0,02 |      | 9,95 – 16,53 | 2,85     | 11,3 |
| 98  | (E)-2-Undecanal                   |  |      |      |     |     |      |      |                 |      |              | 3,84     |      |
| 99  | n-Dodecane                        |  |      |      | 1,9 | 2,7 |      |      |                 |      |              |          |      |
| 100 | 3-Decanol                         |  |      |      |     |     |      |      |                 |      |              | 0,21     |      |
| 101 | 2-Butyl-cyclohexanol              |  |      |      | 0,1 |     |      |      |                 |      |              |          |      |
| 102 | 3-Methyl-nonane                   |  |      |      | 0,6 | 0,8 |      |      |                 |      |              |          |      |
| 103 | 2-Methoxy-4-vinylphenol           |  |      |      |     |     |      |      |                 |      |              | Tr – 0,1 |      |
| 104 | Methyl citronellate               |  |      |      |     |     |      |      |                 |      |              |          |      |
| 105 | $\beta$ -Bisabolene               |  |      |      |     |     |      |      |                 | 0,09 |              |          |      |
| 106 | 2E - Decanal                      |  |      |      | 0,8 | 0,6 |      |      |                 |      | 3,48 – 11,86 |          |      |
| 107 | Decyl alcohol                     |  |      |      |     |     |      |      |                 |      |              |          |      |
| 108 | (2E)-Undecenol                    |  |      |      |     |     |      |      |                 |      |              |          | 2,0  |
| 109 | (6E)-p-Menthen-2,8-diol           |  |      |      |     |     |      |      |                 |      |              |          | 0,2  |
| 110 | trans-2-Dodecen-1-ol              |  |      |      |     |     |      |      |                 |      | 1,69 – 5,39  |          |      |
| 111 | Citronellyl acetate               |  |      |      |     |     |      |      |                 | 0,29 |              |          |      |
| 112 | Octanoic acid                     |  |      |      |     |     |      |      |                 |      | 0,10         |          |      |
| 113 | Dodecanal                         |  |      |      | 0,2 | 0,1 | 0,12 | 0,34 | 0,24 $\pm$ 0,02 |      | 4,11 – 7,55  | 5,78     | 4,4  |
| 114 | cis-1-Ethyl-3-methyl-cyclopentane |  |      |      | 0,8 | 1,6 |      |      |                 |      |              |          |      |
| 115 | n- Tetradecane                    |  |      |      | 0,4 | 0,7 |      |      |                 |      |              |          |      |



### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|     |                                      |  |  |  |  |      |     |     |      |                 |      |              |       |     |
|-----|--------------------------------------|--|--|--|--|------|-----|-----|------|-----------------|------|--------------|-------|-----|
| 116 | (2E)-Decenal                         |  |  |  |  |      |     |     |      |                 |      |              | 29,87 |     |
| 117 | (2Z)-Decenal                         |  |  |  |  |      |     |     |      |                 |      |              |       | 0,4 |
| 118 | octadecamethyl-<br>Cyclononasiloxane |  |  |  |  | 0,8  |     |     |      |                 |      |              |       |     |
| 119 | Pentadecanal                         |  |  |  |  |      |     |     |      |                 |      |              |       | 0,2 |
| 120 | 2E – Dodecanal                       |  |  |  |  |      |     |     |      |                 |      |              | 7,03  |     |
| 121 | $\alpha$ -Ylangene                   |  |  |  |  |      |     |     |      | tr              |      |              |       |     |
| 122 | Tetrahydro ionol                     |  |  |  |  |      |     |     |      |                 |      |              |       |     |
| 123 | n - Hexadecane                       |  |  |  |  | 0,1  | 0,2 |     |      |                 |      |              |       |     |
| 124 | 2-Dodecanal                          |  |  |  |  | 1,3  | 1   |     |      |                 |      | 6,46 – 12,65 |       |     |
| 125 | (2E)-Nonenal                         |  |  |  |  |      |     |     |      |                 |      |              |       | 0,1 |
| 126 | 2-methyl-5-phenol                    |  |  |  |  |      |     |     |      |                 |      | Tr – 0,1     |       | 0,2 |
| 127 | decene                               |  |  |  |  |      |     |     | 0,29 |                 |      |              |       |     |
| 128 | Tetradecanal                         |  |  |  |  |      |     |     |      | $0,25 \pm 0,02$ |      | 0 – 2,94     |       | 2,4 |
| 129 | Ethyl-cyclohexane                    |  |  |  |  | 0,2  | 0,2 |     |      |                 |      |              |       |     |
| 130 | Benzyl Benzoate                      |  |  |  |  |      |     |     |      |                 |      |              |       |     |
| 131 | (2E)-Decene-1-ol                     |  |  |  |  |      |     |     |      |                 |      |              |       | 7,4 |
| 132 | Tetradecene                          |  |  |  |  |      |     |     |      |                 |      |              |       | 0,2 |
| 133 | Citronellol                          |  |  |  |  |      |     |     |      |                 | 0,10 |              |       |     |
| 134 | Santolinatriene                      |  |  |  |  |      |     |     |      |                 |      |              |       | tr  |
| 135 | $\beta$ - Myrcene                    |  |  |  |  | 0,30 | 0,6 |     | 0,27 | $0,18 \pm 0,04$ |      |              |       |     |
| 136 | Neocnidilide                         |  |  |  |  |      |     |     |      |                 |      |              |       | 0,2 |
| 137 | D-Limonene                           |  |  |  |  | 0,97 | 0,5 | 0,3 |      | $0,26 \pm 0,01$ |      |              |       |     |
| 138 | (Z)-9,17-Octadecadienal              |  |  |  |  |      |     |     |      |                 |      |              |       |     |
| 139 | $\alpha$ -cubebene                   |  |  |  |  |      |     |     |      | $0,05 \pm 0,01$ |      |              |       |     |
| 140 | 3-Methyl-undecane                    |  |  |  |  | 0,1  | 0,2 |     |      |                 |      |              |       |     |
| 141 | Menthadien-1-ol                      |  |  |  |  |      |     |     |      | $0,39 \pm 0,02$ |      |              |       |     |
| 142 | Estragole                            |  |  |  |  | 0,2  |     |     |      | $0,08 \pm 0,01$ |      |              |       |     |
| 143 | Nonanoic acid                        |  |  |  |  |      |     |     |      |                 |      | 0,1 – 0,2    |       |     |
| 144 | Hexadecanal                          |  |  |  |  |      |     |     |      |                 |      |              |       |     |
| 145 | (8Z)-Undecenal                       |  |  |  |  |      |     |     |      |                 |      |              |       | 6,2 |
| 146 | 3-Ethyl-octane                       |  |  |  |  |      | 0,1 |     |      |                 |      |              |       |     |
| 147 | (2E)-Pentadecenal                    |  |  |  |  |      |     |     |      |                 |      |              |       | 1,0 |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|     |                          |  |      |     |     |      |      |             |      |             |  |           |     |
|-----|--------------------------|--|------|-----|-----|------|------|-------------|------|-------------|--|-----------|-----|
| 148 | (2Z)-Decene-1-ol         |  |      |     |     |      |      |             |      |             |  |           | 0,8 |
| 149 | (E) - Anethole           |  |      |     |     |      |      |             |      |             |  | Tr —0,2   |     |
| 150 | Tridecanal               |  |      |     |     |      |      |             |      | 0 – 1,53    |  |           | 1,1 |
| 151 | 1-Undecanol              |  |      |     |     |      |      | 0,41 ± 0,01 |      | 1,61 – 2,80 |  | 0,95      | 0,9 |
| 152 | 2,6-Octadiene            |  |      |     |     |      |      | 0,09 ± 0,02 |      |             |  |           |     |
| 153 | 3-Methylbutanal          |  |      |     |     |      |      |             | tr   |             |  |           |     |
| 154 | cis-Nerolidol            |  |      |     |     |      |      | 0,24 ± 0,02 |      |             |  |           |     |
| 155 | E-2-Tridecanal           |  |      |     |     |      |      |             |      |             |  | 3,56      |     |
| 156 | Caryophyllene            |  |      |     |     | 0,08 | 0,15 | 0,28 ± 0,02 |      |             |  |           |     |
| 157 | Δ --Cadinene             |  | 0,10 |     |     |      |      | 0,07 ± 0,02 | tr   |             |  |           |     |
| 158 | Apiol                    |  |      |     |     |      |      | 0,20 ± 0,01 |      |             |  |           |     |
| 159 | (Z)-9-octadecen-4-olide  |  |      |     | 0,5 |      |      |             |      |             |  |           |     |
| 160 | 1-Dodecanol              |  |      |     |     |      |      |             |      | 0 – 1,90    |  |           |     |
| 161 | (E)-Caryophyllene        |  | 0,04 |     |     |      |      |             |      |             |  |           |     |
| 162 | Nonanal                  |  | 0,48 |     |     |      |      |             |      |             |  | Tr – 0,1  | 0,7 |
| 163 | caryophyllene oxide      |  |      |     |     |      |      |             |      |             |  | Tr—0,1    |     |
| 164 | Butyl-cyclohexane        |  |      | 0,2 |     |      |      |             |      |             |  |           |     |
| 165 | Osthol                   |  |      |     |     |      | 1,29 |             |      |             |  |           |     |
| 166 | Ar-Curcumene             |  |      |     |     |      |      |             | 0,11 |             |  |           |     |
| 167 | Octadecanoic acid        |  |      |     |     |      |      |             |      |             |  | Tr – 0,1  |     |
| 168 | 1-Nonanol                |  |      | 0,1 | 0,1 |      |      |             |      |             |  |           | 0,3 |
| 169 | α-Elemol                 |  |      |     |     |      |      | 0,09 ± 0,03 |      |             |  |           |     |
| 170 | Santalol                 |  |      |     |     |      |      | 0,06 ± 0,04 |      |             |  |           |     |
| 171 | (2E)-Tridecen-1-al       |  |      |     |     |      |      |             |      |             |  |           | 2,5 |
| 172 | (Z)-isoapiole+dillapiole |  |      |     |     |      |      |             |      |             |  | 1,1 – 2,7 |     |
| 173 | Hydroxycineoleisomer     |  |      |     |     |      |      |             |      |             |  |           | 0,1 |
| 174 | Decanoic acid            |  |      |     |     |      |      |             |      |             |  | 0,4 – 0,8 |     |
| 175 | Elemol                   |  | 0,24 |     |     |      |      |             |      |             |  |           |     |
| 176 | Nonylformate             |  |      |     |     |      |      |             |      |             |  |           | 5,6 |
| 177 | Linoleyl methyl ketone   |  |      |     | 0,1 |      |      |             |      |             |  |           |     |
| 178 | Tridecanoic acid         |  |      |     |     |      |      | 0,09 ± 0,02 |      |             |  | 0,1 – 0,2 |     |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|       |                                   |       |       |       |      |      |           |      |             |       |              |           |       |      |
|-------|-----------------------------------|-------|-------|-------|------|------|-----------|------|-------------|-------|--------------|-----------|-------|------|
| 179   | 2-Nonen-1-ol,<br>(E)-             |       |       |       |      |      |           |      |             |       | 0 – 4,70     |           |       |      |
| 180   | $\alpha$ -myrcene                 |       |       |       |      |      |           |      |             |       |              |           |       |      |
| 181   | (E)-2-<br>Hexadecanal             |       |       |       |      |      |           |      |             |       |              |           | 2,47  |      |
| 182   | Dodecanoic acid                   |       |       |       |      |      | 0,08      |      |             |       |              | 0,4       |       |      |
| 183   | 2-Pentadecanone                   |       |       |       |      |      |           |      | 0.08 ± 0.03 |       |              |           |       |      |
| 184   | (2E)-Dodecenal                    |       |       |       |      |      |           |      |             |       |              |           |       | 16,5 |
| 185   | Olealdehyde                       |       |       |       |      |      |           |      |             |       | 1,05 – 3,63  |           |       |      |
| 186   | Tetradecanoic<br>acid             |       |       |       |      |      |           | 2,89 |             |       |              | 3,4 – 7,6 |       |      |
| 187   | (2Z)-Dodecenal                    |       |       |       |      |      |           |      |             |       |              |           |       | 0,3  |
| 188   | Tridecanolide                     |       |       |       |      |      |           |      |             |       |              |           |       | 0,8  |
| 189   | myristicin                        |       |       |       |      |      |           |      |             |       |              | 0,4 – 0,9 |       |      |
| 190   | Octane                            |       |       | 6,7   | 10,3 |      |           |      |             |       |              |           |       |      |
| 191   | Z-5-Nonadecane                    |       |       |       |      |      |           |      | 0.05 ± 0.02 |       |              |           |       |      |
| 192   | Tetradecanoic<br>acid ethyl ester |       |       |       |      |      | 4,56      |      |             |       |              |           |       |      |
| 193   | $\alpha$ -Zingiberene             |       |       |       |      |      |           |      |             | 0,14  |              |           |       |      |
| 194   | Nonadecane                        |       |       |       |      |      |           |      | 0.06 ± 0.01 |       |              |           |       |      |
| 195   | dodecenal                         |       |       |       |      |      | 2,12      | 2,90 |             |       |              |           |       |      |
| 196   | 2- dodecenal                      |       |       |       |      |      |           |      |             |       |              | 0,1 – 0,2 |       |      |
| 197   | Pentadecanoic<br>acid             |       |       |       |      |      |           |      |             |       |              | 0,4 – 0,7 |       |      |
| 198   | Cyclodecanol                      |       |       |       |      |      |           |      |             |       | 4,46 – 13,78 |           |       | 0,1  |
| 199   | pentacosane                       |       |       |       |      |      |           |      |             |       |              | Tr – 0,1  |       |      |
| 200   | Hexadecanoic<br>acid              |       |       |       | 1    |      |           | 4    | 0.04 ± 0.01 |       |              | 6,0 – 6,1 |       |      |
| 201   | Heneicosanone                     |       |       |       |      |      |           |      |             |       |              |           |       | 0,1  |
| 202   | Heneicosanol                      |       |       |       |      |      |           |      |             |       |              |           |       | 0,1  |
| 203   | Heneicosane                       |       |       |       |      |      |           |      | 0.12 ± 0.01 |       |              |           |       |      |
| Total |                                   | 95,39 | 99,46 | 99,45 | 98,2 | 98,7 | 91,0<br>3 | 89,3 | -           | 96,27 | -            | -         | 95,30 | 99,2 |

Tr : traces ; HD : hydrodistillation (entraînement à la vapeur) ; SD : steam distillation (distillation à la vapeur d'eau) ; MAHD : microwave assisted hydrodistillation (hydrodistillation assistée par micro-ondes)

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

**Tableau 3.9 : Composition chimique de l'huile essentielle de coriandre de différents pays (suite)**

|     | Pays                            | Italie                 | Canada                | Egypte                  |         | Soudan                 | Bangladesh             |         | Cuba                | Finland                    | Serbie                  | Fiji                   | Romania                |
|-----|---------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|---------|------------------------|------------------------|---------|---------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
|     | Partie de la plante             | Graines                | Graines               | Herbe                   | Graines | Graines                | Feuilles               | Graines | Graines             | Fruits                     | Fruits                  | Feuilles               | Graines                |
|     | Méthode d'extraction            | HD                     | HD                    | HD                      |         | SD                     | HD                     |         | HD                  | -                          | HD                      | SD                     | HD                     |
|     | Durée d'extraction (min)        | 240                    | 360                   | -                       | -       | 180                    | 240                    |         | 180                 | 360                        | -                       | 360                    | 180                    |
| No. | Référence                       | (Grosso et al., 2008;) | (Sriti et al. (2011)) | (Romeilah et al., 2010) |         | (Ramadan et al., 2013) | (Bhuiyan et al., 2009) |         | (Pino et al., 1996) | (Kerrola et Kallio., 1993) | (Samojlik et al., 2010) | (Eyres G et al., 2005) | (Tsagkli et al., 2012) |
| 1   | Heptanal                        |                        | 0,60                  |                         |         |                        |                        |         |                     |                            |                         | 0,04                   |                        |
| 2   | tricyclene                      |                        | 0,10                  |                         |         |                        |                        |         |                     |                            | 0—tr                    |                        |                        |
| 3   | $\alpha$ -Thujene               | tr                     | 0,50                  | -                       | 1,43    |                        |                        | 0,04    |                     | 0,2                        |                         | 0,10                   | 0 – tr                 |
| 4   | $\alpha$ -Pinene                | 2,2 – 3,4              | 4,50                  | 2,55                    | 2,05    | 4,69                   | 0,49                   |         | 1,14                | 1,7                        |                         | 0,07                   | 5,5 – 9,3              |
| 5   | Sabinene                        | 0,1 – 0,2              | 0,10                  | 0,27                    | 0,86    | 17,63                  |                        | 0,23    | 0,14                |                            |                         | 0,28                   | 0 – tr                 |
| 6   | $\beta$ -Pinene                 | 0,3 – 0,4              | tr                    | 0,07                    | 0,48    | 0,19                   |                        | 1,82    | 0,21                | 0,2                        |                         | 0,16                   | 1,7 – 2,5              |
| 7   | $\delta^3$ -Carene              |                        |                       |                         |         |                        |                        |         |                     |                            |                         | 0,02                   |                        |
| 8   | $\beta$ -Thujene                |                        |                       |                         |         |                        |                        |         |                     | 0,2                        |                         |                        |                        |
| 9   | $\alpha$ -Terpinene             | 0,4 – 0,5              | 0,10                  | 0,27                    | 0,68    |                        |                        | 0,04    | 0,02                |                            |                         |                        | Tr                     |
| 10  | <i>p</i> -Cymene                | 1,2 – 1,5              | 2,10                  | 1,52                    | 2,79    |                        |                        |         | 0,90                |                            | 4,0                     | 0,70                   | 0 – tr                 |
| 11  | Limonene                        | 2,5 – 3,4              | 2,60                  | 2,47                    | 3,59    |                        |                        | 0,40    | 1,55                |                            | 0,10                    | 0,10                   | 0 – 6,3                |
| 12  | 1,8-Cineole                     |                        |                       |                         |         |                        | 0,30                   |         |                     |                            |                         | 1,08                   |                        |
| 13  | ( <i>Z</i> )- $\beta$ -Ocimene  | tr                     |                       | -                       | 0,08    | 10,11                  |                        |         |                     |                            |                         |                        | 0 – tr                 |
| 14  | Trans- $\beta$ -Ocimene         | 1,1 – 1,7              |                       | -                       | 0,12    | 5,64                   |                        |         | 0,09                |                            |                         |                        | 0 – tr                 |
| 15  | cis-beta-dihydroterpineol       |                        |                       |                         |         | 0,58                   |                        |         |                     |                            |                         |                        |                        |
| 16  | $\gamma$ -Terpinene             | 6,3 – 7,2              | 8,90                  | 3,11                    | 4,31    |                        |                        | 14,42   | 4,08                | 6,7                        | 1,2                     | 0,32                   | 9,2 – 11,5             |
| 17  | cis-Linalool oxide (furanoid)   | tr                     |                       | 0,08                    | 0,07    |                        |                        |         | 0,18                | 0,1                        | 0,90                    | 0,04                   |                        |
| 18  | Terpinolene                     | 0,8 – 1,0              |                       |                         |         | 0,10                   |                        |         | 0,53                |                            |                         |                        | 1,0 – 1,3              |
| 19  | Linalool                        | 66,5 – 72,3            | 57,0                  | 68,36                   | 73,79   | 0,80                   |                        | 37,65   | 54,57               | 67,2                       | 74,6                    | 0,17                   | 48,4 – 54,3            |
| 20  | trans-Linalool oxide (furanoid) |                        | 0,60                  | 0,04                    | 0,10    |                        |                        |         |                     |                            | 0,90                    | 0,04                   |                        |
| 21  | $\beta$ -citronellene           |                        |                       |                         |         | 0,13                   |                        |         |                     |                            |                         |                        |                        |
| 22  | $\alpha$ -Terpinolene           |                        |                       | 1,12                    | 0,42    |                        |                        |         |                     | 0,4                        |                         | 0,02                   |                        |
| 23  | <i>m</i> -Cymene                |                        |                       |                         |         |                        |                        | 1,27    |                     | 0,7                        |                         |                        |                        |
| 24  | Camphor                         | 3,0 – 3,3              | 6,40                  | 2,41                    | 4,43    | 15,50                  |                        |         | 5,83                | 4,8                        | 5,90                    | 0,02                   | 5,1 – 5,7              |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|    |                                      |           |      |      |      |      |       |      |      |     |      |      |           |
|----|--------------------------------------|-----------|------|------|------|------|-------|------|------|-----|------|------|-----------|
| 25 | Borneol                              | 0,1       | 0,10 |      |      | 0,66 |       | 0,32 | 1,55 | 1,3 | 1,20 |      | Tr – 0,3  |
| 26 | Linalyl acetate                      |           | 7,10 |      |      |      |       |      |      |     |      |      | 0 – 1,8   |
| 27 | Menthol                              |           | tr   |      |      |      |       |      |      |     |      |      |           |
| 28 | Citronellol                          | tr        |      |      |      |      |       | 1,31 |      |     |      |      | Tr – 0,5  |
| 29 | Terpinen-4-ol                        | 0,2       | 0,50 | 2,7  | 0,01 | 1,25 |       | 0,06 | 1,38 | 0,1 | 0,40 | 0,13 | 0,4 – 0,6 |
| 30 | 2-Decenoic acid                      |           |      |      |      |      | 30,82 |      |      |     |      |      |           |
| 31 | (E)- $\beta$ -farnesene              |           |      |      |      | 0,08 |       |      |      |     |      |      |           |
| 32 | cis-Hex-3-enyl butyrate              |           |      |      |      |      |       |      |      | 0,8 |      |      |           |
| 33 | $\beta$ -Phellandrene                |           |      | 0,25 | -    | 3,06 |       |      | 0,04 | 0,3 |      |      |           |
| 34 | trans-calamene                       |           |      |      |      | 0,04 |       |      |      |     |      |      |           |
| 35 | trans-dihydro-alpha-terpinyl acetate |           |      |      |      | 0,28 |       |      |      |     |      |      |           |
| 36 | $\alpha$ -Terpineol                  | 0,4       | 0,10 | 0,64 | 0,09 |      |       |      | 2,32 | 0,4 | 0,70 | 0,01 | 0,5 – 0,7 |
| 37 | Nonane                               |           |      |      |      |      |       |      |      |     |      | 1,53 |           |
| 38 | cis-Dihydrocarvone                   |           | tr   |      |      |      |       |      |      |     |      |      |           |
| 39 | 2-Tridecenal, (E)                    |           |      |      |      |      | 0,99  |      |      |     |      | 0,41 |           |
| 40 | Linalyl propionate                   |           |      | -    | 0,20 |      |       |      |      |     |      |      |           |
| 41 | Nerol                                |           | 0,10 |      |      |      |       |      |      |     |      |      |           |
| 42 | $\alpha$ -Campholene aldehyde        |           |      |      |      |      |       | 0,22 |      |     |      |      |           |
| 43 | epi- $\alpha$ -bisabolol             |           |      |      |      | 0,19 |       | 0,15 |      |     |      |      |           |
| 44 | $\beta$ -Citronellol                 |           | 0,30 |      |      |      |       |      |      |     |      |      |           |
| 45 | Neral                                |           | 0,20 | -    | 0,02 |      |       |      |      |     |      |      | 0 – 0,1   |
| 46 | E-Ocimene                            |           |      |      |      |      |       | 0,05 |      |     |      |      |           |
| 47 | Z-Ocimene                            |           |      |      |      |      |       | 0,04 |      |     |      |      |           |
| 48 | Cumene                               |           |      |      |      | 1,59 |       |      |      |     |      |      |           |
| 49 | trans-3-pinanone                     |           |      |      |      | 0,98 |       |      |      |     |      |      |           |
| 50 | Carvone                              |           | 0,10 |      |      | 0,12 |       |      |      |     |      |      | 0 – tr    |
| 51 | Pinocarvone                          |           |      |      |      |      |       |      |      |     |      |      | 0 – tr    |
| 52 | o-Cymene                             |           |      |      |      |      | 0,08  |      |      |     |      |      |           |
| 53 | $\delta^2$ -Carene                   |           |      |      |      | 2,59 |       |      |      |     |      |      |           |
| 54 | Geraniol                             | 2,6 – 2,8 | 0,10 |      |      |      |       | 1,87 | 6,97 | 2,4 |      |      | 0 – 3,3   |
| 55 | Geranial                             |           | 0,10 |      |      |      |       | 1,36 | 0,13 |     |      |      | Tr – 0,2  |
| 56 | $\alpha$ -cadinol                    |           |      |      |      | 0,34 |       |      |      |     |      |      |           |
| 57 | Anethole                             |           | 0,10 |      |      |      |       |      |      |     |      |      |           |
| 58 | 9-epi-caryophyllene                  |           |      |      |      | 0,06 |       |      |      |     |      |      |           |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|    |                             |           |      |      |      |      |       |       |      |     |      |       |           |
|----|-----------------------------|-----------|------|------|------|------|-------|-------|------|-----|------|-------|-----------|
| 59 | beta-selinene               |           |      |      |      | 1,09 |       |       |      |     |      |       |           |
| 60 | Capric acid                 |           |      |      |      |      | 12,71 |       |      |     |      |       |           |
| 61 | Trans geraniol              |           |      | 1,84 | 0,21 |      |       |       |      |     | 2,80 |       |           |
| 62 | $\beta$ -farnesene          |           |      |      |      |      |       | 0,07  |      |     |      |       |           |
| 63 | Thymol                      |           | tr   |      |      |      |       |       |      |     |      |       | 0 – tr    |
| 64 | iso-dihydrocarveol          |           |      |      |      | 0,07 |       |       |      |     |      |       |           |
| 65 | Carvacrol                   |           | tr   |      |      |      |       |       |      | 0,2 |      |       | 0 – tr    |
| 66 | Decane                      |           |      |      |      |      |       |       |      |     |      | 0,14  |           |
| 67 | Cyclododecane               |           |      |      |      |      | 2,45  |       |      |     |      |       |           |
| 68 | p-cymene-8-ol               |           | 0,60 |      |      |      |       |       |      |     |      |       |           |
| 69 | Myrtenyl acetate            |           |      |      |      |      |       | 0,43  |      |     |      |       | Tr – 0,1  |
| 70 | Decahydroazulene            |           |      |      |      |      | 0,38  |       |      |     |      |       |           |
| 71 | myrtenal                    |           |      |      |      |      |       |       | 0,16 |     |      |       |           |
| 72 | carveol                     |           |      |      |      | 0,17 |       | 0,15  |      |     |      |       |           |
| 73 | Eugenol                     |           | tr   |      |      | 1,09 |       | 0,90  |      |     |      |       |           |
| 74 | $\beta$ -Elemene            |           |      |      |      |      |       | 0,06  |      |     |      |       |           |
| 75 | 4-Allylphenyl acetate       |           |      |      |      |      | 0,22  |       |      |     |      |       |           |
| 76 | Neryl acetate               |           | tr   |      |      | 0,82 |       |       | 0,19 |     |      |       | Tr – 4,4  |
| 77 | gamma-muurolene             |           |      |      |      | 0,20 |       |       |      |     |      |       |           |
| 78 | Dihydrocarveol acetate      |           |      |      |      | 0,04 |       |       |      |     |      |       |           |
| 79 | $\alpha$ -patchoulene       |           |      |      |      | 0,28 |       |       |      |     |      |       |           |
| 80 | 2-decenal                   |           |      |      |      |      |       |       |      | tr  |      |       |           |
| 81 | Geranyl acetate             | 2,4 – 2,8 | 2,0  | 1,87 | 1,27 |      |       | 17,57 | 4,96 | 3,4 | 4,60 |       | 0 – 6,2   |
| 82 | Verbenone                   |           |      |      |      |      |       |       |      |     |      |       | 0 – tr    |
| 83 | $\beta$ -Caryophyllene      |           | tr   | 0,22 | 0,24 |      |       |       | 0,16 |     |      |       |           |
| 84 | $\alpha$ -Caryophyllene     |           |      |      |      |      | 0,26  |       |      |     |      |       |           |
| 85 | (E)-2-Tetradecenal          |           |      |      |      |      |       |       |      |     |      | 7,03  |           |
| 86 | Z-myrtanyl acetate          |           |      |      |      |      |       | 0,10  |      |     |      |       |           |
| 87 | $\alpha$ -Humulene          |           |      |      |      |      |       |       |      |     |      |       | 0 – tr    |
| 88 | 2,4-Dimethyl-Heptane        |           |      |      |      |      | 0,18  |       |      |     |      |       |           |
| 89 | 1-octen-3-ol                |           |      |      |      |      |       |       |      |     |      | <0,01 |           |
| 90 | Germacrene B                |           |      |      |      |      |       |       |      |     |      |       | 0 – tr    |
| 91 | Z-verbenone                 |           |      |      |      |      |       | 0,10  |      |     |      |       |           |
| 92 | $\beta$ -Sesquiphellandrene |           |      |      |      |      |       | 1,56  |      |     |      |       |           |
| 93 | Camphene                    | 0,3 – 0,4 | 0,50 | 0,62 | 0,75 |      |       | 0,14  | 0,21 | 0,4 |      |       | 1,2 – 1,6 |
| 94 | Myrcene                     | 2,0 – 2,8 | 1,30 |      |      | 0,23 |       |       | 0,65 |     |      |       | 1,4 – 2,0 |
| 95 | Undecanoic acid             |           |      |      |      |      | 2,13  |       |      |     |      |       |           |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|     |   |     |  |  |  |      |  |      |      |  |  |     |       |         |
|-----|---|-----|--|--|--|------|--|------|------|--|--|-----|-------|---------|
| 96  | 1-Octen-3-ol acetate                          |     |  |  |  |      |  |      |      |  |  |     | <0,01 |         |
| 97  | Octanal                                       |     |  |  |  |      |  |      |      |  |  |     | 0,84  |         |
| 98  | Bicyclogermacrene                             |     |  |  |  |      |  |      | 0,04 |  |  |     |       | 0 – 0,1 |
| 99  | Isoborneol                                    |     |  |  |  | 3,19 |  |      |      |  |  |     |       |         |
| 100 | Octanol                                       | tr  |  |  |  |      |  |      |      |  |  | tr  |       |         |
| 101 | E-Verbenol                                    |     |  |  |  |      |  |      | 0,27 |  |  |     |       |         |
| 102 | $\alpha$ -farnesene                           |     |  |  |  |      |  |      | 1,22 |  |  |     |       |         |
| 103 | Citronellal                                   | 0,1 |  |  |  |      |  |      | 1,96 |  |  |     |       | 0 – tr  |
| 104 | cyclooctanol                                  |     |  |  |  |      |  | 0,57 | 0,02 |  |  |     |       |         |
| 105 | bornyl acetate                                |     |  |  |  | 0,02 |  |      |      |  |  |     |       |         |
| 106 | thujyl acetate                                |     |  |  |  | 0,55 |  |      |      |  |  |     |       |         |
| 107 | verbanol acetate                              |     |  |  |  | 0,28 |  |      |      |  |  |     |       |         |
| 108 | (2E)-Hexadecenal                              |     |  |  |  |      |  |      |      |  |  |     | 0,39  |         |
| 109 | (E)- Undecanoicacid                           |     |  |  |  |      |  | 4,97 |      |  |  |     |       |         |
| 110 | $\alpha$ -cedrene                             |     |  |  |  |      |  |      | 3,87 |  |  |     |       |         |
| 111 | Decanoic acid                                 |     |  |  |  |      |  |      |      |  |  | 0,6 |       |         |
| 112 | 1,2-Decanediol                                |     |  |  |  |      |  | 0,45 |      |  |  |     |       |         |
| 113 | trans-sabinene hydrate                        | Tr  |  |  |  | 5,20 |  |      |      |  |  |     |       |         |
| 114 | 2-Oxabicyclo[2.2.2]octan-6-ol,1,2,3-trimethyl |     |  |  |  |      |  |      | 0,02 |  |  |     |       |         |
| 115 | Cis-sabinene hydrate                          |     |  |  |  | 0,45 |  |      |      |  |  |     |       |         |
| 116 | Myrtenol                                      |     |  |  |  |      |  |      |      |  |  |     |       | 0 – tr  |
| 117 | isothujol                                     |     |  |  |  |      |  |      | 0,04 |  |  |     |       |         |
| 118 | Decanol                                       |     |  |  |  |      |  |      |      |  |  |     | 19,64 |         |
| 119 | 14-dihydro-alpha-humulene                     |     |  |  |  | 0,11 |  |      |      |  |  |     |       |         |
| 120 | verbenyl acetate                              |     |  |  |  | 0,79 |  |      |      |  |  |     |       |         |
| 121 | Z-2-tetradecenal                              |     |  |  |  |      |  |      |      |  |  |     | 0,06  |         |
| 122 | Z-verbenol                                    |     |  |  |  |      |  |      | 0,11 |  |  |     |       |         |
| 123 | (2Z)-Undecenal                                |     |  |  |  |      |  |      |      |  |  |     | 0,02  |         |
| 124 | Z-4-tetradecenal                              |     |  |  |  |      |  |      |      |  |  |     | 0,08  |         |
| 125 | m-Aminoaniline                                |     |  |  |  |      |  | 0,27 |      |  |  |     |       |         |
| 126 | Safrole                                       |     |  |  |  | 1,28 |  |      |      |  |  |     |       |         |
| 127 | g-Thionodecalactone                           |     |  |  |  |      |  | 0,16 |      |  |  |     |       |         |
| 128 | $\alpha$ -camphene                            |     |  |  |  | 0,25 |  |      |      |  |  |     |       |         |
| 129 | $\beta$ -camphene                             |     |  |  |  | 0,24 |  |      |      |  |  |     |       |         |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|     |                              |  |    |  |      |      |      |      |  |  |      |          |
|-----|------------------------------|--|----|--|------|------|------|------|--|--|------|----------|
| 130 | Undecanal                    |  |    |  |      | 0,34 | 0,58 | 0,10 |  |  | 0,98 | 0 – tr   |
| 131 | $\alpha$ -terpenyl acetate   |  |    |  | 0,02 |      |      |      |  |  |      |          |
| 132 | terpenyl acetate             |  |    |  |      |      | 0,31 |      |  |  |      |          |
| 133 | benzene                      |  |    |  |      | 0,05 |      |      |  |  |      |          |
| 134 | Nonanoic acid                |  |    |  |      | 1,17 |      |      |  |  |      |          |
| 135 | Undecane                     |  |    |  |      |      |      |      |  |  | 0,09 |          |
| 136 | cis-2,3-pinenediol           |  |    |  | 0,44 |      |      |      |  |  |      |          |
| 137 | Piperitone                   |  |    |  | 1,80 |      |      |      |  |  |      |          |
| 138 | Decanal                      |  | tr |  |      | 1,39 | 0,14 | 0,15 |  |  | 6,56 | Tr – 0,1 |
| 139 | Iso safrole                  |  |    |  | 0,35 |      |      |      |  |  |      |          |
| 140 | n-Cetyl alcohol              |  |    |  |      | 0,43 |      |      |  |  |      |          |
| 141 | Norboreneol acetate          |  |    |  | 4,09 |      |      |      |  |  |      |          |
| 142 | delta-indanol                |  |    |  | 0,06 |      |      |      |  |  |      |          |
| 143 | alpha-cis-bergamotene        |  |    |  | 1,53 |      |      |      |  |  |      |          |
| 144 | alpha-sinensal               |  |    |  | 0,05 |      |      |      |  |  |      |          |
| 145 | trans-piperitol              |  |    |  | 0,21 |      |      |      |  |  |      |          |
| 146 | (Z)-nuciferol                |  |    |  | 0,06 |      |      |      |  |  |      |          |
| 147 | Umbellulone                  |  |    |  |      |      | 0,11 |      |  |  |      |          |
| 148 | Lilac alcohol                |  |    |  |      |      | 0,11 |      |  |  |      |          |
| 149 | cis-pinene hydrate           |  |    |  | 0,63 |      |      |      |  |  |      |          |
| 150 | Undecylenic acid             |  |    |  |      | 0,28 |      |      |  |  |      |          |
| 151 | Oleic acid                   |  |    |  |      | 0,64 |      |      |  |  |      |          |
| 152 | $\beta$ -Bisabolene          |  |    |  | 0,15 |      | 0,80 |      |  |  |      |          |
| 153 | 2E - Decanal                 |  |    |  | 0,47 |      |      |      |  |  |      |          |
| 154 | tridecane                    |  |    |  |      |      |      |      |  |  | 0,03 |          |
| 155 | (E)-nuciferol                |  |    |  | 0,88 |      |      |      |  |  |      |          |
| 156 | (2E)-Undecenol               |  |    |  |      |      |      |      |  |  | 2,01 |          |
| 157 | dihydrocitronellol acetate   |  |    |  | 0,73 |      |      |      |  |  |      |          |
| 158 | Cryptomeridiol               |  |    |  | 0,31 |      |      |      |  |  |      |          |
| 159 | hexanol                      |  |    |  |      |      |      |      |  |  | 0,05 |          |
| 160 | Decamethylene glycol         |  |    |  |      | 1,15 |      |      |  |  |      |          |
| 161 | trans-2-Dodecen-1-ol         |  |    |  |      |      |      |      |  |  | 4,60 |          |
| 162 | Citronellyl acetate          |  |    |  |      |      | 1,36 |      |  |  |      | 0 – tr   |
| 163 | Dodecanal                    |  |    |  |      | 1,25 |      | 0,20 |  |  | 2,99 | 0 – tr   |
| 164 | E-2-Ethyl-3-methyl thiophane |  |    |  |      | 0,23 |      |      |  |  |      |          |



### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|     |                             |  |   |      |  |      |      |      |      |     |      |       |         |
|-----|-----------------------------|--|---|------|--|------|------|------|------|-----|------|-------|---------|
| 165 | undecene                    |  |   |      |  |      |      |      |      |     |      | <0,01 |         |
| 166 | alpha-ionone                |  |   |      |  | 0,16 |      |      |      |     |      |       |         |
| 167 | aromadendrene               |  |   |      |  | 0,27 |      |      |      |     |      |       |         |
| 168 | (2E)-Decenal                |  |   |      |  |      |      |      |      |     |      | 9,12  |         |
| 169 | (2Z)-Decenal                |  |   |      |  |      |      |      |      |     |      | 0,16  |         |
| 170 | Benzene acetaldehyde        |  |   |      |  |      |      |      |      |     |      | <0,01 |         |
| 171 | Methyl geranate             |  |   |      |  |      |      | 0,17 |      |     |      |       |         |
| 172 | Pentadecanal                |  |   |      |  |      |      |      |      |     |      | 0,09  |         |
| 173 | Oxirane tetradecyl          |  |   |      |  |      | 0,07 |      |      |     |      |       |         |
| 174 | 2-Dodecanal                 |  |   |      |  |      | 1,32 |      |      |     |      |       |         |
| 175 | (2E)-Nonenal                |  |   |      |  |      |      |      |      |     |      | 0,04  |         |
| 176 | 1-Pentadecene               |  |   |      |  |      |      | 0,08 |      |     |      |       |         |
| 177 | piperitol acetate           |  |   |      |  | 0,28 |      |      |      |     |      |       |         |
| 178 | Tetradecanal                |  |   |      |  |      |      |      | 0,18 |     |      | 0,96  | 0 – tr  |
| 179 | Octanoic acid               |  |   |      |  |      | 0,60 |      |      | 0,4 |      |       |         |
| 180 | (2E)-Decene-1-ol            |  |   |      |  |      |      |      |      |     |      | 26    |         |
| 181 | Tetradecene                 |  |   |      |  |      |      |      |      |     |      |       | 0 – tr  |
| 182 | Furan, 2-hexyl-             |  |   |      |  |      |      |      |      |     |      | <0,01 |         |
| 183 | $\beta$ - Myrcene           |  | - | 0,77 |  |      |      | 0,55 |      | 0,5 |      | 0,06  |         |
| 184 | Decyl acetate               |  |   |      |  |      |      |      |      |     |      | 0,03  |         |
| 185 | D-Limonene                  |  |   |      |  |      | 0,18 |      |      | 1,9 |      |       |         |
| 186 | Linalyl isobutyrate         |  |   |      |  |      |      |      |      |     |      |       | 0 – tr  |
| 187 | E-2-Hexenal                 |  |   |      |  |      |      |      |      |     |      | 0,29  |         |
| 188 | $\alpha$ -cubebene          |  |   |      |  |      |      | 0,13 |      |     |      |       |         |
| 189 | alpha-bisabolol acetate     |  |   |      |  | 1,30 |      |      |      |     |      |       |         |
| 190 | Estragole                   |  |   |      |  |      | 0,25 |      |      |     |      |       | 0 – 0,2 |
| 191 | (2E)-Pentadecenal           |  |   |      |  |      |      |      |      |     |      | 0,74  |         |
| 192 | $\beta$ -Cinene             |  |   |      |  |      |      | 0,10 |      |     |      |       |         |
| 193 | $\beta$ -terpineol          |  |   |      |  |      |      |      |      |     | 0,50 |       |         |
| 194 | Benzene, pentyl-            |  |   |      |  |      |      |      |      |     |      | 0,01  |         |
| 195 | Trans Anethole              |  |   |      |  |      |      |      |      |     | 1,80 |       | 0 – 0,4 |
| 196 | Tridecanal                  |  |   |      |  |      |      |      |      | tr  |      | 0,31  | 0 – tr  |
| 197 | 1-Undecanol                 |  |   |      |  |      | 6,42 |      |      |     |      | 0,32  |         |
| 198 | ar-Turmerone                |  |   |      |  |      |      | 0,04 |      |     |      |       |         |
| 199 | (Z)-14-Methylhexadec-8-enal |  |   |      |  |      |      | 0,22 |      |     |      |       |         |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|     |                               |  |  |  |      |      |      |      |      |  |  |       |           |
|-----|-------------------------------|--|--|--|------|------|------|------|------|--|--|-------|-----------|
| 200 | E-2-tetradecen-1-ol           |  |  |  |      |      |      |      |      |  |  | 0,89  |           |
| 201 | Oxirane, octyl                |  |  |  |      | 0,27 |      |      |      |  |  |       |           |
| 202 | E-nerolidol                   |  |  |  |      |      | 0,13 |      |      |  |  |       | 0 – tr    |
| 203 | Caryophyllene                 |  |  |  |      |      | 0,33 |      |      |  |  |       |           |
| 204 | tridecene                     |  |  |  |      |      |      |      |      |  |  | 0,01  |           |
| 205 | Eupatoriochromene             |  |  |  | 0,02 |      |      |      |      |  |  |       |           |
| 206 | dillapiole                    |  |  |  |      |      |      | 0,45 |      |  |  |       |           |
| 207 | 2-phenylethylphenyl acetate   |  |  |  | 0,29 |      |      |      |      |  |  |       |           |
| 208 | 1-Dodecanol                   |  |  |  |      |      |      |      | 0,3  |  |  | 0,19  |           |
| 209 | (Z)- Caryophyllene            |  |  |  | 0,91 |      |      |      |      |  |  |       |           |
| 210 | (E)- Caryophyllene            |  |  |  |      |      |      |      |      |  |  |       | 0,3 – 0,6 |
| 211 | E-2-Caren-4-ol                |  |  |  |      |      |      |      |      |  |  | 0,02  |           |
| 212 | $\alpha$ -Amorphene           |  |  |  |      |      |      |      |      |  |  | 0,02  |           |
| 213 | Nonanal                       |  |  |  | 0,08 |      |      |      |      |  |  | 0,20  |           |
| 214 | caryophyllene oxide           |  |  |  | 0,06 |      |      |      |      |  |  |       | 0 – tr    |
| 215 | Butanoic acid,3-hexenyl ester |  |  |  |      |      |      |      | 1,0  |  |  |       |           |
| 216 | 3-Octanol acetate             |  |  |  |      |      |      |      |      |  |  | 0,01  |           |
| 217 | Osthol                        |  |  |  | 0,14 |      |      |      |      |  |  |       |           |
| 218 | Ar-Curcumene                  |  |  |  |      |      | 0,98 |      |      |  |  |       |           |
| 219 | 1-Nonanol                     |  |  |  | 1,69 | 0,39 |      |      |      |  |  | 0,12  |           |
| 220 | Z-4-undecenal                 |  |  |  |      |      |      |      |      |  |  | 0,02  |           |
| 221 | piperitenone oxide            |  |  |  | 0,65 |      |      |      |      |  |  |       |           |
| 222 | Z-Nonene                      |  |  |  |      |      | 0,07 |      |      |  |  |       |           |
| 223 | E-2-tridecen-1-ol             |  |  |  |      |      |      |      |      |  |  | 0,14  |           |
| 224 | Z-4-decenal                   |  |  |  |      |      |      |      |      |  |  | 0,16  |           |
| 225 | Beyerene                      |  |  |  | 0,78 |      |      |      |      |  |  |       |           |
| 226 | Tridecanoic acid              |  |  |  |      |      | 5,45 |      |      |  |  |       |           |
| 227 | $\beta$ -lonone               |  |  |  |      |      |      |      |      |  |  | 0,02  |           |
| 228 | Furan,2-pentyl                |  |  |  |      |      |      |      |      |  |  | <0,01 |           |
| 229 | 2-Nonen-1-ol, (E)-            |  |  |  |      |      |      |      |      |  |  | 0,04  |           |
| 230 | Ethylidenecyclooctane         |  |  |  |      |      | 0,31 |      |      |  |  |       |           |
| 231 | Octadecanoic acid             |  |  |  |      |      |      |      | 0,20 |  |  |       |           |
| 232 | E-2-hexen-1-ol                |  |  |  |      |      |      |      |      |  |  | 0,58  |           |
| 233 | E-3-hexen-1-ol                |  |  |  |      |      |      |      |      |  |  | 0,02  |           |
| 234 | Z-3-hexen-1-ol                |  |  |  |      |      |      |      |      |  |  | 1,04  |           |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|       |  |             |       |       |       |      |       |       |       |     |      |       |             |
|-------|--|-------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-----|------|-------|-------------|
| 235   | Z-2-hexen-1-ol                             |             |       |       |       |      |       |       |       |     |      | <0,01 |             |
| 236   | E-11-tetradecenoic acid                    |             |       |       |       |      | 13,37 |       |       |     |      |       |             |
| 237   | Dodecanoic acid                            |             |       |       |       |      | 2,63  |       |       |     |      |       |             |
| 238   | 5-Nonanol ,5-methyl                        |             |       |       |       |      | 0,28  |       |       |     |      |       |             |
| 239   | 239(2E)-Dodecenal                          |             |       |       |       |      |       |       |       |     |      | 5,37  | 0 – 0,2     |
| 240   | Hexadecanal                                |             |       |       |       |      |       |       |       |     |      | 0,07  |             |
| 241   | (2E)-Undecenal                             |             |       |       |       |      |       |       |       |     |      | 1,20  |             |
| 242   | 7-alpha-hydroxy-<br>manool                 |             |       |       |       | 2,32 |       |       |       |     |      |       |             |
| 243   | Tetradecanoic acid                         |             |       |       |       |      |       |       | 0,57  |     |      |       |             |
| 244   | Z-3-Hexen-1-ol,<br>acetate                 |             |       |       |       |      |       |       |       |     |      | 0,11  |             |
| 245   | (Z)-beta-santalol                          |             |       |       |       | 0,08 |       |       |       |     |      |       |             |
| 246   | (2Z)-Dodecenal                             |             |       |       |       |      |       |       |       |     |      | 0,07  |             |
| 247   | alpha-copaene                              |             |       |       |       | 0,26 |       |       |       |     |      |       |             |
| 248   | Z-4-dodecenal                              |             |       |       |       |      |       |       |       |     |      | 0,09  |             |
| 249   | Tetradecanoic acid,1-<br>methylethyl ester |             |       |       |       |      |       |       |       | 0,4 |      |       |             |
| 250   | carvacrol acetate                          |             |       |       |       | 0,53 |       |       |       |     |      |       |             |
| 251   | dodecenal                                  |             |       |       |       |      |       | 0,15  |       |     |      |       |             |
| 252   | (E)-alpha-atlantone                        |             |       |       |       | 0,11 |       |       |       |     |      |       |             |
| 253   | Cyclodecanol                               |             |       |       |       |      |       |       |       |     |      | 0,06  |             |
| 254   | 2-Tridecanone                              |             |       |       |       |      |       |       |       |     |      | 0,01  |             |
| 255   | Hexadecanoic acid                          |             |       |       |       |      |       | 0,08  | 5,82  |     |      |       |             |
| 262   | 2-Undecenal                                |             |       |       |       |      | 3,87  |       |       | 0,4 |      |       |             |
| Total |  | 97,6 – 98,7 | 96,90 | 90,41 | 98,76 | 100  | 100   | 96,03 | 95,67 | 97  | 99,9 | 99,34 | 99,7 – 99,8 |

Tr : traces ; HD : hydro-distillation (hydrodistillation); SD : steam distillation (distillation à la vapeur d'eau)

Nous constatons que l'huile essentielle peut être extraite de diverses parties de la plante de *Coriandrum sativum*, y compris les feuilles, les fleurs, la tige et les graines; cependant, la composition de l'huile essentielle de ses parties peut varier, ou même plus, différer.

D'après les tableaux 3.7, 3.8 et 3.9, les constituants majoritaires de l'huile essentielle des graines de *coriandrum sativa* en Algérie ou dans le monde sont :  $\alpha$ -pinene,  $\beta$ -pinene, Linalool, Camphene, Myrcene, p-Cymene, Limonene,  $\gamma$ -Terpinene ; Camphor ; Geraniol ; Geranyl acetate. L'analyse chimique a clairement indiqué que le Linalool était le principal composant parmi eux avec des pourcentages atteignant 88% dans les résultats rapportés par (Msaada et al., 2007) de Tunisie.

Les études menées sur les huiles essentielles qui provient d'autres parties de la plante (feuilles , tiges, parties aérienne ) ont montré qu'elles contenaient du linalool , decanol , decanal, (E)-2-décenal, (E)-2-décénol, 13 - tétra decenal , (E)-2-Dodecenal ,et cyclododecanol comme des composés prédominants.

### 3.2.1.2 Paramètres influençant la composition et le rendement

La composition chimique de l'huile essentielle de coriandre est influencée par divers facteurs tels que la période de récolte, le type d'extraction, la durée de l'extraction et la méthode de broyage des graines avant l'extraction.

#### 3.2.1.2.1 Paramètre intrinsèque

##### 3.2.1.2.1.1 Période de récolte

Afin de minimiser les pertes de récolte et de maximiser la qualité de l'huile essentielle ; Une étude a été menée par (Telci et al., 2006.b) pour déterminer également la variation du rendement et de la composition des huiles essentielles au cours de la période de maturation.

Leurs résultats montrent que les rendements en huiles essentielles variaient significativement en fonction de la période de récolte. Le rendement en huile essentielle des fruits prématurés était supérieur à celle des fruits mûrs. Par contre, la teneur en linalool de l'huile essentielle de coriandre mûrie était supérieure à celle des fruits prématurés. Cette conclusion est également acquise par (Ali et al.,2019),(Telci et al.,2008) et (Diederichsen.,1996).

Bien que les fruits non mûrs contiennent une plus grande quantité d'huile essentielle, (Telci et al.,2006.b) ont suggérés que les plantes soient récoltées en pleine maturité afin d'obtenir une huile essentielle à haute teneur en linalool, cependant, selon ( Meena et al.,2013) la sur-maturation doit être évitée care elle conduit à la division des fruits entraînant une perte importante d'huile essentielle.

Les graines de coriandre sont récoltées à un stade où la moitié d'entre elles jaunissent. À ce stade, les graines ont une teneur maximale en huile volatile.(Meena et al.,2013)

### 3.2.1.2.1.2 Mode de stockage

L'effet des conditions de stockage sur la qualité et le rendement des huiles essentielles a été étudié par un certain nombre de chercheurs. L'étude de (Balasubramanian et al.,2016) suggèrent que la plante doit être séchée à environ 9% d'humidité car les herbes fraîches contiennent généralement de 75 à 85 % d'eau, et ces niveaux d'eau doivent être abaissés à moins de 15 % pour la conservation et le stockage (Diaz-Maroto et al., 2002).

Les feuilles peuvent également être groupées et stockées à 90% d'humidité, à une température inférieure à 5°C pendant 24–36 h. (Balasubramanian et al.,2015)

De plus, (Ghasemi et al., 2017) ont évalués les effets de différentes méthodes de séchage sur la qualité et la quantité d'huile essentielle de la tige et des feuilles de coriandre afin de déterminer la meilleure méthode de séchage. Sachant que le taux d'humidité initial des parties aériennes de la coriandre était de 86,27 %. Les rendements en HE sont montrés dans le tableau 3.10 ci-dessous :

**Tableau 3.10 : Comparaison du rendement en huile essentielle (ml/100 g de matière végétale sèche) selon les méthodes de séchage. (Ghasemi et al.,2017)**

| Méthode de séchage           | Rendement en HE (ml/100 g de matière végétale sèche) | Teneur en eau finale (%) | Temps de séchage (h) |
|------------------------------|--|--------------------------|----------------------|
| Lyophilisation               | 0,18   | 19,5                     | 36                   |
| à l'ombre                    | 0,13   | 17,5                     | 120                  |
| Échantillon frais            | 0,125  | 86,27                    | -                    |
| Par un four mécanique a 40°C | 0,085  | 16,5                     | 50                   |
| Solaire                      | 0,05   | 16,9                     | 52                   |
| Par un four mécanique à 60°C | 0,03   | 16                       | 40                   |
| Par micro-onde               | 500 W  | 0,02                     | 16,1                 |
|                              | 700 W  | 0,01                     | 15,9                 |
|                              |  |                          | 5 (min)              |
|                              |  |                          | 4 (min)              |

Les résultats montrent que le rendement le plus élevé en huile essentielle a été obtenu avec la méthode de lyophilisation (0,18 ml/100 g de matière sèche). Tandis que Le rendement le plus faible en huile essentielle a été obtenu à partir d'échantillons traitée par micro-ondes à 700 W (0,01 ml/100 g de matière sèche).

En général, (Ghasemi et al.,2017) ont conclu que l'augmentation de la température de séchage diminuait drastiquement le rendement en huile essentielle indiquant que les températures élevées maximisent les forces destructrices qui compromet la structure biologique des glandes sébacées de la coriandre.

### 3.2.1.2.1.3 Nature de la matière végétale

Plusieurs études ont été menées sur l'effet de l'extraction de l'huile essentielle de différentes parties de la même plante. Le tableau 3.11 ci-dessous donne les rendements en huile essentielle de coriandre obtenue par hydrodistillation pour une durée d'extraction fixée à 3 heures à partir de différentes parties de cette dernière.

**Tableau 3.11 : Effet de la nature et l'état de la matière végétale sur le rendement en HE de *Coriandrum sativum***

| Pays       | Régions          | Partie de la plante  | Rendement en HE% | Référence                 |
|------------|------------------|--|------------------|---------------------------|
| Algérie    | Djelfa           | tiges, fleurs et feuilles sèches                           | 0,23             | (Mansouri et al., 2018)   |
| Roumanie   | Secuieni         | Fruits secs  | 1,87 – 2,0       | (Tsagkli et al., 2012)    |
| Cuba       | -                | Graines sèches   | 0,66             | (Pino et al., 1996)       |
| Tunisie    | Menzel Temime    |  | 0,34             | (Msaada et al., 2012)     |
| Bangladesh | Chittagong       | Graines fraîches   | 0,42             | (Bhuiyan et al., 2009)    |
| Pakistan   | Faisalabad       |  | 1,1              | (Shahwar et al., 2012)    |
| Egypte     | Asuit            | Herbe sèche  | 0,27             | (Mohamed et al., 2018)    |
| Pologne    | <b>Lublin</b>    |  | 0,23             | (Nurzyńska-Wierdak, 2013) |
| Brésil     | <b>São Paulo</b> | feuilles   | 0,29             | (Freires et al., 2014)    |
| Iran       | <b>Fars</b>      | Parties aériennes sèches (tiges, fleurs, feuilles, fruits) | 0,37             | (Ramezani et al., 2009)   |

Les rendements en huiles essentielles de différents organes végétaux de coriandre variaient de 0,23% à 2% en termes de poids sec. Les fruits secs ont montrés le rendement le plus élevé (entre 1,87% et 2%) suivies des graines fraîches (1,1%). L'herbe et les parties aériennes sèches (tiges, fleurs et feuilles) ont donnés par contre le rendement le plus faible (0,23%). Par suite, les fruites ainsi que les graines de coriandre contiennent plus d'huile que les autres parties de la plante.

### 3.2.1.2.2 Paramètres opératoire

#### 3.2.1.2.2.1 Durée

La détermination d'un temps d'extraction optimal peut bénéficier à l'industrie des huiles essentielles en ce qui concerne les économies d'énergie et d'autres ressources. De plus, (Zheljazkov et al., 2014) suggère que le temps d'extraction peut servir d'outil supplémentaire pour modifier la composition d'huile essentielle de coriandre souhaitée.

Le tableau 3.12 aide à comparer les résultats publiés qui utilisaient différentes période de temps d'extraction de l'huile essentielle des graines de coriandre.

**Tableau 3.12 : Influence de la durée d'extraction par hydrodistillation sur le rendement en HE des graines de coriandre**

| Pays       | Régions       | Durée d'extraction | Rendement (%) | Références                  |
|------------|---------------|--------------------|---------------|-----------------------------|
| Algérie    | Sétif         | 9h                 | 0,05          | (Benyoussef et al., 1999)   |
| Tunisie    | Korba         | 4h                 | 0,28          | (Sriti eljazi et al., 2018) |
| Iran       | Mashhad       | 4h                 | 0,31          | (Ghazanfari et al., 2020)   |
| Inde       | Gorakhpur     | 6h                 | 2,2           | (Singh et al., 2006)        |
|            | -             | 8h                 | 0,18 – 0,39   | (Ravi et al., 2007)         |
|            | Kanpur        | 6h                 | 4,8           | (Bankar et al.,2011)        |
| Turque     | Tokat         | 4h                 | 0,37          | (Telci et al.,2006.a)       |
|            | Diyarbakir    | 4h                 | 0,43          | (Telci et al.,2006.a)       |
| Cuba       | -             | 3h                 | 0,66          | (Pino et al., 1996)         |
| Bangladesh | Chittagong    | 3h                 | 0,42          | (Bhuiyan et al., 2009)      |
| USA        | Winslow       | 4h                 | 0,259         | (Zheljazkov et al.,2014)    |
|            |               | 160min             | 0,358         |                             |
|            |               | 80min              | 0,338         |                             |
|            |               | 40min              | 0,330         |                             |
| Pologne    | Gostyn        | 2h                 | 1,69          | (Huzar et al. 2018)         |
|            |               | 90min              | 1,62          |                             |
|            |               | 1h                 | 1,56          |                             |
|            |               | 30min              | 1,38          |                             |
|            |               | 15min              | 1,2           |                             |
| Tunisie    | Menzel Temime | 3h                 | 0,34          | (Msaada et al.,2012)        |
| Pakistan   | Faisalabad    | 3h                 | 1,1           | (Shahwar et al.,2012)       |
|            |               |                    | 0,15          | (anwar et al.,2011)         |
| Egypte     | Asuit         | 3h                 | 0,31          | (Mohamed et al.,2018)       |

Les rendements maximaux (4,8% et 2,2%) en huile essentielle ont été atteints à un temps d'extraction de 6 heures d'après les études de (Bankar et al.,2011) et (Singh et al., 2006) respectivement avec des périodes de 3 heures, à 4 heures étant les temps d'extractions majoritairement utilisés.

Le tableau 3.13 donne les différents durées d'extraction de l'huile essentielle des feuilles de coriandre.

**Tableau 3.13 : Influence de la durée d'extraction par hydrodistillation sur le rendement en HE des feuilles de *Coriandrum sativum***

| Pays           | Régions   | Durée d'extraction | Rendement en HE (%) | References                 |
|----------------|-----------|--------------------|---------------------|----------------------------|
| <b>Brazil</b>  | São Paulo | 3h                 | 0,29                | (Freires et al.,2014)      |
| <b>Tunisia</b> | korba     | 90min              | 0,12                | (Neffati et Marzouk.,2008) |
| <b>Kenya</b>   | -         | 4h                 | 0,04                | (Matasyoh et al.,2009)     |

Le rendement maximal (0,29%) en huile essentielle a été recueilli à un temps d'extraction de 3 heures d'après les études de (Freires et al.,2014).

### 3.2.1.2.2 Méthode d'extraction

Selon la méthode d'extraction utilisée, la composition et le rendement de l'huile volatile peuvent changer. En générale, les méthodes traditionnelles, en particulier L'hydrodistillation et la distillation à la vapeur (SD) sont les méthodes plus utilisées pour isoler les huiles essentielles de coriandres. Le tableau 3.14 rassemble les rendements en huile essentielle de plusieurs études obtenus par différentes méthodes d'extractions des graines de coriandre.

**Tableau 3.14 : Influence du type d'extraction sur le rendement en HE des graines de *Coriandrum sativum***

| Pays    | Régions       | Méthode d'extraction | Durée d'extraction | Rendement en HE (%) | References                |
|---------|---------------|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------------|
| Iran    | Mashhad       | HD                   | 4h                 | 0,31                | (Ghazanfari et al., 2020) |
|         |               | MAHD                 | 70 min             | 0,325               |                           |
| Turquie | Anatolia      | SD                   | -                  | 0,260               | (Toncer et al.,1998)      |
| Tunisie | menzel temime | SD                   | 3h                 | 0,11                | (Msaada et al.,2012)      |
|         |               | HD                   | 3h                 | 0,34                |                           |

SD : distillation à la vapeur (steam distillation) ; MAHD : hydrodistillation assistée par micro-ondes (microwave assisted hydrodistillation)

L'hydrodistillation assistée par micro ondes a abouti approximativement aux mêmes valeurs de rendement que l'hydrodistillation simple (0,325% et 0,34%) pour des périodes de 70 minutes et 3 heures respectivement, ce qui nous permet de considérer la méthode MAHD comme étant la plus préférable entre les deux.



### 3.3 Nigella Sativa L. (Nigelle)

#### 3.3.1 Composition chimique

La composition chimique des huiles essentielles est principalement influencée par des facteurs environnementaux mais surtout par l'origine et la composition génétique de la plante. Les travaux de recherche sur l'huile essentielle de nigella sativa ont permis de découvrir plusieurs compositions à travers le monde. Ces études sont consignées dans les tableaux 3.15, 3.16 et 3.17.

**Tableau 3.15 : Composition chimique de l'huile essentielle de Nigelle de différentes régions en Algérie**

|    | Partie de la plante       | Algérie-Centre           | Algérie-Est              | Algérie-Ouest            |       |     |      |
|----|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------|-----|------|
|    |                           | Grains                   | Grains                   | Grains                   |       |     |      |
|    | Méthode d'extraction      | Extraction par solvant   | Extraction par solvant   | HD                       | MD    | HD  | MD   |
|    | Durée d'extraction (h)    | 3                        | 3                        | 2.5                      |       |     |      |
|    | Région                    | Médéa                    | Ouargla                  | Timimoune                | Adrar |     |      |
| No | Référence                 | Benkaci-Ali et al (2010) | Benkaci-Ali et al (2010) | Benkaci-Ali et al (2007) |       |     |      |
| 1  | $\alpha$ -Thujene         | 0.1                      | 0.1                      | 0.5                      | 6.5   | 0.7 | 4.1  |
| 2  | $\alpha$ -Pinene          |                          |                          | -                        | 2.1   | -   | -    |
| 3  | Camphene                  | 0.1                      | -                        | -                        | 0.1   | -   | tr   |
| 4  | 2,4(10)-Thujadiene        |                          |                          | 0.2                      | 0.1   | 0.1 | tr   |
| 5  | Benzaldehyde              |                          |                          | tr                       | tr    | Tr  | tr   |
| 6  | Sabinene                  | -                        | 0.2                      | 0.1                      | 5.3   | 0.4 | 1.2  |
| 7  | $\beta$ -Pinene           | -                        | -                        | -                        | -     | -   | 2.3  |
| 8  | Non identifié             | 4.0                      | 5.7                      | 0.1                      | -     | -   | -    |
| 9  | $\beta$ -Myrcene          |                          |                          | -                        | 0.1   | -   | tr   |
| 10 | $\alpha$ -Phellandrene    |                          |                          | 0.2                      | tr    | 0.1 | -    |
| 11 | $\alpha$ -Terpinene       | -                        | 0.1                      | 0.2                      | 0.1   | 0.1 | 0.4  |
| 12 | p-Cymene                  | 11.1                     | 15.4                     | 8.9                      | 28.1  | 7.2 | 32.0 |
| 13 | Limonene                  |                          |                          | -                        | 1.1   | -   | 0.4  |
| 14 | $\gamma$ -Terpinene       | 0.4                      | 0.5                      | 0.6                      | 2.9   | 0.4 | 1.2  |
| 15 | trans- $\beta$ -Terpineol |                          |                          | -                        | -     | -   | 0.1  |
| 16 | cis-Sabinene hydrate      |                          |                          | 0.5                      | 0.1   | 0.4 | -    |
| 17 | Terpinolene               | 0.8                      | -                        | -                        | 0.1   | 0.8 | -    |
| 18 | p-Cymenene                |                          |                          | -                        | 0.1   | -   | 0.2  |
| 19 | trans-Sabinene hydrate    |                          |                          | 1.0                      | 0.1   | -   | 0.2  |
| 20 | Linalool                  | -                        | -                        | 1.0                      | 0.3   | 1.2 | 0.3  |
| 21 | 1,3,8-p-Menthatriene      | -                        | -                        | 0.1                      | -     | -   | 0.3  |
| 22 | Non identifié             |                          |                          | 5.5                      | 10.5  | 5.9 | 2.2  |
| 23 | cis-Limonene oxide        |                          |                          | -                        | -     | 0.1 | -    |
| 24 | Dihydro-linalool          |                          |                          | -                        | tr    | -   | -    |
| 25 | Trans-Limonene oxide      |                          |                          | -                        | 0.3   | -   | -    |
| 26 | Camphor                   |                          |                          | 0.8                      | 0.1   | 0.6 | 0.1  |
| 27 | Geijerene                 |                          |                          | -                        | 0.1   | -   | -    |
| 28 | Karahanaenone             | 0.4                      | 0.4                      | 0.3                      | -     | 2.0 | -    |

|    |                                |      |      |      |      |      |      |
|----|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| 29 | $\beta$ -Pinene oxide          |      |      | 1.9  | 1.5  | -    | 1.2  |
| 30 | Umbellulone                    |      |      | 0.2  | -    | 0.3  | -    |
| 31 | 4-Terpineol                    | 0.9  | 1.1  | 0.6  | 3.4  | 8.9  | 2.0  |
| 32 | cis-Pinocarveol                |      |      | 0.1  | -    | -    | -    |
| 33 | p-Cymen-8-ol                   | 0.1  | 0.4  | 2.7  | 0.3  | 2.1  | 0.1  |
| 34 | $\alpha$ -Terpineol            |      |      | 0.8  | 0.1  | -    | -    |
| 35 | cis-Piperitol                  |      |      | -    | -    | 0.2  | -    |
| 36 | Myrtenol                       | -    | -    | 0.3  | -    | 3.1  | 3.3  |
| 37 | Methyl chavicol                |      |      | 0.3  | 0.2  | -    | -    |
| 38 | trans-Dihydrocarvone           | 0.7  | 0.8  | 2.7  | 3.2  | -    | -    |
| 39 | trans-Piperitol                |      |      | 0.1  | -    | -    | 0.3  |
| 40 | iso-Dihydro carveol            |      |      | 0.1  | -    | -    | -    |
| 41 | trans-Carveol                  |      |      | 0.7  | 0.1  | -    | -    |
| 42 | cis-Carveol                    |      |      | 0.4  | -    | -    | -    |
| 43 | Cuminaldehyde                  | -    | -    | 2.9  | 0.1  | -    | -    |
| 44 | Carvone                        | 1.0  | 0.1  | 4.4  | 1.4  | 0.3  | 0.1  |
| 45 | Thymoquinone                   | 15.2 | 17.9 | 1.6  | 10.8 | 21.8 | 24.6 |
| 46 | trans-Sabinene hydrate acetate | -    | -    | 0.2  | 0.4  | -    | -    |
| 47 | (E)-Cinnamaldehyde             |      |      | 0.3  | Tr   | 0.1  | -    |
| 48 | Geranial                       |      |      | -    | 0.1  | -    | 0.1  |
| 49 | (E)-Anethole                   | 0.5  | -    | -    | 0.9  | 0.7  | -    |
| 50 | Bornyl acetate                 | -    | 0.2  | 0.2  | 0.9  | -    | 0.3  |
| 51 | p-Cymen-7-ol                   | 0.5  | 0.2  | 2.7  | 0.7  | 0.1  | -    |
| 52 | Thymol                         | -    | 0.2  | 1.5  | 0.3  | 0.7  | 0.3  |
| 53 | 2-Undecanone                   | -    | -    | -    | -    | 0.1  | 0.1  |
| 54 | Carvacrol                      |      |      | 12.9 | 3.0  | 12.9 | 6.0  |
| 55 | (E,E)-2,4-Decadienal           | 0.4  | 0.1  | -    | -    | 0.1  | -    |
| 56 | Methyl geranate                |      |      | 0.1  | 0.1  | -    | -    |
| 57 | $\alpha$ -Longipinene          |      |      | 0.2  | 0.8  | 0.7  | 2.2  |
| 58 | Eugenol                        | -    | -    | 0.5  | tr   | 0.1  | -    |
| 59 | $\gamma$ -Nonalactone          | -    | -    | 0.2  | -    | -    | -    |
| 60 | cis-Carvyl acetate             |      |      | 0.3  | -    | -    | -    |
| 61 | Neryl acetate                  |      |      | -    | -    | tr   | 0.1  |
| 62 | Longicyclene                   |      |      | -    | 0.1  | -    | 0.1  |
| 63 | Copaene                        |      |      | -    | 0.2  | -    | tr   |
| 64 | n-Decanoic acid                |      |      | 0.1  | -    | tr   | -    |
| 65 | iso-Longifolene                |      |      | 0.1  | -    | -    | -    |
| 66 | $\beta$ -Elemene               |      |      | -    | 0.1  | -    | -    |
| 67 | Dodecenal                      |      |      | -    | -    | -    | 0.1  |
| 68 | Methyl eugenol                 |      |      | 1.0  | -    | tr   | -    |
| 69 | Longifolene                    | 1.8  | 5.9  | tr   | 3.2  | 1.8  | 6.0  |
| 70 | (Z)-Caryophyllene              |      |      | 0.1  | -    | -    | -    |
| 71 | Dodecanal                      |      |      | tr   | 0.1  | tr   | 0.1  |
| 72 | (E)-Caryophyllene              |      |      | -    | 0.6  | 0.1  | 0.2  |

|     |                                  |     |     |      |      |      |     |
|-----|----------------------------------|-----|-----|------|------|------|-----|
| 75  | Coumarin                         |     |     | 0.1  | -    | -    | -   |
| 76  | $\gamma$ -Elemene                |     |     | -    | -    | 0.1  | -   |
| 79  | Geranyl acetone                  |     |     | 0.1  | -    | -    | -   |
| 80  | $\alpha$ -Humulene               |     |     | 0.1  | tr   | -    | tr  |
| 82  | $\gamma$ -Himachalene            |     |     | -    | 0.1  | -    |     |
| 83  | 9-epi-(E)-Caryophyllene          |     |     | 0.1  | -    | -    |     |
| 84  | 6-Methyl- $\gamma$ -(E)-ionone   |     |     | 0.3  | 0.3  | 0.4  | 0.3 |
| 85  | ar-Curcumene                     |     |     | 0.1  | 0.3  | -    | -   |
| 86  | $\alpha$ -Zingiberene            |     |     | 0.2  | -    | -    | -   |
| 87  | 2-Tridecanone                    |     |     | 0.2  | 0.3  | 0.2  | 0.3 |
| 88  | $\beta$ -Bisabolene              |     |     | 0.1  | 0.1  | -    | 0.2 |
| 89  | 6-Methyl- $\alpha$ -(E)-ionone   |     |     | 0.1  | 0.1  | 0.2  | 0.1 |
| 90  | $\delta$ -Cadinene               | -   | 0.1 | 0.1  | 0.2  | 0.1  | 0.2 |
| 91  | Citronellyl n-butyrate           |     |     | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.2 |
| 92  | Thymohydroquinone                |     |     | 6.1  | 0.7  | 12.2 | 1.1 |
| 93  | (Z)-Isoeugenol acetate           |     |     | -    | -    | 0.2  | -   |
| 94  | Dodecanoic acid                  |     |     | 0.4  | -    | -    | -   |
| 95  | Non identifié                    |     |     | -    | 0.3  | 0.2  | 0.3 |
| 96  | Tetradecanal                     |     |     | 0.1  | 0.2  | 0.1  | 0.2 |
| 98  | Tridecanoic acid                 |     |     | 0.1  | -    | -    | -   |
| 99  | $\beta$ -Bisabolol               |     |     | -    | -    | 0.3  | -   |
| 100 | 5-Neo-cedranol                   |     |     | 0.2  | 0.1  | -    | 0.3 |
| 101 | $\alpha$ -Bisabolol              |     |     | tr   | -    | 0.2  | -   |
| 102 | iso-Longifolol                   |     |     | 0.5  | -    | 0.2  | 1.1 |
| 103 | Tetradecanoic acid               | 1.7 | 0.2 | 0.7  | -    | 0.1  | 0.1 |
| 104 | Non Identifié                    |     |     | -    | 0.1  | 0.1  | 0.1 |
| 105 | (Z,E)-Farnesyl acetate           | -   | -   | 0.2  | -    | -    | -   |
| 106 | Isopropyl myristate              | 0.2 | 0.1 | 0.4  | -    | 0.1  | -   |
| 107 | (E,E)-Farnesyl acetate           |     |     | 0.2  | -    | -    | -   |
| 108 | Pentadecanoic acid               |     |     | 1.6  | -    | tr   | -   |
| 109 | Pimaradiene                      | 0.2 | -   | 0.5  | 0.3  | 0.1  | 0.3 |
| 110 | (E)-9-Octadecenoic acid          |     |     | 1.8  | -    | -    | -   |
| 111 | n-Hexadecanoic acid              |     |     | 11.5 | 2.9  | 2.5  | 1.3 |
| 112 | Butyric acid hexadecyl ester     |     |     | -    | 0.1  | -    | 0.1 |
| 113 | Methyl linoleate                 |     |     | 0.3  | 0.8  | 0.5  | -   |
| 114 | Oleic acid                       |     |     | 3.8  | -    | 6.3  | 0.5 |
| 115 | Linoleic acid                    |     |     | 7.9  | 1.0  | -    | 0.9 |
| 116 | Stearic acid                     |     |     | 0.2  | -    | -    | -   |
|     | <b>Total composés identifiés</b> |     |     | 81   | 69,9 | 55   | 56  |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

**Tableau 3.16 : Composition chimique de l'huile essentielle de nigelle de différents pays**

|     | Pays                     | Inde                         |                     |                         | Maroc                |                       | Pologne            | Bangladesh          |                   | Tunisie               | Iran                |                 |
|-----|--------------------------|------------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|-----------------|
|     | Partie de la plante      | Graines                      |                     |                         | graines              |                       | Graines            | Graines             |                   | Graines               | Graines             |                 |
|     | Méthode d'extraction     | HD                           | -                   | HD                      | HD                   | SDE                   | HD                 |                     | MAE               | HD                    | MAE                 | HD              |
|     | Durée d'extraction (min) | 6h                           | -                   | 2h                      | 4h                   | 3h                    | 4h                 |                     | 10 min            | 90 min                | 30 min              | 3h              |
| No. | Référence                | (Venkatachalam et al., 2010) | (Kabir et al.,2020) | (Kalidasu et al., 2017) | (Rchid et al., 2004) | (Moretti et al.,2004) | (Wajs et al. 2008) | (Kabir et al.,2020) | (Liu et al.,2013) | (Bourgou et al.,2010) | (Abedi et al.,2017) | (Kazemi .,2015) |
| 1   | $\alpha$ -Thujene        |                              | 13,93               | 5,09                    | 8,9                  | 3,3 $\pm$ 3,2         | 7,2                | 12,40               | 3,88              | 6,9                   | 7,89                | 6               |
| 2   | $\alpha$ -Pinene         |                              |                     | 1,0                     | 1,9                  | 0,7 $\pm$ 0,7         | 2,0                |                     | 0,84              | 1,7                   | 1,66                | 1,11            |
| 3   | Sabinene                 |                              | 1,50                | 0,44                    | 0,6                  | 0,5 $\pm$ 0,5         | 0,8                | 1,18                | 0,71              | 0,9                   | 1,14                | 1               |
| 4   | $\beta$ -Pinene          | 0,40                         | 2,96                | 1,31                    | 2,1                  | 1,1 $\pm$ 1,0         | 2,1                | 2,41                | 1,36              | 2,4                   | 2,27                | 7               |
| 5   | $\alpha$ -Terpinene      |                              | 0,15                | 5,23                    |                      | 0,6 $\pm$ 0,5         | tr                 | 0,22                | 0,20              | 1,0                   | 0,70                |                 |
| 6   | <i>p</i> -Cymene         |                              | 41,80               | 27,80                   | 47,4                 | 33,8 $\pm$ 12,7       | 60,2               | 36,35               | 28,61             | 60,5                  | 41,99               | 22,05           |
| 7   | Limonene                 | 1,03                         |                     |                         | 1,5                  | 1,1 $\pm$ 0,9         | 1,3                |                     | 1,58              | 1,4                   |                     | 0,13            |
| 8   | 1,8-Cineole              | 0,98                         |                     |                         |                      |                       |                    |                     |                   | 0,1                   | 0,05                |                 |
| 9   | $\gamma$ -Terpinene      | 12,87                        | 0,69                |                         | 1,1                  | 2,4 $\pm$ 2,3         | 12,9               | 0,28                | 0,35              | 3,5                   | 4,28                | 5,12            |
| 10  | Terpinolene              | tr                           | 0,04                | 0,56                    |                      |                       | 0,6                | 0,05                |                   |                       | 7,03                | 0,23            |
| 11  | Linalool                 |                              | 0,09                |                         |                      |                       |                    | 0,03                |                   |                       | 1,27                |                 |
| 12  | Camphor                  |                              |                     |                         |                      |                       | 0,1                |                     |                   |                       | 0,03                | 1               |
| 13  | Borneol                  | 1,02                         |                     |                         |                      |                       | tr                 |                     |                   |                       |                     | 0,43            |
| 14  | Terpinen-4-ol            |                              | 1,22                | 0,21                    | 0,4                  |                       | 0,9                | 0,65                | 0,78              | 2,1                   | 0,57                |                 |
| 15  | <i>p</i> -Cymen-8-ol     |                              | 0,53                |                         |                      |                       |                    | 0,14                |                   | 0,2                   | 0,05                |                 |
| 16  | $\alpha$ -Terpineol      |                              | 0,14                |                         |                      |                       | tr                 |                     |                   |                       |                     |                 |
| 17  | Uvidine                  |                              |                     |                         |                      |                       |                    |                     |                   |                       |                     |                 |
| 18  | Nonane                   |                              |                     |                         |                      |                       |                    |                     |                   |                       | 0,02                |                 |
| 19  | o-cymene                 |                              |                     |                         |                      | 3,3 $\pm$ 4,2         |                    |                     |                   |                       |                     |                 |
| 20  | thymoquinone             | 38,41                        | 10,27               | 28,70                   | 20,8                 | 3,8 $\pm$ 1,1         | tr                 | 29,77               | 38,23             | 3,0                   | 20,41               | 20,32           |
| 21  | Carvone                  |                              | 0,28                |                         |                      |                       | 0,2                | 0,09                | 0,10              |                       |                     | 0,32            |
| 22  | $\alpha$ -Phellandrene   |                              |                     |                         |                      |                       | 0,2                |                     |                   |                       | 0,02                | 0,45            |
| 23  | Dihydrocarvone           |                              |                     | 0,58                    |                      |                       |                    |                     |                   |                       |                     |                 |
| 24  | E-dihydrocarvone         |                              |                     |                         |                      |                       | 0,7                |                     |                   |                       |                     |                 |
| 25  | Thymol                   | 16,95                        | 0,09                |                         |                      | 26,8 $\pm$ 14,0       | tr                 | 0,07                |                   |                       |                     | 10,12           |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|    |                          |      |      |      |     |               |     |      |      |     |      |    |
|----|--------------------------|------|------|------|-----|---------------|-----|------|------|-----|------|----|
| 26 | Aromadendrene            | 1,04 |      |      |     |               |     |      |      |     |      |    |
| 27 | $\beta$ -Cyclocitral     |      |      |      |     |               |     |      | 1,31 |     | 1,18 |    |
| 28 | Carvacrol                | 0,81 | 3,65 | 2,44 | 4,3 |               | 3,0 | 2,85 | 2,31 | 2,4 | 2,36 | 10 |
| 29 | Decane                   |      |      |      |     |               |     |      |      |     | 0,80 |    |
| 30 | Thymohydroquinone        | 2,31 |      | 2,40 |     |               | tr  |      |      | 0,4 |      |    |
| 31 | $\beta$ -Caryophyllene   | 4,80 | 0,12 |      |     |               |     | 0,06 |      |     |      |    |
| 32 | Camphene                 | 1,64 |      |      | 0,3 |               | tr  |      |      |     | 0,04 | 11 |
| 33 | Myrcene                  |      |      |      |     | 0,3 $\pm$ 0,5 |     |      |      | 0,1 |      |    |
| 34 | (Z)- $\beta$ -Ocimene    |      |      |      |     |               | tr  |      |      |     |      |    |
| 35 | (E)- $\beta$ -Ocimene    |      |      |      |     |               | tr  |      |      |     |      |    |
| 36 | bornyl acetate           |      | 0,24 |      |     |               | 0,1 | 0,15 | 0,21 |     |      |    |
| 37 | 3-thujen-2-one           |      | 0,06 |      |     |               |     | 0,02 |      |     |      |    |
| 38 | 1-Methyl-3-propylbenzene |      |      |      |     |               |     |      |      |     |      |    |
| 39 | $\beta$ -Thujone         |      |      |      |     |               | tr  |      |      |     |      |    |
| 40 | Terpineol                | 0,11 |      |      |     |               |     |      |      |     |      |    |
| 41 | trans-sabinene hydrate   |      |      |      |     | 1,0 $\pm$ 0,4 |     |      |      |     |      |    |
| 42 | Cis-sabinene hydrate     | tr   |      |      |     |               |     |      |      |     |      |    |
| 43 | beta-Elemene             |      |      |      |     | 5,5 $\pm$ 4,5 |     |      |      |     |      |    |
| 44 | cuminaldehyde            |      | 0,50 |      |     |               |     |      |      |     |      |    |
| 45 | Fenchone                 |      |      |      |     |               |     |      |      |     |      |    |
| 46 | Piperitenone             |      | 0,06 |      |     |               |     |      |      |     |      |    |
| 47 | Acetic acid              |      | 0,50 |      |     |               |     | 0,03 |      |     |      |    |
| 48 | 1,2-epoxy-p-menth-8-ene  |      | 0,17 |      |     |               |     | 0,03 |      |     |      |    |
| 49 | Bicycloheptan-3-ol       |      |      |      |     |               |     |      |      |     | 0,10 |    |
| 50 | $\alpha$ -Longipinene    |      | 0,20 |      |     |               | 0,1 | 0,14 | 1,32 |     | 1,21 |    |
| 51 | 3-Methyl-nonane          |      |      |      |     |               |     |      |      |     |      |    |
| 52 | Thujol                   |      | 0,22 |      |     |               |     | 0,08 |      |     |      |    |
| 53 | Cuminol( p-cymen-7-ol)   |      | 0,38 |      |     |               |     |      |      |     |      |    |
| 54 | Nonanoic acid            |      |      |      |     |               |     | 0,10 |      |     |      |    |
| 55 | $\beta$ -Bisabolene      |      |      |      |     |               | tr  |      |      |     | 0,03 |    |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|    |   |      |      |       |  |           |     |      |      |     |      |      |
|----|---|------|------|-------|--|-----------|-----|------|------|-----|------|------|
| 56 | Thymohydroquinone methyl ether            | tr   |      |       |  |           |     |      |      |     |      |      |
| 57 | Citronellyl acetate                       | 0,50 |      |       |  |           |     |      |      |     |      |      |
| 58 | Bisabolene                                |      |      |       |  |           |     |      | tr   |     |      |      |
| 59 | Longifolene                               | 0,51 | 0,61 | 3,24  |  | 3,1 ± 1,2 | tr  | 0,91 | 5,33 | 0,9 | 4,34 |      |
| 60 | n- Tetradecane                            |      |      |       |  |           |     |      |      |     |      |      |
| 61 | Longipinene                               |      |      | 0,61  |  |           |     |      |      |     |      |      |
| 62 | citronellyl n-butyrate                    |      |      | 0,88  |  |           |     |      |      |     |      |      |
| 63 | n - Hexadecane                            |      |      |       |  |           |     |      |      |     |      |      |
| 64 | Caryophyllene                             |      |      |       |  |           |     |      |      |     | 0,02 |      |
| 65 | Anisaldehyde                              |      |      |       |  |           |     |      |      |     |      |      |
| 66 | β - Myrcene                               |      |      |       |  |           | 0,4 |      |      |     |      | 0,21 |
| 67 | D-Limonene                                |      | 2,11 |       |  |           |     | 1,64 |      |     |      |      |
| 68 | Estragole                                 |      |      |       |  |           |     |      |      |     |      |      |
| 69 | (E) - Anethole                            |      | 0,14 |       |  |           |     |      |      |     |      |      |
| 70 | Nerol                                     |      |      |       |  |           |     |      |      |     |      |      |
| 71 | 1-Ethyl-2,3-dimethylbenzene               |      |      |       |  |           |     |      |      |     |      |      |
| 72 | eremophilene                              |      |      |       |  |           |     |      | 0,18 |     |      |      |
| 73 | alpha-Cubebene                            |      |      |       |  |           |     |      |      |     |      |      |
| 74 | vanillin                                  |      | 0,10 |       |  |           |     | 0,43 |      |     |      |      |
| 75 | cis-11,14-Eicosadienoic acid methyl ester |      |      | 0,81  |  |           |     |      |      |     |      |      |
| 76 | β -Selinene                               |      |      |       |  | 0,4 ± 0,5 | 0,1 |      |      |     |      |      |
| 77 | α -Selinene                               |      |      |       |  | 2,2 ± 3,3 |     |      |      |     |      |      |
| 78 | 2(1H)-Naphthalenone,                      |      |      |       |  |           |     |      |      |     |      |      |
| 79 | 2-Tridecanone                             |      | 0,23 |       |  |           | 0,1 | 0,15 | 0,12 |     | 0,04 |      |
| 80 | Cis -4-Methoxythujane                     |      |      | 0,44  |  |           |     |      |      |     |      |      |
| 81 | 9-Undecenal, 2,10-dimethyl-               |      |      | 11,54 |  |           |     |      |      |     |      |      |
| 82 | trans-4-Methoxythujane                    |      |      | 3,62  |  |           | 4,0 |      |      |     |      |      |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|     |   |       |      |      |  |           |      |      |      |  |      |     |
|-----|---|-------|------|------|--|-----------|------|------|------|--|------|-----|
| 83  | trans-Verbenol                                      |       |      |      |  |           | 0,3  |      |      |  |      |     |
| 84  | Decanoic acid                                       |       | 0,10 |      |  |           |      | 0,04 |      |  |      |     |
| 85  | Epizonarene   |       |      |      |  |           |      |      | 0,12 |  |      |     |
| 86  | iso-3-thujanol                                      |       |      |      |  | 7,4 ± 2,9 |      |      |      |  |      |     |
| 87  | Allo-isolongifolene                                 |       |      |      |  |           | tr   |      |      |  |      |     |
| 88  | Methyl linolelaidate                                |       |      |      |  |           |      |      |      |  |      |     |
| 89  | myristicin  |       |      |      |  |           | tr   |      |      |  |      |     |
| 90  | gamma-Cadinene                                      |       |      |      |  |           | 0,1  |      |      |  |      |     |
| 91  | Triphenylamine                                      |       |      |      |  |           |      |      | tr   |  |      |     |
| 92  | 2,6,11,15-Tetramethyl-hexadeca-2,6,8,10,14-pentaene |       |      | 0,47 |  |           |      |      |      |  |      |     |
| 93  | 2-Undecanone  | 13,72 |      |      |  |           |      |      |      |  |      |     |
| 94  | methyl linoleate                                    |       | 4,02 |      |  |           |      | 1,33 |      |  |      |     |
| 95  | 7-epi-alpha-Selinene                                |       |      |      |  | 0,3 ± 0,5 |      |      |      |  |      |     |
| 96  | apiole  |       |      |      |  |           | 0,1  |      |      |  |      |     |
| 97  | cis-Chrysanthenyl acetate                           |       |      |      |  |           | 0,1  |      |      |  |      |     |
| 98  | p-mentha-1,3,5,8-tetraene                           |       | 0,13 |      |  |           |      | 0,03 |      |  |      |     |
| 99  | methyl hexadecanoate                                |       | 0,48 |      |  |           |      | 0,08 |      |  |      |     |
| 100 | Longicyclene  |       |      |      |  |           | 0,4  |      |      |  |      | 0,9 |
| 101 | cyclosativene                                       | 1,43  |      |      |  |           | tr   |      |      |  |      |     |
| 102 | Diisooctyl phthalate                                |       |      |      |  |           |      |      | 0,40 |  |      |     |
| 103 | cis-Thujan-4-ol                                     |       |      |      |  |           | tr   |      |      |  |      |     |
| 104 | Trans -Thujan-4-ol                                  |       |      |      |  |           | 0,55 |      |      |  |      |     |
| 105 | Trans-2-Caren-4-ol                                  |       |      |      |  |           |      |      |      |  | 0,30 |     |
| 106 | alpha-Copaene                                       | 0,41  |      |      |  |           | tr   |      | 0,04 |  |      |     |
| 107 | 2,4-Octadienal, (E,E)-                              |       |      | 0,15 |  |           |      |      |      |  |      |     |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|       |  |       |       |       |      |  |      |       |       |      |       |       |
|-------|--|-------|-------|-------|------|--|------|-------|-------|------|-------|-------|
| 108   | 2-Phenyldodecane                             |       |       |       |      |  |      |       |       |      | 0,06  |       |
| 109   | 4-Tridecene                                  |       |       | 0,92  |      |  |      |       |       |      |       |       |
| 110   | Diphenyl-2-pyridylmethane                    |       |       |       |      |  |      |       | 0,17  |      |       |       |
| 111   | Biformene                                    |       |       |       |      |  |      |       | tr    |      | 0,10  |       |
| 112   | Octyl isobutyrate                            | 0,12  |       |       |      |  |      |       |       |      |       |       |
| 113   | 2-methyl hexanoic acid                       |       |       | 0,16  |      |  |      |       |       |      |       |       |
| 114   | Dibutyl phthalate                            |       |       |       |      |  |      |       | 0,27  |      |       |       |
| 115   | 8-Heptadecene                                | 0,86  |       |       |      |  |      |       |       |      |       |       |
| 116   | Pentadecan-2-one                             |       |       |       |      |  | tr   | 0,16  |       |      |       |       |
| 117   | 2,3-epoxy-gerianial                          |       |       | 0,45  |      |  |      |       |       |      |       |       |
| 118   | $\alpha$ -Ylangene                           |       |       |       |      |  |      |       |       |      | 0,03  |       |
| 119   | 4,5-epoxy-1-isopropyl-4-methyl-1-cyclohexene |       | 1,80  |       |      |  |      | 0,95  |       |      |       |       |
| 120   | 4-Isopropyl-6-methoxy-1-methyl-1-cyclohexene |       |       |       |      |  |      |       | 5,74  |      |       |       |
| 121   | 1,4-Dimethyl-3-cyclohexenyl methyl ketone    |       |       |       |      |  |      |       | 0,58  |      |       |       |
| 122   | 4-Methoxy-2,3,6-trimethylphenol              |       |       |       |      |  |      |       | 0,17  |      |       |       |
| 123   | (E,Z)-2,4-Decadienal                         |       |       | 0,14  |      |  |      |       |       |      |       |       |
| 124   | Acetamide, N-(2-hydroxy-3-pentenyl)-         |       |       | 0,22  |      |  |      |       |       |      |       |       |
| 125   | Nonyl allyl oxalate                          |       |       | 0,24  |      |  |      |       |       |      |       |       |
| Total |  | 99,92 | 89,51 | 99,65 | 89,3 |  | 98,7 | 92,82 | 94,91 | 87,5 | 90,11 | 98,39 |

HD : hydrodistillation (hydrodistillation) ; MAE : extraction assistée par micro ondes (microwave assisted extraction) ; SDE : distillation et extraction simultanées (simultaneous distillation and extraction) .



### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

**Tableau 3.17 : Composition chimique de l'huile essentielle de nigelle de différents pays (suite)**

|     | Pays                     | Ethiopie            | Turquie             |      |       |     |                        | Syrie                     | Egypte               |                 | Autriche                 | Malaisie                 | Tunisie                          |
|-----|--------------------------|---------------------|---------------------|------|-------|-----|------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|
|     | Partie de la plante      | Graines             | Graines             |      |       |     |                        | Graines                   | Graines              |                 | Graines                  | Graines                  | Graines                          |
|     | Méthode d'extraction     | HD                  | HD                  | SD   | SE-SD | SD  | Cold press /HD         | HD                        | -                    | SD              | SD                       | Cold press               | -                                |
|     | Durée d'extraction (min) | 2.5 h               | 2h                  | 2h   |       |     | 2,5 h                  | 2,5 h                     | 2,5 h                | 2,5 h           | -                        |                          | 3h                               |
| No. | Référence                | (Tahir et al.,2022) | Kokoska et al.,2008 |      |       |     | (Erdoğan et al., 2020) | (Al Turkmani et al. 2015) | (Edris et al. ,2017) |                 | (Burits and Bucar, 2000) | Khairullah et al., 2016) | (Hamrouni-Sellami et al., 2008;) |
| 1   | 2- Heptanal              |                     |                     |      |       |     |                        |                           |                      |                 | 0 – 0,12                 |                          |                                  |
| 2   | $\alpha$ -Thujene        |                     | 15,1                | 17,5 | 4,1   | 0,3 | 6,50                   | 5,3 – 18,2                | 17,35 $\pm$ 0,3      | 8,02 $\pm$ 0,8  |                          |                          | 7,2 $\pm$ 0,04                   |
| 3   | $\alpha$ -Pinene         | 0,84                | 3,3                 | 3,8  | 0,9   | tr  | 1,50                   | 1,3 – 4,4                 | 3,72 $\pm$ 0,09      | 1,34 $\pm$ 0,4  | 0,30 – 2,00              | 7,10                     | 1,4 $\pm$ 0,03                   |
| 4   | Sabinene                 | 0,58                | 2                   | 1,9  | 0,9   | Tr  |                        | 0 – 2,2                   | 1,67 $\pm$ 0,02      | 0,94 $\pm$ 0,2  | 0,09 – 1,20              |                          | 0,7 $\pm$ 0,03                   |
| 5   | $\beta$ -Pinene          | 1,91                | 4                   | 4,2  | 1,8   | tr  | 1,94                   | 1,8 – 4,5                 | 3,69 $\pm$ 0,08      | 1,93 $\pm$ 0,4  | 0,10 – 1,80              |                          | 1,8 $\pm$ 0,03                   |
| 6   | $\alpha$ -Terpinene      |                     | 0,7                 | 0,6  | 0,3   | tr  |                        |                           | 0,45 $\pm$ 0,02      | 0,23            | 0,01 – 0,12              |                          |                                  |
| 7   | $p$ -Cymene              |                     | 56,2                | 52   | 42,4  | 8,6 | 29,45                  | 34,1 – 39,9               | 41,47 $\pm$ 0,8      | 37,4 $\pm$ 2,6  | 11,0 – 15,53             |                          | 53,1 $\pm$ 0,07                  |
| 8   | Limonene                 |                     | 2,9                 | 2,9  | 2,1   |     | 1,61                   |                           | 2,15 $\pm$ 0,07      | 1,66 $\pm$ 0,1  | 0,29 – 3,30              | 0,41                     | 0,1 $\pm$ 0,01                   |
| 9   | 1,8-Cineole              |                     |                     |      |       |     | 0,05                   |                           |                      | 0,08 $\pm$ 0,2  | 0,02 – 0,12              |                          | 1,9 $\pm$ 0,03                   |
| 10  | $\gamma$ -Terpinene      |                     | 1,2                 | 0,7  | 1     | tr  | 0,20                   | 0 – 1,6                   | 2,44 $\pm$ 0,1       | 1,83 $\pm$ 0,06 | 0,02 – 1,10              | 2,82                     | 1,2 $\pm$ 0,02                   |
| 11  | Linalyl acetate          |                     | tr                  | tr   | Tr    | tr  |                        |                           |                      |                 |                          |                          |                                  |
| 12  | Terpinolene              |                     |                     |      |       |     | 0,11                   |                           |                      |                 | 0,01 – 0,05              |                          | 0,1 $\pm$ 0,01                   |
| 13  | Linalool                 |                     | tr                  | tr   | tr    | 0,1 |                        |                           |                      |                 | 0,13 – 0,38              |                          | 0,1 $\pm$ 0,02                   |
| 14  | $m$ -Cymene              | 36,76               |                     |      |       |     |                        |                           |                      |                 |                          |                          |                                  |
| 15  | Camphor                  |                     |                     | tr   |       |     |                        |                           |                      |                 | 0,05 – 0,10              |                          |                                  |
| 16  | Borneol                  |                     |                     |      |       |     |                        |                           |                      |                 | 0 – 0,47                 |                          |                                  |
| 17  | Terpinen-4-ol            | 5,17                | 0,9                 | 0,6  | 0,8   | 1,4 | 0,82                   | 0 – 1,7                   | 0,91 $\pm$ 0,1       | 1,64            | 1,98 – 6,59              |                          | 0,4 $\pm$ 0,01                   |
| 18  | $p$ -Cymen-8-ol          |                     |                     |      | 0,2   |     |                        |                           |                      |                 | 0 – 0,78                 |                          |                                  |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|    |                           |       |     |     |      |      |       |             |                 |                |                 |             |                |
|----|---------------------------|-------|-----|-----|------|------|-------|-------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------|----------------|
| 19 | isoterpinolene            |       |     |     |      | tr   |       |             |                 |                |                 |             |                |
| 20 | $\beta$ - Phellandrene    |       |     |     |      |      | 0,97  |             |                 |                |                 | 0,01 – 0,08 |                |
| 21 | $\alpha$ -Terpineol       |       |     |     |      |      |       |             |                 |                |                 |             | 0,1 $\pm$ 0,01 |
| 22 | Cedrene                   | 1,50  |     |     |      |      |       |             |                 |                |                 |             |                |
| 23 | Terpinen-1-ol             |       |     |     |      |      |       |             |                 |                |                 |             |                |
| 24 | epi- $\alpha$ - bisabolol | 0,27  |     |     |      |      |       |             |                 |                |                 |             |                |
| 25 | gamma- Gurjunene          | 0,15  |     |     |      |      |       |             |                 |                |                 |             |                |
| 26 | thymoquinone              | 18,70 | 0,5 | 4,3 | 30,7 | 76,7 | 45,78 | 17,2 – 25,9 | 10,2 $\pm$ 0,96 | 23,7 $\pm$ 4,6 | 27,8 – 57,0     | 16,21       |                |
| 27 | $\alpha$ -Himachalene     | 0,08  |     |     |      |      |       |             |                 |                |                 |             |                |
| 28 | Carvone                   |       | 1,1 | 1   | 1,3  | 0,8  |       |             |                 |                |                 | 0 – 1,05    |                |
| 29 | Ascorbic acid             |       |     |     |      |      |       |             |                 |                |                 | 2,15        |                |
| 30 | $\alpha$ -Phellandrene    | 3,91  | tr  | tr  |      |      |       |             |                 |                |                 |             | 0,1 $\pm$ 0,02 |
| 31 | Dihydrocarvone            |       |     |     |      |      |       |             |                 |                |                 |             |                |
| 32 | Thujone                   |       |     |     |      |      |       |             |                 |                |                 | 0,03 – 0,20 |                |
| 33 | Thymol                    |       |     | tr  |      | tr   |       |             |                 |                |                 | 0,09 – 0,24 | 1,8 $\pm$ 0,02 |
| 34 | Aromadendrene             | 0,09  |     |     |      |      |       |             |                 |                |                 |             |                |
| 35 | $\beta$ -Cyclocitral      |       |     |     | 0,4  |      | 1,07  |             |                 |                |                 |             |                |
| 36 | Carvacrol                 |       | 0,8 | 0,6 | 1    | 2,5  | 0,44  |             | 1,25 $\pm$ 0,2  | 3 $\pm$ 0,8    | 5,80 – 11,6     | 3,90        |                |
| 37 | Decane                    |       |     |     | 0,3  |      |       |             |                 |                |                 |             |                |
| 38 | Thymohydroquinone         |       | tr  |     | tr   |      |       |             |                 |                | 2,80 $\pm$ 0,06 |             |                |
| 39 | $\beta$ - Caryophyllene   |       | 0,1 | 0,4 |      | 0,3  |       |             |                 |                |                 |             |                |
| 40 | Cis – carveol             | 12,86 |     |     |      |      |       |             |                 |                |                 |             |                |
| 41 | Dehydrothymoquinone       |       |     |     |      |      |       |             |                 |                | 1,95 $\pm$ 0,6  |             |                |
| 42 | alpha-Terpinyl acetate    |       |     |     |      |      | 0,07  |             |                 |                |                 |             |                |
| 43 | Camphene                  |       |     |     |      |      |       |             |                 |                |                 | 0,01 – 0,05 |                |
| 44 | Myrcene                   |       |     |     |      |      |       |             |                 |                |                 |             | 2,1 $\pm$ 0,04 |
| 45 | 2,5-bornanediol           | 0,13  |     |     |      |      |       |             |                 |                |                 |             |                |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|    |                                   |      |     |     |     |     |      |         |      |            |             |      |             |
|----|-----------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|------|---------|------|------------|-------------|------|-------------|
| 46 | (+)-2-Carene                      | 0,75 |     |     |     |     |      |         |      |            |             |      |             |
| 47 | bornyl acetate                    |      | 0,2 |     | 0,8 | 0,7 |      |         | 0,12 | 0,17 ±0,03 | 0,28 – 0,82 |      |             |
| 48 | Ocimene                           |      |     |     |     |     |      |         |      |            |             |      | 18,5 ± 0,05 |
| 49 | trans-sabinene hydrate            |      |     |     |     |     | 0,96 |         |      |            | 0 – 0,21    |      |             |
| 50 | Acetic acid, bornyl ester         | 0,40 |     |     |     |     |      |         |      |            |             |      |             |
| 51 | 3-carene                          |      |     |     |     |     | 5,51 |         |      |            |             | 2,21 |             |
| 52 | Cis-sabinene hydrate              |      |     |     |     |     |      |         |      |            | 0 – 0,16    |      |             |
| 53 | (2E,6E)-Farnesol                  |      |     |     |     | tr  |      |         |      |            |             |      |             |
| 54 | Limonene oxide                    |      |     |     | tr  |     |      |         |      |            |             |      |             |
| 55 | Undecane                          |      |     |     | 0,5 |     |      |         |      |            |             |      |             |
| 56 | α -Longipinene                    |      | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,9 | 0,34 |         | 0,68 | 0,87 ± 0,4 |             |      |             |
| 57 | 10-Octadecenoic acid methyl ester | 0,06 |     |     |     |     |      |         |      |            |             |      |             |
| 58 | β-Bisabolene                      |      | tr  | tr  |     | 0,3 |      |         |      |            |             |      |             |
| 59 | Longifolene                       | 9,32 | 2,6 | 2,2 | 1,8 | 2,6 | 1,54 | 0 – 1,3 | 3,09 | 3,9 ±1,9   | 1,26 – 8,00 | 4,49 |             |
| 60 | n- Tetradecane                    |      |     |     |     |     |      |         |      |            |             |      |             |
| 61 | 1-Heptatriacotan ol               |      |     |     |     |     |      |         |      |            |             | 0,14 |             |
| 62 | Longipinene                       |      |     |     |     |     |      |         |      |            | 0,21 – 1,68 |      |             |
| 63 | Bicyclo[2.2.1]heptane             |      |     |     |     |     |      |         |      |            |             | 3,67 |             |
| 64 | 2,3,5,6-Tetramethylphenol         | 1,62 |     |     |     |     |      |         |      |            |             |      |             |
| 65 | Anisaldehyde                      |      |     |     |     |     |      |         |      |            | 0 – 0,07    |      |             |
| 66 | β - Myrcene                       |      |     |     |     |     |      |         |      |            | 0,01 – 0,40 |      |             |
| 67 | 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)   |      |     |     |     |     |      |         |      |            |             | 7,85 |             |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|    |  |      |    |  |     |     |      |           |            |            |             |          |           |
|----|--|------|----|--|-----|-----|------|-----------|------------|------------|-------------|----------|-----------|
| 68 | D-Limonene                                   | 2,27 |    |  |     |     |      | 1,8 – 2,6 |            |            |             |          |           |
| 69 | Octen-3-ol                                   |      |    |  |     |     |      |           |            |            |             |          | 6,5± 0,03 |
| 70 | (E) - Anethole                               |      |    |  |     |     |      |           |            |            | 0,25 – 4,28 |          |           |
| 71 | Isobutylbenzene                              | 0,19 |    |  |     |     |      |           |            |            |             |          |           |
| 72 | $\Delta$ --Cadinene                          | 0,07 |    |  |     |     |      |           |            |            |             |          |           |
| 73 | Nerolidol                                    | 0,20 |    |  |     |     |      |           |            |            |             |          |           |
| 74 | $\beta$ -cadinene                            | 0,30 |    |  |     |     |      |           |            |            |             |          |           |
| 75 | 2-Tridecanone                                |      |    |  |     |     |      |           |            |            | 0 – 0,38    |          |           |
| 76 | Cis-4-methoxythujane                         |      |    |  |     |     |      |           | 0,84 ±0,01 | 1,05       |             | 7,30     |           |
| 77 | trans-4-Methoxythujane                       | 1,32 |    |  |     |     |      |           | 5,22       | 7,26 ± 0,4 |             |          |           |
| 78 | Methyl linolelaidate                         | 0,06 |    |  |     |     |      |           |            |            |             |          |           |
| 79 | Ylangene                                     |      |    |  |     |     |      |           |            |            |             | 0,82     |           |
| 80 | 2,3-Dihydrofarnesyl acetate                  |      |    |  |     |     |      |           |            |            |             | 1,54     |           |
| 81 | gamma-Cadinene                               |      | tr |  | 0,3 | 0,9 |      |           |            |            |             |          |           |
| 82 | Butyl 9,12-octadecadienoate                  |      |    |  |     |     |      |           |            |            |             | 0,21     |           |
| 83 | 2-Undecanone                                 |      |    |  |     |     |      |           |            |            |             | 0 – 0,47 |           |
| 84 | Dodecanol                                    |      |    |  |     |     |      | 0 – 12,7  |            |            |             |          |           |
| 85 | 6,10-Dodecadien-1-yn-3-ol, 3,7,11-trimethyl- | 0,05 |    |  |     |     |      |           |            |            |             |          |           |
| 86 | 9-Undecenal, 2,10-dimethyl-                  | 0,44 |    |  |     |     |      |           |            |            |             |          |           |
| 87 | Cyclopropane butanoic acid                   |      |    |  |     |     |      |           |            |            |             | 0,25     |           |
| 88 | p-Mentha-2,8-                                |      |    |  |     |     | 0,51 |           |            |            |             |          |           |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|       |                                   |     |      |      |      |      |       |             |  |  |             |       |  |
|-------|-----------------------------------|-----|------|------|------|------|-------|-------------|--|--|-------------|-------|--|
|       | dien-1-ol, trans-                 |     |      |      |      |      |       |             |  |  |             |       |  |
| 89    | 1,3,8-p-Menthatriene              |     |      |      |      |      |       |             |  |  |             | 23,82 |  |
| 90    | 4,8-Decadienal, 5,9-dimethyl      |     |      |      |      |      |       |             |  |  |             | 8,12  |  |
| 91    | Hexadecanoic acid (Palmitic acid) |     |      |      |      |      |       |             |  |  |             | 0,77  |  |
| 92    | 2,4-Decadienal,(2E, 4E)-          |     |      |      |      |      | 0,05  |             |  |  |             |       |  |
| Total |                                   | 100 | 84,6 | 86,6 | 84,4 | 92,2 | 99,42 | 85,9 – 90,6 |  |  | 81,2 – 93,4 | 93,78 |  |

SE-SD : distillation à la vapeur d'huiles brutes obtenues par extraction au solvant (solvent extraction –steam distillation)

SE : extraction par solvant (solvent extraction)

Cold press : Expression à froid

D'après le tableau 3.15, dans l'est et le centre algérien, des chémotypes à Thymoquinone (17,9% et 15,2%) et à p-cymène (15,4% et 11,1%) sont retrouvées à Ouargla et Médéa respectivement. Dans l'Ouest, le même chémotype a été retrouvé à Adrar (24,6% et 32%). Un autre chémotype contenant le Carvacrol (12,9%) a été enregistré à Timimoune.

La plupart des autres études à travers le monde ont rapportées que le composant principal de l'huile essentielle de *Nigella sativa* était le p-cymène suivi de la thymoquinone, et l' $\alpha$ -thujène. (Kabir et al.,2020 ; Rchid et al.,2004 ; Moretti et al.,2004 ; Abedi et al.,2017 ; Al Turkmani et al.,2015) et plusieurs d'autres chercheurs.

D'autres études ont indiqué que le p-cymène était un composant majeur, mais la thymoquinone ne représentait que des traces ou des rendements très faibles. (Wajs et al.,2008 ; Bourgou et al.,2010). Dans d'autres cas, les huiles essentielles de *Nigella sativa* se sont révélées être dominées par la thymoquinone. (Vankatachallam et al.,2010 ; Kalidasu et al.,2017 ; Liu et al.,2013 ; Piras et al.,2013, Erdoğan et al.,2020)

En générale, les constituants majoritaires de l'huile essentielle des graines de nigelle sont : le p-cymène, la thymoquinone, l' $\alpha$ -Thujène, l' $\alpha$ -Pinène, l' $\beta$ -Pinène, le Carvacrol et le Longifolène.

### 3.3.1.1 Paramètres influençant la composition et le rendement

Dans cette partie, les facteurs affectant la composition chimique et le rendement en huile essentielle sont regroupés en facteurs intrinsèques et opératoires.

#### 3.3.1.1.1 Paramètre intrinsèque

##### 3.3.1.1.1.1 Période de récolte

Il est très important d'étudier les facteurs affectant le rendement et la composition chimique du cumin noir, l'un des ces facteurs est la période de récolte.

En effet, peu d'études ont été réalisées dans lesquelles un stade de récolte approprié a été identifié pour augmenter le rendement et la qualité des graines (par la suite augmenter le rendement en HE) chez les plantes à maturation non uniforme telles que la nigelle. (Kara et al.,2021) a suggéré qu'une récolte précoce de nigelle peut entraîner une perte de rendement en raison d'une maturation non uniforme, et une récolte tardive peut entraîner le déversement des graines en raison de la déhiscence de la capsule. Mais les résultats de leur travail ont montrés que les valeurs de rendement en HE entre les périodes de récolte n'étaient pas statistiquement significatives.

Selon (Malhotra et Vashishtha .,2007), la récolte à partir des périodes de pleine maturité est préférable aux autres période , cette conclusion était en accord avec l'étude de (Benkaci et al.,2010) . (Telci et al.,2014) ont également signalés que le rendement en huile essentielle de nigelle peut diminuer en fonction du retardement du moment de la récolte dans la période de maturité des graines.

Dans leur étude portant sur la nigelle, (Dubey et al.,2016 ) proposent qu'elle soit récoltée avant la chute (l'éclatement des fruits est un problème majeur) à un stade peu vert. Cela a tendance à donner des rendements élevés en huile aromatique, offrant ainsi un bon marché puisque la nigelle conserve la viabilité des graines plus longtemps lorsqu'elle est complètement mûre.

### 3.3.1.1.1.2 Facteurs climatiques

Généralement, la nigelle est cultivée sur la base des précipitations naturelles (sans arrosage) dans des conditions climatiques continentales. Un rendement en graines plus élevé et donc un rendement en huile essentielle plus élevé, peut également être obtenu dans des conditions irriguées (Tunctürk et al. 2005 ; Kara et al., 2021).

Un temps froid est souhaitable au début de la période de croissance, mais un temps chaud et ensoleillé est nécessaire pendant la formation des graines. (Malhotra.,2012). selon (Gharby et al.,2015 ) des températures fraîches peuvent réduire le rendement en huiles essentielles des graines de nigelle.

D'autre part, il a été montré que le climat aride des régions sahariennes n'empêche pas la croissance des graines de *Nigella sativa* avec des rendements élevés en termes d'huile essentielle et de composants actifs tels que la thymoquinone, la thymohydroquinone et le carvacrol. (Benkaci et al.,2010)

### 3.3.1.1.1.3 Durée et mode de stockage

Après la récolte, il faut laisser sécher les graines afin de faciliter le battage pour séparer les graines. Selon (Malhotra.,2012), Les graines séchées à l'ombre donnent un rendement en huile essentielle plus élevée que les graines séchées au soleil. En Inde, par exemple, la graine de nigelle est séchée dans des tunnels de séchage solaire à zéro énergie pour éviter l'entrée de poussière et de corps étrangers.

Après le séchage (jusqu'à une teneur en eau de 8 à 9 %), les graines sont nettoyées, triées par tamisage et stockées dans des sacs de jute doublés de polyéthylène (Malhotra, 2010) dans un endroit frais et sec à 4°C jusqu'à l'extraction. (Gharby et al.,2015 ; Benkaci et al.,2010).

### 3.3.1.1.2 Paramètres opératoire

#### 3.3.1.1.2.1 Durée

Pour évaluer l'effet du temps d'extraction sur le rendement et la composition de l'huile essentielle de *Nigella sativa*, nous avons rassemblés les différentes périodes de temps d'extraction par hydrodistillation de l'huile volatile des graines de nigelle dans le tableau 3.18 ci-dessous.

**Tableau 3.18 : Influence de la durée d'extraction par hydrodistillation sur le rendement en HE des graines de *Nigella sativa***

| Pays              | Régions        | Durée d'extraction (h) | Rendement en HE% | Référence                   |
|-------------------|----------------|------------------------|------------------|-----------------------------|
| <b>Alegria</b>    | Timimoune      | 2,5                    | 0,08             | F.Benkaci Ali et al.,2007   |
|                   | Adrar          | 2,5                    | 0,18             |                             |
|                   | Setif          | 8                      | 0,4              | (Kacem et Meriahi.,2006)    |
| <b>Tunisie</b>    | Menzel Temime  | 1,5                    | 0,5              | (Bourgou et al.,2010)       |
| <b>Maroc</b>      | Casablanca     | 4                      | 0,26             | (Rchid et al., 2004)        |
| <b>Egypte</b>     | Cairo          | 2,5                    | 0 ,85            | (Edris et al. ,2017)        |
| <b>Syrie</b>      | Aleppo         | 2,5                    | 0,12             | (Al Turkmani et al. 2015)   |
|                   | daraa          | 2,5                    | 0,15             | (Al Turkmani et al. 2015)   |
| <b>Turquie</b>    | Istanbul       | 2                      | 0,29             | Kokoska et al.,2008         |
|                   | Isparta        | 2,5                    | 2,1              | (Erdoğan et al., 2020)      |
| <b>Iran</b>       | Ilam           | 3                      | 0,84             | (Kazemi.,2015)              |
| <b>Iran</b>       | Ilam           | 3                      | 0,8              | (Kazemi.,2014)              |
| <b>Inde</b>       | Andhra pradesh | 2                      | 0,35             | (Kalidasu et al., 2017)     |
|                   | Gorakhpur      | 3                      | 1,2              | (singh et al.,2005)         |
| <b>Pologne</b>    | gostynn        | 4                      | 1,7              | (Wajs et al. 2008)          |
| <b>Bulgarie</b>   | Shumen         | 270min                 | 0,45             | (Stoyanova et al.,2003)     |
| <b>Iran</b>       | Tehran         | 3                      | 0,23             | (Abedi et al.,2017)         |
| <b>La Tchèque</b> | Prague         | 3                      | 0,42             | (Havlik et al.,2006)        |
| <b>Inde</b>       | Jaipur         | 5                      | 0,35             | (Sunita et Meenakshi.,2013) |

Ces travaux ont montrés que ce paramètre d'extraction influençait significativement le rendement en huile, avec des périodes de 3 heures et 2,5 heures (150 minutes) étant les durées d'extractions majoritairement utilisé. Le rendement maximal a été atteint en Turquie pendant 150 minutes. De bons rendements ont également été obtenus pour des durées de 3 et 4 heures. Cependant, l'extraction de (Rchid et al.,2004) pendant 4 heures a abouti à un faible rendement (0,26%) qui peut s'expliquer par l'influence d'autres facteurs intrinsèques ou opératoire.



### 3.3.1.1.2.2 Méthode d'extraction

Le processus d'extraction est une étape importante du traitement de la matière végétale qui peut entraîner des modifications significatives de l'huile essentielle. Pour maximiser le rendement en huile, une attention particulière doit être portée aux altérations des composants chimiques de cette dernière. Le Tableau 3.19 présente les valeurs de rendement en huile essentielles de différentes études obtenues par plusieurs méthodes d'extraction.

Tableau 3.19 : Influence du type d'extraction sur le rendement en HE des graines de *Nigella sativa*

| Pays       | Région    | Procédé                     | Durée d'extraction (h) | Rendement (%) | Référence                 |
|------------|-----------|-----------------------------|------------------------|---------------|---------------------------|
| Algérie    | Setif     | HD                          | 4                      | 0,4           | (Kacem et Meraihi.,2006)  |
|            | Ouargla   | Solvant (hexane)            | 3                      | 0,2           | Benkaci Ali et al.,2010   |
|            |           | Solvant (iso propanol)      | 3                      | 0,2           | Benkaci Ali et al.,2010   |
|            | Adrar     | Solvant (hexane)            | 3                      | 0,3           | Benkaci Ali et al.,2010   |
|            |           | Solvant (iso propanol)      | 3                      | 0,2           | Benkaci Ali et al.,2010   |
|            |           | MD                          | 2,5                    | 0,2           | F.Benkaci Ali et al.,2007 |
|            | Timimoune | MD                          | 2,5                    | 0,11          | F.Benkaci Ali et al.,2007 |
|            |           | Solvant (hexane)            | 3                      | 1,3           | Benkaci Ali et al.,2010   |
|            |           | Solvant (iso propanol)      | 3                      | 0,3           | Benkaci Ali et al.,2010   |
| Maroc      | Rabat     | SDE                         | 3                      | 0,39 ±0,21    | (Moretti et al.,2004)     |
| Bangladesh | dhaka     | MAE                         | 10 min                 | 0,2           | (Liu et al.,2013)         |
| Iran       | Tehran    | MAE                         | 30 min                 | 0,316±0,01    | (Abedi et al.,2017)       |
| Turquie    | Istanbul  | SD                          | 2                      | 0,39          | Kokoska et al.,2008       |
|            | Istanbul  | SE-SD                       |                        | 0,34          | Kokoska et al.,2008       |
|            | Istanbul  | SFE-SD                      |                        | 0,27          | Kokoska et al.,2008       |
|            | -         | SFE                         |                        | 0,1 – 0,3     | (Piras et al.,2013)       |
|            | Isparta   | Cold press (huile fixe) /HD | 2,5                    | 2,1           | (Erdoğan et al., 2020)    |
| Egypte     | Cairo     | SD                          | 2,5                    | 0,56          | (Edris et al. ,2017)      |

DHS : Extraction dynamique dans l'espace de tête (dynamic headspace) ; MD : Extraction par micro ondes (microwave distillation) ; MAE : Extraction assistée par micro ondes (microwave assisted extraction) ; SDE : Distillation et extraction simultanées (simultaneous distillation and extraction) ; SFE : Extraction par un fluide supercritique (super critical fluid extraction CO<sub>2</sub>) ; SE-SD : Distillation à la vapeur d'huiles brutes obtenues par extraction au solvant (solvent extraction – steam distillation) ; SE : Extraction par solvant (solvent extraction) ; SD : distillation par la vapeur d'eau (steam distillation).

La différence de rendement en huile était notable selon la méthode d'extraction et les solvants utilisés. Les résultats mettent ainsi en évidence l'effet prédominant de l'hydrodistillation de l'huile fixe produite par la méthode de l'expression à froid. Comme le montre le tableau 3.19, un rendement satisfaisant en huile de 2,1 % en utilisant cette méthode suggère sa capacité supérieure à extraire l'huile de la graine.

L'étude de (Benkaci et Ali.,2010) dans la région de Timmimoune a également donné un rendement élevé en huile essentielle par la méthode d'extraction par solvant en utilisant l'hexane.(1,3%). Cependant, cette méthode a donné de faibles rendements à Ouargla et Adrar (0,2% et 0,3% respectivement).

L'huile volatile obtenue en Egypte par l'extraction à la vapeur d'eau présente aussi un bon rendement qui est de 0,56% , ce qui est similaire aux conclusions de Kokoska et al.2008 en Turquie où le rendement en huile essentielle de *Nigella sativa* était de 0,39%.

De façon générale, pour ce qui reste des méthodes étudiées, le rendement en huiles essentielles issue de l'hydrodistillation est similaire à ceux des huiles essentielles obtenues par la SDE, la MAE, la SE-SD et la SFE-SD.

### 3.3.2 *Artemisia herba alba*.(Armoise blanche)

#### 3.3.2.1 Composition chimique

Afin d'étudier la composition chimique et la variabilité des huiles essentielles d'*Artemisia herba-alba*, nous avons essayé de couvrir l'ensemble du domaine où se trouve cette plante, par conséquent, 11 recherches ont été collectées dans différents pays et sont présentées dans les tableaux 3.20 et 3.21.

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

**Tableau 3.20 : composition chimique de l'huile essentielle d'Armoise blanche de différentes régions en Algérie**

|    | Partie de la plante    | Algérie-Centre        |                                | Algérie-Est                    |                            |                            |                            |                            |                                |                     |                             | Algérie-Ouest          |      |
|----|------------------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------|------|
|    |                        | Feuille, fleurs       | Parties aériennes              | Parties aériennes              |                            |                            |                            |                            |                                | sommités fleuries   | Feuilles, tiges             | Parties aériennes      |      |
|    | Méthode d'extraction   | HD                    |                                | HD                             | MD                         | HD                         | HD                         | HD                         | HD                             | HD                  | SD                          | HD                     | HD   |
|    | Durée d'extraction (h) | 3                     |                                | 2.5                            |                            | 3                          | 3                          | 3                          | 3                              | 3                   |                             | 3                      | 3    |
|    | Région                 | Djelfa                |                                | M'Sila (Boussaâda)             |                            | Setif (benifouda)          | Setif (Bougaa)             | Setif (Boutaleb)           | Oum El Bouaghi (Ain Babbouche) | Biskra (Baniane)    | M'Sila (Djebel Messad)      | Bechar                 |      |
| No | Référence              | Lakehal et al. (2016) | Hamzaoui et Baaliouamer (2015) | Hamzaoui et Baaliouamer (2010) | R. Belhattab et al. (2014) | R. Belhattab et al. (2014) | R. Belhattab et al. (2014) | R. Belhattab et al. (2014) | Rekkab et al (2016)            | Bezza et al. (2010) | Dob et Benabdelkader (2006) | Ouguirti et al. (2021) |      |
| 1  | Santalnatriene         |                       | 0.1±0.00                       | 0.9                            | 0.8                        |                            |                            |                            |                                |                     |                             |                        |      |
| 2  | Tricyclene             |                       | tr                             | 0.2                            | 0.2                        | 0.2                        | 0.2                        | 0.3                        | tr                             |                     |                             | 0.3                    |      |
| 3  | α-thujene              |                       | tr                             | tr                             | tr                         | tr                         | tr                         | tr                         | tr                             | 0.4±0.01            |                             | 0.5                    |      |
| 4  | α-pinene               | 1.16                  | 0.1±0.01                       | 0.5                            | 0.5                        | 0.8                        | 0.4                        | 0.8                        | tr                             | 0.4                 | 0.33±0.01                   | tr                     | 0.3  |
| 5  | Camphene               | 6.0                   | 0.6±0.02                       | 4.9                            | 4.5                        | 4.1                        | 7.1                        | 4.2                        | 0.7                            | 2.8                 |                             | tr                     | 3.6  |
| 6  | Thuja 2,4(10)-diene    |                       | -                              | tr                             | tr                         |                            |                            |                            |                                | 0.3                 |                             |                        | 0.1  |
| 7  | Sabinene               | 0.9                   | tr                             | 0.4                            | 0.4                        | 0.7                        | 0.2                        | 0.2                        | 0.3                            |                     | 0.55±0.01                   | tr                     | 0.9  |
| 8  | β-pinene               |                       | 0.1±0.01                       | 0.6                            | 0.5                        | 0.3                        | 0.1                        | 0.3                        | tr                             | 0.1                 |                             | tr                     | 0.2  |
| 9  | 1-octen-3-ol           | 0.27                  | 0.1±0.00                       | tr                             | tr                         | tr                         | tr                         | tr                         | tr                             |                     |                             |                        | tr   |
| 10 | Mycrene                |                       | 0.9±0.01                       | tr                             | tr                         |                            |                            |                            |                                |                     |                             |                        | 0.16 |
| 11 | 1,3,5-trimethylbenzene |                       | -                              | tr                             | tr                         |                            |                            |                            |                                |                     |                             |                        |      |
| 12 | Yomogi alcohol         |                       | 0.2±0.02                       | 0.1                            | 0.1                        |                            |                            |                            |                                |                     |                             | tr                     |      |
| 13 | α-phellandrene         |                       | 0.1±0.01                       | tr                             | tr                         | 0.3                        | 0.2                        | 0.8                        | tr                             |                     |                             | tr                     | 0.4  |
| 14 | o-isopropenyltoluene   |                       | -                              | tr                             | tr                         |                            |                            |                            |                                |                     |                             |                        |      |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|    |                        |       |          |      |      |      |      |      |      |      |           |      |      |
|----|------------------------|-------|----------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|
| 15 | $\alpha$ -terpinene    | 0.26  | 0.1±0.00 | tr   | tr   | 0.1  | 0.3  | 0.1  | 0.6  |      | 0.38±0.00 | tr   | 0.9  |
| 16 | 1,2,3-trimethylbenzene |       | -        | -    | 0.1  | tr   | 0.2  | 0.7  | 1.0  | 0.2  |           |      |      |
| 17 | p-cymene               | 0.48  | 0.6±0.04 | 0.1  | 0.1  | 0.4  | 0.8  | 0.9  | 0.6  |      | 0.84±0.01 | tr   | 1.0  |
| 18 | Limonene               |       |          | tr   | tr   | tr   | tr   | tr   | tr   |      |           |      | 0.1  |
| 19 | $\beta$ -phellandrene  |       | tr       | tr   | tr   |      |      |      |      | 0.2  |           |      | 0.5  |
| 20 | 1,8-cineole            | 8.6   | 5.8±0.25 | 13.4 | 12.4 | 9.8  | 8.6  | 8.2  | 3.0  | 8.9  | 2.36±0.01 | tr   | 0.5  |
| 21 | Santolina alcohol      |       | 0.3±0.02 | 0.1  | 0.1  | 0.7  | tr   | tr   | tr   |      |           |      |      |
| 22 | (E)- $\beta$ -ocimene  |       | -        | tr   | tr   |      |      |      |      |      |           | tr   |      |
| 23 | $\gamma$ -terpinene    | 0.3   | 0.2±0.00 | 0.4  | 0.4  | 0.6  | 0.3  | 0.8  | 0.3  | 0.1  | 0.68±0.04 | 2.8  | 1.4  |
| 24 | Cis-sabinene hydrate   |       | -        | 1.1  | 1.1  |      |      |      |      |      |           |      |      |
| 25 | Artemisia alcohol      |       | 0.2±0.02 | 1.1  | 1.1  |      |      |      |      |      |           | 0.1  |      |
| 26 | Terpinolene            |       | 0.1±0.00 | tr   | tr   |      |      |      |      | 0.1  |           | 0.1  | 0.5  |
| 27 | Trans-sabinene hydrate |       | -        | tr   | tr   | 0.4  | tr   | 0.8  | 0.2  |      |           |      |      |
| 28 | Filifolone             | 1.04  | -        | tr   | tr   | 1.1  | 3.9  | 1.0  | 2.8  | 2.0  |           |      |      |
| 29 | $\alpha$ -thujone      | 7.03  | tr       | 1.0  | 1.0  | 27.7 | 6.9  | 28.1 | 23.5 | 9.1  | 7.85±0.04 | 1.5  | 48.0 |
| 30 | $\beta$ -thujone       | 1.74  | tr       | 2.1  | 1.9  | 3.4  | 1.9  | 7.8  | 3.0  | 14.2 | 1.53±0.02 | 15.0 | 13.4 |
| 31 | Chrysanthenone         | 10.38 | tr       | 3.2  | 3.3  | 7.6  | 12.2 | 3.9  | 19.0 | 16.2 | 4.98±0.11 | 15.8 |      |
| 32 | Trans-pinocarveol      |       | 0.2±0.02 | tr   | tr   | 0.5  | 1.1  | 0.7  | 0.3  | 1.3  | 1.17±0.01 | 16.9 | 0.1  |
| 33 | Camphor                | 37.5  | 5.6±0.13 | 49.3 | 48.1 | 17.3 | 33.1 | 22.8 | 18.7 | 15.6 | 1.51±0.00 | 19.4 | 13.1 |
| 34 | Trans-verbenol         |       | -        | tr   | tr   | 0.7  | 1.1  | 0.1  | tr   |      |           |      |      |
| 35 | Isothujanol            |       |          | tr   | tr   |      |      |      |      |      |           |      |      |
| 36 | Isoborneol             |       | tr       | tr   | tr   |      |      |      |      |      |           | 0.1  |      |
| 37 | Pinocarvone            | 1.79  | 0.5±0.03 | 5.6  | 5.5  | 1.1  | 1.7  | 1.5  | 0.6  | 2.0  | 0.4±0.00  |      | 0.3  |
| 38 | $\delta$ -terpineol    |       |          | tr   | tr   |      |      |      |      |      |           |      |      |
| 39 | Borneol                | 3.35  | 1.2±0.08 | 7.3  | 7.1  | 1.9  | 2.5  | 2.0  | 1.5  | 1.6  | 0.13±0.00 | tr   | 1.3  |
| 40 | Santalinyl acetate     |       | -        | tr   | tr   |      |      |      |      |      |           |      |      |
| 41 | Terpinen-4-ol          | 1.07  | 1.4±0.09 | 0.9  | 0.8  | 1.0  | 0.6  | 0.6  | 0.7  | 0.6  |           | 2.7  | 0.3  |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|    |                           |      |          |     |     |     |     |     |     |          |           |     |     |
|----|---------------------------|------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----------|-----|-----|
| 42 | Thuj-3-en 10-al           |      | -        | tr  | tr  |     |     |     |     |          |           |     |     |
| 43 | p-cymen-8-ol              |      | 0.1±0.01 | tr  | tr  |     |     |     |     |          |           |     |     |
| 44 | α-terpineol               |      | 0.2±0.01 | tr  | tr  |     |     |     |     | 0.2±0.01 |           | 0.1 |     |
| 45 | Myrtenal                  |      | 0.3±0.04 | 0.1 | 0.1 | tr  | 0.2 | 0.2 | 0.2 |          |           | 0.9 | 0.4 |
| 46 | Cis-piperitol             |      | tr       | tr  | tr  |     |     |     |     |          |           |     |     |
| 47 | Myrtenol                  |      | tr       | 0.1 | 0.1 | 0.6 | tr  | 0.1 | tr  | 0.4      |           | 0.1 |     |
| 48 | Verbenone                 | 0.23 | tr       | tr  | tr  |     |     |     |     | 1.6      | 7.19±0.06 | 0.5 | 0.1 |
| 49 | Trans-piperitol           |      | 0.1±0.00 | 0.2 | 0.2 |     |     |     |     |          |           | 0.4 |     |
| 50 | Trans-carveol             |      | tr       | tr  | tr  | 0.3 | tr  | 0.1 | tr  |          |           | tr  |     |
| 51 | Naral                     |      |          | tr  | tr  |     |     |     |     |          |           | 0.1 |     |
| 52 | Cis-carveol               | 0.25 | 0.1±0.00 | 0.2 | 0.1 | tr  | 0.1 | 0.2 | 0.1 |          |           |     |     |
| 53 | Cuminaldehyde             |      | tr       | tr  | 0.1 |     |     |     |     |          |           |     | 0.3 |
| 54 | (E)-ocimene               | 0.34 | -        | 0.1 | 0.1 |     |     |     |     | 0.5      |           |     |     |
| 55 | Carvone                   | 0.15 | 0.1±0.00 | tr  | tr  | 0.1 | tr  | 0.1 | tr  |          |           | 0.1 | 0.1 |
| 56 | Piperitone                |      | 0.1±0.00 | 0.1 | 0.1 | tr  | 0.4 | 0.3 | 0.2 |          |           | 0.2 | 0.9 |
| 57 | Cis-chrysanthenyl acetate |      | tr       | 1.0 | 0.9 | 1.2 | 0.5 | 0.2 | tr  |          |           |     |     |
| 58 | Lyratyl acetate           |      |          | 0.1 | 0.1 |     |     |     |     |          |           |     |     |
| 59 | Isobornyl acetate         |      |          | tr  | tr  |     |     |     |     |          |           |     |     |
| 60 | Bornyl acetate            | 2.52 | tr       | tr  | tr  | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.4      |           |     |     |
| 61 | Cumin alcohol             |      | -        | tr  | tr  |     |     |     |     |          |           |     |     |
| 62 | Sabinyl acetate           |      |          | tr  | tr  |     |     |     |     |          |           |     |     |
| 63 | Filifolide                |      |          | tr  | tr  |     |     |     |     |          |           |     |     |
| 64 | α-terpinyl acetate        |      | -        | tr  | tr  |     |     |     |     |          |           |     |     |
| 65 | Eugenol                   |      | 0.4±0.02 | tr  | tr  |     |     |     |     |          | 0.76±0.01 |     |     |
| 66 | Lyratyl propionate        |      |          | 0.1 | tr  |     |     |     |     |          |           |     |     |
| 67 | α-copaene                 |      | 0.3±0.01 | 0.3 | 0.3 |     |     |     |     |          |           | 0.2 |     |
| 68 | β-elemene                 |      |          | tr  | tr  |     |     |     |     |          |           | tr  |     |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|    |  |      |           |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |
|----|--|------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|
| 69 | $\beta$ -cubebene                        |      | tr        | tr  | tr  |     |     |     |     |     |           | 0.1 |     |
| 70 | (E)-jasmone                              |      | tr        | tr  | tr  |     |     |     |     |     |           |     |     |
| 71 | (Z)-jasmone                              |      | 0.8±0.08  | 0.6 | 0.6 |     |     |     |     |     |           |     | 0.6 |
| 72 | Methyl eugenol                           |      | 0.1±0.00  | tr  | tr  |     |     |     |     |     |           |     |     |
| 73 | isocaryophyllene                         |      |           | 0.1 | 0.1 |     |     |     |     |     |           |     |     |
| 74 | $\beta$ -caryophyllene                   |      |           | tr  | tr  |     |     |     |     |     |           | tr  |     |
| 75 | Aromadendrene                            |      | 0.1±0.00  | tr  | tr  |     |     |     |     |     |           |     |     |
| 76 | $\alpha$ -guaïene                        |      |           | tr  | tr  |     |     |     |     |     |           |     |     |
| 77 | Allo-aromadendrene                       |      | -         | tr  | tr  | tr  | tr  | tr  | tr  |     |           | 0.3 | 0.5 |
| 78 | Ethyl (E)-cinnamate                      |      | -         | tr  | tr  |     |     |     |     |     |           | 2.8 |     |
| 79 | $\beta$ -chamigrene                      |      | -         | 0.1 | tr  |     |     |     |     |     |           |     |     |
| 80 | $\gamma$ -muurolene                      |      |           | 2.0 | 2.1 | 3.5 | 2.4 | 0.7 | 7.1 |     | 1.18±0.03 |     |     |
| 81 | $\beta$ -selinene                        |      |           | tr  | tr  |     |     |     |     |     |           |     |     |
| 82 | Bicyclogermacrene                        | 0.33 | 0.7±0.05  | 0.1 | 0.1 | 1.1 | 0.7 | 0.4 | 2.5 |     |           |     |     |
| 83 | $\alpha$ -muurolene                      |      | tr        | 0.1 | 0.1 |     |     |     |     |     |           |     |     |
| 84 | $\gamma$ -cadinene                       |      | -         | tr  | tr  |     |     |     |     |     |           | tr  |     |
| 85 | $\delta$ -cadinene                       | 0.22 | -         | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | tr  | 0.5 |     | 0.28±0.02 | 0.1 | 0.1 |
| 86 | Cadina-1,4-diene                         |      | -         | tr  | tr  |     |     |     |     |     |           |     |     |
| 87 | Ledol                                    |      | -         | tr  | tr  | 0.1 | tr  | tr  | 0.2 |     |           |     |     |
| 88 | (E)-nerolidol                            |      | -         | 0.1 | tr  |     |     |     |     |     |           | 0.1 |     |
| 89 | Spathulenol                              | 1.31 | tr        | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.4 | 1.0 | 0.1 | 1.47±0.01 | 0.1 |     |
| 90 | Caryophyllene oxide                      |      | 1.1±0.08  | tr  | tr  |     |     |     |     |     | 0.97±0.03 | 0.9 |     |
| 91 | Globulol                                 |      | -         | tr  | tr  |     |     |     |     | 0.1 |           |     |     |
| 92 | $\beta$ -copaen 4- $\alpha$ ol           |      | 0.3±0.02  | tr  | tr  |     |     |     |     | 0.1 |           |     |     |
| 93 | Davanone                                 |      | 34.0±0.82 | tr  | tr  |     |     |     |     |     | 0.41±0.01 |     |     |
| 94 | Viridiflorol                             |      | -         | 0.1 | tr  |     |     |     |     | 0.2 |           | 0.7 |     |
| 95 | Tetrahydrofuran (2,5-diethenyl-2-methyl) |      | 0.3±0.01  |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|     |  |      |          |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
|-----|--|------|----------|--|--|--|--|--|--|--|-----|--|-----|
| 96  | Ethyl tiglate                          |      | 0.1±0.01 |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 97  | 5,5-Dimethyl-2(5H)<br>furanone         |      | 0.4±0.05 |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 98  | 1,4-Cineole                            |      | 0.2±0.00 |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 99  | Lavender lactone                       |      | 0.1±0.00 |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 100 | Cis-Butanoic acid 3<br>hexenyl ester   |      | 0.1±0.00 |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 101 | Trans-Butanoic acid 3<br>hexenyl ester |      | 0.3±0.04 |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 102 | Linalool                               |      | 0.3±0.05 |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 103 | Cis-para-Menth-2 en-<br>1-ol           |      | 0.7±0.03 |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 104 | Terpinen-1-ol                          |      | -        |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 105 | Ipsdienol                              |      | 0.02     |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 106 | Camphene hydrate                       |      | 0.00     |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 107 | Thujanol                               |      | -        |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 108 | Trans-Pinocamphone                     |      | tr       |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 109 | Sabina ketone                          | 1.07 | tr       |  |  |  |  |  |  |  |     |  | 0.6 |
| 110 | α-Phellandrene-8-ol                    |      | 0.2±0.02 |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 111 | Lavandulol                             |      | tr       |  |  |  |  |  |  |  | 0.8 |  |     |
| 112 | Cis-Pinocamphone                       |      | 0.1±0.01 |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 113 | Carvotanacetone                        |      | tr       |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 114 | Geraniol                               |      | 0.1±0.00 |  |  |  |  |  |  |  | tr  |  |     |
| 115 | α-Terpinene-7-al                       |      | 0.1±0.00 |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 116 | Lavandulyl acetate                     |      | tr       |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 117 | Thymol                                 |      | tr       |  |  |  |  |  |  |  | 0.1 |  | 0.1 |
| 118 | Trans-Sabinyl acetate                  |      | tr       |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 119 | Undecan-2-one                          |      | -        |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 120 | Thujyl acetate-3                       |      | tr       |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |
| 121 | Hexyl tiglate                          |      | tr       |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|     |                               |  |                |  |  |  |  |  |                 |  |  |     |
|-----|-------------------------------|--|----------------|--|--|--|--|--|-----------------|--|--|-----|
| 122 | $\alpha$ -Cubebene            |  | tr             |  |  |  |  |  |                 |  |  |     |
| 123 | $\beta$ -Bourbonene           |  | tr             |  |  |  |  |  |                 |  |  |     |
| 124 | Trans- $\beta$ -Damascenone   |  | tr             |  |  |  |  |  |                 |  |  |     |
| 125 | Cis-Caryophyllene             |  | 0.2 $\pm$ 0.01 |  |  |  |  |  |                 |  |  |     |
| 126 | Davana furan                  |  | 0.6 $\pm$ 0.01 |  |  |  |  |  |                 |  |  |     |
| 127 | Trans-Caryophyllene           |  | -              |  |  |  |  |  |                 |  |  |     |
| 128 | $\beta$ -Cedrene              |  | tr             |  |  |  |  |  |                 |  |  |     |
| 129 | $\beta$ -Gurjunene            |  | tr             |  |  |  |  |  |                 |  |  |     |
| 130 | Bergamotene< $\alpha$ -trans> |  | tr             |  |  |  |  |  |                 |  |  |     |
| 131 | $\alpha$ -Caryophyllene       |  | 0.1 $\pm$ 0.01 |  |  |  |  |  |                 |  |  |     |
| 132 | Trans-Ethyl cinnamate         |  | -              |  |  |  |  |  |                 |  |  |     |
| 133 | Muurolene                     |  | 0.6 $\pm$      |  |  |  |  |  |                 |  |  |     |
| 134 | Viridiflorene                 |  | tr             |  |  |  |  |  |                 |  |  |     |
| 135 | Davana ether iso              |  | 1.7 $\pm$ 0.09 |  |  |  |  |  |                 |  |  |     |
| 136 | Davana ether                  |  | 5.3 $\pm$ 0.11 |  |  |  |  |  | 0.84 $\pm$ 0.02 |  |  |     |
| 137 | 1-octene                      |  |                |  |  |  |  |  |                 |  |  | 0.1 |
| 138 | Cis-salvene                   |  |                |  |  |  |  |  |                 |  |  | 0.1 |
| 140 | Verbenene                     |  |                |  |  |  |  |  |                 |  |  | Tr  |
| 141 | 1-decen-3-ol                  |  |                |  |  |  |  |  |                 |  |  | 0.2 |
| 142 | cryptone                      |  |                |  |  |  |  |  |                 |  |  | 0.1 |
| 143 | Cis-p-menth-2-en-7-ol         |  |                |  |  |  |  |  |                 |  |  | 0.3 |
| 144 | xanthoxylin                   |  |                |  |  |  |  |  |                 |  |  | 0.2 |
| 145 | mesitylene                    |  |                |  |  |  |  |  | 0.8             |  |  |     |
| 146 | $\delta$ -2-Carene            |  |                |  |  |  |  |  | 0.4             |  |  |     |
| 147 | Eucarvone                     |  |                |  |  |  |  |  | 0.3             |  |  |     |
| 148 | safranal                      |  |                |  |  |  |  |  | 0.1             |  |  |     |



### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|     |                                  |       |      |      |      |      |      |      |      |      |           |      |      |
|-----|----------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|
| 149 | shisofuran                       |       |      |      |      |      |      |      |      | 0.2  |           |      |      |
| 150 | Carvacrol                        | 0.7   |      |      |      |      |      |      |      |      |           | 0.1  |      |
| 151 | Bicycloelemene                   | 0.17  |      |      |      |      |      |      |      |      |           |      |      |
| 152 | $\gamma$ -Elemene                | 0.12  |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.58±0.01 |      |      |
| 153 | Germacrene D                     | 1.07  |      |      |      |      |      |      |      |      | 1.82±0.02 |      |      |
| 154 | Germacrene B                     | 0.55  |      |      |      |      |      |      |      |      |           |      |      |
| 155 | $\beta$ -Myrcene                 |       |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.72±0.01 |      |      |
| 156 | o-cymene                         |       |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.28±0.01 |      |      |
| 157 | (3E)-3,4-diméthyl-3-hexen-2-one  |       |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.45±0.01 |      |      |
| 158 | $\delta$ -3-carene               |       |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.49±0.01 | tr   |      |
| 159 | $\alpha$ -terpinolene            |       |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.23±0.00 |      |      |
| 160 | Artemisiatriene                  |       |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.94±0.01 |      |      |
| 161 | 4-Terpineol                      |       |      |      |      |      |      |      |      |      | 1.66±0.01 |      |      |
| 162 | p-mentha-1,8-dien-3-one          |       |      |      |      |      |      |      |      |      | 0.54±0.01 |      |      |
|     | <b>Total composés identifiés</b> | 92.84 | 76.3 | 89.9 | 95.2 | 91.6 | 91.2 | 91.9 | 90.3 | 93.6 | 92.58     | 94.7 | 94.1 |

tr : trace

## Chapitre 3 : Travaux antérieurs

**Tableau 3.21 : Composition chimique de l'huile essentielle d'Armoise blanche de différents pays**

|     | Pays  | Maroc                 |                      | Tunisie               |                            | Saudi Arabie              | Jordan                    |                     | Libye                    | Espagne              | Egypte                    | Iran                 |
|-----|---|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|
|     |   | Partie de la plante   | Parties aériennes    |                       | Feuilles et fleurs séchées | Parties aériennes         | Parties aériennes         | Parties aériennes   | Parties aériennes        | Parties aériennes    | Tiges et fleurs           | Parties aériennes    |
|     | Méthode d'extraction                          | HD                    | HD                   | HD                    | HD                         | HD                        | HD                        | HD                  | HD                       | HD                   | HD                        | HD                   |
|     | Durée d'extraction (min)                      | 3h                    | 3h                   | 4h                    | 4h                         | 4h                        | 2h                        | 4h                  | 3h                       | 3h                   | 3h                        | 3h                   |
| No. | Référence                                     | (Derwich et al.,2009) | (Allali et al.,2022) | (Zouari et al., 2010) | (Kadri et al.,2011)        | (Al-Wahaibi et al., 2018) | (Hudaib and Aburjai 2006) | (Qnais et al.,2016) | (Janačković et al.,2015) | (Salido et al.,2001) | (Said Al Ahl et al.,2021) | (Behtari et al.2012) |
| 1   | tricyclene                                    |                       |                      |                       |                            |                           |                           |                     | tr                       | tr                   |                           |                      |
| 2   | $\alpha$ -Thujene                             |                       |                      |                       |                            |                           |                           |                     | tr                       | 0,1                  | 61,42                     |                      |
| 3   | $\alpha$ -Thujone                             | 48,25                 | 29                   | 8,73                  | 24,88                      |                           | 16,2                      |                     |                          |                      |                           |                      |
| 4   | $\beta$ -Thujone                              | 8,99                  | 28,6                 | 2,57                  | 8,32                       |                           | 8,5                       | 9,19                |                          |                      |                           |                      |
| 5   | $\alpha$ -Pinene                              | 0,41                  | 0,6                  | 1,45                  | 2,81                       |                           |                           |                     | 0,3                      | 1,7                  | 4,90                      |                      |
| 6   | Sabinene                                      | 0,15                  | 0,7                  | 0,37                  |                            |                           |                           |                     |                          | 0,2                  | 2,23                      | 0 – 0,5              |
| 7   | $\beta$ -Pinene                               | 0,32                  |                      | 0,2                   |                            |                           |                           |                     | 0,2                      | 0,1                  |                           |                      |
| 8   | $\delta^3$ -Carene                            |                       |                      |                       |                            |                           |                           |                     |                          |                      | 0,69                      |                      |
| 9   | $\alpha$ -Terpinene                           |                       |                      | 0,46                  |                            |                           |                           |                     | tr                       | 0,6                  |                           |                      |
| 10  | <i>p</i> -Cymene                              | 0,72                  | 0,2                  | 1,03                  |                            | 0,3                       | 0,7                       | 4,31                | 0,5                      | 13,5                 |                           |                      |
| 11  | Limonene                                      |                       |                      |                       |                            |                           |                           |                     |                          | 1,6                  |                           |                      |
| 12  | 1,8-Cineole                                   | 2,21                  | 11,7                 | 3                     | 8,91                       | 0,1                       |                           | 3,12                | 2,8                      | 10,2                 |                           | 0 – 8                |
| 13  | Trans- $\beta$ -Ocimene                       |                       |                      |                       |                            |                           |                           |                     |                          | 0,1                  |                           |                      |
| 14  | cis-beta-dihydroterpineol                     |                       |                      |                       |                            |                           |                           |                     |                          |                      |                           |                      |
| 15  | Chrysanthenone                                | 1,21                  | 14,8                 | 4,94                  | 4,73                       | 0,1                       |                           | 5,79                | 20,5                     | 6,7                  |                           | 0,5 – 0,7            |
| 16  | $\gamma$ -Terpinene                           |                       | 0,3                  | 0,87                  |                            |                           |                           |                     |                          | 5,5                  |                           |                      |
| 17  | cis-Linalool oxide (furanoid)                 |                       |                      |                       |                            |                           |                           |                     |                          | 0,1                  |                           |                      |
| 18  | Cis-thujone                                   |                       |                      |                       |                            |                           |                           |                     | 13,6                     |                      |                           |                      |
| 19  | Trans-thujone                                 |                       |                      |                       |                            |                           |                           |                     | 4,0                      |                      |                           |                      |
| 20  | Terpinolene                                   |                       |                      | 0,32                  |                            |                           |                           |                     |                          |                      |                           |                      |
| 21  | Linalool                                      |                       |                      | 0,28                  |                            | 0,2                       |                           |                     |                          | 0,9                  |                           |                      |
| 22  | Chrysanthenyl acetate                         | 2,12                  |                      |                       | 3,29                       |                           |                           |                     |                          |                      |                           |                      |
| 23  | Camphor                                       | 0,98                  | 0,2                  | 1,42                  | 10,81                      | 0,1                       |                           | 9,12                | 1,8                      | 4,0                  |                           | 0 – 1,9              |
| 24  | isolyratol                                    |                       |                      |                       |                            |                           |                           |                     |                          |                      |                           |                      |
| 25  | terpinolene + trans-linalool oxide (furanoid) |                       |                      |                       |                            |                           |                           |                     |                          | 0,3                  |                           |                      |
| 26  | Borneol                                       |                       | 0,1                  | 0,85                  | 3,05                       |                           |                           | 5,42                | tr                       | 0,6                  |                           | 0 – 1,0              |
| 27  | Cis-chrysanthenyl acetate                     |                       |                      | 10,6                  |                            | 0,3                       |                           |                     | 17,7                     | 5,6                  |                           |                      |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|    |  |       |     |      |      |                |     |      |     |     |      |            |
|----|--|-------|-----|------|------|----------------|-----|------|-----|-----|------|------------|
| 28 | Terpinen-4-ol  | 0,57  |     | 1,93 |      | 0,3            | 0,3 | 4,51 | 0,4 | 2,1 |      |            |
| 29 | Trans-sabinol  | 0,43  |     |      |      |                |     |      |     |     |      |            |
| 30 | Cis-sabinol  |       |     |      |      |                |     | 5,20 |     |     |      |            |
| 31 | $\alpha$ -Phellandrene                                   |       |     |      |      |                |     |      | 0,1 | tr  |      |            |
| 32 | $\alpha$ -Terpineol                                      |       |     | 0,25 |      | 0,3            |     |      |     | 1,5 |      |            |
| 33 | Eucarvone  |       |     |      |      |                |     |      |     |     | 0,17 |            |
| 34 | isochrysanthenone  |       |     |      |      |                |     |      |     | 0,5 |      |            |
| 35 | p-Menth-2-en-1-ol  |       |     |      |      | 0,3            |     |      |     |     |      |            |
| 36 | p-Menth-3-en-8-ol  |       |     |      |      |                |     |      |     |     |      | 0 – 2,9    |
| 37 | Sabinyl acetate  | 12,98 |     | 9,13 | 5,26 |                |     | 4,67 |     |     |      |            |
| 38 | Cis-p-Menth-2-en-1-ol                                    |       |     |      |      |                |     |      |     | 0,2 |      |            |
| 39 | trans-p-Menth-2-en-1-ol                                  |       |     |      |      |                |     |      |     | 0,2 |      |            |
| 40 | Sabina cétone  | 0,65  |     |      |      |                |     |      | tr  |     |      |            |
| 41 | Carvone  |       |     |      |      | 0,1            |     |      | tr  |     |      |            |
| 42 | Pinocarvone  | 0,45  |     |      |      | 0,2            |     |      |     |     |      |            |
| 43 | Trans-sabinyl acetate                                    |       | 0,3 |      |      |                | 5,4 |      |     | 3,1 |      |            |
| 44 | o-Cymene   |       |     |      |      |                |     |      |     | 1,3 |      |            |
| 45 | cis-pinocarveol  |       |     |      |      |                |     |      |     |     |      | 7,5 – 29,6 |
| 46 | Trans-pinocarveol  | 0,65  | 1,9 | 2,62 |      | 0,1            | 3,9 |      | 3,3 | 0,1 |      |            |
| 47 | Benzene,[[[(1-ethenyl-1,5-dimethyl-4-hexenyl)oxy]methyl] |       |     |      |      |                |     |      |     |     | 0,33 |            |
| 48 | $\alpha$ -cadinol  |       |     | 0,65 |      |                |     |      |     |     |      |            |
| 49 | p-cymenene   |       |     |      |      | 0,5            |     |      |     |     |      |            |
| 50 | trans-Pinocarvyl acetate                                 |       |     |      |      |                |     |      | tr  |     |      |            |
| 51 | beta-selinene  |       |     |      |      | 0,2            |     |      |     |     |      |            |
| 52 | (-)-Trans-2-carene                                       |       |     |      |      |                |     |      |     |     | 0,52 |            |
| 53 | m-mentha-1(7),8-diene                                    |       |     |      |      |                | 2,5 |      |     |     |      |            |
| 54 | t-cadinol  |       |     |      |      |                | 0,9 |      |     |     |      |            |
| 55 | $\beta$ -farnesene                                       | 0,56  |     |      |      |                |     |      |     |     |      |            |
| 56 | Thymol   |       |     |      |      | 3,4 $\pm$ 0,10 |     |      |     | 0,2 |      |            |
| 57 | iso-dihydrocarveol                                       |       |     |      |      | 0,2            |     |      |     |     |      |            |
| 58 | Carvacrol  |       |     |      |      | 0,7            | 0,4 |      | 0,4 | 0,2 |      |            |
| 59 | p-cymene-8-ol  |       |     |      |      | 0,1            |     |      | 0,4 | 0,3 |      |            |
| 60 | p-cymene-7-ol  |       |     |      |      | 0,2            |     |      |     | 0,2 |      |            |
| 61 | Myrtenyl acetate   |       |     |      |      | 3,3 $\pm$ 0,14 |     |      | tr  |     |      |            |
| 62 | p-Mentha-1,5-dien-8-ol                                   |       |     |      |      |                |     |      | tr  |     |      |            |
| 63 | myrtenal   |       |     | 0,27 |      |                |     |      | 0,3 |     | 0,11 |            |
| 64 | Eugenol  |       |     |      |      |                |     |      |     | tr  |      |            |
| 65 | Cabreuva oxide A   |       |     |      |      | 0,1            |     |      |     |     |      |            |
| 66 | gamma-muurolene  |       |     |      |      |                |     |      | 0,5 |     |      |            |
| 67 | Thuja-2,4(10)-diene                                      |       |     |      |      |                |     |      | 0,3 |     |      |            |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|     |  |      |      |      |  |           |     |      |     |     |      |           |
|-----|--|------|------|------|--|-----------|-----|------|-----|-----|------|-----------|
| 68  | $\alpha$ -muurolene  |      |      |      |  | 0,3       |     |      |     |     |      |           |
| 69  | (-)-cis-caran-trans-2-ol                                       |      |      |      |  |           |     |      |     |     | 0,17 |           |
| 70  | Dihydrocarveol acetate   |      |      |      |  | tr        |     |      |     |     |      |           |
| 71  | $\gamma$ -muurolene  |      |      |      |  |           |     |      |     | 1,5 |      |           |
| 72  | $\alpha$ -Calacorene   |      |      |      |  |           |     |      |     |     |      | 0 – 0,4   |
| 73  | $\beta$ -Calacorene  |      |      |      |  | 0,1       |     |      |     |     |      |           |
| 74  | $\alpha$ -patchoulene  |      |      |      |  | 0,3       |     |      |     |     |      |           |
| 75  | (E)- $\beta$ -ionone + $\beta$ -selinene                       |      |      |      |  |           | 0,1 |      |     |     |      |           |
| 76  | Cedryl acetat  |      |      |      |  |           |     |      |     |     |      | 0,9       |
| 77  | 2(5H)-Furanone, 5,5-dimethyl                                   |      | 0,24 |      |  |           |     |      |     | 0,2 |      |           |
| 78  | $\gamma$ -Epoxy-elemene  |      |      | 0,90 |  |           |     |      |     |     |      |           |
| 79  | $\alpha$ -muurolol   |      |      |      |  | 0,3       |     |      |     |     |      |           |
| 80  | Methyl eugenol   |      |      |      |  |           | 0,7 |      | tr  |     |      |           |
| 81  | trans-Calamenene   |      |      |      |  |           |     |      |     |     |      | 0,3 – 1,0 |
| 82  | Verbenone  |      | 0,41 |      |  | 0,2       |     |      | 0,7 |     |      |           |
| 83  | $\beta$ –Caryophyllene   |      | 0,23 |      |  |           | 0,4 |      |     | 0,2 |      |           |
| 84  | Trans-carveol  |      |      |      |  | 0,2       |     |      | tr  |     |      | 2,2 – 4,1 |
| 85  | $\beta$ - eudesmol   | 0,46 |      |      |  | 0,3       |     |      |     |     |      |           |
| 86  | 6,7-Epoxypregn-4-ene-9,11,18-triol-3,20-dione, 11,18-diacetate |      |      |      |  |           |     |      |     |     | 0,14 |           |
| 87  | Cis-patchenol  |      |      |      |  | 0,1       |     |      |     |     |      |           |
| 88  | Laciniata furanone H   |      |      |      |  |           |     |      | tr  |     |      |           |
| 89  | Cholic acid  |      |      |      |  |           |     |      |     |     | 0,13 |           |
| 90  | Germacrene A   |      |      |      |  |           |     |      |     |     |      | 0 – 1,7   |
| 91  | eudesmol   |      |      |      |  |           |     | 5,90 |     |     |      |           |
| 92  | $\beta$ -acorenol  |      |      |      |  |           | 0,5 |      |     |     |      |           |
| 93  | selin-1 1-en-4-a-ol  |      |      |      |  |           |     |      |     | 0,4 |      |           |
| 94  | Neiso-dihydro carveol acetate                                  |      |      |      |  |           |     |      |     |     |      | 2 – 2,3   |
| 95  | Camphene   | 2,3  | 0,57 | 1,73 |  | 0,7       |     |      | 0,7 | 0,4 |      |           |
| 96  | $\alpha$ - eudesmol  |      |      |      |  |           | 4,2 |      |     |     |      | 1,2 – 4,6 |
| 97  | Myrcene  |      |      |      |  |           |     |      |     | 5,1 |      | 0 – 4,5   |
| 98  | Ergost-5-en-3-ol, (3beta,24R)                                  |      |      |      |  |           |     |      |     |     | 0,21 |           |
| 99  | Cuminal  |      | 0,54 |      |  |           | 0,6 |      |     | 0,2 |      |           |
| 100 | Nor-chrysanthemic acid methyl ester                            |      | 0,65 |      |  |           |     |      |     |     |      |           |
| 101 | Bicyclogermacrene  |      |      |      |  |           |     |      | 0,5 |     |      |           |
| 102 | $\gamma$ - eudesmol  |      |      |      |  |           | 0,9 |      |     |     |      | 0 – 0,6   |
| 103 | Isoborneol   |      |      |      |  | 0,1       |     |      |     |     |      | 0 – 2,8   |
| 104 | p-cuminal  |      |      |      |  | 0,2       |     |      |     |     |      |           |
| 105 | isophorone   |      |      |      |  | 1,9± 0,11 |     |      |     |     |      |           |
| 106 | Cis-jasmone  |      | 0,68 |      |  |           | 0,8 |      | 0,8 |     |      |           |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|     |  |     |  |      |       |     |                 |      |      |     |      |           |
|-----|--|-----|--|------|-------|-----|-----------------|------|------|-----|------|-----------|
| 107 | dihydromyrcenol                          |     |  |      |       |     | 0,5             |      |      |     |      |           |
| 108 | Trans-jasmone                            |     |  |      |       |     | 0,1             |      |      |     |      |           |
| 109 | cis-Chrysanthenol                        |     |  |      |       |     |                 |      | 2,1  | 0,5 |      |           |
| 110 | Prednisolone hemisuccinate               |     |  |      |       |     |                 |      |      |     | 0,09 |           |
| 111 | cis-Arbusculone                          |     |  | 3,56 |       | 0,5 |                 |      | 2,0  | 0,5 |      |           |
| 112 | trans-Arbusculone                        |     |  | 2,95 |       | 0,4 |                 |      | 1,2  | 0,3 |      |           |
| 113 | bornyl acetate                           | 0,1 |  | 0,37 | 1,03  |     |                 |      |      |     | 0,4  |           |
| 114 | 4-Oxoisorphorone                         |     |  |      |       |     | 0,6             |      |      |     |      |           |
| 115 | Germacrene D                             | 4,3 |  | 1,8  | 14,48 | 0,1 | 4,6             |      |      |     |      |           |
| 116 | benzyl tiglate                           |     |  |      |       |     | 0,1             |      |      |     |      |           |
| 117 | $\alpha$ -fenchene                       |     |  |      |       |     | 0,1             |      |      |     |      |           |
| 118 | benzaldehyde                             |     |  |      |       |     | 0,2             |      |      |     |      |           |
| 119 | Ethyl tiglate                            |     |  |      |       |     |                 |      |      |     | 0,3  |           |
| 120 | Isobornyl acetate                        |     |  |      |       |     |                 |      | tr   |     |      | 0 – 2,1   |
| 121 | 4-Cuprenen-1-ol                          |     |  |      |       |     |                 |      | tr   |     |      |           |
| 122 | phellandral                              |     |  |      |       |     | 0,2             |      |      |     |      |           |
| 123 | 2,5-diethenyl-2-methyltetrahydrofuran    |     |  |      |       |     |                 |      |      |     | 0,1  |           |
| 124 | trans-sabinene hydrate                   |     |  |      |       |     |                 |      |      |     |      | 0,8 – 8,5 |
| 125 | Cis-sabinene hydrate                     |     |  |      |       |     | 0,2             |      |      |     |      |           |
| 126 | Myrtenol                                 |     |  |      |       |     |                 |      | 6,10 |     |      |           |
| 127 | Fenchol                                  |     |  |      |       |     |                 |      | 5,51 |     |      |           |
| 128 | trans-Sabinene hydrate acetate           |     |  |      |       |     |                 |      |      |     |      | 0 – 0,6   |
| 129 | trans- $\beta$ -Damascenone              |     |  |      |       |     | 0,1             |      |      |     |      |           |
| 130 | Filifolone                               |     |  | 1,04 |       | 0,5 |                 |      |      | 4,8 |      |           |
| 131 | $\beta$ -Bourbonene                      | 0,2 |  |      |       |     |                 |      |      |     |      |           |
| 132 | $\delta$ -Cadinene                       |     |  |      | 1,29  |     |                 |      | tr   | 0,2 |      |           |
| 133 | Seychellene                              |     |  |      |       |     | 0,1             |      |      |     |      |           |
| 134 | $\gamma$ -himachalene                    |     |  |      |       |     |                 | 0,4  |      |     |      |           |
| 135 | santolina triene                         |     |  |      |       |     |                 | 0,9  |      |     |      |           |
| 136 | $\alpha$ -terpenyl acetate               |     |  |      |       |     | 0,3             |      |      |     | 0,8  |           |
| 137 | Filifolide-A                             |     |  |      |       |     | 1,5 $\pm$ 0,06  |      |      |     |      |           |
| 138 | $\gamma$ -Vinyl- $\gamma$ -valerolactone |     |  |      |       |     |                 |      |      | 0,4 |      |           |
| 139 | trans- $\beta$ -Guaiene                  |     |  |      |       |     | 0,3             |      |      |     |      |           |
| 140 | Piperitone                               |     |  | 0,25 |       |     | 44,6 $\pm$ 1,27 |      |      | 0,8 |      |           |
| 141 | cis-Methyl jasmonate                     |     |  |      |       |     | 0,8             |      |      |     |      |           |
| 142 | santolina alcohol                        |     |  |      |       |     |                 | 13,0 |      |     |      |           |
| 143 | methyl chavicol                          |     |  |      |       |     |                 | 0,5  |      |     |      |           |
| 144 | $\beta$ -gurjunene                       |     |  |      |       |     |                 | 0,5  | 4,59 |     |      |           |
| 145 | alpha-trans-bergamotene                  |     |  |      |       |     |                 | 0,1  |      |     |      |           |
| 146 | Cis-piperitol                            |     |  | 0,49 |       |     | tr              |      |      |     | 0,1  |           |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|     |   |  |  |      |      |                |      |  |     |     |       |            |
|-----|---|--|--|------|------|----------------|------|--|-----|-----|-------|------------|
| 147 | trans-piperitol                             |  |  |      |      |                |      |  |     | 0,1 |       |            |
| 148 | Heneicosane                                 |  |  |      |      |                |      |  |     |     |       | 1,7 – 6,0  |
| 149 | Yomogi alcohol                              |  |  |      |      | 0,3            |      |  |     |     |       |            |
| 150 | $\beta$ -chamigrene                         |  |  |      |      |                | 1,3  |  |     |     |       |            |
| 151 | tridecane                                   |  |  |      |      |                |      |  |     |     |       | 0 – 3,0    |
| 152 | Terpineol                                   |  |  |      |      |                |      |  |     |     |       | 0 – 1,3    |
| 153 | Flifolid A                                  |  |  |      |      |                |      |  | 1,2 |     |       |            |
| 154 | diosphenol                                  |  |  |      |      | 0,1            |      |  |     |     |       |            |
| 155 | Citronellyl acetate                         |  |  |      |      |                |      |  |     |     | 1,30  |            |
| 156 | E-alpha-ionone                              |  |  |      |      | tr             |      |  |     |     |       |            |
| 157 | (E,E)-Farnesol                              |  |  |      |      |                |      |  |     |     |       | 0 – 1,7    |
| 158 | (E,Z)-Farnesol                              |  |  |      |      |                |      |  |     |     |       | 0,7 – 2,9  |
| 159 | aromadendrene                               |  |  |      |      |                |      |  |     |     |       | 1,9 – 4, 7 |
| 160 | Artemisia ketone                            |  |  |      |      | 1,1 $\pm$ 0,08 | 12,4 |  |     |     |       | 13 – 21,3  |
| 161 | cryptone                                    |  |  |      |      | 0,5            |      |  |     |     |       |            |
| 162 | 2-Acetylthiophene                           |  |  |      |      |                |      |  | 0,2 |     |       |            |
| 163 | Endobornyl acetate                          |  |  |      |      |                |      |  |     |     | 0,29  |            |
| 164 | Lavender lactone                            |  |  |      |      | 0,3            |      |  |     | tr  |       |            |
| 165 | 2,3-Dimethylhexane                          |  |  |      |      |                |      |  | tr  |     |       |            |
| 166 | 3-Methyl-2-chloro-benzo(b)thiophene-1-oxide |  |  |      |      |                |      |  |     |     | 9,59  |            |
| 167 | Allo-aromadendrene                          |  |  |      |      |                | 0,4  |  |     |     |       |            |
| 168 | Doconexent                                  |  |  |      |      |                |      |  |     |     | 0,15  |            |
| 169 | Methyl thymyl ether                         |  |  | 0,19 |      |                |      |  |     |     |       |            |
| 170 | cis-Methyl cinnamate                        |  |  |      |      | 0,5            |      |  |     |     |       |            |
| 171 | trans-Methyl cinnamate                      |  |  |      |      | 0,3            |      |  | tr  |     |       |            |
| 172 | methylbenzo[b]thiophene                     |  |  |      |      |                |      |  |     |     | 0,22  |            |
| 173 | artemisia alcohol                           |  |  |      |      |                | 0,9  |  |     |     |       |            |
| 174 | cis-Guaia-3,9-dien-11-ol                    |  |  |      |      | 0,3            |      |  |     |     |       |            |
| 175 | Cis-ascaridole                              |  |  |      |      |                |      |  |     | 0,1 |       |            |
| 176 | cis-Carvyl acetate                          |  |  |      |      | 0,3            |      |  |     |     |       |            |
| 177 | Ethylidihydrocinnamate                      |  |  |      |      | 0,5            |      |  |     |     |       |            |
| 178 | Acenaphthylene                              |  |  |      |      |                |      |  |     |     | 10,68 |            |
| 179 | $\gamma$ -Dodecalactone                     |  |  |      |      | 0,1            |      |  |     |     |       |            |
| 180 | (+,-)-Lepidozene                            |  |  |      | 5,66 |                |      |  |     |     |       |            |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|     |                                       |  |      |      |     |                |      |       |      |      |           |
|-----|---------------------------------------|--|------|------|-----|----------------|------|-------|------|------|-----------|
| 181 | Mesitylene                            |  |      |      | 0,5 |                |      | 0,8   |      |      |           |
| 182 | Caryophyllene alcohol                 |  |      |      |     |                |      |       |      |      | 1,1       |
| 183 | 1-methoxy-4-nitro benzene             |  | 0,72 |      |     |                |      |       |      |      |           |
| 184 | acetophenone                          |  |      |      | 0,1 |                |      |       |      |      |           |
| 185 | 2-Cyclohexyldecane                    |  |      |      |     |                |      | 0,8   |      |      |           |
| 186 | trans-c-Bisabolene                    |  |      |      | 0,2 |                |      |       |      |      |           |
| 187 | Trans Anethole                        |  |      |      | 0,2 | 1,4            |      |       |      |      |           |
| 188 | 2-Isopropyl-1-methoxy-4-methylbenzene |  |      |      |     |                |      |       |      | 0,10 |           |
| 189 | 2-Methylbutyl isovalerate             |  |      |      | 0,7 |                |      |       |      |      |           |
| 190 | Tetradecan                            |  |      |      |     |                |      |       |      |      | 0 – 0,8   |
| 191 | Hexyl 2-methyl butanoate              |  |      |      |     |                |      | tr    |      |      |           |
| 192 | 1-Methylcycloheptene                  |  |      |      |     |                |      | 0,3   |      |      |           |
| 193 | 1-Nitro-cyclohex-1-ene                |  |      | 1,13 |     |                |      |       |      |      |           |
| 194 | E-nerolidol                           |  |      |      |     |                |      | tr    |      |      |           |
| 195 | 1,2,4-Trimethylbenzene                |  |      |      | 0,6 |                |      |       |      |      |           |
| 196 | (E)- Caryophyllene                    |  |      | 0,87 |     |                |      | tr    |      |      | 1,5 – 2,5 |
| 197 | nerolidol                             |  | 0,66 |      |     |                |      |       | 0,3  |      |           |
| 198 | $\alpha$ -Amorphene                   |  |      |      |     |                | 5,92 |       |      |      |           |
| 199 | Davana furan                          |  | 0,17 |      |     |                |      |       |      |      |           |
| 200 | Eicosene                              |  |      |      |     |                |      |       |      |      | 0,3 – 0,5 |
| 201 | caryophyllene oxide                   |  | 0,28 |      | 0,3 |                |      |       | 0,2  |      | 0,8 – 2,2 |
| 202 | Lavandulyl-2-methylbutanoate          |  |      |      | 0,3 |                |      |       |      |      |           |
| 203 | $\alpha$ -bisabolol                   |  |      |      |     | 0,5            |      |       |      |      |           |
| 204 | Nordavanone                           |  | 0,3  |      | 0,8 |                |      | 1,3   | 0,2  |      |           |
| 205 | Lavandulyl acetate                    |  |      |      |     |                |      |       | 0,2  |      |           |
| 206 | 3-Isopropylphenol                     |  |      |      | 0,2 |                |      |       |      |      |           |
| 207 | $\gamma$ -curcumene                   |  |      |      |     | 0,5            |      |       |      |      |           |
| 208 | 3-Butyn-2-ol,2-methyl                 |  |      |      |     |                |      |       |      | 1,79 |           |
| 209 | n-Propyl cinnamate                    |  |      |      | tr  |                |      |       |      |      |           |
| 210 | lavandulol                            |  |      |      |     | 0,3            |      |       | 0,9  |      |           |
| 211 | cis-threo-Davanafuran                 |  |      |      | 0,2 |                |      | tr    |      |      |           |
| 212 | davanone                              |  |      |      |     |                |      | tr    | 18,1 |      | 0 – 2,1   |
| 213 | Piperitenone                          |  |      |      |     | 1,1 $\pm$ 0,03 |      |       |      |      |           |
| 214 | Lupeyl acetate                        |  |      |      |     |                |      |       |      | 0,07 |           |
| 215 | davanone-2-ol- $\beta$                |  |      |      |     |                |      |       | tr   |      |           |
| 216 | Isoaromadendrene epoxide              |  |      |      |     |                |      |       |      | 0,74 |           |
| 217 | Caryophyllene acetate                 |  |      |      |     |                | 5,7  | 10,75 |      |      |           |
| 218 | Octadecane, 3-ethyl-5-(2-ethylbutyl)  |  |      |      |     |                |      |       |      | 0,17 |           |
| 219 | Artedouglasia oxide-C                 |  |      |      | 0,2 |                |      |       |      |      |           |

### Chapitre 3 : Travaux antérieurs

|       |  |       |      |       |      |               |      |      |      |      |      |           |
|-------|--|-------|------|-------|------|---------------|------|------|------|------|------|-----------|
| 220   | Artedouglasia oxide-A  |       |      |       |      | 0,3           |      |      |      |      |      |           |
| 221   | Davana ether   |       |      |       |      | 0,2           |      |      |      | 0,9  |      |           |
| 222   | Davana ether 2   |       |      |       |      |               |      |      | 1,0  |      |      |           |
| 223   | octadecanol  |       |      |       |      |               |      |      |      |      |      | 0,5 – 2,0 |
| 224   | alpha-copaene  |       |      |       | 0,85 |               |      |      |      | tr   |      |           |
| 225   | 2-Cyclohexen-1-one,3-(3-hydroxybutyl)-2,4,4-trimethyl            |       |      |       |      |               |      |      |      |      | 0,15 |           |
| 226   | Isopropyl tetradecanoate   |       |      |       |      |               |      |      |      |      |      | 0 – 0,7   |
| 227   | (3beta,24S)-stigmast-5-en-3-ol/Clionasterol                      |       |      |       |      |               |      |      |      |      | 0,08 |           |
| 228   | Artemisyl acetate  |       |      |       |      |               | 3,7  |      |      |      |      |           |
| 229   | Ethyl phenyl acetate   |       |      |       |      | 0,2           |      |      |      |      |      |           |
| 230   | 3,7-dimethyl-1,5,7-octatrien-3-o                                 |       |      |       |      |               |      |      |      | 0,2  |      |           |
| 231   | (Z)-Ethylcinnamate   |       |      |       |      | 4,6 ± 0,05    |      |      |      |      |      |           |
| 232   | (E)-Ethylcinnamate   |       |      |       |      | 14,7±<br>0,46 |      |      |      |      |      |           |
| 233   | Cis-2-phenyl-1, 3-diolane-4-methyl octadec-9, 12, 15-trienoate   |       |      |       |      |               |      |      |      |      | 0,11 |           |
| 234   | Cyclopropanoic acid,2-[(2-pentylcyclopropyl)methyl], methylester |       |      |       |      |               |      |      |      |      | 0,08 |           |
| 235   | Z,Z,Z-4,6,9-Nonadecatriene                                       |       |      |       |      |               |      |      |      |      | 0,16 |           |
| 236   | 2,5,5-Trimethyl-1-hexen-3-yne                                    |       |      |       |      |               |      |      | 0,3  |      |      |           |
| 237   | Benzene,(3-octylundecyl)   |       |      |       |      |               |      |      |      |      | 0,12 |           |
| 238   | 2-Methylbutyl-3-phenylpropanoate                                 |       |      |       |      | 0,2           |      |      |      |      |      |           |
| 239   | Viridiflorol   |       | 1,05 |       |      |               |      |      |      |      |      |           |
| 240   | 3-Cyclohexene-1-propanol, 4-methyl-gamma-methylene               |       |      |       |      |               |      |      |      |      | 0,10 |           |
| 241   | Dec-1-en-3-ol  |       |      |       |      |               |      |      | tr   |      |      |           |
| 242   | Spathulenol  | 0,99  |      | 3,57  |      | 3,3± 0,12     | 0,5  |      | 1,3  | 0,6  |      |           |
| 243   | 2,5-Diethenyl-2-methyl-tetrahydrofuran                           |       |      |       |      |               |      |      | 0,5  |      |      |           |
| 244   | Toosendanin  |       |      |       |      |               |      |      |      |      | 0,08 |           |
| 245   | nonadecane   |       |      |       |      |               |      |      |      |      |      | 2,8 – 9,3 |
| 246   | Benzene,[3-(2-cyclohexylethyl)-6-cyclopentylhexyl]               |       |      |       |      |               |      |      |      |      | 0,11 |           |
| 247   | Tricosane  |       |      |       |      |               |      |      |      |      |      | 0 – 1,2   |
| 248   | Dibenzofuran   |       |      |       |      |               |      |      |      |      | 1,76 |           |
| Total |  | 83,10 | 95,3 | 72,66 | 100  | 99,6          | 95,3 | 90,1 | 93,2 | 89,8 |      |           |



Les études en Espagne ont montré que le camphre, la davanone, le p-cymène et le 1,8-cinéole, étaient les principaux composés retrouvés dans l'huile de tiges et de fleurs d'*Artemisia herba alba*.

Deux types d'huile ont été trouvés pour les plantes cultivées en Maroc, celle de type  $\alpha$ - Thuyène (Derwich et al.,2009) et de type  $\alpha$ - Thuyène et  $\beta$ - Thuyène (Allali et al .,2022).

En Egypte, le composant principal était le  $\alpha$ - Thuyène, classant la plante comme étant un chémotype de  $\alpha$ - Thuyène. Pour l'huile iranienne, les principaux composants étaient le Cis-pinocarveol et l'Artemisia Cétone.

Dans l'huile tunisienne, deux chémotypes ont été trouvés à partir de l'huile d'*Artemisia herba-alba* extraite des parties aériennes de plantes originaires des régions arides, une huile riche en  $\alpha$ - Thuyène,  $\beta$ - Thuyène et 1,8-cinéole par (Kadri et al.,2011). Le deuxième chémotype est caractérisé par la prédominance du Cis-acétate de chrysanthényle, de l'acétate de sabinyle et de l' $\alpha$ - Thuyène.(Zouari et al., 2010)

La pipéritone a été signalée comme le principal composant de l'huile essentielle d'Arabie saoudite. Ce profil chimique est différent de celui de Libye qui est dominé par la Chrysanthénone, le Cis-Thuyone et le Cis-acétate de chrysanthényle.

En Jordanie, un chémotype de  $\alpha$ - Thuyone, d'alcool de santoline et de la cétone d'*Artemisia* est retrouvée à Amman (Hudaib and Aburjai 2006). Un autre chémotype contenant de la  $\beta$ -Thuyone, du camphre et de l'acétate de caryophyllène a été enregistré à Al Mafraq (Qnais et al.,2016).

En Algérie, 10 chémotypes ont été trouvés. En général les principaux composants sont le camphre, les  $\alpha$ - et  $\beta$ -Thuyones, la davanone, le 1,8-cinéole et la chrysanthénone.

Il convient de noter que les recherches n'ont signalé aucune corrélation entre les chémotypes et la répartition géographique.

### 3.3.2.2 Paramètres influençant la composition et le rendement

Le rendement des HE d'*Artemisia herba alba* est assez variable, car il est influencé par la méthode de séchage, la méthode de distillation et la plante elle-même en raison des différentes compositions d'HE entre les organes de la plante.

#### 3.3.2.2.1 Paramètre intrinsèque

##### 3.3.2.2.1.1 Période de récolte

Dans le but d'assurer une production durable réussie à partir d'espèces cultivées dans les régions arides (sans fumier et irrigation uniquement pendant les mois les plus secs), (Mighri et al.,2009.a) ont fait une recherche où ils ont décrit et étudié les effets de la saison de récolte sur le rendement et la composition de l'huile essentielle isolée des parties aériennes reconstituées de la touffe d'*Artemisia herba-alba*.

Leurs résultats ont montré que les rendements en huile d'A. herba-alba obtenus variaient significativement selon les saisons et que les rendements les plus élevés en biomasse et en huile essentielle ont été obtenus au stade de la floraison. (Mighri et al.,2009.a) Considèrent cette période comme la plus appropriée pour récolter l'Artemisia herba-alba. cette conclusion a également été tirée par (Ghanmi et al.,2010) et (Boussoula et al.,2017).

La composition des huiles riches en  $\beta$ - et  $\alpha$ -thuyone n'a pas varié tout au long de l'expérience de (Mighri et al.,2009.a), En revanche, l'étude de (Boussoula et al.,2017) a révélé la variation de nombreux composés selon le stade phénologique.

### 3.3.2.2.1.2 Durée et Mode de séchage et de stockage

Outre le moment et le mode de récolte de la plante cultivée, le processus de séchage peut avoir une influence sur le rendement et la composition chimiques d'huile essentielle.

(Mighri et al.,2009.b) ont traité dans l'une de leurs articles de recherches l'effet du temps et du processus de séchage de l'Armoise blanche sur le rendement en HE extraite par la méthode d'hydro-distillation. Les tableaux 3.22 et 3.23 résument les résultats obtenus.

**Tableau 3.22 : Influence de la période de séchage à l'ombre sur le rendement en huile essentielle et la teneur en eau de la biomasse. (Mighri et al.,2009.b)**

| <b>Période de séchage (jour)</b> | <b>Teneur en eau (%)</b> | <b>Rendement en HE(%)</b> |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| <b>1</b>                         | 54,6                     | 2,53                      |
| <b>4</b>                         | 38,1                     | 2,18                      |
| <b>7</b>                         | 27,9                     | 2,08                      |
| <b>10</b>                        | 13,5                     | 2,02                      |
| <b>13</b>                        | 13,4                     | 1,96                      |
| <b>16</b>                        | 12,6                     | 2,06                      |
| <b>20</b>                        | 11,8                     | 1,84                      |

**Tableau 3.23 : Influence de la période de séchage au four de la biomasse à 35°C sur le rendement et la composition des huiles essentielles. (Mighri et al.,2009.b)**

| <b>Période de séchage (jour)</b> | <b>Teneur en eau (%)</b> | <b>Rendement en HE(%)</b> |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| <b>1</b>                         | 54,6                     | 2,53                      |
| <b>2</b>                         | 33,4                     | 1,88                      |
| <b>3</b>                         | 12,5                     | 1,74                      |
| <b>4</b>                         | 10,6                     | 1,73                      |
| <b>5</b>                         | 2,7                      | 0,72                      |
| <b>6</b>                         | 2,5                      | 0,72                      |

D'après le tableau 3.22, le rendement le plus élevé a été obtenu le premier jour, lorsque l'Armoise blanche a été récoltée, ensuite il diminue progressivement de 2,53 % à 1,84 %, le rendement le plus faible étant obtenue après vingt jours de séchage.

En parallèle, une forte perte de rendement en huile essentielle d'armoise blanche séchée au four a été observée en six jours où elle est passée de 2,5 % à 0,7 %.

En conclusion, le séchage de l'armoise blanche à l'ombre ou au four entraîne une diminution du rendement en huile essentielle. Cependant, le séchage reste une étape primordiale avant le stockage (Pradhan et Badola.,2012) citons en exemple l'étude de (Mohsen et Ferchichi.,2009) où tous les échantillons d'armoise blanche ont été séchés à l'ombre pendant 15 jours à température ambiante avant le stockage et l'extraction

### 3.3.2.2.1.3 Nature de la matière végétale

Les rendements en huiles essentielles extraites par hydrodistillation pendant une durée de 3 heures à partir de différents organes d'armoise blanche dans différents pays et régions sont regroupés dans le tableau 3.24.

**Tableau 3.24 : Effet de la nature de la matière végétale sur le rendement en HE d'Artemisia Herba alba**

| <b>Pays</b>     | <b>Régions</b> |               | <b>Partie de la plante</b> | <b>Rendement en HE%</b> | <b>Références</b>           |                      |
|-----------------|----------------|---------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------|
| <b>Algérie</b>  | Djelfa         |               | Feuille, fleurs            | 0.8                     | Lakehal et al., 2016        |                      |
|                 | M'Sila         | Boussaada     | Parties aériennes          | 0.36                    | R. Belhattab et al. (2014)  |                      |
|                 |                | Djebel Messad | Feuille,tige               | 1.02                    | Dob et Benabdelkader (2006) |                      |
|                 | Sétif          | Benifouda     | Partie aérienne            | 0.79                    | R. Belhattab et al. (2014)  |                      |
|                 |                | Bougaa        |                            | 0.94                    |                             |                      |
|                 |                | Boutaleb      |                            | 0.16                    |                             |                      |
|                 | Oum El Bouaghi |               |                            | 1.0                     | Rekkab et al (2016)         |                      |
|                 | Bechar         |               |                            | 1.73                    | Ouguirti et al. (2021)      |                      |
|                 | <b>Maroc</b>   | Fez           |                            | 0.59                    | (Derwich et al.,2009)       |                      |
|                 |                | Boulemane     |                            | 1,18                    | (Allali et al .,2022)       |                      |
| <b>Jordanie</b> | Buseirah       |               |                            | 3                       | (Abu-darwish et al.,2015)   |                      |
| <b>Libye</b>    | Zintan         |               |                            | 0.90                    | (Janačković et al.,2015)    |                      |
| <b>Espagne</b>  | Quesada        |               |                            | Tiges et fleurs         | 0.81                        | (Salido et al.,2001) |
| <b>Tunisie</b>  | Tataouine      |               | Feuilles                   | 1,85                    | (Neffati et al.,2008)       |                      |

Nous constatons que l'huile essentielle est produite dans plusieurs parties d'*Artemisia herba alba*, y compris les feuilles, la tige et les fleurs comme indiqué dans le tableau 3.24.

Les rendements variaient de 0,16 % à 3%. Le rendement maximale étant obtenu en Jordanie par (Abu-darwish et al.,2015). En général, chaque partie de la plante a donné un rendement élevé, mais les parties aériennes de sétif, plus précisément de la région de Boutalab, étaient très faibles, tandis que l'extraction des mêmes parties d'autres endroits de sétif a donné de bons rendements.

Nous n'avons remarqué aucune autre variation significative des performances de rendement entre les différentes parties de la plante.

### 3.3.2.2.2 Paramètres opératoire

#### 3.3.2.2.2.1 Durée

Les rendements en huile essentielle obtenus par hydrodistillation des parties aériennes d'*Artemisia herba alba* pendant différentes durées d'extraction sont regroupés dans le tableau 3.25.

**Tableau 3.25 : Influence de la durée d'extraction par hydrodistillation des parties aériennes d'armoise blanche sur le rendement en HE**

| Pays            | Régions        | Durée d'extraction (h) | Rendement (%) | Références                      |
|-----------------|----------------|------------------------|---------------|---------------------------------|
| Algérie         | M'sila         | 2,5                    | 0,62          | Hamzaoui et Baaliouamer (2010)  |
|                 |                | 3                      | 0,36          | Belhattab et al. (2014)         |
|                 | Sétif          | 3                      | 0,79          | Belhattab et al. (2014)         |
|                 | Oum el Bouaghi | 3                      | 1             | (Rekkab et al.,2016)            |
| Maroc           | -              | 4                      | 3,3           | (Paolini et al., 2010)          |
|                 | Taroudant      | 3                      | 0,71          | (Asdadi et al.,2020)            |
| Arabie Saoudite | Riyadh         | 4                      | 0,051         | (Al-Wahaibi et al., 2018)       |
| Jordanie        | Amman          | 2                      | 1,3           | (Hudaib and Aburjai 2006)       |
|                 | Al-Mafraq      | 4                      | 0,45          | (Qnais, Alatshan, et al .,2016) |
| Tunisie         | Médenine       | 4                      | 1,93 – 2,42   | (Mighri et al.,2009.a)          |
|                 |                | 4                      | 0,72 – 2,5    | (Mighri et al.,2009.b)          |

Il ressort de l'étude du tableau 27, que les meilleurs rendements sont obtenus respectivement pour les deux durées : 4 heures (1,93% à 2,42%) et 2 heures (1,3%). Le plus faible rendement est observé pour une durée de 4 heures (0,051%) en Arabie Saoudite.

En générale, les temps d'extraction de 2 à 4 h par la méthode d'hydrodistillation fournissent des bons rendements.

### 3.4 Cinétique d'extraction

#### 3.4.1 Coriandrum Sativum

##### 3.4.1.1 Cinétique de l'hydro-distillation

###### 3.4.1.1.1 Influence de la matière végétale sur le rendement en HE

L'étude de l'influence de la matière végétale sur le rendement en l'huile essentielle de la coriandre extraite par la méthode d'hydro-distillation, a fait l'objet des travaux antérieurs de ces auteurs (Beddek, 1995 et Benyoussef, 1999).

Les essais ont été réalisés pour une masse de matière végétale 60g de trois tailles différentes (des graines entières de diamètre moyen 4mm, des graines concassées de diamètre moyen 2mm, et des graines réduites en poudre de diamètre moyen inférieur à 0.2mm), un taux d'humidité de 9.5% et une durée d'extraction fixée à 9 heures. Les résultats obtenus (tableau 3.26) montrent que le rendement en huile essentielle est affecté par le broyage du substrat végétal.

La représentation graphique de ces résultats (figure 3.12) indique en effet, que l'efficacité de l'extraction est d'autant meilleure que la granulométrie est faible. Ceci est dû au fait que la surface d'échange offerte est plus importante quand les graines sont broyées finement. Ainsi, pour une durée de 2 heures, près de 80% de l'HE sont récupérés pour les graines réduites en poudre, ce taux est de 50% pour les graines concassées et de 40% à défaut de broyage.

**Tableau 3.26 : Rendements en huile essentielle obtenus lors de l'hydro-distillation des graines de coriandre d'Algérie pour trois granulométries différentes (Beddek, 1995)**

| Temps (mn) | Rendement $R_H$ (%) |                    |                            |
|------------|---------------------|--------------------|----------------------------|
|            | Graines entières    | Graines concassées | Graines réduites en poudre |
| 10         | 0.0036              | 0.0145             | 0.0314                     |
| 20         | 0.0064              | 0.0198             | 0.0380                     |
| 30         | 0.0086              | 0.0228             | 0.0440                     |
| 45         | 0.0120              | 0.0250             | 0.0471                     |
| 60         | 0.0141              | 0.0270             | 0.0510                     |
| 90         | 0.0200              | 0.0300             | 0.0550                     |
| 120        | 0.0250              | 0.0320             | 0.0575                     |
| 180        | 0.0340              | 0.0370             | 0.0600                     |
| 240        | 0.0400              | 0.0420             | 0.0608                     |
| 300        | 0.0443              | 0.0456             | 0.0630                     |
| 360        | 0.0485              | 0.0490             | 0.0663                     |
| 420        | 0.0520              | 0.0510             | 0.0701                     |
| 480        | 0.0543              | 0.0552             | 0.0720                     |
| 540        | 0.0566              | 0.0567             | 0.0729                     |

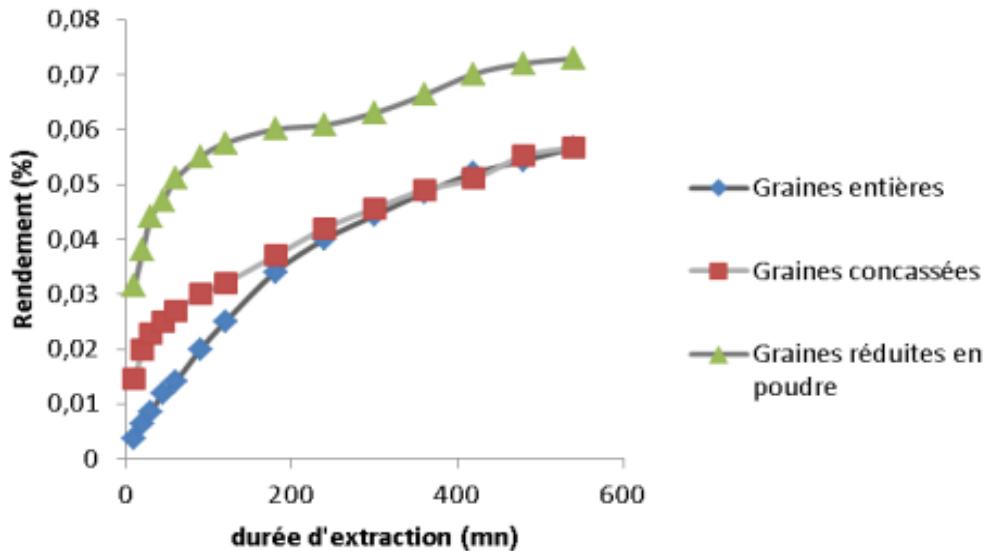


Figure 3.12 : Evolution du rendement en huile essentielle extraite par hydro-distillation en fonction du temps. (Beddek, 1995)

En conclusion, un broyage fin de la matière végétale est nécessaire afin de réduire la durée d'extraction.

### 3.4.1.1.2 Cinétique des constituants majoritaires

Les résultats d'analyse chromatographiques gazeuses faite par (Beddek, 1995) (tableau 3.27) et (figure 3.13) montrent que le Linalol, constituants majoritaire de l'huile essentielle, est récupéré au bout des trois premières heures d'extraction. Alors que, l'acide myristique continue à être distillé au-delà de 9 heures de traitement. Quant à l'octanal, lui présente un comportement intermédiaire.

Tableau 3.27 : Evolution des rendements des composés majoritaires de l'huile essentielle au cours de l'hydro-distillation des graines de coriandre réduites en poudre (Beddek.,1995)

| Temps (minutes) | Rendement $R_H$ ( $10^{-4}$ g/g) |         |                  |
|-----------------|----------------------------------|---------|------------------|
|                 | Linalol                          | Octanal | Acide myristique |
| 10              | 2.313                            | 0.071   | 0.011            |
| 20              | 2.812                            | 0.083   | 0.023            |
| 30              | 3.221                            | 0.133   | 0.037            |
| 45              | 3.354                            | 0.153   | 0.048            |
| 60              | 3.533                            | 0.170   | 0.060            |
| 90              | 3.698                            | 0.180   | 0.100            |
| 120             | 3.843                            | 0.185   | 0.108            |
| 180             | 3.909                            | 0.191   | 0.120            |
| 240             | 3.925                            | 0.193   | 0.124            |
| 300             | 3.948                            | 0.200   | 0.138            |
| 360             | 4.011                            | 0.210   | 0.170            |
| 420             | 4.098                            | 0.218   | 0.210            |
| 480             | 4.113                            | 0.221   | 0.211            |
| 540             | 4.205                            | 0.221   | 0.231            |

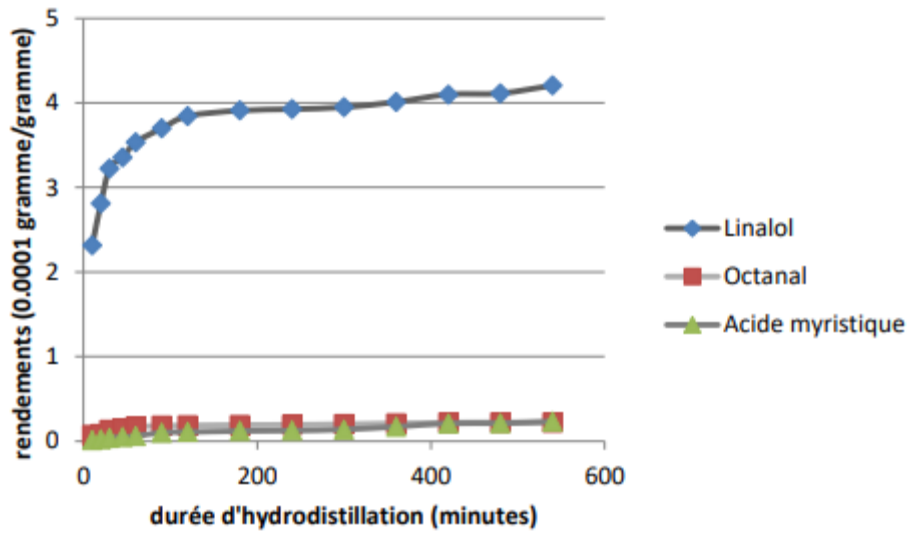


Figure 3.13 : Evolution des rendements des constituants majoritaires de l’huile essentielle extraite par hydro-distillation en fonction du temps (beddak.,1995)

Une autre étude de (Zheljazkov et al.2014) donne le suivi de la concentration des constituants majoritaires de l’huile essentielle de coriandre extraite par hydrodistillation. Le rendement de chaque constituant en fonction du temps a été calculé et rapporté dans le tableau 3.28. Les allures du rendement sont également représentées dans la figure 3.14.

Tableau 3.28 : Rendement des constituants majoritaires en fonction du temps d’hydrodistillation (Zheljazkov et al.2014)

| DT (min) | $\alpha$ -pinene | Camphene | $\beta$ -pinene | Myrcene | Para-cymene | Limonene | $\gamma$ -terpinene | linalool | Camphor |
|----------|------------------|----------|-----------------|---------|-------------|----------|---------------------|----------|---------|
| 1.25     | 15.6             | 2.0      | 1.2             | 1.8     | 5.7         | 4.1      | 12.6                | 53.4     | 2.7     |
| 2.5      | 33.8             | 4.4      | 2.6             | 3.9     | 10.9        | 8.8      | 28.0                | 126.8    | 6.7     |
| 5        | 27.8             | 3.5      | 2.1             | 3.2     | 8.1         | 7.4      | 25.3                | 125.4    | 6.8     |
| 10       | 23.5             | 3.0      | 1.9             | 3.0     | 8.6         | 7.1      | 24.6                | 140.8    | 7.7     |
| 20       | 24.9             | 3.2      | 2.0             | 3.3     | 9.2         | 7.9      | 28.0                | 178.4    | 10.1    |
| 40       | 31.1             | 3.9      | 2.5             | 3.9     | 9.7         | 9.2      | 33.5                | 205.8    | 11.6    |
| 80       | 32.3             | 4.1      | 2.5             | 4.0     | 11.9        | 9.6      | 33.7                | 207.8    | 11.3    |
| 160      | 35.7             | 4.6      | 2.8             | 4.4     | 12.2        | 10.6     | 37.6                | 215.9    | 11.5    |
| 240      | 10.0             | 1.5      | 1.2             | 2.3     | 10.1        | 6.4      | 23.6                | 175.6    | 8.4     |

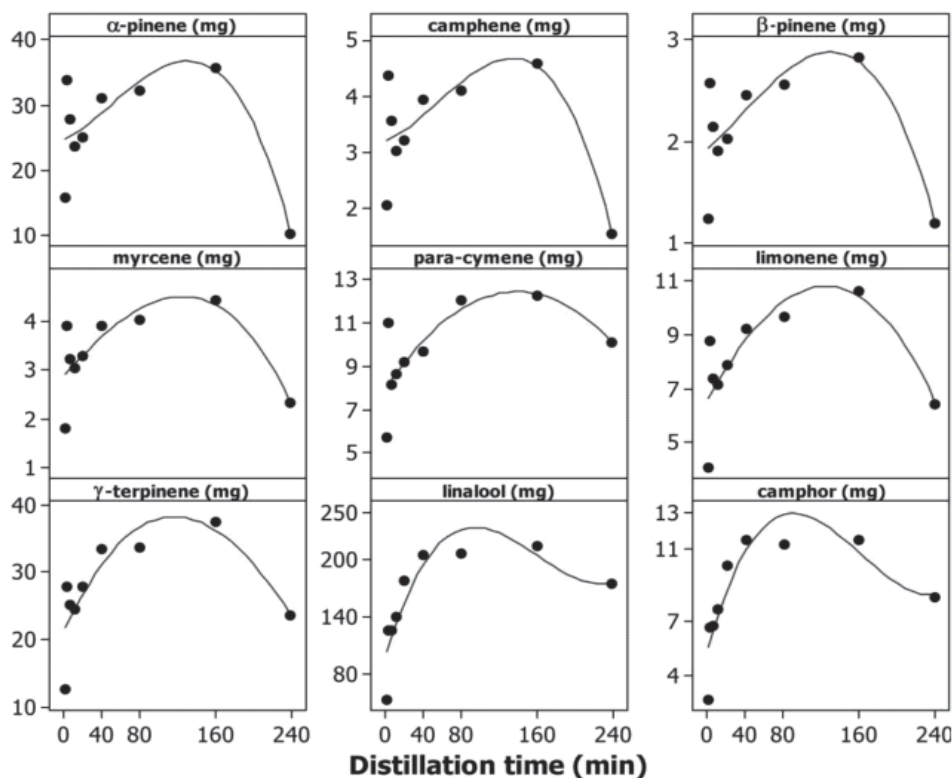


Figure 3.14 : Tracé du rendement différentiel des constituants majoritaire en fonction du temps de distillation (Zheljazkov et al.2014)

Le linalol, le principal constituant de l'huile de coriandre, était de 53,4 mg à une durée d'extraction de 1,25- min, il a augmenté pour atteindre un maximum de 215,9 mg à 160 min. puis il a diminué à environ 175,6 mg à 240 min.

L'observation des résultats permet de déduire qu'un rendement maximum en termes de tous les constituants majeurs peut être atteint dans un intervalle de temps de distillation de 80 à 100 min.

### 3.4.1.2 Cinétique d'extraction par entraînement à la vapeur d'eau

La planification factorielle mise en œuvre par Benyoussef (Benyoussef, 1999) a permis d'obtenir les résultats de la variation du rendement en huile essentielle, extraite par la méthode d'entraînement à la vapeur, avec la durée d'extraction. Les résultats de l'expérience sont donnés et représentés dans le tableau 3.29 et la figure 3.15 respectivement.



Tableau 3.29 : Variation du rendement en huile essentielle avec la durée d'extraction lors de la planification factorielle des expériences. (Benyoussef, 1999)

| Variables réduites | X <sub>1</sub>     | X <sub>2</sub> | X <sub>1</sub>     | X <sub>2</sub> | X <sub>1</sub>     | X <sub>2</sub> | X <sub>1</sub>     | X <sub>2</sub> |
|--------------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
|                    | -1                 | -1             | -1                 | +1             | +1                 | -1             | +1                 | +1             |
| Temps (minutes)    | R <sub>E</sub> (%) |                | R <sub>E</sub> (%) |                | R <sub>E</sub> (%) |                | R <sub>E</sub> (%) |                |
| 10                 | 0,033              |                | 0,024              |                | 0,050              |                | 0,024              |                |
| 20                 | 0,051              |                | 0,031              |                | 0,069              |                | 0,050              |                |
| 30                 | 0,074              |                | 0,040              |                | 0,097              |                | 0,065              |                |
| 45                 | 0,109              |                | 0,077              |                | 0,120              |                | 0,093              |                |
| 60                 | 0,141              |                | 0,105              |                | 0,139              |                | 0,120              |                |
| 90                 | 0,174              |                | 0,200              |                | 0,167              |                | 0,159              |                |
| 120                | 0,216              |                | 0,312              |                | 0,191              |                | 0,174              |                |
| 180                | 0,272              |                | 0,384              |                | 0,212              |                | 0,253              |                |
| 240                | 0,300              |                | 0,572              |                | 0,243              |                | 0,255              |                |
| 300                | 0,335              |                | 0,760              |                | 0,269              |                | 0,270              |                |

La représentation graphique de ces résultats montre que les rendements obtenus par cet essai sont plus importants que ceux obtenus par d'autres expériences. Cela peut être due que pour une petite hauteur de lit de matière végétale et une grande vitesse de distillation, l'entraînement à la vapeur intéresse les huiles essentielles ainsi que des composés plus lourds (coumarines). (Benyoussef, 1999).

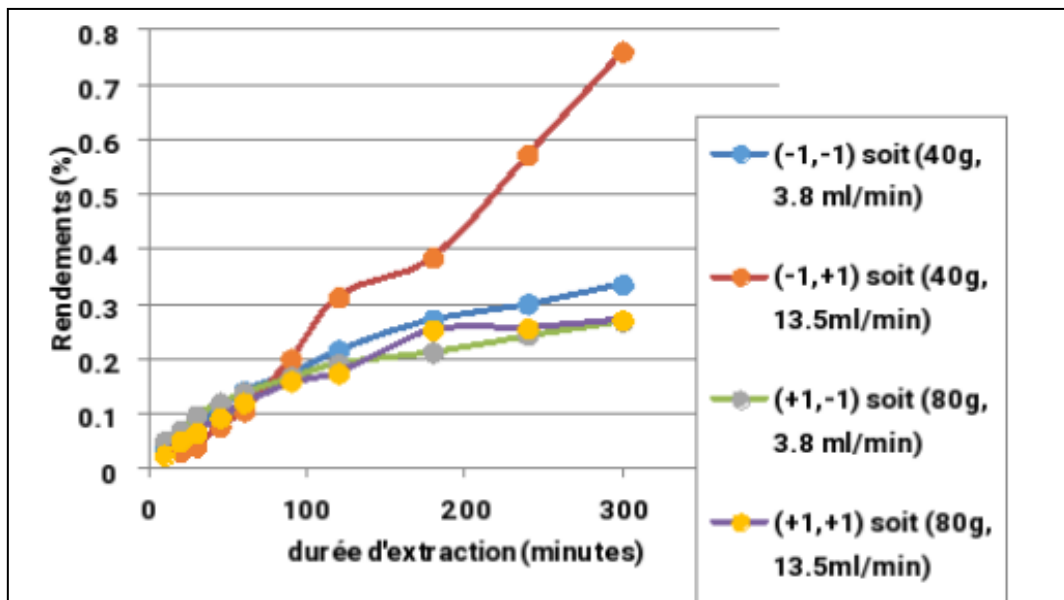


Figure 3.15 : Evolution du rendement en HE en fonction de la durée d'entraînement à la vapeur (Benyoussef, 1999)

### 3.4.2 Nigella Sativa

#### 3.4.2.1 Cinétique d'hydro-distillation

##### 3.4.2.1.1 Cinétique d'extraction à partir des graines

L'extraction ainsi que l'évolution de rendement en huile essentielle de graines de Nigella Sativa par hydro-distillation a fait l'objet de thèse de doctorat de Benkaci-Ali, 2007.

Les résultats de l'expérience de Benkaci-Ali sont représentés dans le graphe ci-dessous (figure 3.16) :

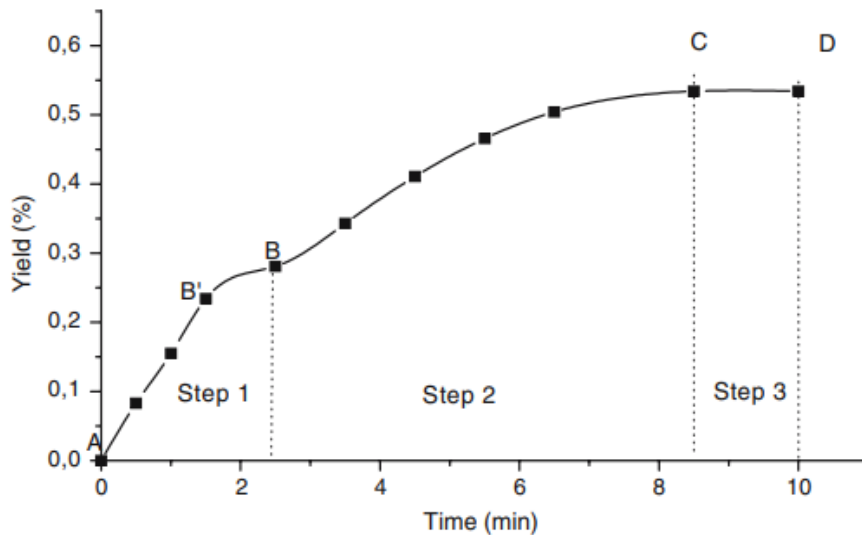


Figure 3.16 : Profil du rendement en l'huile essentielle de du Nigella Sativa en fonction du temps d'extraction.(Benkaci-Ali, 2007).

Cette courbe représente l'évolution du rendement en l'huile essentielle de du Nigella Sativa en fonction de la durée de temps d'extraction et montre la présence de trois parties :

- Lors de la première partie, 50% de l'huile essentielle globale localisée sur la surface du végétal est extraite durant 2.5 minute.
- La deuxième partie représente la diffusion interne du milieu des particules vers le milieu externe impliquée par le réchauffement interne de l'eau située dans les cellules végétales et l'eau d'humidification (50mL). Dans cette phase, 50% de l'huile essentielle globale est extraite (réaliser en 6 minutes).
- La troisième partie représente une droite horizontale marquant la fin du processus d'extraction.

D'après cette étude cinétique, une durée de 6 minutes suffit d'obtenir 90% de l'huile essentielle. Cela permet de conclure que le temps d'extraction peut être réduit jusqu'à cette dernière valeur (6 minute).

### 3.4.2.1.2 Cinétique d'extraction à partir de l'huile végétale

L'étude de Hadjazi, 2016 sur le suivi cinétique de l'extraction de l'huile essentielle de *Nigella sativa* par hydro-distillation à partir de l'huile végétale obtenue par pression à froid, montrent que l'évolution du rendement en fonction du temps est répartie en trois étapes.

La première, caractérisée par un très faible rendement et qui correspond au chauffage de la matrice. Lors de la seconde étape, une augmentation considérable de la quantité d'HE récupérée est observée entre 30 à 90 minutes. La dernière étape, correspond à un rendement maximum d'extraction des huiles essentielles.

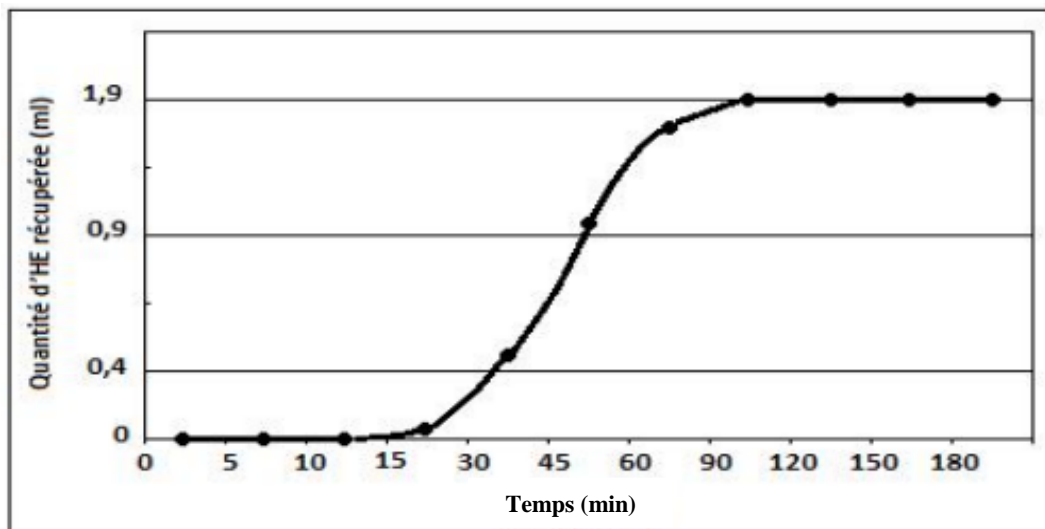


Figure 3.17 : Evolution du rendement en HE lors de l'hydro-distillation (Hadjazi.,2016).

En conclusion, lors de l'extraction par hydro-distillation un temps de 90 minutes est nécessaire pour extraire le maximum d'huile essentielle.

## 3.4.3 Artemisia herba alba

### 3.4.3.1 Cinétique d'hydro-distillation

#### 3.4.3.1.1 Cinétique globale

Un suivi cinétique a été réalisé par (Bouzidi, 2016) sur l'extraction de l'huile essentielle pour but de fixer le temps nécessaire pour extraire le maximum d'huile et pour éviter les pertes de temps et d'énergie.

La figure 3.18 représente l'évolution du rendement en huile essentielle d'armoise blanche en fonction du temps. Le rendement augmente en fonction du temps puis il tend à se stabiliser à partir de 3 heures et demi.

Donc, le temps d'extraction d'huile essentielle d'armoise blanche par hydro-distillation est d'environ 3 heures.

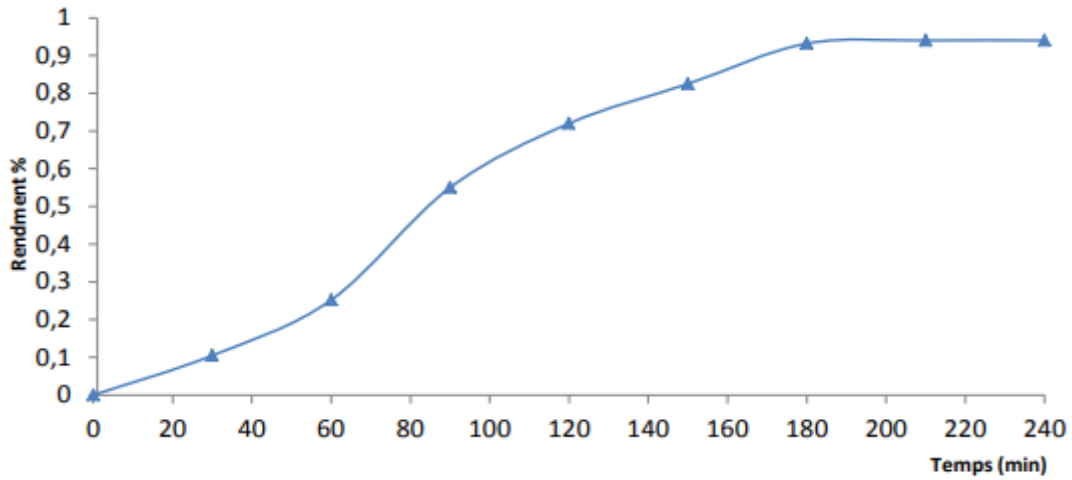


Figure 3.18 : Cinétique d'extraction de l'huile essentielle d'*Artemisia herba alba* par hydro-distillation. (Bouzidi.,2016)

### 3.4.3.1.2 Effet du séchage sur le rendement en huile essentielle

L'évaluation de l'effet de la durée de séchage sur le rendement en huile essentielle d'armoise blanche a fait l'objet de Mémoire de Master de ces auteurs (Magraoui et Zahaf, 2018). Les résultats sont regroupés dans le tableau 3.30.

Tableau 3.30 : Variation du rendement en huiles essentielles d'*A. herba alba* en fonction de la durée de séchage. (Magraoui et Zahaf.,2018)

| Région | Rendement en HE (%) |       |         |
|--------|---------------------|-------|---------|
|        | Djelfa              |       | Tébessa |
| Jours  | Février             | Avril | Avril   |
| 10     | /                   | 0.46  | 0.18    |
| 11     | /                   | 0.56  | /       |
| 12     | /                   | /     | 0.38    |
| 13     | /                   | /     | 0.37    |
| 14     | /                   | 0.62  | /       |
| 15     | 0.05                | 0.66  | /       |
| 16     | 0.24                | /     | /       |
| 19     | 0.32                | /     | /       |
| 20     | 0.28                | /     | /       |
| 23     | /                   | 0.34  | /       |
| 28     | /                   | /     | 0.64    |

La représentation graphique de ces résultats est montrée dans la figure 21 ci-dessous.

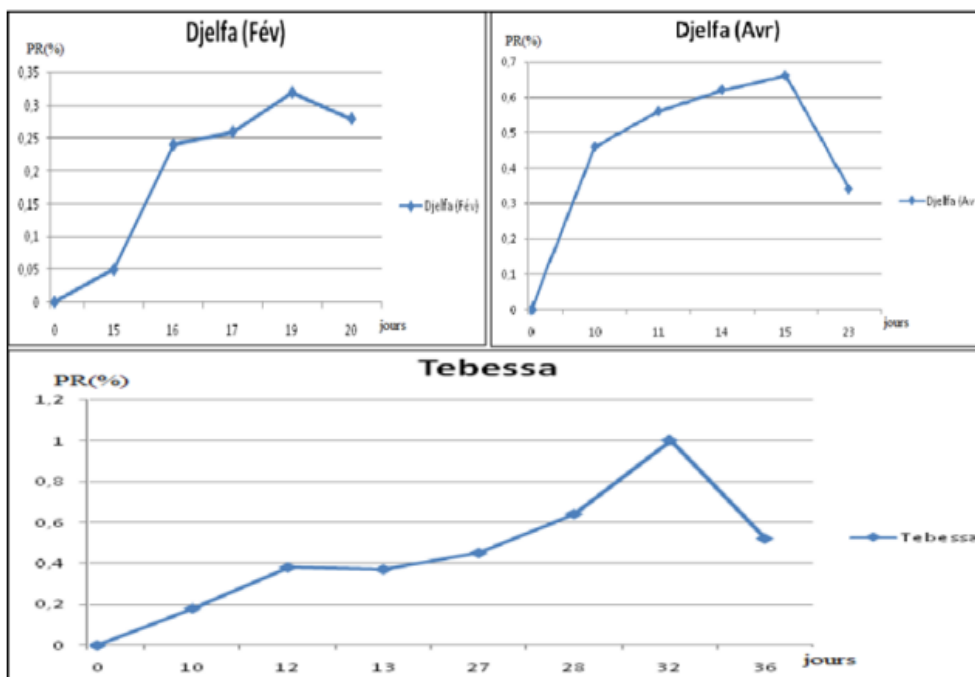


Figure 3.19 : L'évolution d'extraction par HD des HE des parties aériennes d'Artemisia herba alba influencées par différents durée de séchages (Magraoui et Zahaf.,2018)

L'analyse de ces résultats montre que le rendement en huile essentielle d'armoise blanche augmente avec l'augmentation de la durée de séchage. Ainsi, cette augmentation atteint son maximum pour Djelfa après 15 jours au mois d'avril (0.66%) et au 32<sup>ème</sup> jour de séchage pour Tébéssa (1.0%). Or, une longue période de séchage conduit à l'évaporation des HE ce qui implique une diminution dans le rendement.

### 3.4.3.1.3 Influence de la nature de la plante sur le rendement

Magraoui et Zahaf, (2018) ont également étudié l'effet de la nature de la plante sur le rendement par l'extraction de l'huile essentielle des parties aériennes fraîches et sèches d'A. Herba alba des deux régions récoltées au mois de Février et Avril.

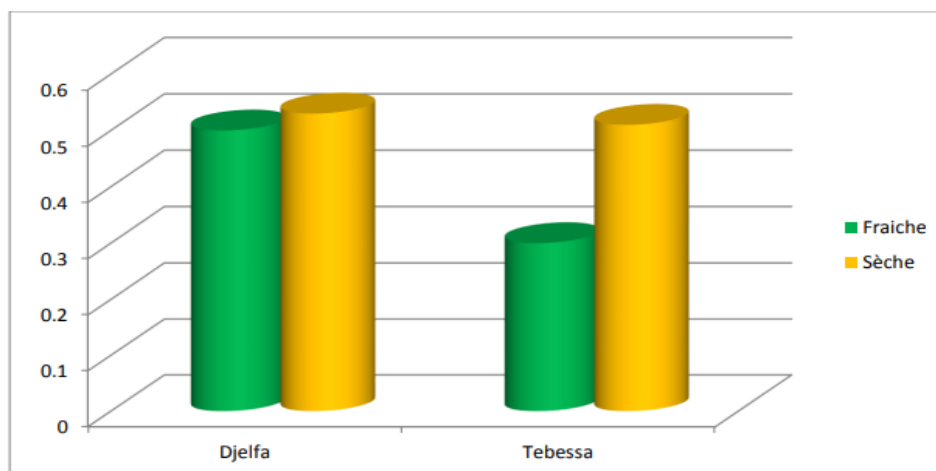


Figure 3.20 : Rendements des HE des parties aériennes fraîches et sèches d'A. Herba alba (Magraoui et Zahaf.,2018)

L'analyse de la figure 3.20 montre que les parties aériennes sèches de l'armoise blanche (0.53%) donnent un rendement proche à celui obtenu à partir de la plante fraîche (0.50%) pour la région de Djelfa.

Pour la région de Tébessa un rendement de 0.51% a été recueilli pour la plante sèche et de 0.3% pour la plante fraîche. Cela permet de conclure que le rendement d'extraction de l'huile essentielle de l'armoise blanche est variable suivant l'origine géographique de la plante.

### 3.5 Travaux antérieurs de Bensaid et Zerrougui, 2021

Le tableau 3.31 regroupe les différents résultats obtenus par Bensaid et Zerrougui.

**Tableau 3.31 : Résumé des résultats des travaux antérieur de Bensaid et Zerrougui.**

| Les plantes                  | Romarin   |                          | Pistachier  | Anis vert  | Menthe verte  |
|------------------------------|---|--------------------------|---|--|---|
|                              | Hydro-distillation  | Entrainement à la vapeur | Hydro-distillation  | Hydro-distillation   | Hydro-distillation  |
| Partie de la plante extraite | /   | Partie aérienne          | Feuilles sèches   | Graines  | Feuilles, fleurs, tiges   |
| Durée d'extraction (h)       | 3   | 2                        | 3   | 5h30min  | 2   |
| Composition chimique         | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1,8-cinéole</li> <li>▪ Camphre</li> <li>▪ Bornéol</li> <li>▪ <math>\alpha</math>-Terpinéol</li> <li>▪ <math>\beta</math>-Cryophyllène</li> </ul> |                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>\alpha</math>-Pinène</li> <li>▪ Limonène</li> <li>▪ <math>\beta</math>-Pinène</li> <li>▪ Germacrène D</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estragol</li> <li>▪ Anéthol</li> <li>▪ O-isoeugénol</li> <li>▪ <math>\gamma</math>-himachalène</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Carvone</li> <li>▪ 1,8-Cinéole</li> <li>▪ (Z)-Carvéol</li> <li>▪ Germacrène</li> </ul> |
| Rendement maximal            | 1.9   | 1.63                     | 1.28±0.08   | 3.3±0.05   | 1.966±0.015   |
| Temps d'extraction optimal   | 30 minutes  |                          | 30 minutes  | 1h30min (par la méthode MAHD)  | 90 minutes  |

L'étude a porté principalement sur la variation de la concentration et des constituants majoritaires lors de l'extraction à la vapeur d'eau des quatre plantes aromatique qui sont ; le romarin, le pistachier, l'anis vert et la menthe verte pour avoir un meilleur rendement en optimisant la durée d'extraction.

### Conclusion

Ce chapitre a permis d'avoir une idée globale sur les caractéristiques et le rendement des trois plantes étudiées ainsi que la cinétique.

Plusieurs paramètres intrinsèques et opératoires (période de récolte, mode de stockage, méthode d'extraction,...etc) peuvent influencer la composition et le rendement des huiles essentielles. Ainsi, il est nécessaire de bien choisir les conditions opératoires tel que le procédé d'obtention, la masse, la durée d'extraction afin d'obtenir l'huile essentielles avec la composition voulue et un rendement optimal. Les résultats obtenus sont importants et seront utilisés dans la transition de l'échelle laboratoire à l'échelle industriel aussi connue sous le nom de « Scale Up ».

# Chapitre 4

## Etude du marché

### Introduction

La demande en huiles essentielles a connu une énorme popularité pour les thérapies de relaxation et divers avantages (Yan et al., 2019) à cause de leurs propriétés nutritives, détoxifiantes, antidépressives, anti-inflammatoires, antimicrobiennes et antioxydantes. Ils agissent comme des médicaments naturels et s'abstiennent de tout effet secondaire majeur (Grand View Research Inc., 2020). Le marché mondial des huiles essentielles connaît un taux de croissance plus élevé et devrait atteindre 3 226,2 millions de dollars américains d'ici 2025.

À l'heure actuelle, les États-Unis, la Chine et l'Inde sont les trois principaux producteurs, consommateurs et exportateurs d'huiles essentielles au monde (Yan et al., 2019). Des études antérieures ont montrées que l'huile de citron détient une part de marché importante et sa popularité a augmenté en raison de son action antitache rapide et de ses propriétés désinfectantes et antibactériennes, et est utilisé dans diverses applications telles que les produits de soins personnels, les produits de nettoyage et de lessive, et de nombreux compléments alimentaires (Grand View Research Inc., 2014).

#### 4.1 Prix des huiles essentielles et des plantes aromatiques

La chaîne commerciale du producteur à l'utilisateur des huiles essentielles est complexe, et la détermination du secteur dominant s'avère difficile. Or, une étude française a montré que le secteur d'aromathérapie est de loin le plus important avec un chiffre d'affaire de 80% en parapharmacie. Vient après l'industrie des compléments alimentaires à base des plantes (17.8% du chiffre d'affaire en parapharmacie) et en dernier vient l'herboristerie avec un chiffre d'affaire de 2.5% en parapharmacie (Données Openhealth., 2018).

En ce qui concerne les prix des huiles essentielles ne sont guère équitables, par exemple en 2017 l'HE de thym thujanol est vendue à 278 euro/kg alors que l'HE de rose de Damas est à 16 297 euro/kg (Données Openhealth., 2018). Le tableau 4.1 représente les prix de quelques huiles essentielles vendues dans le secteur parapharmacie.

**Tableau 4.1 : Les prix de quelques huiles essentielles vendues dans le secteur parapharmacie. (Données Openhealth., 2018).**

| <b>Huile essentielles</b> | <b>Prix (euro/kg)</b> |
|---------------------------|-----------------------|
| Thym thujanol             | 278                   |
| Pistacia lentisque        | 3749                  |
| Verveine                  | 4154                  |
| Jasmin absolue            | 5875                  |
| Melisse                   | 9823                  |
| Rose Damas                | 16297                 |



Pour le marché des plantes aromatiques et médicinales utilisées pour la production des huiles essentielles est vestes et trouve des applications dans plusieurs secteurs parmi lesquels le secteur médicinal, l'agro-alimentaire et l'industrie du cosmétique. En ce qui est relative aux prix, comme pour les huiles essentielles, le choix du prix dépend du type de la plante à titre d'exemple, le prix des herbes de Provence est de 28 euro/kg alors que celle du thym est de 104 euro/kg (France AgriMer., 2018).

## 4.2 Marché mondial des huiles essentielles

### 4.2.1 Production mondiale

L'estimation de la production et du commerce mondiaux d'huiles essentielles présente de nombreuses difficultés. Dans de nombreux pays, ni la production nationale ni les statistiques d'exportation ne sont enregistrées pour certaines huiles volumineuses, tandis que les autres sont souvent noyées dans des codes englobant toute une série de produits (Barbieri et Borsotto., 2018).

La production annuelle de certaines huiles essentielles peut dépasser les 35 000 tonnes alors que celle d'autres n'atteint que quelques kilogrammes (Baser et Buchbauer., 2009). En 2017, la production mondiale d'HE a été estimée à plus de 150 000 tonnes pour une valeur d'environ 6 milliards de dollars US, ce qui représente un triplement du volume depuis 1990 (45 000 tonnes), dont 50% depuis 2007 (Barbieri et al., 2018). Cependant, les huiles essentielles les plus vendues, à savoir ceux d'agrumes et de menthes, représentent 90% de volume totale de ce taux de production (Kraus., 2015).

La plus grande production d'huile essentielles en tonnage est celle d'orange (*Citrus sinensis*) à hauteur de 49000 tonne en 2019, ceci est due au fait qu'elle est utilisée comme un sous-produit dans la production de jus d'orange puisque cette dernière est extraite à partir du péricarpe du fruit par expression à froid. Vient ensuite l'HE de la menthe des champs avec un volume de production de 42000 tonnes. Suivi après par l'HE avec une quantité de 9000 tonnes. Il y a aussi les huiles essentielles d'eucalyptus, menthe poivrée, citronnelle, clou de girofle et menthe verte qui ont des quantités de productions proche l'une à l'autre : 4000 tonnes, 3500 tonnes, 3000 tonnes, 2500 tonnes et 2000 tonnes respectivement. Enfin, vient l'huile essentielle de rose estimée à 4 tonnes.

En ce qui concerne les pays, le Brésil est le premier producteur mondial d'huiles essentielles en termes de volume, suivi par l'Inde qui a repris le leadership de la Chine par sa production d'huile essentielle de menthe développée. Après vient la Chine qui est le premier fournisseur d'Eucalyptus (France AgriMer., 2020).

Tableau 4.2 : Estimation de la production mondiale des huiles essentielles pour l'année 2019 et les pays producteurs.

(FranceAgriMer., 2020).

| Huile essentielle     | Quantité en tonne<br>(Estimation en 2019) | Pays producteurs  |
|-----------------------|---|---|
| Orange douce          | 49 000                                    | Etats-Unis, Brésil, Dominique, Italie, Espagne, Israël, Argentine |
| Menthe des champs     | 42 000                                    | Inde, Chine, Brésil   |
| Citron                | 9000                                      | Argentine, Italie, Etats-Unis, Brésil, Israël                     |
| Eucalyptus (globulus) | 4000                                      | Chine, Inde, Australie  |
| Menthe poivrée        | 3500                                      | Etats-Unis, Inde  |
| Citronnelle           | 3000                                      | Chine, Indonésie, Inde  |
| Clou de girofle       | 2500                                      | Madagascar, Indonésie, Tanzanie, Sri Lanka, Inde                  |
| Menthe douce/verte    | 2000                                      | Etats-Unis, Inde, Chine   |
| Rose                  | 4   | Turquie, Bulgarie, Inde, Chine                                    |

## 4.2.2 Les échanges mondiaux

Les tableaux 4.3 et 4.4 représentent respectivement les pays, ainsi que les quantités et les valeurs des importations et exportations des huiles essentielles fournies par la base des données ComTrade des Etats-Unis.

### 4.2.2.1 Importation

Les Etats-Unis est le premier pays importateur des huiles essentielles en valeurs, avec 10559976 milliers de dollars US pour une quantité de 55949 tonnes en 2020, puis vient l'Inde avec une quantité de 10788 tonnes et une valeur de 1059976 milliers de dollars US en 2020.

Les importations des Etats-Unis se représentent en les HE d'orange et d'autres agrumes du Brésil, de la menthe de l'Inde. La Chine et le Singapour importe également l'huile essentielle d'orange du Brésil (France AgriMer., 2020).

Tableau 4.3 : Pays importateurs des huiles essentielles.  
(Base des données ComTrade).

| Pays importateurs  | 2018       |         | 2019       |         | 2020       |         |
|--------------------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
|                    | Q (tonnes) | V (\$)  | Q (tonnes) | V (\$)  | Q (tonnes) | V (\$)  |
| <b>États-Unis</b>  | 52706      | 1376067 | 48734      | 1095691 | 56949      | 1059976 |
| <b>Inde</b>        | 16374      | 388659  | 12750      | 693335  | 10788      | 1059976 |
| <b>Chine</b>       | 8963       | 250003  | 9461       | 263938  | 10699      | 273212  |
| <b>Pays-Bas</b>    | 4886       | 189011  | 5124       | 208745  | 5370       | 175995  |
| <b>Allemagne</b>   | 21567      | 441629  | 20754      | 380443  | 24313      | 357762  |
| <b>Singapour</b>   | -          | 188235  | -          | 172909  | -          | 154152  |
| <b>Royaume-Uni</b> | 12681      | 340636  | 11364      | 273331  | 12771      | 250028  |
| <b>France</b>      | 11651      | 515982  | 11170      | 443553  | 12208      | 410686  |
| <b>Indonésie</b>   | 9668       | 211109  | 9189       | 167376  | 9359       | 145799  |
| <b>Japon</b>       | 9209       | 208745  | 13644      | 206699  | 13062      | 175995  |

Avec : Q (Quantité en tonne) et V (Valeur en milliers \$)

#### 4.2.2.2 Exportation

Les Etats-Unis est le pays exportateur des huiles essentielles le plus important avec 804907 milliers de dollars US en 2020 suivi par l'Inde avec une valeur de 837765 milliers de dollars US.

Les pays qui exportent les huiles essentielles avec des volumes remarquables sont aussi des producteurs, par exemple le Brésil exporte sa production d'HE d'orange, l'Inde son HE de menthe. Pour les autres pays exportateurs comme l'Allemagne, le Royaume-Uni sont des pays de transit.

Tableau 4.4 : Pays exportateurs des huiles essentielles.

(Base des données ComTrade).

| Pays exportateurs  | 2018       |        | 2019       |         | 2020       |        |
|--------------------|------------|--------|------------|---------|------------|--------|
|                    | Q (tonnes) | V (\$) | Q (tonnes) | V (\$)  | Q (tonnes) | V (\$) |
| <b>Brésil</b>      | 54501      | 437220 | 58459      | 313938  | 66554      | 210190 |
| <b>États-Unis</b>  | 36048      | 800233 | 34816      | 787938  | 37493      | 804907 |
| <b>Inde</b>        | 42490      | 861416 | 29470      | 1212564 | 34589      | 837765 |
| <b>Chine</b>       | 19821      | 469176 | 19415      | 349893  | 18632      | 305138 |
| <b>Allemagne</b>   | 7240       | 228529 | 7275       | 202358  | 8169       | 207694 |
| <b>Argentine</b>   | 7951       | 256584 | 7091       | 216963  | 8264       | 205039 |
| <b>Royaume-Uni</b> | 8385       | 244039 | 7999       | 210808  | 9024       | 207476 |
| <b>France</b>      | 7863       | 522010 | 6550       | 459090  | 8108       | 478938 |
| <b>Indonésie</b>   | 6630       | 199266 | 6576       | 185328  | 7542       | 215807 |
| <b>Espagne</b>     | 7859       | 193681 | 8234       | 174354  | 9044       | 187271 |

Avec : Q (Quantité en tonne) et V (Valeur en milliers \$)

### 4.3 Marché Algérien des huiles essentielles

#### 4.3.1 Importations et exportations

Les données relatives aux échanges des huiles essentielles en Algérie sont issues de la Directions des Etudes et de la Prospective de la Direction Générales des Douanes Algérienne (2022).

##### 4.3.1.1 Importations

D'après les données de la Douane algérienne (2022), l'Algérie est un grand pays importateur des HE avec environ 959 757,14 dollar US pour une quantité de 284 839,62 kg en 2020. Ces importations ont connues une augmentation durant la période 2013-2017, néanmoins, une régression remarquable, 63,9% de la totalité des importations, est observée dans la période 2018-2020, cela peut être en raison des nouvelles lois sur les importation/exportation et de la pandémie du COVID-19 qui a toucher le monde entier en 2019.

## Chapitre 4 : Etude du marché

**Tableau 4.5 : Les importations des huiles essentielles en Algérie (2013-2020).**

| HE importée | HE d'orange |             | HE de citron |             | HE de menthe poivrée |             | HE de jasmin |             | Eaux de fleurs d'oranger |             | Eaux de fleur de rosier |             | Autres     |              |
|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|----------------------|-------------|--------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------------------|-------------|------------|--------------|
|             | Poids (kg)  | Valeur (\$) | Poids (kg)   | Valeur (\$) | Poids (kg)           | Valeur (\$) | Poids (kg)   | Valeur (\$) | Poids (kg)               | Valeur (\$) | Poids (kg)              | Valeur (\$) | Poids (kg) | Valeur (\$)  |
| <b>2013</b> | 61894       | 440130,04   | 40368        | 799630 ,63  | 2406                 | 108634,79   | -            | -           | -                        | -           | -                       | -           | 11392      | 90 725,84    |
| <b>2014</b> | 92888,92    | 520741,89   | 22679        | 437361,48   | 1985                 | 72 908 ,42  | -            | -           | -                        | -           | -                       | -           | 9177       | 86 613 ,30   |
| <b>2015</b> | 68 607      | 515716,36   | 48131        | 538859 ,98  | 5364                 | 179655,47   | -            | -           | -                        | -           | -                       | -           | 14 504 ,80 | 141 674 ,24  |
| <b>2016</b> | 206 036     | 1 803700,72 | 17865        | 471048,32   | 262                  | 26721,55    | -            | -           | -                        | -           | -                       | -           | 4745       | 270 568 ,74  |
| <b>2017</b> | -           | -           | -            | -           | -                    | -           | 4            | 811,35      | 20 543                   | 71 671,63   | 75 456                  | 112 674,34  | 353 655    | 2 659 405,26 |
| <b>2018</b> | -           | -           | -            | -           | -                    | -           | 250          | 3246,45     | 9022                     | 13993 ,50   | 135039                  | 214961,85   | 324515     | 2 524 858,33 |
| <b>2019</b> | -           | -           | -            | -           | -                    | -           | 556,47       | 18233,58    | 467,44                   | 1826 ,42    | 30669,86                | 81906 ,04   | 231450,14  | 1 003611 ,85 |
| <b>2020</b> | -           | -           | -            | -           | -                    | -           | 254,30       | 3467 ,72    | 235,2                    | 904,49      | 151295,46               | 297444 ,73  | 284839,62  | 959757 ,14   |

Source : Directions des Etudes et de la Prospective de la Direction Générales des Douanes Algérienne 2022.

D'après le tableau 4.5, les huiles essentielles les plus importées selon les données de la Directions des Etudes et de la Prospective de la Direction Générales des Douanes Algérienne entre la période 2013-2016 sont les HE d'orange, de citron et menthe poivrée avec des quantités différentes chaque année, par exemple les quantités des HE de citron importées sont d'ordre de 40 368kg en 2013, 22 679kg en 2014, 48131kg en 2015 et de 17865 en 2016. Or, a partir des années 2017 jusqu'à 2020, l'Algérie n'a plus importé ces HE, cela peut être dû au changement dans les lois des importations/exportations imposées.

#### **4.3.1.2 Exportations**

En ce qui est relative à l'exportation, les données fournées par la Douane algérienne n'indique pas le type des HE exporter et donne une vue générale sur l'exportation de ces derniers. Les quantités des exportations sont dans le même ordre ne dépassant pas le seuil des 10000 kg/ans (la plus grande quantité des HE exportée est de 9788.99 en 2015) en comparaisons avec les poids des importations qui dépassent les 100 000kg/ans. Ces données montrent également que les échanges extérieurs ont brusquement arrêté après l'année 2017 (aucune statistique n'est enregistrée entre la période 2018-2020) qui est probablement aussi dû à la pandémie du COVID-19.

**Tableau 4.6 : Les exportations des huiles essentielles en Algérie (2013-2020).**

| <b>Années</b> | <b>Poids (kg)</b> | <b>Valeur (\$)</b> |
|---------------|-------------------|--------------------|
| <b>2013</b>   | 1500              | 692,87             |
| <b>2014</b>   | 2480              | 1528,57            |
| <b>2015</b>   | 9788,99           | 2756,37            |
| <b>2016</b>   | 1572              | 991,56             |
| <b>2017</b>   | 1576              | 5800,24            |
| <b>2018</b>   | -                 | -                  |
| <b>2019</b>   | -                 | -                  |
| <b>2020</b>   | -                 | -                  |

Source : Directions des Etudes et de la Prospective de la Direction Générales des Douanes Algérienne.,2022.

#### **4.3.2 Potentiel agricole pour la production des huiles essentielles**

L'Algérie, de par sa situation géographique et sa superficie de 2 381 741 km<sup>2</sup> possède une flore riche et diversifiée avec 3139 espèce décrite par Quezel et Santa en 1962 classés en fonction de leur degré de rareté. 289 espèces assez rares, 647 espèces rares, 640 espèces très rares, 35 espèces rarissimes et 168 espèces endémiques (Bensmira et Meribai., 2019). En 2006, l'Institut Nationale de la Recherche agronomique d'Algérie (INRAA) dans son rapport sur l'état des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture a indiqué que sur 1600 espèces utiles et cultivées, seulement 1% sont utilisés (Recham., 2019). Dans le tableau 4.7 sont données quelques principales plantes cultivées et consommées en Algérie.

**Tableau 4.7 : Exemple de plantes cultivées et consommées en Algérie.  
(Ilbert et al., 2016).**

| <b>Espèces</b>         | <b>Noms scientifiques</b>  |
|------------------------|----------------------------|
| <b>Verveine</b>        | Verbena citriodora HB et K |
| <b>Sablina</b>         | Arenaria rubra L.          |
| <b>Coriandre</b>       | Coriandrum sativum L.      |
| <b>Origan</b>          | Majorana hortentis Moeneli |
| <b>Cumin</b>           | Cuminum Cyminum L.         |
| <b>Coriandre</b>       | Coriandrum Sativum L.      |
| <b>Tyum</b>            | Thymus vulgaris            |
| <b>Armoise blanche</b> | Artemisia herba alba asso. |
| <b>Nigelle</b>         | Nigella sativa L.          |
| <b>Lavande</b>         | Lavandula officinalis L.   |
| <b>Sauge</b>           | Salvia officinalis L.      |
| <b>Menthe verte</b>    | Mentha veridis L.          |
| <b>Camomille</b>       | Matricaria camomilla L.    |
| <b>Anis vert</b>       | Pimpinella anisum L.       |

La production des plantes aromatiques et médicinales a été évaluée à environ 33 stères en 2011 contre 735.5 stères en 2010 (Ilbert et al., 2016).

Ainsi, le domaine agricole représente un potentiel important pour la production des huiles essentielles qui à leurs tours présente une importance économique et sociale au développement du secteur industriel.

### **Conclusion :**

L'étude du marché des huiles essentielles dans le monde et en Algérie est d'une grande importance pour avoir une idée globale et particulière des échanges extérieurs (importations/exportations) qui contribue dans la détermination des prix de ces derniers ainsi que le potentiel de cette filière dans la commercialisation. Les résultats de cette étude ont permis de conclure que les prix des huiles essentielles varient selon la demande mais également du type de la plante extraite. En plus, la demande en huile essentielle connaît un fort essor en Algérie qui présente un potentiel agricole non négligeable pour leurs productions.

# Chapitre 5

Etude Economique et  
Financière



### Introduction

Le troisième chapitre de ce projet a été consacré à l'étude de plusieurs paramètres d'extraction des huiles essentielles des trois plantes aromatiques choisies. A ce stade, nous avons pu discuter la composition chimique, le rendement ainsi que la cinétique de distillation de ces huiles volatiles. En outre, l'étude de marché a aussi été faite afin de prouver que le marché présente encore des avantages dont il faut en profiter et en plus cerner ce qui est demandée. Ce point nous a mené à faire une étude technico économique et financière de l'implantation d'une unité de production des HE, mais pour que le projet soit qualifiable de réalisable, il faut aussi passer par divers estimations du cout de ce projet.

Pour ce faire, l'ouvrage de ce chapitre sera ainsi développé en trois (3) parties :

- Contexte générale de l'étude
- Etude de faisabilité du projet.
- Etude financière du projet.

### 5.1 Première partie : Contexte générale de l'étude

#### 5.1.1 Présentation du projet

Comme tout produit d'exportation, l'huile essentielle a son origine et son impact au tant sur le plan national qu'international. L'Algérie s'intéresse dans la filière huiles essentielles depuis pas mal de temps avec la coopération des organismes nationaux et internationaux.

Cependant, l'état des lieux montre que les huiles essentielles de l'Algérie ne sont pas compétitives sur le marché international. De plus, la production n'est pas suffisante pour combler la demande croissante de la population Algérienne. Cette insuffisance de la production a pour conséquence la dépendance à l'importation provoquant l'instabilité des prix des huiles sur le marché national et une insécurité en huile essentielle.

Selon notre étude, cette insuffisance peut avoir comme origine nombreux paramètres tels que :

- Faible rendement de l'extraction d'huile
- Inadaptation des technologies utilisées nécessitant ainsi une nouvelle proposition

#### 5.1.2 But et objectifs du projet

Les objectifs globaux de l'étude sont donc de proposer un procédé d'extraction industrielle des huiles essentielles, de proposer une meilleure exploitation des données de rendement et de la cinétique d'extraction et enfin sur la base de ces données de mettre en place une unité de production locale d'huile volatile extraite à partir de divers plantes aromatiques ayant des qualités propres conformes aux normes internationales.

## **5.2 Deuxième partie : Etude de faisabilité du projet.**

Cette partie traite les sujets relatifs aux techniques et capacités de production, à savoir :

- La technique de production envisagée
- La capacité de production envisagée
- Coût d'investissement

### **5.2.1 Technique de production envisagée**

#### **5.2.1.1 La méthode d'extraction**

Il existe plusieurs procédés d'extraction d'huiles essentielles à partir de plantes aromatiques comme indiqué au chapitre 2. Même si l'hydro distillation est considérée comme la méthode d'extraction la moins chère, la distillation à la vapeur d'eau constitue la technique la plus courante pour extraire les huiles essentielles de végétaux au niveau industriel et c'est ce procédé que nous allons appliquer pour ce projet. Ce choix peut être facilement tiré du tableau 5.1 ci-dessous :

**Tableau 5.1 : Quelques avantages et inconvénients de l'hydro distillation et la distillation à la vapeur (AURA INDUSTRY)**

| <b>Méthode d'extraction</b> | <b>hydro distillation</b>                              | <b>Distillation à la vapeur d'eau</b>         |
|-----------------------------|--|---|
| <b>Avantages</b>            | Ne nécessite pas une source de vapeur externe          | la seule acceptée pour de HE a usage médical. |
|                             |  | Gain du temps (pas de chauffage d'eau)        |
|                             |  | Durée de distillation contrôlable             |
|                             |  | Très peu d'hydrolyse                          |
| <b>Inconvénients</b>        | Nécessité de surveiller en permanence le niveau d'eau. | Nécessite une source de vapeur externe.       |
|                             | Phénomènes d'hydrolyse                                 |   |
|                             | Perte de temps au remplissage d'eau                    |   |
|                             | Temps de chauffage long                                |   |
|                             | Durée de distillation difficilement contrôlable        |   |

Le tableau 5.1 monte clairement que la distillation à la vapeur d'eau est considérée comme étant la meilleure. Elle est de plus la seule acceptée pour des huiles essentielles à usage médical.

### 5.2.1.2 Les matériels utilisés

La fabrication d'huile essentielle nécessite des équipements modernes et hauts de gamme. Ainsi, tous nos équipements ont été sélectionnés sur le site d'AURA INDUSTRY qui comprend selon la figure 5.1:

- **Un générateur de vapeur** : que l'on appelle aussi chaudière est un appareil formé essentiellement de groupes d'échangeurs de chaleur, dans lequel de l'eau sous pression est transformée en vapeur par l'application de chaleur (Santoleri.,2003 ; Andrianarivo.,2003). Cette vapeur sera injectée dans la cuve de l'alambic sous les plantes. Il peut être un générateur électrique, alimenté en gasoil et/ou huile végétale ou bien alimenté au Bois.
- **Un Alambic** : il désigne un dispositif servant à distiller qui procède par échauffement puis refroidissement. Les alambics produisent un meilleur arôme et des distillats de plantes aromatiques plus caractéristiques (Spaho.,2017). Un alambic comprend : (AURA INDUSTRY)
  - **Une cuve** : réalisée en INOX
  - **Une grille INOX ou un panier** : perforé sur lesquels sont posés les plantes
  - **Un ensemble de tuyaux reliant la cuve au refroidisseur** : recueille et transporte les vapeurs florales
  - **Un refroidisseur** : appelé aussi condenseur
- **Un essencier** : appelé aussi vase florentin qui sépare les huiles essentielles des hydrolats des eaux florale

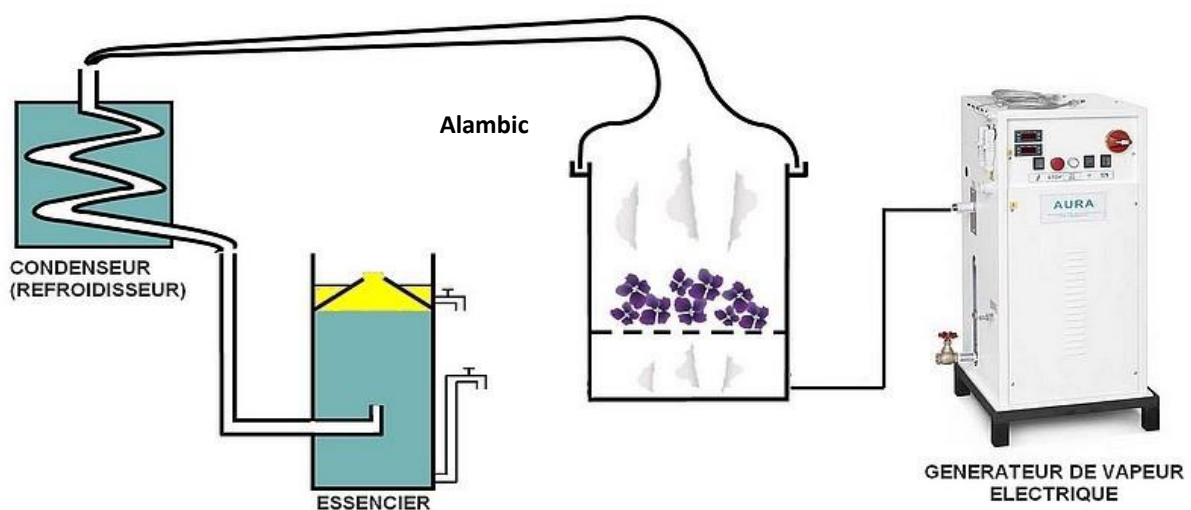


Figure 5.1 : Schéma d'un alambic au cours d'une distillation à la vapeur d'eau (AURA INDUSTRY)

### 5.2.1.3 Coût total du matériel

Pour ces calculs, nous avons opté pour deux capacités différentes d'alambics (2000L et 4000L). Quant au pris des équipements cité au paravent, ils ont été recueillies du site AURA INDUSTRY d'après les exigences de chaque alambic. Le calcul du coût total du matériel pour les deux capacités d'alambic est affiché dans les tableaux 5.2 et 5.3 ci-dessous :

**Tableau 5.2 : Calcul du coût total du matériel contenant un alambic d'une capacité de 2000 L**

| <b>Equipements</b>                                     | <b>Quantité</b> | <b>Caractéristiques</b>                                      | <b>Coûts (€)</b> |
|--|-----------------|--|------------------|
| <b>Générateur vapeur électrique (vapeur douce)</b>     | 1               | MA 180 - 198 Kw  | 14490            |
| <b>Régulation et affichage température numérique</b>   | 1               | -  | 690              |
| <b>Osroseur Z102</b>                                   | 1               | Traite 100L/h  | 2355             |
| <b>SUPPORT CONDENSEUR inox</b>                         | 2               | D=920 mm ; 500 L   | 1196             |
| <b>ALAMBIC / DISTILLATEUR – PRO s 3-IS (INOX 316L)</b> | 1               | 2 cuves ×1000 L ;<br>+ 2 refroidisseurs/condenseurs<br>500 L | 24990            |
| <b>Panier perforé</b>                                  | 2               | INOX 316L ; H=126 cm   | 4780             |
| <b>ESSENCIER INOX</b>                                  | 2               | 100 litres - INOX 316L                                       | 3780             |
| <b>Kit raccordement source vapeur</b>                  | 2               | + isolation thermique 150°C                                  | 854              |
| <b>Vanne vapeur d'orientation</b>                      | 1               | Diamètre intérieur 25-30                                     | 359              |
| <b>Cout total des Equipements (€)</b>                  | -               |  | <b>53994</b>     |

Le coût total du matériel pour les deux capacités d'alambic (2000L et 4000L) est de 53994 et 93448 euro respectivement.

**Tableau 5.3 : Calcul du coût total du matériel contenant un alambic d'une capacité de 4000 L**

| <b>Equipements</b>                                     | <b>Nombre</b> | <b>Caractéristique</b>                                     | <b>Coûts (€)</b> |
|--|---------------|--|------------------|
| <b>Générateur vapeur électrique (vapeur douce)</b>     | 1             | MA 360 - 360 Kw  | 24990            |
| <b>Régulation et affichage température numérique</b>   | 1             | -  | 690              |
| <b>Osroseur Z102</b>                                   | 1             | Traite 100L/h  | 2355             |
| <b>SUPPORT CONDENSEUR inox</b>                         | 2             | D=920 mm ; 500 L   | 1196             |
| <b>ALAMBIC / DISTILLATEUR – PRO s 3-IS (INOX 316L)</b> | 1             | 2 cuves*2000L ;<br>+2 refroidisseurs/condenseurs<br>1000 L | 58990            |
| <b>Panier perforé</b>                                  | 0             | -  | -                |
| <b>ESSENCIER INOX</b>                                  | 2             | 100 litres - INOX 316L                                     | 3780             |
| <b>Kit raccordement source vapeur</b>                  | 2             | + isolation thermique 150°C                                | 1088             |
| <b>Vanne vapeur d'orientation</b>                      | 1             | Diamètre intérieur 25-30                                   | 359              |
| <b>Cout total des Equipements (€)</b>                  | -             |  | <b>93448</b>     |

## **5.2.2 La capacité de production envisagée**

L'analyse du prix des HE est très importante car elle permet d'établir une prévision sur le chiffre d'affaire en fonction de la quantité produite.

Dans ce qui suit, le programme de production de l'unité sera traité avant de déterminer la capacité de production annuelle.

### **5.2.2.1 Rendement et Durée d'extraction moyens**

Afin de ressortir la quantité de production annuelle des huiles essentielles, nous avons opté de travailler avec les paramètres d'extraction qui incluent le rendement et le temps de distillation des 3 plantes aromatiques étudiées cette année (la nigelle, la coriandre et l'armoise blanche) en plus des 4 plantes évoquées l'année précédente (l'Anis vert, le Romarin, le Pistachier et la Menthe verte).

Par suite, une fourchette de rendement d'extraction de chaque plante a été déterminée dans le tableau 4, ce qui nous permettra d'estimer des valeurs moyennes de rendement d'extraction pour la quasi-totalité des plantes aromatiques pouvant être traitées par cette unité.

**Tableau 5.4 : Rendement minimal et maximal moyens d'huiles essentielles extraites de 7 plantes aromatiques**

| <b>Plantes</b>            | <b>Rendement min (%)</b> | <b>Rendement max (%)</b> |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>Anis vert</b>          | 1,5                      | 3,5                      |
| <b>romarin</b>            | 0,42                     | 1,63                     |
| <b>Pistachier</b>         | 0,015                    | 0,015                    |
| <b>Menthe verte</b>       | 0,6                      | 2,5                      |
| <b>Coriandre</b>          | 3                        | 4                        |
| <b>Nigelle</b>            | 0,39                     | 0,56                     |
| <b>Armoise blanche</b>    | 1                        | 1,4                      |
| <b>Valeur moyenne (%)</b> | 0,989                    | 1,944                    |

En général, les rendements de ces végétaux ont été tirés du site de la société AURA INDUSTRY, qui dispose d'une base de données assez conséquente des paramètres opératoires d'extraction des différentes plantes aromatiques. Ces valeurs sont plus fiables et exactes car l'extraction se fait à l'échelle industrielle.

Par ailleurs, concernant le romarin et la nigelle, leurs rendements ont été choisis sur la base de nos analyses et investigations du chapitre 3.

Le rendement minimal total moyen des plantes aromatique peut être estimé à 0,989% tandis que le maximal est de 1,944%

Nous procédons de la même façon que la précédente, les durées moyennes d'extraction de l'anis vert, du romarin, et de la menthe verte ont été prises après nos investigations du projet de fin d'étude de l'année dernière, celle du pistachier était valable sur le site de la société AURA INDUSTRY, la durée d'extraction des graines de coriandre a été conclue sur la base de la cinétique du chapitre 3. Quant à l'armoise blanche et la nigelle, elles se caractérisent par un manque d'études cinétique d'extraction par entraînement à la vapeur. Pour cela, leurs durées d'extraction ont été estimées à partir de deux articles de recherche pour l'armoise (Salido et al.,2004 ; Boutemak et al.,2009) et à partir de (Edriss et al.,2017) pour la nigelle.

Les durées d'extractions choisis sont données dans le tableau 5.5.

**Tableau 5.5 : Durée d'extraction moyenne d'huiles essentielles distillée de 7 plantes aromatiques**

| <b>Plantes</b>              | <b>Durée (min)</b> |
|-----------------------------|--------------------|
| <b>Anis vert</b>            | 180                |
| <b>romarin</b>              | 120                |
| <b>Pistachier</b>           | 180                |
| <b>Menthe verte</b>         | 90                 |
| <b>Coriandre</b>            | 250                |
| <b>Nigelle</b>              | 150                |
| <b>Armoise blanche</b>      | 60-240             |
| <b>Valeur moyenne (min)</b> | 160                |

La durée d'extraction moyenne des plantes aromatiques peut être estimée à 160 min.

### 5.2.2.2 La masse volumique moyenne

La masse volumique des plantes est variable, dans tous les cas, il faut adapter le poids des végétaux aux capacités de l'alambic. De ce fait, les masses volumiques des plantes sèches ainsi que la valeur moyenne de ces dernières sont regroupées dans le tableau 5.6 :

**Tableau 5.6 : Masse volumique moyenne des 7 plantes aromatiques étudiées.**

| <b>Plantes</b>                           | <b>masse volumique (kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Références</b>         |
|--|---|---------------------------|
| <b>Anis vert</b>                         | 348,53                                    | (Singh et al.,2015)       |
| <b>romarin</b>                           | 335,4                                     | (Zermane et al.,2012)     |
| <b>Pistachier</b>                        | 291                                       | (Aydi et al.,2020)        |
| <b>Menthe verte</b>                      | 53,380                                    | (Saini et al.,2020)       |
| <b>Coriandre</b>                         | 367,5                                     | (Benyoussef et al.,2002)  |
| <b>Nigelle</b>                           | 550,4                                     | (Al-Mahasneh et al.,2008) |
| <b>Armoise blanche</b>                   | 843                                       | (Dahmani.,2004)           |
| <b>Valeur moyenne (kg/m<sup>3</sup>)</b> | 398,454                                   | -                         |

Les plantes sèches peuvent peser en moyenne 398,454 kilogrammes par m<sup>3</sup>

### 5.2.2.3 Programme de production

Après avoir organisé les données, nous devons organiser un programme de production qui, dans cette optique, s'échelonne sur une période d'un an.

#### 5.2.2.3.1 Hypothèses

Certaines hypothèses ont été prise en compte dans tout les calculs qui ce suit :

- Les rendements minimal et maximal en huiles essentielles sont respectivement de 0,989% et 1,944% ;
- La durée d'extraction des HE par entrainement à la vapeur est de 160 minutes ;
- La masse volumique moyenne des plantes aromatiques est de 398,454 kilogrammes par m<sup>3</sup> ;
- L'unité fonctionne 6 heures par jours, 22 jours par mois et 8 mois par an.

#### 5.2.2.3.2 Bilan matière sur le procédé d'extraction et capacité de production

Sur la base de toutes ces hypothèses, La masse végétale à traiter annuellement par le procédé industrielle d'extraction d'huile essentielle à partir des plantes aromatiques est calculée et représenté dans le tableau 5.7.

**Tableau 5.7 : Calcul de la masse végétale à traiter annuellement**

| <b>volume d'alambic (L)</b>               | <b>2000</b> | <b>4000</b> |
|---|-------------|-------------|
| <b>volume d'alambic (m<sup>3</sup>)</b>   | 2           | 4           |
| <b>masse volumique (kg/m<sup>3</sup>)</b> | 398,454     | 398,454     |
| <b>masse à traiter (kg)/160 min</b>       | 796,908     | 1593,816    |
| <b>masse à traiter (kg) / jours</b>       | 1793,043    | 3586,086    |
| <b>masse à traiter (kg) /mois</b>         | 39446,946   | 78893,892   |
| <b>masse à traiter (kg) / an</b>          | 315575,568  | 631151,136  |

En partant de la base de 315575,568 kg/an et 631151,136 kg/an de masse verte à traiter respectivement par les deux volumes d'alambic 2000L et 4000L, nous calculerons les quantités d'huiles essentielles produites par an en utilisant la simple formule suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = \frac{\text{masse d'HE produite/an}}{\text{masse de matiere végétale traitée/an}}$$

Le tableau ci après présente les calculs associés a ce point qui nous sera utile pour connaitre la situation financière globale de l'unité.

**Tableau 5.8 Calcul de la quantité d'huiles essentielles produites annuellement**

| capacité alambic (L)                | 2000       |           | 4000       |            |
|-------------------------------------|------------|-----------|------------|------------|
|                                     | min        | max       | min        | max        |
| rendement en HE(%)                  | 0,989      | 1,944     | 0,989      | 1,944      |
| masse à traiter (kg)/ an            | 315575,568 |           | 631151,136 |            |
| quantité d'Huile produite (kg) / an | 3121,0424  | 6134,7890 | 6242,0847  | 12269,5781 |

A partir de 315575 kg de matière végétales, nous avons estimé obtenir environ 3121 kg et 6134 kg d'huile extraite dans un alambic de 2000L. En revanche, 631151 kg de plantes aromatiques distillées dans un alambic de 4000L fournissent des entre 6242 kg et 12269 kg d'huile. Ces quantités d'huiles seront ajustées au cours du temps selon la disponibilité en matière première et selon la variation de la demande. Cette stratégie permet de réduire les risques d'investissement, de voir plus à l'avance la tendance des prévisions et d'utiliser toute la capacité ou presque des matériels.

### **5.2.3 Coût d'investissement**

Tout projet de développement nécessite des investissements car le projet est l'échange de satisfactions immédiates et une espérance que l'on acquiert et dont le bien investi est le support. Un investissement représente le capital investi en une ou plusieurs fois suivant la nature et la durée de vie de l'investissement, il est caractérisé par un montant, une durée, une rentabilité et un risque. Ses principaux objectifs concourent à la garantie de la capacité de production, à la minimisation des couts de production. Pour faciliter cette étude de faisabilité, nous allons appliquer les méthodes d'estimation du cout d'investissement.

#### **5.2.3.1 Estimation du coût d'investissement**

Les coûts et la méthodologie d'estimation sont orientés vers l'estimation de « l'étude » avec une erreur probable allant de 5 % à 30%. (Sorrels et Waltson.,2017)  
 Selon le « Chemical Engineer's Handbook » de Perry, une estimation d'étude est "... utilisée pour estimer la faisabilité économique d'un projet avant de dépenser des fonds importants pour le pilotage, le marketing, l'arpentage et l'acquisition... elle peut être préparé à un coût relativement faible avec un minimum de données."



Outre les besoins en main-d'œuvre pour la construction et l'exploitation d'un projet, l'utilisateur aura besoin d'une estimation des heures de travail requis pour les activités d'ingénierie car l'exactitude d'une estimation (étude ou autre) dépend de la quantité de travaux d'ingénierie consacrés au projet.

### 5.2.3.2 Éléments de l'investissement total

L'investissement total (IT) comprend tous les coûts requis à l'achat des équipements nécessaires au système de contrôle (coûts des équipements achetés), les coûts de la main-d'œuvre et des matériaux pour l'installation de ces équipements (coûts directs d'installation), les coûts de préparation du site et des bâtiments, et certains autres coûts (coûts indirects d'installation). L'IT comprend également les coûts du terrain, du fonds de roulement et des installations hors site, les taxes, et autres frais administratifs ( Sorrels et Waltson.,2017). Les éléments de l'IT sont affichés dans la Figure 5.2.

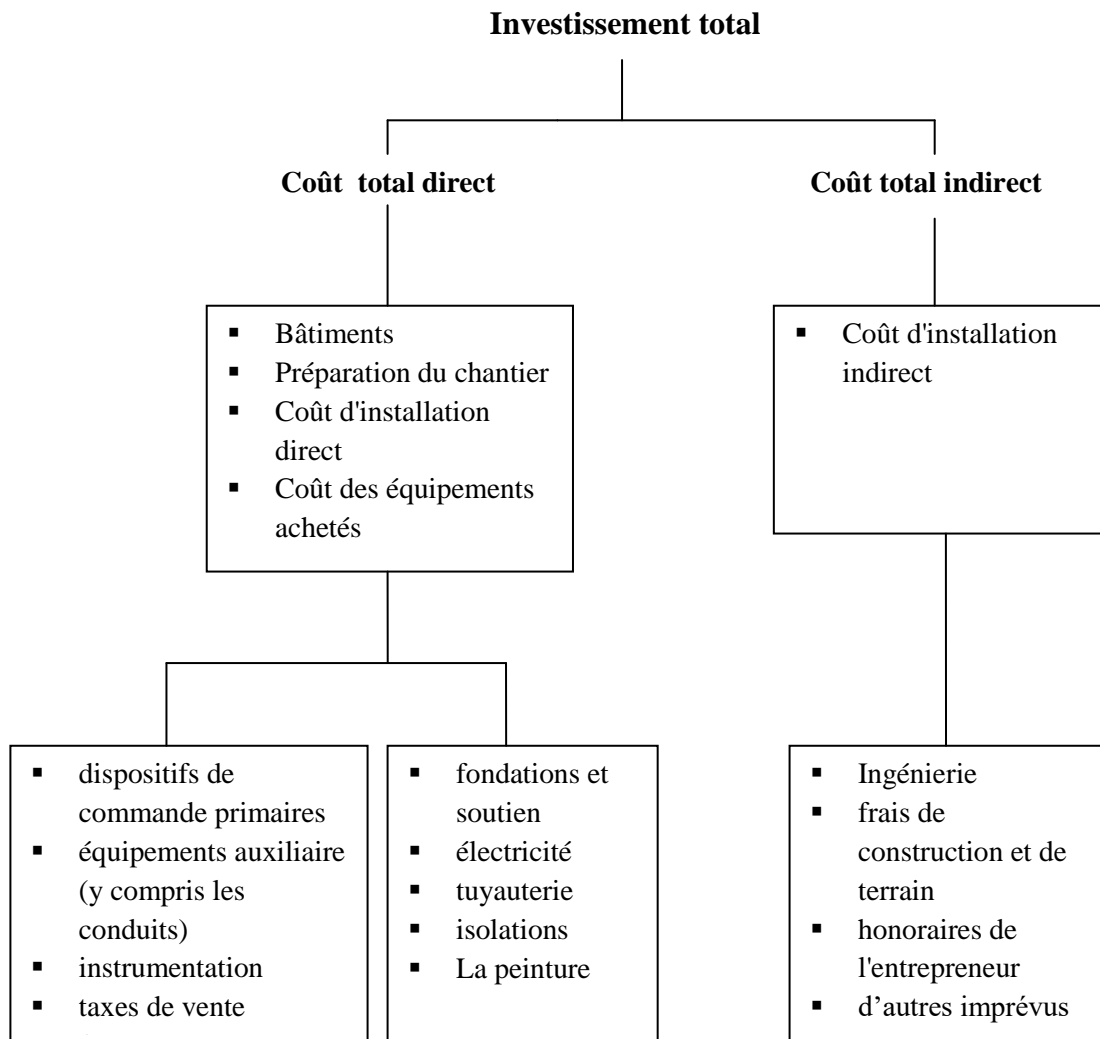


Figure 5.2 : Schéma des éléments de l'investissement total (Sorrels et Waltson.,2017)

**5.2.3.3 Calcul du cout d'investissement**

Pour le calcul du coût d'investissement, nous avons travaillé avec deux méthodes d'estimation des coûts. Ces deux méthodes utilisent certains facteurs et ratios qui dépendent du type d'unité de traitement. Les coûts directs et indirects sont par la suite développés en multipliant le cout des équipements total par ces facteurs. Il est à noter que chaque coût (installation, instrumentation, tuyauterie, transport..) a son propre facteur. Les valeurs de ces facteurs sont répertoriées dans les chapitres individuels des livres dédiés à l'économie du génie chimique, citons quelques livres (Chemical Process Economics 1975 par Happle et Jordan ; Process Plant Estimating Evaluation and Control 1974 et Capital Cost Estimating 1969 par M.Gutherie).

**5.2.3.3.1 Approche 1 : Estimation par poste de dépense**

Dans cette méthode, les facteurs ont été tirés de l'étude de (Zouaghi., 2001) qui ont été initialement proposés par (Garett., 1989) dans son ouvrage intitulé : Chemical Engineering Economics.

▪ **Le cas d'un Alambic de 2×1000L :**

Nous pouvons résumer les étapes de calcul effectuées dans les tableaux qui se suivent :

**Tableau 5.9 : Estimations des coûts d'infrastructures pour un Alambic de 2\*1000L**

| <b>Infrastructures</b>    | <b>Pourcentage de ratio (matériel)</b> | <b>Coût matériel (€)</b> | <b>Pourcentage de ratio (travail)</b> | <b>Coût total (€)</b> |
|---------------------------|--|--------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| équipement de processus   | 100                                    | <b>53994</b>             | 3,75                                  | 2024,775              |
| Préparation du chantier   | 1,75                                   | 944,9                    | 0,5                                   | 269,97                |
| Amélioration du site      | 2,75                                   | 1484,8                   | 1,5                                   | 809,91                |
| Béton                     | 7,5                                    | 4049,6                   | 9                                     | 4859,46               |
| Acier de construction     | 11,5                                   | 6209,3                   | 4                                     | 2159,76               |
| Bâtiments                 | 4                                      | 2159,8                   | 3,5                                   | 1889,79               |
| Tuyauterie souterraine    | 4                                      | 2159,8                   | 2,75                                  | 1484,835              |
| Tuyauterie aérienne       | 37                                     | 19977,8                  | 24                                    | 12958,56              |
| Lignes souterraine (élec) | 0,4                                    | 216                      | 0,2                                   | 107,988               |
| Lignes aérienne (élec)    | 15                                     | 8099,1                   | 6,5                                   | 3509,61               |
| Instrumentation           | 22                                     | 11878,7                  | 3,25                                  | 1754,805              |
| isolation                 | 7,5                                    | 4049,6                   | 4,5                                   | 2429,73               |
| La peinture               | 2,5                                    | 1349,9                   | 2,75                                  | 1484,835              |
| Pavage                    | 1                                      | 539,9                    | 0,5                                   | 269,97                |
| autres                    | 1                                      | 539,9                    | 2                                     | 1079,88               |
| <b>Coût total (€)</b>     |  | <b>117653,1</b>          |                                       | <b>37093,878</b>      |

**Tableau 5.10 : Estimations des coûts d'équipements de construction pour un Alambic de 2\*1000L**

| <b>Équipement de construction</b>      | <b>Pourcentage du coût de la main-d'œuvre</b> | <b>Coût (€)</b>   |
|--|---|-------------------|
| Location ou achat                      | 15  | 5564,0817         |
| Travail de service                     | 4   | 1483,75512        |
| Carburant, huile, graisse, fournitures | 12  | 4451,26536        |
| <b>Coût total (€)</b>                  |   | <b>11499,1022</b> |

**Tableau 5.11 : Estimations des frais généraux et couts indirects pour un Alambic de 2\*1000L**

| <b>Frais généraux et indirects</b>        | <b>Pourcentage du coût de la main-d'œuvre</b> | <b>Coût (€)</b>   |
|---|---|-------------------|
| Salarié indirect                          | 10  | 3709,3878         |
| Indirects horaires de bureau              | 6   | 2225,63268        |
| Indirects horaires sur le terrain         | 5   | 1854,6939         |
| Installations de construction temporaires | 15  | 5564,0817         |
| Charges et avantages                      | 27  | 10015,3471        |
| Petit outillage et consommables           | 7   | 2596,57146        |
| Autres indirects                          | 15  | 5564,0817         |
| <b>Coût total (€)</b>                     |   | <b>31529,7963</b> |

**Tableau 5.12 : Estimations du coût de transport et d'assurance pour un Alambic de 2\*1000L**

| <b>transport et assurance</b> | <b>Pourcentage de matériel</b> | <b>Coût (€)</b>   |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Fret                          | 12                             | 14118,372         |
| Assurance et droits           | 2                              | 2353,062          |
| <b>Coût total (€)</b>         |                                | <b>16471,434</b>  |
| <b>Total</b>                  |                                | <b>214247,311</b> |

**Tableau 5.13 : Estimations du coût de services de bureau pour un Alambic de 2\*1000L**

| <b>Services de bureau à domicile</b> | <b>Pourcentage du total des coûts directs et indirects</b> | <b>Coût (€)</b>              |
|--------------------------------------|--|------------------------------|
| Services d'ingénierie/conception     | 12   | 25709,6773                   |
| Services de construction             | 0,2  | 428,494621                   |
| Gestion générale de projet           | 1,1  | 2356,72042                   |
| <b>Coût total (€)</b>                |  | <b>28494,8923</b>            |
| <b>Coût total (€)</b>                |  | <b>242742,203 ≈ 243000 €</b> |

Pour tenir compte d'éventuel poste de dépenses imprévues, nous estimons les investissements comme étant le résultat du calcul de la partie estimation auquel nous avons rajouté 20% de ce montant. Le cout total d'investissement sera de **291290 €**

▪ **Le cas d'un Alambic de 2×2000L :**

La même procédure de calcul est appliquée dans les tableaux suivants :

**Tableau 5.14 : Estimations des coûts d'infrastructures pour un Alambic de 2\*2000L**

| <b>Infrastructure</b>        | <b>Pourcentage de ratio (matériel)</b> | <b>Coût matériel (€)</b> | <b>Pourcentage de ratio (travail)</b> | <b>Coût total (€)</b> |
|------------------------------|--|--------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| équipement de processus      | 100                                    | <b>93448</b>             | 3,75                                  | 3504,3                |
| Préparation du chantier      | 1,75                                   | 1653,34                  | 0,5                                   | 467,24                |
| Amélioration du site         | 2,75                                   | 2569,82                  | 1,5                                   | 1401,72               |
| Béton                        | 7,5                                    | 7008,6                   | 9                                     | 8410,32               |
| Acier de construction        | 11,5                                   | 10746,52                 | 4                                     | 3737,92               |
| Bâtiments                    | 4                                      | 3737,92                  | 3,5                                   | 3270,68               |
| Tuyauterie souterraine       | 4                                      | 3737,92                  | 2,75                                  | 2569,82               |
| Tuyauterie aérienne          | 37                                     | 34575,76                 | 24                                    | 22427,52              |
| Lignes souterraine (élec)    | 0,4                                    | 373,79                   | 0,2                                   | 186,9                 |
| Lignes aérienne (élec)       | 15                                     | 14017,2                  | 6,5                                   | 6074,12               |
| Instrumentation              | 22                                     | 20558,56                 | 3,25                                  | 3037,06               |
| isolation                    | 7,5                                    | 7008,6                   | 4,5                                   | 4205,16               |
| La peinture                  | 2,5                                    | 2336,2                   | 2,75                                  | 2569,82               |
| Pavage                       | 1                                      | 934,48                   | 0,5                                   | 467,24                |
| autres                       | 1                                      | 934,48                   | 2                                     | 1868,96               |
| <b>Coût direct total (€)</b> |  | <b>203623,19</b>         |                                       | <b>64198,78</b>       |

**Tableau 5.15 : Estimations du coût des équipements de construction pour un Alambic de 2\*2000L**

| <b>Équipement de construction</b>      | <b>Pourcentage du coût de la main-d'œuvre</b> | <b>Coût (€)</b>   |
|--|---|-------------------|
| Location ou achat                      | 15  | 9629,817          |
| Travail de service                     | 4   | 2567,9512         |
| Carburant, huile, graisse, fournitures | 12  | 7703,8536         |
| <b>Coût total (€)</b>                  |   | <b>19901,6218</b> |

**Tableau 5.16 : Estimations des frais généraux et couts indirects pour un Alambic de 2\*2000L**

| <b>Frais généraux et indirects</b>        | <b>Pourcentage du coût de la main-d'œuvre</b> | <b>Coût (€)</b>  |
|---|---|------------------|
| Salarié indirect                          | 10  | 6419,878         |
| Indirects horaires de bureau              | 6   | 3851,9268        |
| Indirects horaires sur le terrain         | 5   | 3209,939         |
| Installations de construction temporaires | 15  | 9629,817         |
| Charges et avantages                      | 27  | 17333,6706       |
| Petit outillage et consommables           | 7   | 4493,9146        |
| Autres indirects                          | 15  | 9629,817         |
| <b>Coût total (€)</b>                     |   | <b>54568,963</b> |

**Tableau 5.17 : Estimations du coût de transport et d'assurance pour un Alambic de 2\*2000L**

| <b>transport et assurance</b> | <b>Pourcentage de matériel</b> | <b>Coût (€)</b>   |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Fret                          | 12                             | 24434,7828        |
| Assurance et droits           | 2                              | 4072,4638         |
| <b>Coût total (€)</b>         |                                | <b>28507,2466</b> |

**Tableau 5.18 : Estimations du coût de services de bureau pour un Alambic de 2\*2000L**

| <b>Services de bureau à domicile</b> | <b>Pourcentage du total des coûts directs et indirects</b> | <b>Coût (€)</b>              |
|--------------------------------------|--|------------------------------|
| Services d'ingénierie/conception     | 12   | 44495,9762                   |
| Services de construction             | 0,2  | 741,599603                   |
| Gestion générale de projet           | 1,1  | 4078,79782                   |
| <b>Coût total (€)</b>                |  | <b>49316,3736</b>            |
| <b>Coût total (€)</b>                |  | <b>420116,175 ≈ 420117 €</b> |

En prenant compte d'éventuel poste de dépenses imprévues, le cout total d'investissement sera de **504140 €**

### 5.2.3.3.2 Approche 2 : Méthode de Peters et Timmerhaus

Cette méthode propose des facteurs de multiplication pour l'estimation de l'investissement total en capital selon le type de processus ou de transformation approprié. Dans notre cas, Nous avons choisi une transformation solide liquide (solid fluid processing plant).

**Tableau 5.19 : Estimation de l'investissement total directe par la méthode de Peters et Timmerhaus pour le cas d'un alambic de 2\*1000L**

| <b>coût direct et indirect</b>                                 |  | <b>Ratios</b> | <b>Coût (€)</b>     |
|--|--|---------------|---------------------|
| <b>coûts directs</b>   | Matériel acheté livré                    | 100           | <b>53994</b>        |
|  | Installation d'équipement acheté         | 39            | 21057,66            |
|  | Instrumentation et contrôles (installés) | 26            | 14038,44            |
|  | Tuyauterie (installée)                   | 31            | 16738,14            |
|  | Systèmes électriques (installés)         | 10            | 5399,4              |
|  | Bâtiments (y compris les services)       | 29            | 15658,26            |
|  | Améliorations du terrain                 | 12            | 6479,28             |
|  | Installations de service (installées)    | 55            | 29696,7             |
| <b>Coût direct total</b>                                       |  |               | 163061,88           |
| <b>coût indirects</b>  | Ingénierie et supervision                | 32            | 17278,08            |
|  | Dépenses de construction                 | 34            | 18357,96            |
|  | Frais juridiques                         | 4             | 2159,76             |
|  | Honoraires de l'entrepreneur             | 19            | 10258,86            |
|  | Les Imprévus                             | 37            | 19977,78            |
| <b>Coût indirect total</b>                                     |  |               | 68 032,44           |
| Investissement en capital fixe                                 |  |               | 231094,32           |
| Fonds de roulement (15 % de l'investissement total en capital) |  |               | 40781,35058         |
| <b>Investissement total en capital</b>                         |  |               | <b>271875,67058</b> |
|  |  |               | <b>≈ 272000 €</b>   |

**Tableau 5.20 : Estimation de l'investissement total par la méthode de Peters et Timmerhaus pour le cas d'un alambic de 2\*2000L**

| <b>coût direct et indirect</b>                                 |  | <b>Ratios</b> | <b>Coût (€)</b>  |
|--|--|---------------|------------------|
|  | Matériel acheté livré                    | 100           | <b>93448</b>     |
|  | Installation d'équipement acheté         | 39            | 36444,72         |
|  | Instrumentation et contrôles (installés) | 26            | 24296,48         |
|  | Tuyauterie (installée)                   | 31            | 28968,88         |
|  | Systèmes électriques (installés)         | 10            | 9344,8           |
|  | Bâtiments (y compris les services)       | 29            | 27099,92         |
|  | Améliorations du terrain                 | 12            | 11213,76         |
|  | Installations de service (installées)    | 55            | 51396,4          |
| <b>Coût direct total</b>                                       |  |               | 282 212,96       |
|  | Ingénierie et supervision                | 32            | 29903,36         |
|  | Dépenses de construction                 | 34            | 31772,32         |
|  | Frais juridiques                         | 4             | 3737,92          |
|  | Honoraires de l'entrepreneur             | 19            | 17755,12         |
|  | Les Imprévus                             | 37            | 34575,76         |
| <b>Coût indirect total</b>                                     |  |               | 117 744,48       |
| Investissement en capital fixe                                 |  |               | 399 957,44       |
| Fonds de roulement (15 % de l'investissement total en capital) |  |               | 70580,724692     |
| Investissement total en capital                                |  |               | 470 538,16469    |
|  |  |               | <b>≈470600 €</b> |

Le calcul sur les investissements nous a permis d'estimer la somme nécessaire pour financer ce projet, qui se situe entre **27200 €** et **291290 €** dans le cas d'une unité comprenant un alambic d'une capacité de 2000L. Et qui est compris entre **470600 €** et **504140 €** si l'unité fonctionne avec une capacité d'alambic de 4000L.

En revanche, dans ce qui suit, nous avons choisi de travailler avec les résultats de la première méthode sur lesquels nous ferons nos calculs.

### **5.2.3.4 Financement de l'investissement**

Pour la réalisation de ces activités, nous avons suggéré que l'investisseur sollicite un emprunt bancaire qui représente 70% de l'investissement, les 30% restant étant à la charge de la société.

**Tableau 5.21 : Financement de l'investissement**

| <b>Capacité d'alambic</b>        | <b>% de l'investissement</b> | <b>2000 L</b> | <b>4000 L</b> |
|----------------------------------|------------------------------|---------------|---------------|
| <b>Apport en fond propre (€)</b> | 30                           | 87 387        | 151 242       |
| <b>Crédit à moyen terme (€)</b>  | 70                           | 203 903       | 352 898       |
| <b>Total (€)</b>                 | 100                          | 291 290       | 504 140       |

Ces résultats nous serviront dans la partie calculs des bénéfices.

La deuxième partie nous a montré les dispositions relatives prises concernant les moyens nécessaires à la réalisation de ce projet, tels que les moyens matériels pour que le projet soit efficient.

Jusque là, nous pouvons dire que notre projet est faisable du point de vue technique. Mais une technique minutieuse ainsi qu'une organisation pointilleuse nécessitent une étude financière pour matérialiser un projet. Dans la partie suivante nous aborderons l'étude financière qui consiste à déterminer les produits de l'exercice (chiffres d'affaires) et surtout de voir le mode de calcul de la valeur ajoutée, du Bénéfices générées et le délai de retour sur investissement.

### 5.3 Troisième partie : Etude financière du projet

Dans cette troisième et dernière partie, deux points importants seront abordés. Dans un premier temps, il y sera étudié la partie de chiffre d'affaire du projet. En second lieu, le calcul financière sera abordé, il est important de cerner l'intérêt économique du projet aussi pour l'entreprise. Il s'agit donc de montrer que le projet est viable sur le long terme et génère bien des bénéfices.

#### 5.3.1 Chiffre d'affaire pour la vente des HE

Nous présenterons ci-dessous le chiffre d'affaire prévisionnel pour la production des huiles essentielles. Il est à noter que la prévision se base sur le fait que toute la production est vendue durant la période de production. Ainsi, Le résultat de notre enquête sur la commercialisation des huiles essentielles nous a permis d'avoir les différents prix de vente qui nous ont servis de référence à la fixation de nos prix à 800 euro/kg

Ci-dessous un tableau récapitulant les chiffre d'affaires estimés réalisés par l'unité sur les huiles essentielles.

**Tableau 5.22 : Le chiffre d'affaire prévisionnel réalisé par l'unité pour les différentes quantités d'huiles produites**

| Capacité alambic (L)                | 2000        |             | 4000        |             |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                     | min         | max         | min         | max         |
| Quantité d'Huile produite (kg) / an | 3121,0424   | 6134,7890   | 6242,0847   | 12269,5781  |
| Chiffre d'affaire (€)               | 2 496 833,9 | 4 907 831,2 | 4 993 667,8 | 9 815 662,5 |

De ce tableau, nous remarquons qu'une unité fonctionnant avec un alambic de 4000L réalisera un chiffre d'affaires plus élevé qu'une unité contenant un alambic de 2000L. Ceci est justifié par la faible quantité d'huile essentielle produite par an.

### 5.3.2 Les charges de l'unité

Afin de savoir analyser si l'activité de l'unité permet de dégager de profit satisfaisant, il faut d'abord lister les différentes charges supportées par les exercices.

#### 5.3.2.1 Les charges de fonctionnement

Ce sont les dépenses que l'entreprise devra faire aussi bien pour son fonctionnement que pour son existence

##### 5.3.2.1.1 Charges de personnel

Ce sont les charges sur salaire du personnel, des charges qui collaborent directement à la réalisation de l'objectif de l'entreprise. Ils peuvent être estimés à partir d'un ratio de 5% du chiffre d'affaire (Zouaghi.,2001)

##### 5.3.2.1.2 Achat de la matière première et d'autres fournitures consommables

Les fournitures consommables sont les produits d'entretien, les fournitures de bureau, l'eau et l'électricité. Le volume de ces fournitures varie d'un mois à l'autre. D'un autre côté, le prix de la matière végétale varie de 29 euro/kg à 100 euro/kg.

Pour notre part, nous pouvons estimer ces deux charges à partir de 75% du chiffre d'affaire (Zouaghi.,2001).

#### 5.3.2.2 Les charges externes

Elles sont les charges non dépendantes de la production de l'unité. Ces charges ne varient pas suivant la quantité de la production.

##### 5.3.2.2.1 Services

Ils sont ventilés en entretien et réparation, en déplacement, en publication et relation publique. Nous les estimerons avec un ratio de 2% de chiffre d'affaire (Zouaghi.,2001).

##### 5.3.2.2.2 Impôts et taxes

Ils concernent en générale : le droit d'enregistrement, la vignette et la visite technique, les timbres fiscaux et le droit et les taxes divers. Ils seront estimés par un ratio qui représente 0,0016% du chiffre d'affaire.

##### 5.3.2.2.3 Frais financier

Elle concerne les intérêts débiteurs relatifs à l'emprunt. Le calcul est déjà fait dans le tableau 21 de Financement de l'investissement.

##### 5.3.2.2.4 Frais divers (Zouaghi.,2001)

Ce sont tous les frais généraux qui n'étaient pas pris en compte avec les autres charges mentionnées en haut. Un ratio de 3,8% du chiffre d'affaire est utilisé pour ce calcul.



### 5.3.2.3 Charges hors exploitation

Les dépenses hors exploitation sont les charges qui ne font pas partie de l'activité productive de l'unité. Les paiements d'intérêts les dépréciations ou les coûts de change sont des exemples de ces derniers. Ils seront calculés en utilisant un ratio de 0,2% du résultats d'exploitation (Zouaghi.,2001).

### 5.3.3 Compte d'exploitation prévisionnel de l'unité et Bénéfices générées

Le compte d'exploitation prévisionnel est un outil de gestion qui sert à connaître les profits ou les pertes d'un exercice, réalisées par une entreprise. Pour ce faire, le chiffre d'affaire est repris du tableau 5.22 ainsi que les autres données (cout d'investissement, frais financier) traitées plus haut dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 5.23 : Comptes d'exploitation prévisionnels en (€)**

| capacité alambic (L)                           | 2000             |                  | 4000             |                    |
|--|------------------|------------------|------------------|--------------------|
|  | min              | max              | min              | max                |
| <b>Chiffre d'affaire</b>                       | 2 496 833,9      | 4 907 831,2      | 4 993 667,8      | 9 815 662,5        |
| <b>coût d'investissement</b>                   | 291 290          |                  | 504 140          |                    |
| <b>Matières et fournitures consommées</b>      | 1 872 625,4      | 3 680 873,4      | 3 745 250,9      | 7 361 746,9        |
| <b>services</b>                                | 49 936,7         | 98 156,6         | 99 873,4         | 196 313,3          |
| <b>Valeurs ajoutées</b>                        | 574 271,8        | 1 128 801,2      | 1 148 543,5      | 2 257 602,3        |
| <b>frais financiers</b>                        | 203 903          |                  | 294 081,9        |                    |
| <b>Frais de personnel</b>                      | 124 841,7        | 245 391,6        | 249 683,4        | 490 783,1          |
| <b>impôts et taxes</b>                         | 39,9             | 78,5             | 79,9             | 157,1              |
| <b>Frais divers</b>                            | 94 879,7         | 186 497,6        | 189 759,4        | 372 995,2          |
| <b>coût de production</b>                      | 2 346 226,4      | 4 414 900,7      | 4 578 728,9      | 8 716 077,5        |
| <b>Résultats d'exploitation</b>                | <b>150 607,5</b> | <b>492 930,4</b> | <b>414 938,9</b> | <b>1 099 585</b>   |
| <b>Charges hors exploitation</b>               | 4 993,7          | 9 815,7          | 9 987,3          | 19 631,3           |
| <b>Résultats bruts</b>                         | <b>145 613,8</b> | <b>483 114,7</b> | <b>404 951,6</b> | <b>1 079 953,7</b> |
| <b>Impôts sur le revenu</b>                    | <b>50 964,8</b>  | <b>169 090,1</b> | <b>141 733,1</b> | <b>377 983,8</b>   |
| <b>Résultats net de l'exercice (bénéfices)</b> | <b>94 649</b>    | <b>314 024,6</b> | <b>263 218,5</b> | <b>701 968,9</b>   |

- **Impôts sur le revenu**

Il est aussi connu sous le nom d'impôt sur les bénéfices. Selon nos investigations, le taux d'imposition dans notre cas peut aller jusqu'à 35% des résultats bruts. (Loi de finance 2022)

- **La valeur ajoutée d'exploitation**

Elle se définit comme le solde intermédiaire du compte de production qui permet de mesurer la richesse brute créée par l'entreprise par son cycle d'exploitation. Elle se calcule comme suit :

$$\text{Valeur ajoutée} = \text{chiffre d'affaires} - (\text{matières} + \text{fournitures} + \text{services})$$

- **Résultats d'exploitation**

C'est le résultat avant l'élément financier, il se calcule de la manière suivante :

$$\text{Résultats d'exploitation} = \text{Valeur ajoutée} - (\text{frais de personnel} + \text{impôts} + \text{taxes} + \text{frais divers})$$

- **Résultats bruts**

C'est la somme du résultat d'exploitation du résultat financier et du résultat exceptionnel avant impôt.

$$\text{Résultats bruts} = \text{Résultats d'exploitation} - \text{charges hors exploitation}$$

- **Résultats nets**

C'est le résultat final figurant au bilan. Il est obtenu finalement par la différence entre le résultat d'exercice avant l'impôt diminué de l'impôt sur le bénéfice.

$$\text{Résultats nets} = \text{Résultats bruts} - \text{impôts sur le revenu}$$

Pour les résultats du tableau 5.23, une nette augmentation des bénéfices est remarquée lorsque nous passons du rendement minimal au rendement maximal dans les deux cas de capacités d'alambic. Le bénéfice généré le plus élevé étant obtenu pour une unité comprenant un alambic de 4000L qui donne un rendement maximal d'extraction.

### 5.3.4 Le taux de Rentabilité des investissements

Le TRI permet d'évaluer la rentabilité interne de l'entreprise. Il donne une indication sur le taux maximum d'intérêt que le projet peut supporter si la totalité des besoins de financement est couverte par des emprunts.

La formule suivante permet de calculer les fonds générés par les couts d'investissement :

$$\text{Rentabilité des investissement} = \frac{\text{Bénéfice net}}{\text{cout de l'investissement initial}} \times 100$$

Tableau 5.24 : Taux de rentabilité du capital investi

| capacité alambic (L)  | 2000    |           | 4000      |           |
|-----------------------|---------|-----------|-----------|-----------|
|                       | min     | max       | min       | max       |
| rendement en HE(%)    |         |           |           |           |
| coût d'investissement | 291 290 |           | 504 140   |           |
| bénéfices nets        | 94 649  | 314 024,6 | 263 218,5 | 701 968,9 |
| TRI (%)               | 32,5    | > 100     | 52,2      | > 100     |

Le projet peut couvrir un emprunt dont le taux est supérieure à 32,5% dans le cas d'un alambic de 2000L et supérieure à 52% dans le cas d'un volume d'alambic de 4000L.

### 5.3.5 Durée de retour sur investissement

C'est la durée nécessaire pour que l'accumulation des recettes permette de couvrir le montant de la dépense d'investissement. C'est-à-dire le nombre d'années au cours desquelles le projet procure suffisamment de ressources afin que la somme investie soit récupérée (Eitemann.,1964)

$$\text{Délai de retour du capital investi} = \frac{\text{investissement initial}}{\text{Résultats nets (Bénéfices)}}$$

Tableau 5.25 : Temps de récupération du capital investi

| capacité alambic (L)                     | 2000                     |                    | 4000                     |                    |
|--|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|
|  | min                      | max                | min                      | max                |
| rendement en HE(%)                       |                          |                    |                          |                    |
| coût d'investissement (€)                | 291 290                  |                    | 504 140                  |                    |
| bénéfices nets (€)                       | 94 649                   | 314 024,6          | 263 218,5                | 701 968,9          |
| Délai de récupération du capital investi | 3 ans, 1 mois et 6 jours | 11 mois et 5 jours | 1 an, 11 mois et 2 jours | 8 mois et 20 jours |

Ce tableau nous montre que le capital investi est récupéré rapidement. Il est possible alors de qualifier l'activité de rentable.

Pour les deux capacités d'alambic, nous pouvons considérer qu'un rendement maximale en HE est préférable et plus rentable

L'étude financière a révélé que le coût de production de ces huiles se situe entre 720 €/kg et 752 €/kg pour une capacité de traitement de l'alambic de 315575 kg de matière végétale/an, et entre 710 €/kg et 734 €/kg pour une capacité de traitement de l'alambic de 631151 kg de matière végétale/an, le coût des services publics étant un facteur majeur contribuant au coût de fabrication.

En outre, des indicateurs financiers tels que le Résultats net de l'exercice (le bénéfice), le taux de rentabilité et la période de récupération des capitaux investis ont été appliqués pour évaluer la rentabilité de l'usine d'extraction à la vapeur d'eau pour les deux volumes d'alambic.

Le coût d'investissement total pour l'unité de traitement de 2000L est d'environ 291 290 €. Le délai de récupération est estimé être entre 11 mois et 3 ans avec un bénéfice total allant de 94 649 jusqu'à 314 025 € après 1 an. D'autre part, l'extraction par un alambic de 4000L, présente un retour des capitaux investis entre 8 et 23 mois, des profits qui peuvent atteindre les 701 969 € après 1 an de fonctionnement et un capital investi de 504 140 €. Il fournit alors un profit suffisant pour le promoteur et générant suffisamment de revenu pour permettre sa continuité dans le temps et dans l'espace.

De ce qui procède, nous pouvons conclure cette partie en admettant qu'une capacité de traitement de l'alambic de 4000L permet une récupération plus rapide du capital investi et qu'elle est plus rentable.

### **Conclusion :**

Les huiles essentielles sont des extraits commercialement importants dans l'industrie des arômes, des produits pharmaceutiques et des parfums. Dans cette étude, une étude de faisabilité technico-économique a été réalisée pour la mise en service d'une usine d'extraction à la vapeur d'eau pour l'extraction de différentes huiles essentielles en Algérie.

Nous avons commencé par présenter brièvement le projet et ses objectifs, et c'est dans la deuxième partie que nous avons traité la faisabilité technique de ce projet. Nous avons abordé la Technique de production envisagée, suivie par des calculs du Coût total du matériel, la capacité de production envisagée par l'unité, et dans un dernier temps l'estimation des couts d'investissement. La troisième partie est intitulé l'étude financière où a été établie quelques calculs financiers prévisionnels, notamment le chiffre d'affaire, le compte prévisionnel de résultats et la durée de retour sur investissement.

Cette partie a démontré la rentabilité du projet, grâce a l'indicateur « taux de rentabilité des investissement » qui est beaucoup élevé. Nous pensons ainsi avoir élaboré un projet réalisable et rentable.

## Conclusion générale

L'utilisation des huiles essentielles dans divers secteurs (médicale, aromathérapie, agro-alimentaire, cosmétique,...etc.) connaît un fort essor ces dernières années en raison de leurs propriétés, telles que les effets antioxydants, nutritifs, détoxifiants, anti-inflammatoires, entre autres. En conséquence, la production est devenue de plus en plus importante, ce qui implique la nécessité à la création de nouvelles unités de production.

A cet égard, ce projet s'est porté sur l'étude et le développement de l'extraction des huiles essentielles à l'échelle industrielle.

Dans un premier temps, l'étude bibliographique des huiles essentielles a montré que ce sont des mélanges complexes présents dans différentes parties des plantes. Ces mélanges contiennent plusieurs composés dont la teneur peut être affectée par différents facteurs, exemple le climat, les conditions du sol, ou la période de récolte. De plus, il existe de nombreuses méthodes d'extractions de ces huiles classées en deux grandes catégories ; les techniques traditionnelles et les nouvelles techniques d'extractions. Ainsi, le choix du procédé dépend de la durée et du rendement d'extraction désirés.

Par la suite, l'exploitation des résultats des travaux antérieurs des plantes choisis dans cette étude, à savoir, la coriandre, la nigelle, l'armoise blanche, le romarin, l'anis vert, la menthe verte et le pistachier, a permis de déterminer les conditions optimales du rendement et durée d'extraction qui seront nécessaires dans la transposition de l'échelle laboratoire à l'échelle de production. Par conséquent, le rendement moyen est entre 0.989 jusqu'à 1.944 et le temps d'extraction optimal est de 160 minutes.

Des investigations sur le marché des huiles essentielles ont révélées que la détermination du prix de ventes dépend non seulement de la demande mais également du type de la plante. En outre, ces investigations ont montrés que l'Algérie présente un potentiel agricole important pour la production des huiles essentielles, or, elle se trouve absente du marché international qui est dominée par les Etats-Unis, le Brésil et l'Inde.

Après ces recherches, un calcul économique et financier pour la réalisation d'une unité de production est abordé. Au premier lieu, une présentation du projet et ses objectifs, ainsi que sa faisabilité technique sont traités. Ensuite, le choix de méthode d'extraction utilisée et le coût de son équipement est évoqué. Pour une étude comparative deux capacités de production sont envisagées l'une de 2000 L et l'autre de 4000 L. Par la suite, les calculs financiers faits tels que le calcul des coûts d'investissement, le chiffre d'affaire et la durée de retour sur investissement ont montré la faisabilité et la rentabilité de cette unité de production.

Ce travail n'est qu'une première approche et les résultats obtenus sont approximatifs. Ainsi, il serait intéressant de poursuivre les recherches, de faire des études approfondies et de mettre en place un modèle de gestion définitif pour la réalisation de ce projet qui contribuera dans le développement de notre pays, à savoir la création d'emplois, l'approvisionnement dumarché national et l'exportation des huiles essentielles.

# Références

- Abad, M.J., Bedoya, L.M., Apaza, L., Bermejo, P.** The Artemisia L. Genus: A Review of Bioactive Essential Oils. *Molecules*. 2012. Vol.17, no.3, p.2542-2566.
- Abbas Ali M., Abu Sayeed M., ShahinurAlam M., SarminaYeasminMst., Mohal Khan A. and Muhamad I.I.** Characteristics of oils and nutrient contents of Nigella sativa linn. And trigonella foenum-graecum seeds. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia* . 2012. vol.26, no.1, p.55-64.
- Abderabbi, K., Adda, A., Benhassaini, H., Merah, O.** Leaf morphological and anatomical traits variation of Artemisia herba-alba in a steppe zone of Algeria. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2018. Vol.24, no.4, p.631–637.
- Abderrabi, K.** *Etude de la variabilité génétique et de potentialité d'adaptation chez Artemisia herba-alba dans la steppe de l'Ouest Algérien*. Thèse de doctorat : science, Biodiversité méditerranéenne de l'Algérie occidentale. Sidi Bel Abbes : Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes. 2018. 142p.
- Abedi, A.S., Rismanchi, M., Shahdoostkhany, M., Mohammadi, A., & Mortazavian, A.** Microwave-assisted extraction of Nigella sativa L. essential oil and evaluation of its antioxidant activity. *Journal of Food Science and Technology*. 2017. Vol.54, no.12, p.3779–3790.
- Aboudaou, M.** *Application de technique innovante de type micro-onde à l'extraction des huiles essentielles de citrus d'Algérie*. Thèse de Doctorat : Sciences Alimentaires. Ecole Nationale supérieur Agronomique-Alger. 2017. 194p.
- Abu-Darwish, M. S., Cabral, C., Gonçalves, M. J., Cavaleiro, C., Cruz, M. T., Efferth, T., & Salgueiro, L.** Artemisia herba-alba essential oil from Buseirah (South Jordan): Chemical characterization and assessment of safe antifungal and anti-inflammatory doses. *Journal of Ethnopharmacology*, 2015. Vol.174, p.153–160.
- AFNOR. NF T-75.** Association Française de Normalisation, *Norme Huile essentielle*. Paris, France. 2000. 111-112p.
- Aftab, A., Asif, Husain., Mohd, M., Shah, A.K., Abul Kalam, N., Nasir, A.S., Zoheir A. Damanhour, F.A.** A review on therapeutic potential of Nigella sativa: A miracle herb, *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*.2013. Vol.3, no.5, p.337-352.
- Akrout, A., El Jani, H., Amouri, S., & Neffati, M.** Screening of antiradical and antibacterial activities of essential oils of Artemisia campestris L., Artemisia herba alba asso, & thymus capitatus hoff. Et link. Growing wild in the southern of Tunisia. *Recent Research in Science and Technology*. 2009. Vol.2, no.1.



- AL Turkmani, M.O.A., Karabet, F., Mokrani, L., Soukkarieh, Chadi.** Chemical composition and in vitro antioxidant activities of essential oil from *Nigella sativa* L. Seeds cultivated in Syria. *International Journal of ChemTech Research*. 2015. Vol.8, no.10, p.76-82.
- Ali Almarie, A. A.** *Roles of Terpenoids in Essential Oils and Its Potential as Natural Weed Killers: Recent Developments*. In M. Santana de Oliveria, & W. Almeida da Costa, & S. Gomes Silva (Eds), *Essential Oils*. Intechopen. 2020.
- Ali, A.E., Ali,L.M., Yousif, Y.M.** *Extraction of Fixed Oil from Seeds of ammomum Sublatum (Black Cardamom)*.Mémoire de bachelor: Chimie. Soudan: Université des sciences et technologies du Soudan. 2016. 41p.
- Ali, B., Al-Wabel, N., Shams, S., Ahmad, A., Khan, S., Anwar, F.** Essential oils used in aromatherapy, A systemic review. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 2015. Vol.5, no.8, p.589-598.
- Ali, M., Mujib, A., Gulzar, B., & Zafar, N.** Essential oil yield estimation by Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) after Methyl jasmonate (MeJA) elicitation in in vitro cultivated tissues of *Coriandrum sativum* L. *3 Biotech*. 2019. Vol.9, no.11, p.414.
- Ali, S.A.Q., et Malik, A.** Antimicrobial Activity of Coriander Sativum. *Journal of Pharmaceutical Research International*. 2021. Vol.32, no.48, p.74-81.
- Aljaiyash, A., Labiad, H., Alaoui, C., Ghanmie, M., Satranie, B.** Effect of phenological stages on yield, chemical composition and biological properties of essential oil from *Thymus maroccanus* Ball. *Arabian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 2022. vol.8, no.1, p.187-208.
- Allaf, T., Tomao, V., Ruiz, K., Chemat, F.** Instant controlled pressure drop technology and ultrasound assisted extraction for sequential extraction of essential oil and antioxidants. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2013. Vol.20, no.1, p.239-246.
- Allali, A., Bourhia, M., Hana, H., Rezouki, S., Salamatullah, A., Soufan, W., Rihan, H., Lahcen, O., El Abdali, Y., Noureddine, E., Mohamed, F.** Essential Oils from *Artemisia herba alba* Asso, *Maticaria Recutita* L., and *Dittrichia Viscosa* L. (Asteraceae): A Promising Source of Eco-Friendly Agents to Control *Callosobruchus maculatus* Fab. Warehouse Pest. *Journal of Chemistry*. 2022. p.1-14.
- Al-Mahasneh, M., Ababneh, H.A., Rababah, T.** Some engineering and thermal properties of black Cumin (*Nigella Sativa* L.) seeds. *International Journal of Food Science +Technology*. 2008. Vol.43, no.6, p.1047-1052.

- Almatarneh, H. A., Elayan, A. I., Poirier, R. A., Altarawneh, M.** The ozonolysis of cyclic monoterpenes: a computational review. *Canadian Journal of Chemistry*. 2017. Vol.96, no.3, p.281-292.
- Al-Snafi, A.E.** A review on chemical constituents and pharmacological activities of *Coriandrum sativum*. *IOSR Journal of Pharmacy (IOSRPHR)*. 2016. Vol.6, no.7, p.17-42.
- Al-Wahaibi, L. H. N., Mahmood, A., Khan, M., Alkhatlan, H. Z.** Comparative Study on the Essential Oils of *Artemisia judaica* and *Artemisia herba alba* from Saudi Arabia. *Arabian Journal of Chemistry*. 2018. Vol.13, no.1, p.2053-2065.
- Amitouche, D., Chemloul, L.** *Contribution à l'évaluation de l'huile essentielle et des extraits d'Artemisia herba-alba algérienne*. Mémoire de Master : Chimie Pharmaceutique. Tizi-Ouzou : Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 2012. 88p.
- Andacheh, F., Moslehishad, M., Shojaee-Aliabadi, S., & Jannatyha, N.** Production and Characterization of Antimicrobial Carboxymethyl Cellulose (CMC) Films Containing Essential Oils of *Satureja khuzistanica*, *Zataria multiflora*, *Allium sativum* and *Bunium persicum*. *Journal of Medicinal Plants and By-Products*. 2020. Vol. 9, p.35-45.
- Andrianarivo, H.I.** *Contribution à l'étude d'une Micro-Centrale Thermique à vapeur utilisant la balle de Paddy comme Combusteur pour assurer l'Autonomie en Energie d'une Decortiquerie et d'une Communauté rurale*. Mémoire de fin d'étude : Génie Industriel. Madagascar : Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo. 2003. 118p.
- Anwar, F., Sulman, M., Hussain, A., Saari, N., Iqbal, S., Rashid, Ts. Dr. U.** Physicochemical composition of hydro-distilled essential oil from coriander (*Coriandrum sativum* L.) seeds cultivated in Pakistan.. *Journal of Medicinal Plants Research*. 2011. Vol.5, no.15, p.3537-3544.
- Aoun.B.** *Activité fongicide des huiles essentielles d'Artemisia herba-alba, Ocimum basilicum et Mantha spicata sur les champignons phytopathogènes du pois et de fève*. Mémoire de Master : Microbiologie appliqué. Biskra : Université Mohamed khider-Biskra. 2019. 57 p.
- Arif, M. Samina, A., Qurban, A.** Antimicrobial Activity of *Coriander sativum*. *Journal of Pharmaceutical Research International*. 2021. Vol.32, p.74-81.
- Asdadi, A., Hamdouch, A., Gharby, S., Idrissi hassani, L.M.** Chemical characterization of essential oil of *Artemisia herba-alba* asso and his possible potential against covid-19. *Journal of Analytical Sciences and Applied Biotechnology*. 2020. Vol.2, no.2.

- Asgarpanah, J., Kazemivash, N.** Phytochemistry, pharmacology and medicinal properties of *Coriandrum sativum* L. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 2012. Vol.6, no.31, p.2340-2345.
- Atia, A., Debez, A., Zouhaier, B., Abdelly, C., Smaoui, A.** Histochemical Localization of Essential Oils and Bioactive Substances in the Seed Coat of the Halophyte *Crithmum maritimum* L. (Apiaceae). *Journal of Plant Biology*. 2009. Vol.52, no.5, p.448-452.
- Atta, M.B.** Some characteristics of nigella (*Nigella sativa* L.) seed cultivated in Egypt and its lipid profile. *Food Chemistry*. 2003. Vol.83, no.1, p.63-68.
- AURA INDUSTRY.** *Distillation des plantes pour la production d'huiles essentielles et d'hydrolats.* <http://alambic-inox.com/aura/Aura.htm>
- Aydi, A., Zibetti, A.W., Abdulaal, A., Aboulbaba, A., Manef, A., et al.** Supercritical CO<sub>2</sub> Extraction of Extracted Oil from *Pistacia lentiscus* L.: Mathematical Modeling, Economic Evaluation and Scale-Up. *Molecules*. 2020,. Vol.25, no.1, p.199.
- Bahmankar, M., Mortazavian, S. M. M., Tohidfar, M., Noori, S. A. S., Darbandi, A. I., Al-fekaiki, D. F.** Chemotypes and morpho-physiological characters affecting essential oil yield in Iranian cumin landraces. *Industrial Crops and Products*. 2019. Vol.128, p.256-269.
- Balasubramanian, S. & Singh, K.K. & Kumar, R.** Physical properties of coriander seeds at different moisture content. *International Agrophysics*. 2012. Vol.26, p.419-422.
- Balasubramanian, S., Roselin, P., Singh, K. K., Zachariah, J., Saxena, S. N.** Postharvest Processing and Benefits of Black Pepper, Coriander, Cinnamon, Fenugreek, and Turmeric Spices. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2016. Vol.56, no.10, p.1585-1607.
- Baliga, M.S., Mane, P.P., Nallemgera, J.T., Thilakchand, K.R., Kalekhan, F.** Chapter 5 - *Dietary Spices in the Prevention of Rheumatoid Arthritis: Past, Present, and Future*, Editor(s): Ronald Ross Watson, in: *Foods and Dietary Supplements in the Prevention and Treatment of Disease in Older Adults*. Academic Press, 2015, p. 41-49.
- Bankar, Rashi & Kumar, Ajai & Puri, Sadhna & Ali, Intzar & Sharma, Akash & Khan, Inshad.** Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Essential Oil from Seed of *Coriandrum sativum* L. *Analytical Chemistry Letters*. 2011. Vol.1, no.2, p.189-193.
- Barbelet, S.** *Le Giroflier : historique, description et utilisation de la plante et de son huile essentielle.* Thèse de docteur : pharmacie. Lorraine : université de Lorraine. 2015. 121p.

**Barbieri, C. , Borsotto, P.** *Essential Oils: Market and Legislation*. In: El-Shemy, H. A. , editor. *Potential of Essential Oils* [Internet]. London: IntechOpen; 2018 [cité 02 Jun 2022]. Valable sur : <https://www.intechopen.com/chapters/61798>

**Barbieri, C., Borsotto, P.** *Essential Oils: Market and Legislation*. In: El-Shemy, H. A. , editor. *Potential of Essential Oils*. London: IntechOpen; 2018. Valable sur : <https://www.intechopen.com/chapters/61798>

**Barkatullah, M.I., Abdur, R., Inyat, U.R.** Physicochemical characterization of essential and fixed oils of *Skimmia laureola* and *Zanthoxylum armatum*. *Middle-East Journal of Medicinal Plants Research*. 2012. Vol.1, no.3, p.51-58.

**Barra, A.** Factors Affecting Chemical Variability of Essential Oils: A Review of Recent Developments. *Natural Product Communications*. 2009. Vol.4, no.8, p.1147-1154.

**Base des données Comtrade.** Valable sur : <https://comtrade.un.org/>

**Baser, K. H. C., & Buchbauer, G.** *Handbook of essential oils: science, technology, and applications*. CRC press. 2009. 991p. <https://doi.org/10.1201/9781420063165>

**Beddek,N.** *Extraction de l'essence des grains de Coriandrum sativum L. par différents procédés*. Mémoire de Master : Génie chimique. Alger : Ecole nationale polytechnique-Alger. 1995. 79p.

**Behtari, B., Gholami, F., Khalid, A.K., Tilaki, G.D., Bahari, R.** Effect of Growth Stages and Altitude on *Artemisia herba-alba* Asso Essential Oil Growing in Iran. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2012. Vol.15, no.2, p.307-313.

**Belbid, H.** *Contribution À L'étude Physiochimique De L'huile De : Nijella Sativa (nigelle) Et De Son Pouvoir Antimicrobien*. Mémoire de Master : Biologie. Tlemcen : Université Abou Bekr Belkaid. 2015. 93p.

**Belhadj, M. M., Kabouche, A., Abaza, I., Aburjai, T., Touzani, R., Kabouche, Z.** Chemotypes investigation of *Lavandula* essential oils growing at different North African soils. *Journal of Materials and Environmental Sciences*. 2014. Vol.5, no.6, p.1896-1901.

**Belhamel, I., et Belaachi, B.** *Les huiles essentielles à usage thérapeutique*. Mémoire de Master : Biochimie Appliquée. Oum el Bouaghi : Université Larbi Ben M'Hidi. 2021. 121p.

**Belhattab, R et al.** Essential oil from *Artemisia herba-alba* Asso grown wild in Algeria: Variability assessment and comparison with an updated literature survey. *Arabian Journal of Chemistry*. 2014. Vol.7, p.243-251.

- Benalloul, G.** Techniques de parfumerie à Grasse présentation historique. *Recherches Régionales*. 2010. Vol.196, no.53.
- Benkaci-Ali, F.** *Etude de la composition chimique de la nigella sativa originaire d'Algérie*. Thèse de Doctorat : Chimie Organique Appliquée. Alger : Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumedién-Alger. 2007. 216p.
- Benkaci-Ali, F., Baaliouamer, A., Wathelet, J., Marlier, M.** Chemical Composition of Volatile Oils from Algerian *Nigella sativa* L. seeds. *The Journal of Essential Oil Research*. 2010. Vol.22, no.4, p.318-322.
- Benkaci-Ali, F., Baaliouamer, A., Brahim Y. Meklati, F.C.** Chemical composition of seed essential oils from Algerian *Nigella sativa* extracted by microwave and hydrodistillation. *Flavour Fragrance Journal*. 2007. Vol.22, no.4, p.148-153.
- Benmansour, F., Benaissa, M.A.** *Conception et réalisation d'un système d'extraction des huiles essentielles*. Mémoire de Master : Génie Electrique et Electronique. Tlemcen : Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen. 2021. 109p.
- Bensaid, N et Zerrougui, N.** *Variation de la concentration de l'huile essentielle et de ses constituants majoritaires lors de l'extraction à la vapeur d'eau*. Mémoire de Master : Génie chimique. Alger : Ecole nationale polytechnique-Alger. 2021. 208p.
- Bensmira, W. N et Meribai, H.** *Valorisation des plantes aromatiques et médicinales (PAM) dans la wilaya de Constantine*. Mémoire de Master : Production des Ecosystèmes. Constantine : Université des Frères Mentouri. 2019. 100p.
- Benyahia, M., Medakene, S.** *Analyse Physico Chimique et Activité Biologique de L'huile Essentielle d'Artémisia Herba Alba*. Mémoire de Master : Génie chimique. Ouargla : Université Kasdi Merbah. 2019. 76p.
- Benyoussef et al.** Etude analytique des extraits des graines de Coriandre d'Algérie. *Rivista Italiana*. 1999. Vol.27, p.27-32.
- Benyoussef, E.H., Hasni, R., Belabbes, J.-M.** Modélisation du transfert de matière lors de l'extraction de l'huile essentielle des fruits de coriandre. *Chemical Engineering Journal*. 2002. Vol.85, no.1, p.1-5.
- Benyoussef, E. H.** *Développement des procédés d'extraction des essences de coriandre et de nigelle. Etude de leurs processus et application*. Thèse de Doctorat : Génie Chimique. Alger : Ecole nationale polytechnique-Alger. 1999. 232p.

**Benyoussef, E.-H., Zouaghi, N., BELABBES, R.** Etude botanique des graines de nigelle d'Algérie et analyse de leur huile essentielle. *Rivista Italiana*. 2001, p.15-19.

**Berton, P.L.** *Chemical Engineering Research Trends*. New York. Nova Science Publisher. 2007. 395p.

**Bezza, L., Mannarino, A., Fattarsi, K. et al.** Composition chimique de l'huile essentielle d'*Artemisia herba-alba* provenant de la région de Biskra (Algérie). *Phytothérapie*. 2010. Vol.8, p.277–281.

**Bhadra, P., Parida, S.** *Aromatherapy and its Benefits*. New Delhi, India: Renu Publishers. 2021. 168p.

**Bharti, V., Zeenat, A & Mehta, A.** *Vetiveria zizanioides (Khas-Khas): A Medicinal Grass*. 2020.

**Bhat, S., Kaushal, P., Kaur, M., et al.** Coriander (*Coriandrum sativum* L.): Processing, nutritional and functional aspects. *Afr. African Journal of Plant Science*. 2014. Vol.8, p.25-33.

**Bhuiyan, M. N. I., Begum, J., & Sultana, M.** Chemical composition of leaf and seed essential oil of *Coriandrum sativum* L. from Bangladesh. *Bangladesh Journal of Pharmacology*. 2009. Vol.4, no.2, p.150-153.

**Boaro, C. S. F., Vieira, M. A. R., Campos, F. G., Ferreira, G., De-la -Cruz-Chacón, I., & Marques, M. O. M.** Factors Influencing the Production and Chemical Composition of Essential Oils in Aromatic Plants from Brazil. *Essential Oil Research*. 2019, p.19–47.

**Boudjelal, A., Smeriglio, A., Ginestra, G., Denaro, M., & Trombetta, D.** Phytochemical Profile, Safety Assessment and Wound Healing Activity of *Artemisia absinthium* L. *Plants (Basel, Switzerland)*. 2020. Vol.9, no.12, p.1744.

**Boudjemaa, N. E., & Ben guegua, H.** *L'effet Antibactérien de Nigella Sativa*. Mémoire de fin d'études : Microbiologie. Ouargla : Université Kasdi Merbah. 2010. 49p.

**Boudraa, A., Djabri, R., Manseur, C.** *Contribution à l'étude du pouvoir antibactérien d'Artemisia herba alba Asso « chih »*. Mémoire de Master : science de la nature et de la vie, science biologiques. Tébessa : université de Larbi Tébessi. 2020. 75p.

- Bougoutaia, Y.** *Étude du complexe Artemisia herba-alba Asso d'Algérie par des approches pluridisciplinaires: cytogénétique classique, cytogénétique moléculaire, phylogénie et phylogéographie.* These de doctorat : science de la nature et de la vie, Biotechnologie. Oran : Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed-Boudiaf. 2018. 206p.
- Boukhatem, M. N., Ferhat, A., & Kameli, A.** Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles: revue de littérature. *Une.* 2019. Vol. 3, no. 4, p.1653-1659.
- Boukhatem, M. N., Ferhat, M. A., Kameli, A., Saidi, F., Kebir, H. T.** Lemon grass (*Cymbopogon citratus*) essential oil as a potent anti inflammatory and antifungal drugs. *Libyan Journal of Medicine.* 2014. Vol.9, no.1.
- Bourgou, S., Pichette, A., Marzouk, B., Legault, J.** Bioactives of black cumin essential oil and its main terpenes from Tunisia. *South African Journal of Botany.* 2010. Vol.76, p.210-216.
- Bousbia. N.** *Extraction des huiles essentielles riches en anti-oxydants à partir de produits naturels et de co-produits agroalimentaires.* Thèse en Co-Tutelle : Chimie. Alger : Ecole Nationale Supérieure Agronomique et Marseille : Université d'Avignon et des Pays de vaucluse. 2011. 176p.
- Boussoula E., Satrani Badr, Ghanmi Mohamed, Rhafouri Rachid, Thévenon Marie-France, Burri S., Alaoui M.B., Chaouch Abdelaziz.** Effect of the harvest stage on the chemical composition and bioactivity of Moroccan *Artemisia herba alba* essential oils. *International Journal of Academic Studies.* 2017. Vol.3, no.3, p.58-69.
- Boutemak, K.** *Contribution à l'étude des procédés d'extraction conventionnels et innovants appliqués à la récupération de l'huile essentielle de l'armoise blanche d'Algérie (Artemisia Herba Alba).* Thèse de Doctorat : Génie des procédés. Blida : Université Saad Dahled. 2011. 174p.
- Boutemak, K., Bezzina, M., Pé rino-Issartier, S., Chemat, F.** Extraction by steam distillation of *Artemisia herba-alba* essential oil from Algeria: kinetic study and optimization of the operating conditions. *Journal of Essential Oil Bearing Plants.* 2009. Vol.12, p.640-650.
- Bouzidi, N.** *Etude des activités biologiques de l'huile essentielle de l'armoise blanche « Artemisia herba alba Asso ».* Thèse de Doctorat : Sciences de la Vie. Mascara : Université Mustapha stambouli-Mascara. 2016. 182p.

- Burdock, G., Carabin, I .** Safety assessment of coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil as a food ingredient. *Food and Chemical Toxicology*. 2009. Vol.47, p.22-34.
- Burits, M. & Bucar, F .** Antioxidant activity of *Nigella sativa* essential oil. *Phytotherapy Research*. 2000. Vol.14, no.5, p.323-328.
- Çakaloğlu, E.B., Ozyurt, V., & Otles, S.** Cold press in oil extraction.A review. *Ukrainian Food Journal*. 2018. Vol.7, no.4, p.640-654.
- Cannon, J., Cantrell, C., Astatkie, T., Jeliaskov (Zheljaskov), V.** Modification of yield and composition of essential oils by distillation time. *Industrial Crops and Products*. 2013. Vol.41, no.1, p.214–220.
- Caputo, L., Souza, L. F., Alloisio, S., Cornara, L., & De Feo, V.** *Coriandrum sativum* and *Lavandula angustifolia* Essential Oils: Chemical Composition and Activity on Central Nervous System. *International journal of molecular sciences*. 2016. Vol.17, no.12, p.1999.
- Capuzzo, A., Maffei, M. E., & Occhipinti, A.** Supercritical fluid extraction of plant flavors and fragrances. *Molecules*. 2013. Vol.18, no.6, p.7194-7238.
- Chadwick, M., Trewin, H., Gawthrop, F., & Wagstaff, C.** Sesquiterpenoids lactones: benefits to plants and people. *International Journal of Molecular Sciences*. 2013. Vol.14, no.6, p.12780–12805.
- Chang, X., Alderson, P., Wright, C.** Solar irradiance level alters the growth of basil (*Ocimum basilicum* L.) and its content of volatile oils. *Environmental and Experimental Botany*. 2008. Vol.63, no.1-3, p.216-223.
- Cheikh-Rouhou, S., Besbes, S., Hentati, B., Blecker, C., Deroanne, C., Attia, H.** *Nigella sativa* L.: Chemical composition and physicochemical characteristics of lipid fraction. *Food Chemistry*. 2007. Vol.101, no.2, p. 673-681.
- Chenni, M., & Douniazad, A.** Processes for extracting bioactive products (Procédés d'extraction des produits bioactifs). *PhytoChem & BioSub Journal*. 2017. Vol.11, no.1, p.1-2.
- Chrysargyris, A., Laoutari, S., Litskas, V., Stavrinides, M.** Effects of water stress on lavender and sage biomass production, essential oil composition and biocidal properties against *Tetranychus urticae* (Koch) .*Scientia Horticulturae*. 2016. Vol.213, p.96-103.
- Clarke, S.** Chapter 7 - *Composition of essential oils and other materials*, Editor(s): Sue Clarke, Churchill Livingstone: in *Essential Chemistry for Aromatherapy (Second Edition)*. 2008, p.123-229.



- Conde-Hernández, L.A., Espinosa-Victoria, J.R., Trejo, A.G., & Guerrero-Beltrán, J.Á.** CO<sub>2</sub>-supercritical extraction, hydrodistillation and steam distillation of essential oil of rosemary (*Rosmarinus officinalis*). *Journal of Food Engineering*. 2017. Vol.200, p.81-86.
- Coskuner, Y. et Karababa, E.** Physical Properties of Coriander Seeds (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Food Engineering*. 2007. Vol.80, p.408-416.
- Craft, J. D., Satyal, P., & Setzer, W. N.** The Chemotaxonomy of Common Sage (*Salvia officinalis*) Based on the Volatile Constituents. *Medicines (Basel, Switzerland)*. 2017. Vol.4, no.3, p.47.
- Da Cheng, H., Xiao-Jie, Gu., Pei Gen X.** 14 - *Phytochemical and biological research of Salvia medicinal resources*, Editor(s): Da Cheng Hao, Xiao-Jie Gu, Pei Gen Xiao, in *Medicinal Plants*, Woodhead Publishing. 2015, p.587-639.
- Daghbouche, S., Ammar, I., Rekik, D. M., Djazouli, Z., Zebib, B., Merah, O.** Effect of phenological stages on essential oil composition of *Cytisus triflorus* L'Her. *Journal of King Saud University – Science*. 2020. Vol.32, no.4, p.2383-2387.
- Dahmani, N.** *Extraction et analyse d'huiles essentielles d'armoise algérienne (Artemisia herba alba)*. Mémoire de Master : Energétique des procédés. Alger : Université des sciences de la technologie Houari Boumerdiene. 2004. 132p.
- Darwish Sayed, M.** Traditional medicine in health care. *Journal of Ethnopharmacology*. 1980. Vol.2, no.1, p.19-22.
- Datta, A. K., Saha, A., Bhattacharya, A., Mandal, A., Paul, R., & Sengupta, S.** Black cumin (*Nigella sativa* L.)—a review. *Journal of Plant Development Sciences*. 2012. Vol.4, no.1, p.1-43.
- Derwich, E., Benziane, Z., Boukir, A.** Chemical compositions and insectisidal activity of essential oils of three plants *Artemisia* SP: *Artemisia herba-alba*, *Artemisia absinthium* and *Artemisia Pontica* (Morocco). *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*. 2009. Vol.8, no.11, p.1202-1211.
- Deschepper, R.** *Variabilité de la composition des huiles essentielles et intérêt de la notion de chémotype en aromathérapie*. Thèse de docteur en pharmacie. Marseille : Université d'Aix Marseille. 2017. 172p.
- Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N., Mnif, W.** Essential Oils' Chemical Characterization and Investigation of Some Biological Activities: A Critical Review. *Medicines (Basel, Switzerland)*. 2016. Vol.3, no.4, p.25.

**Diaz-Maroto, M.C., Perez-Coello, M.S., Cabezudo, M.D.** Effect of different drying methods on the volatile components of parsley (*Petroselinum crispum* L.). *European Food Research and Technology*. 2002. Vol.215, no.3, p.227–230.

**Diederichsen, Axel.** *Coriander (Coriandrum sativum L.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. 3. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben. Eds: *International Plant Genetic Resources Institute*, Rome. 83p.

**Directions des Etudes et de la Prospective de la Direction Générale des Douanes Algérienne** (2022).

**Dizajeyekan, Y. I., Haghghi, A. R., Gajoti, T. E.** Regional Altitude and Soil Physicochemical Factors Influence the Essential Oil of *Thymus pubescens* (Lamiaceae). *Journal of Biological and Environment Science*. 2016. Vol.10, no.29, p.45-51.

**Djammel, R., Bouzidi, D., & Ayat, A. A.** *Contribution à l'étude de l'effet hémostatique des graines de Nigelle Sative L.* Mémoire de Master : Biochimie des Molécules Bioactives et Applications. Oum El –Bouaghi : Université Larbi Ben M'hidi. 2018. 124p.

**Dob, T., Benabdelkader, T.** Chemical Composition of the Essential Oil of *Artemisia herba-alba* Asso Grown in Algeria. *The Journal of Essential Oil Research*. 2006. Vol.18, no.6, p.685-690.

**Données Openhealth.** *Marché Français de l'Aromathérapie en Parapharmacie et en Pharmaci.* 2018.

**Dubey, P.N. & Singh, Balraj & Mishra, Brijesh & Kant, Krishna & Solanki, Ramesh.** *Nigella (Nigella sativa): A high value seed spice with immense medicinal potential.* *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2016. Vol.86, no.8, p.967-979.

**Dzoyem, J.P., McGaw, L.J., V. Kuete, U.** *Chapter 9 - Anti-inflammatory and Antinociceptive Activities of African Medicinal Spices and Vegetables*, Editor(s): Victor Kuete, in : *Medicinal Spices and Vegetables from Africa*, Academic Press, 2017. 694p.

**Edris, Amr.** Subcritical CO<sub>2</sub> extraction of a volatile oil-rich fraction from the seeds of *Nigella sativa* for potential pharmaceutical and nutraceutical applications. *Journal of Essential Oil Research*. 2017. Vol.30, no.2, p.84-91.

**Eitemann, D. K.** Calcul de la Rentabilité des Investissements. *Management International*. 1964. Vol. 4, no.5-6, p.129–138.

- El amrani, K., Barbouchi, M., El idrissi, M., Amechrouq, A., Choukrad, M.** Chemical composition and physicochemical properties of the essential oil of coriander (*Coriandrum sativum* L.) grown in Morocco. *RHAZES : Green and Applied Chemistry*. 2019. Vol.4, no.4, p.35-50.
- El Asbahani, A. E., Miladi, K., Badri, W., Sala, M., Addi, E. H. A., Casabianca, H., Elaissari, A.** Essential oils: From extraction to encapsulation. *International Journal of Pharmaceutics*. 2015. Vol.483, no.1-2, p.220–243.
- Erdoğan, Ü., YILMAZER, M., Erbaş, S.** Hydrodistillation of *Nigella Sativa* Seed and Analysis of Thymoquinone with HPLC and GC-MS. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*. 2020. Vol.4, no.1, p.27-30.
- Evesron, L. S., Dotto, A. R. F.** Herbal oils in healthcare: a review. *Brazilian Journal of Science*. 2022. Vol.1, no.4, p.18-33.
- Eyres, G.T., Dufour, J.P., Hallifax, G., Sotheeswaran, S., & Marriott, P.J.** Identification of character-impact odorants in coriander and wild coriander leaves using gas chromatography-olfactometry (GCO) and comprehensive two-dimensional gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry (GC x GC-TOFMS). *Journal of Separation Science*. 2005. Vol.28, no.9-10, p.1061-1074.
- Farhat, A.** *Vapo-Diffusion assistée par Micro-ondes : Conception, Optimisation et Application*. Thèse de doctorat : Science. Avignon : Université d'avignon et des pays de vaucluse. 2010. 137p.
- Fatmi, W., Bellik, Y., Kechrid, Y.** Protective Effect of *Artemisia herba alba* Aqueous Extract upon Nickel Induced Hepatotoxicity in Albino Wistar Rats. *Austin Journal of Pharmacology and Therapeutics*. 2018. Vol.6, p.1-6.
- Favero, F., Grando, R., Nonato, F. R., Sousa, I. M., Queiroz, N. C., Longato, G. B., Zafred, R. R., Carvalho, J. E., Spindola, H. M., & Foglio, M. A.** *Artemisia annua* L.: evidence of sesquiterpene lactones' fraction antinociceptive activity. *BMC complementary and alternative medicine*. 2014. Vol.14, no.1, p.266.
- Figueiredo, A., Barroso, J., Pedro, L., Scheffer, J.** Factors affecting secondary metabolite production in plants: Volatile components and essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*. 2008. Vol.23, no.4, p.213-226.
- France AgriMer.** *Marché des plantes à parfum, aromatiques et médicinales*. Panorama 2020. P.64.

- France AgriMer.** *Marché des plantes à parfum, aromatiques et médicinales.* Panorama 2018. P.64.
- Franchomme, P., Jollois, R., Pénoel, D.** *L'aromathérapie exactement : Encyclopédie de l'utilisation des extraits aromatiques.* Paris : Éditions Roger Jollois. 2001. 490 p.
- Fraunhofer, J.V., Joshi, R. K.** Essential oils and the legislative landscape . *American Journal of Essential Oils and Natural Products.* 2019. Vol.7, no.1, p.1-6.
- Freires, I., Murata, R. M., Furletti, V. F., Sartoratto, A., Alencar, S. M., Figueira, G. M., de Oliveira Rodrigues, J. A., Duarte, M. C., & Rosalen, P. L.** Coriandrum sativum L. (Coriander) essential oil: antifungal activity and mode of action on *Candida* spp., and molecular targets affected in human whole-genome expression. *PLoS one.* 2014. Vol.9, no.6.
- Gacem, M.A., Ould El Hadj-Khelil, A., Boudjemaa, B., Gacem, H.** Phytochemistry, Toxicity and Pharmacology of *Pistacia lentiscus*, *Artemisia herba-alba* and *Citrullus colocynthis*. *Sustainable Agriculture Reviews* 39. 2020. vol.39, p.57-93.
- Galata, M.** *Transcriptome profiling, and the cloning and characterization of a monoterpene synthase from the seeds of Coriandrum Sativum L.* Mémoire de Master : Science. Okanagan : université de British Columbia. 2013. 120p.
- Galata, M., Mahmoud, S.S., et Sarker, L.S.** Transcriptome profiling, and cloning and characterization of the main monoterpene synthases of *Coriandrum sativum L.* *Phytochemistry.* 2014. Vol.102, p.64-73.
- Garett, E.D.** *Chemical Engineering Economics.* New York, Van Nostrand Reinhold (EDS). 1989. 431p.
- Gaston, M.S., Cid, M.P., Vázquez, A.M., et al.** Sedative effect of central administration of *Coriandrum sativum* essential oil and its major component linalool in neonatal chicks. *Pharm Biol.* 2016. Vol.54, no.10, p.1954-1961.
- Geetha, V., Chakravarthula, S.N.** Chemical composition and anti-inflammatory activity of *Boswellia ovalifoliolata* essential oils from leaf and bark. *Journal of Forestry Research.* 2018. Vol.29, p.373–381.

**Ghanmi, M., Satrani, B., Aafi, A., Isamili, M., Houti, H., El Monfalouti, H., Benchakroun, K., Aberchane, M., HARKI, H., Boukir, A., Chaouch, A., Charrouf, Z.** Effet de la date de récolte sur le rendement, la composition chimique et la bioactivité de l'huile essentielle de l'armoise. *Phytothérapie*. 2010. Vol.8, no.5, p.295-301.

**Gharby, S., Harhar, H., Guillaume, D., Roudani, A., Boulbaroud, S., Ibrahimi, M., ... & Charrouf, Z.** Chemical investigation of *Nigella sativa* L. seed oil produced in Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2015. Vol.14, no.2, p.172-177.

**Ghasemi, G., Fattahi, M., Alirezalu, A. et al.** Antioxidant and antifungal activities of a new chemovar of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Food Sci Biotechnol*. 2019. Vol.28, no.3, p.669–677.

**Ghasemi, P. A., Salehi, S., Craker, L.** Effect of drying methods on qualitative and quantitative properties of essential oil from the aerial parts of coriander. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. 2017. Vol.4, p.35–40.

**Ghazanfari, N., Mortazavi, S.A., Yazdi, F.T., Mohammadi, M.** Microwave-assisted hydrodistillation extraction of essential oil from coriander seeds and evaluation of their composition, antioxidant and antimicrobial activity. *Heliyon*. 2020. Vol.6, no.9, e04893.

**Ghedira, K., Le Jeune, R.** Huile de nigelle cultivée, *Nigella sativa* L. (Ranunculaceae). *Phytothérapie*. 2010. Vol.8, no.2, p.124–128.

**Goudjil, M.** *Composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydante de trois plantes aromatiques*. Thèse de doctorat : Génie des Procédés et Environnement. Ouargla : Université Kasdi Merbah-Ouargla. 2016. 132p.

**Grand View Research Inc.** *The Essence of Essential Oils Industry: Analyst Perspective*. 2020. Disponible sur: <https://www.grandviewresearch.com/blog/essential-oils-market-size-share>.

**Grand View Research Inc. U.S.** *Essential Oil Market Size, Share & Trends Analysis report By Product (Eucalyptus, Lemon), By application (Flavors, Fragrances), and Segment Forecasts, 2016-2024*. 2014. Report ID: GVR-1-68038-405-5. p.78. Disponible sur: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/us-essential-oil-market/toc>.

**Grosso, C., Ferraro, V., Figueiredo, A.C., Barroso, J.G., Coelho, J., Palavra, A.** Supercritical carbon dioxide extraction of volatile oil from Italian coriander seeds. *Food Chemistry*. 2008. Vol.111, no.1, p.197-203.

- Guernou, I., & Bouhedir, S.** *Extraction De L'huile Essentielle Et Caractérisation Phytochimique De L'extrait Aqueux Des Graines De La Nigelle (nigella Sativa L.) Et Étude De Leurs Activités Biologiques.* Mémoire de Master : Biologie. Blida : Université Saad Dahleb – Blida. 2013. 80p.
- Guo, X., & Wang, P.** Aroma Characteristics of Lavender Extract and Essential Oil from *Lavandula angustifolia* Mill. *Molecules* (Basel, Switzerland). 2020. Vol.25, no.23, p.5541.
- Guzmán, E., Lucia, A. L. A.** Essential Oils and Their Individual Components in Cosmetic Products. *Cosmetics*. 2021. Vol.8, no.4, p.114.
- Hachani, A.** *Effet d'Artemisia herba-alba Asso sur la croissance chez le poulet de chair.* Mémoire de Master : Science de la nature et de la vie, science agronomique. Biskra : Université Mohamed Khider. 2019. 68p.
- Hadjadj, N.** *Nigella sativa: Optimisation de l'extraction d'huile par pressage et étude des fractions lipidique et phénolique.* Thèse de doctorat : Agronomie. Alger : Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA). 2015. 143P.
- Hadjazi, D.** *Activité Antimicrobienne de l'huile essentielle extraite à partir de produits cosmétiques à base d'huile végétale de Nigella sativa (la nigella).* Thèse de Doctorat : Biologie. Sidi bel Abbes : Université Djilali Liabes. 2016. 115p.
- Hajlaoui, H., Arraouadi, S., Noumi, E., Aouadi, K., Adnan, M., Khan, M.A., Kadri, A., Snoussi, M.** Antimicrobial, Antioxidant, Anti-Acetylcholinesterase, Antidiabetic, and Pharmacokinetic Properties of *Carum carvi* L. and *Coriandrum sativum* L. Essential Oils Alone and in Combination. *Molecules*. 2021. Vol.26, no.12, p.3625.
- Hamrouni-sellami, I., Kchouk, M., Marzouk, B.** Lipid and aroma composition of black cumin (*Nigella sativa* L.) seeds from Tunisia. *Journal of Food Biochemistry*. 2008. Vol.32, p.335-352.
- Hamzaoui, D., Baaliouamer, A.** Chemical Composition of Algerian *Artemisia herbaalba* Essential Oils Isolated by Microwave and Hydrodistillation. *Journal of Essential Oil Research*. 2010. Vol.22, no.6, p.514-517.
- Hamzaoui, D., Baaliouamer, A.** Volatile constituents of Algerian *Artemisia herba-alba* essential oils. *Journal of Essential Oil Research*. 2015. Vol.27, no.5, p.1-10.
- Hanif, M. A., Nisar, S., Khan, G. S., Mushtaq, Z., & Zubair, M.** *Essential Oils.* In: Malik, S. (eds) *Essential Oil Research*. Springer. 2019. 449p.

**Hassan, O. M., Elhassan. I. A.** Characterization of essential oils from fruits of umbelliferous crop cultivated in Sudan II. *Coriandrum sativum* L. (Coriander) and *Foeniculum vulgare* Mill (Fennel). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2017. Vol.6, no.1, p.113-116.

**Havlik, J., Kokoska, L., Vasickova, S., Valterová, Irena.** Chemical composition of essential oil from the seeds of *Nigella arvensis* L. and assessment of its antimicrobial activity. *Flavour and Fragrance Journal*. 2006. Vol.1, no.4, p.713-717.

**Hazzoumi, Z., Moustakime, Y., Joutei, K.L.** *Essential oil and glandular hairs : diversity and roles*. In: El-Shemy, H. A. , editor. *Essential Oils - Oils of Nature* [Internet]. London: IntechOpen; 2019. 240 p. Valable sur: <https://www.intechopen.com/chapters/67466>

**Hesham, H. A., Rassem, A.H., Nour, R.M.** Techniques For Extraction of Essential Oils From Plants: A Review. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2016. Vol.10, no.16, p.117-127.

**Hudaib, M., Aburjai, T.** .Composition of the essential oil from *Artemisis herba-alba* grown in Jordan. *Journal of Essential Oil Research*. 2006. Vol.18, no.3, p.301-304.

**Husnu Can Baser, K.** *Analysis and quality assessment of Essential oils*.in K. Tuley De Silva (Eds), *A Manual on The Essential Oil Industry*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization. 1995. 232p.

**Huzar, E., Dzieciol, M., Wodnicka, A., Örün, H., İçöz, A., Çiçek, E.** Influence of Hydrodistillation Conditions on Yield and Composition of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Essential Oil. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2018. Vol.68, no.3, p.243-250.

**Iacobellis, N. S., Cantore, P. L., Capasso, F., Senatore, F.** Antibacterial Activity of *Cuminum cyminum* L. and *Carum carvi* L. Essential Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005. Vol. 53, no.1, p.57-61,

**Ilbert, H., Hoxha, V., Sahi, L., Courivaud, A., Chailan, C.** (eds.). *Le marché des plantes aromatiques et médicinales : analyse des tendances du marché mondial et des stratégies économiques en Albanie et en Algérie*. Montpellier : CIHEAM / FranceAgriMer, 2016. 222 p.

**International Organization for Standardization.** *Aromatic natural raw materials*. (No. 9235:2013). 2013.

**International Organization for Standardization.** *Huile essentielles- Détermination de l'indice de réfraction*. (No. 280:1998). 1998.

- International Organization for Standardization.** *Huile essentielles- Détermination de l'indice d'ester.* (No. 709:2001). 2001.
- International Organization for Standardization.** *Huile essentielles- Détermination du pouvoir rotatoire.* (No. 592:1998). 1998.
- International Organization for Standardization.** *Huile essentielles- Détermination de l'indice d'acide.* (No. 1242:1999). 1999.
- International Organization for Standardization.** *International standard Oil of coriander fruits (Coriandrum sativum L.).* (NF ISO 3516: 1997). 1997.
- International Organization for Standardization.** *Huile essentielles- Détermination de la densité relative à 20 degrés C.* (No. 279:1998). 1998.
- Islam, M.S., Hasan, Md. M., Xiong, W., Zhang, S., Lei, C. L.** Fumigant and repellent activities of essential oil from *Coriandrum sativum* (L.) (Apiaceae) against red flour beetle *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Pest Science.* 2009. Vol.82, no.2, p.171-177.
- Izgi, M.N.** The effect of different phosphorus doses on agronomic and quality characteristics of coriander (*Coriandrum Sativum* L.). *Applied Ecology and Environmental Research.* 2020. Vol.18, no.6, p.8205-8216.
- Janačković, P., Gavrilović, M., Rančić, D., Stevanović, Z. D., Giweli, A. A., Marin, P.D.** Comparative anatomical investigation of five *Artemisia* L. (Anthemideae, Asteraceae) species in view of taxonomy. *Brazilian Journal of Botany.* 2019. Vol.42, p.135-147.
- Janackovic, P., Novakovic, J., Soković, M., Vujisic, L., Giweli, A., Dajic, S., Marin, P.** Composition and antimicrobial activity of essential oils of *Artemisia judaica*, *A. herba-alba* and *A. arborescens* from Libya. *Archives of Biological Sciences.* 2015. Vol.67, no.2, p.455-466.
- Jang, I.S., Ko, Y.H., Yang, H.Y., Ha, J.S., Kim, J., Kang, S.Y., Yoo, D.H., Nam, D.S., Kim, D.H., Lee, CY.** Influence of Essential Oil Components on Growth Performance and the Functional Activity of the Pancreas and Small Intestine in Broiler Chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences.* Vol.17, no.3, p.394-400.
- Jeliazkov (Zheljazkov), V., Astatkie, T., Horgan, T., Schlegel, V., Simonnet, X.** Distillation Time Effect on Essential Oil Yield, Composition, and Antioxidant Capacity of Sweet Sagewort (*Artemisia annua* L.)Oil. *HortScience.* 2013. Vol.48, no.10, p.1288-1292.



- Jeya, K. R., Veerapagu, M., Sangeetha, V.** Antimicrobial and antioxidant properties of *Coriandrum sativum* L. seed essential oil. *American Journal of Essential Oils and Natural Products*. 2019. Vol.7, no.2, p.6-10 .
- Jose da Silva, M., Andrade, P. H.S., Sampaio, V. F. C.** Transition Metal-Substituted Potassium Silicotungstate Salts as Catalysts for Oxidation of Terpene Alcohols with Hydrogen Peroxide. *Catalysis Letters*. 2021. Vol.151, no.18, p.1-13.
- Jyotirmayee, B., Mahalik, G.** *Essential Oils Extracted From CO2 Extraction Method*. In: *Aromatherapy and its Benefits*. edited by Preetha Bhadra and Sagarika Parida. © Renu Publishers, New Delhi: 2021, p.85-118.
- Kabir, Y., Akasaka-Hashimoto, Y., Kubota, K., & Komai, M.** Volatile compounds of black cumin (*Nigella sativa* L.) seeds cultivated in Bangladesh and India. *Heliyon*. 2020. Vol.6, no.10.
- Kacem, R., & Meraihi, Z.** Effects of essential oil extracted from *Nigella sativa* (L.) seeds and its main components on human neutrophil elastase activity. *Yakugaku zasshi . Journal of the Pharmaceutical Society of Japan*. 2006. Vol.126, no.4, p.301–305.
- Kachetel, L., et Sahmi, A.** *Étude de l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle extraite des fruites de Coriandrum sativum L.* Thèse d'exercice : Pharmacie. Tizi-Ouzou : Université Mouloud MAMMERI. 2017. 132p.
- Kadri, A., Zarai, Z., Békir, A., Gharsallah, N., Damak, M., Gdoura, R.** Chemical constituents and antioxidant activity of the essential oil from aerial parts of *Artemisia herba-alba* grown in Tunisian semi-arid region. *African Journal of Biotechnology*. 2011. Vol.10, p.2923-2929
- Kalidasu, G., Reddy, G., Surepeddi, S., Kumari, A., Sivasankar, A.** Secondary volatiles and metabolites from *Nigella sativa* L. seed. *Indian Journal of Natural Products and Resources*. 2017. Vol.8, p.151-158.
- Kamyab, R., Namdar, H., Torbati, M., Ghojzadeh, M., Araj-Khodaei, M., & Fazljou, S.** Medicinal Plants in the Treatment of Hypertension: A Review. *Advanced pharmaceutical bulletin*. 2021. Vol.11, no.4, p.601–617.
- Kara, N., Gürbüz, G., Biyikli, M., Baydar, H.** Effect on Yield and Some Quality Characteristics of Seed Harvest at Different Stages of Maturity in *Nigella sativa* L. *Journal of Agricultural Sciences*. 2021. Vol.27, no.3, p.341-346.

- Kazemi, M.** Chemical composition and antioxidant properties of the essential oil of *Nigella sativa* L. *Bangladesh Journal of Botany*. 2015. Vol.44, no.1, p.111–116.
- Kazemi, M.** Phytochemical Composition, Antioxidant, Anti-inflammatory and Antimicrobial Activity of *Nigella sativa* L. Essential Oil. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2014. Vol.17, no.5, p.1002–1011.
- Keddachi, D., & Mihoubi, S.** *Extraction et caractérisation de l'huile essentielle extraite à partir de la plante Artemisia herba-alba*. Mémoire de Master : Génie des procédés. Bouira : Université A. M. Oulhadj-Bouira. 2015. 86p.
- Kerrola, K., & Kallio, H.** Volatile compounds and odor characteristics of carbon dioxide extracts of coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1993. Vol.41, no.5, p.785–790.
- Khairullah, M., Abd Manap, Y., Tan, C., Muhiaddin, B., Alhelli, A., Meor Hussin, A.** The Effects of Different Extraction Methods on Antioxidant Properties, Chemical Composition, and Thermal Behavior of Black Seed (*Nigella sativa* L.) Oil. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2016, p.1-10.
- Kheffach, A.** *La cytotoxicité de certaines huiles essentielles chez les lapins*. Mémoire de Fin d'étude : Sciences Biologiques. El-Oued : Université Echahid Hmma Lakhdar. 2015. 161p.
- Khoddami, A., Ghazali, H. M., Yassoralipour, A., Ramakrishnan, Y., & Ganjloo, A.** Physicochemical characteristics of nigella seed (*Nigella sativa* L.) oil as affected by different extraction methods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2011. Vol.88, no.4, p.533-540.
- Kokoska, L., Havlik, J., Valterová, I., Sovova, H., Sajfrtova, M., Jankovská, I.** Comparison of Chemical Composition and Antibacterial Activity of *Nigella sativa* Seed Essential Oils Obtained by Different Extraction Methods. *Journal of Food Protection*. 2008. Vol.71, no.12, p.2475-2480.
- Kooti, W., Moradi, M., Ali, A.S., Sharafi-Ahvazi, N., Asadi-Samani, M., Ashtary-Larky, D.** Therapeutic and pharmacological potential of *Foeniculum vulgare* Mill: a review. *Journal of Herbmед Pharmacology*. 2015. Vol.4, no.1, p.1-9.
- Köpke, D.** *Molecular Characterization of Pine Response to Insect Egg Deposition*. Thèse de doctorat : pharmacie. Allemagne: université libre de Berlin. 2010. 119p.

- Kostova, I., Lasheva, V., Georgieva, D., Damyanova, S., Fidan, H., Stoyanova, A., Gubenia, O.** Characterization of active paper packaging materials with Coriander essential oil (*Coriandrum Sativum* L.). *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2020. Vol.55, no.6, p.2085-2093.
- Kraus, M.** Huiles essentielles: Un marché mondial en croissance. *Jardins de France* 636. 2015, p.3-5.
- Kumar, S.Y.** *Physiochemical Properties of Essential Oils and Applications*. In: De Oliveira, P. o. S. , De Aguiar Andrade, E. H. , editors. *Essential Oils - Advances in Extractions and Biological Applications*. London: IntechOpen; 2022. Valable sur : <https://www.intechopen.com/online-first/81545>
- Lakehal, S., Meliani, A., Benmimoune, S., Bensouna, S.N., Benrebaha, F.Z., et al.** Essential Oil Composition and Antimicrobial Activity of *Artemisia herba-alba* Asso Grown in Algeria. *Med chem (Los Angeles)*. 2016. Vol.6, no.6, p.435-439.
- Lawrence, B.** *The isolation of aromatic materials from natural plant products*. Eds: DE Silva., United Nations Industrial Development Organisation. Vienna, Austria : *A Manual on The Essential Oil Industry*. 1995. 232p.
- Lázaro, C., Blanco, J., Silva, Joab., Paschoalin, V., Conte Junior, C.** Chromatographic detection of nitrofurans in foods of animal origin. *Arquivos do Instituto Biológico*. 2015. Vol.82, no.1, p.1-9.
- Lepoittevin, J.P., Lafforgue. C.** *Molecular Aspects in Allergic and Irritant Contact Dermatitis*. In: Johansen J., Mahler V., Lepoittevin JP., Frosch P. (eds) *Contact Dermatitis*. Springer, Cham. 2020. Valable sur: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-72451-5\\_4-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-72451-5_4-1)
- Li, Y., Fabiano-Tixier, A. S., & Chemat, F.** Essential oils: from conventional to green extraction (chapter 2), in: *Essential Oils as Reagents in Green Chemistry*. Springer Editions. 2014. 113p.
- Li, Y., Fabiano-Tixier, AS., Abert-Vian, M., Chemat, F.** *Microwave-Assisted Extraction of Antioxidants and Food Colors*. In: Chemat, F., Cravotto, G. (eds) *Microwave-assisted Extraction for Bioactive Compounds*. Food Engineering Series. Springer, Boston. 2012. Valable sur: [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4830-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4830-3_5).
- Liu, X., Park, J. H., Abd El-Aty, A. M., Assayed, M. E., Shimoda, M., & Shim, J. H.** Isolation of volatiles from *Nigella sativa* seeds using microwave-assisted extraction: Effect of whole extracts on canine and murine CYP1A. *Biomedical Chromatography*. 2013. Vol.27, no.7, p.938-945.

**Lo Cantore, P., Iacobellis, N. S., De Marco, A., Capasso, F., & Senatore, F.** Antibacterial activity of *Coriandrum sativum* L. and *Foeniculum vulgare* Miller Var. vulgare (Miller) essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2004. Vol.52, no.26, p.7862–7866.

**Loi de finance 2022**, JOURNAL OFFICIELLE DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N°100. Valable sur : <https://www.joradp.dz/FTP/jo-francais/2021/F2021100.pdf>

**Lorigooini, Z., Jamshidi-kia, F., Dodman, S.** Chapter 8 - Analysis of sesquiterpenes and sesquiterpenoids, Editors: Ana Sanches Silva, Seyed Fazel Nabavi, Mina Saeedi, Seyed Mohammad Nabavi, *Recent Advances in Natural Products Analysis*, Elsevier, 2020, p.289-312.

**Lucaccioni, Fabio & Denayer, Robert & Tolquin, Bernard.** Pour une analyse des huiles essentielles. *Chimie Nouvelle*. Vol.11, no.43, p.1253-1257.

**Lucchesi, M-E.** *Extraction Sans Solvant Assistée par Micro-ondes Conception et Application à l'extraction des huiles essentielles*. These de doctorat : science. Réunion : Université de la Réunion. 2005. 147p.

**Ludwiczuk, A., K. Skalicka-Woźniak, M.I. Georgiev.** Chapter 11 - Terpenoids, Editor: Simone Badal, Rupika Delgoda, in: *Pharmacognosy*, Academic Press, 2017, p.233-266.

**Magraoui, S et Zahaf, D.** *Etude de l'extraction et l'activité biologique des huiles essentielles d'Artemisia « Chih » en Algérie*. Mémoire de Master : Microbiologie Appliquée. Khemis Miliana : Université Djilali-Bounaama. 2018. 102 p

**Mahendra, P., Bisht, S.** Anti-anxiety activity of *Coriandrum sativum* assessed using different experimental anxiety models. *Indian Journal of Pharmacology*. 2011. Vol.43, no.5, p.574–577.

**Mahfud, M., Darmawan, M., Diamanta, D., Kusuma, H.** Extraction of essential oil from Bangle (*Zingiber purpureum* Roxb.) by hydrodistillation and steam distillation methods. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2017. Vol.52, p.791-796.

**Mahleyuddin, N.N., Moshawih, S., Ming, L.C., Zulkifly, H.H., Kifli, N., Loy, M.J., Sarker, M.M.R., Al-Worafi, Y.M., Goh, B.H., Thuraisingam, S., Goh, H.P.** *Coriandrum sativum* L.: A Review on Ethnopharmacology, Phytochemistry, and Cardiovascular Benefits. *Molecules*. 2021. Vol.27, no.1, p.209.

**Malhotra, S. K.** *Nigella*. In: Peter, K.V (ed.) *Handbook of Herbs and Spices*. 2012. Vol.2, Woodhead, Cambridge, UK, p.391-416.

- Malhotra, S.K., Vashishtha, B.B.** *Harvesting and maturity indices in seed spices crops* Production dans : *Production, Development, Quality and Export of Seed Spices*, NRCSS, Ajmer, 2007, p.186-190.
- Mandal, M., et Mandal, S.** Coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil: Chemistry and biological activity. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 2015. Vol.4, no.6, p.421-428.
- Mansouri, N., Aoun, L., Dalichaouche, N., & Hadri, D.** Yields, chemical composition, and antimicrobial activity of two Algerian essential oils against 40 avian multidrug-resistant *Escherichia coli* strains. *Veterinary World*. 2018. Vol.11, no.11, p.1539–1550.
- Mariod, A.A.** Chapter 13 - *Effect of Essential Oils on Organoleptic (Smell, Taste, and Texture) Properties of Food*, Editor(s): Victor R. Preedy, in: *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*. Academic Press, 2016, p.131-137.
- Maroufi, K., Farahani, H.A., & Darvishi, H.H.** Importance of Coriander (*Coriandrum Sativum* L.) Between the Medicinal and Aromatic Plants. *Advances in Environmental Biology*. 2010. Vol.4, p.433-436.
- Matasyoh, J. C., Maiyo, Z. C., Ngure, R. M., & Chepkorir, R.** Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Coriandrum sativum*. *Food Chemistry*. 2009. Vol.113, no.2, p.526–529.
- McKay, D. L., & Blumberg, J. B.** A review of the bioactivity and potential health benefits of peppermint tea (*Mentha piperita* L.). *Phytotherapy Research*. 2006. Vol.20, no.8, p.619–633.
- Meena, S., JAT, N., Sharma, B., Meena, V.** Effect of Plant growth regulators and sulphur on productivity of coriander (*Coriandrum sativum* L.) in Rajasthan. *The Bioscan*. 2014. Vol.69, p.69-73.
- Meena, S.S., Singh, B., Singh, D., Ranjan, J., Meena, R.D.** Pre and post harvest factors effecting yield and quality of seed spices: A review. *International Journal of Seed Spices*. 2013. Vol.3, p.1-11.
- Mighri, H., Akrouf, A., Casanova, J., Tomi, F., & Neffati, M.** Impact of season and harvest frequency on biomass and essential oil yields of *Artemisia herba-alba* cultivated in southern Tunisia. *Experimental Agriculture*. 2009. (a), vol.45, no.4, p.499.
- Mighri, H., Akrouf, A., Casanova, J., Tomi, F., & Neffati, M.** Influence of Drying Time and Process on *Artemisia herba-alba* Asso Essential Oil Yield and Composition. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2009. (b), vol.12, no.3, p.358–364.

- Miloudi, K., Tilmatine, A., Benmimoun, Y., Abderrahmane, H., Taibi, A., Bellebna, Y.** Intensification of Essential Oil Extraction of *Artemisia herba alba* Using Pulsed Electric Field. In: International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb (CISTEM). 2018. p.1-5.
- Miraldi, E.** Comparison of the essential oils from ten *Foeniculum vulgare* Miller samples of fruits of different origin. *Flavour and Fragrance Journal*. 1999. Vol.14, p.379-382.
- Moghaddam, M., Mehdizadeh, L.** Chapter 13 - Chemistry of Essential Oils and Factors Influencing Their Constituents, Editor(s): Alexandru Mihai Grumezescu, Alina Maria Holban, In: *Handbook of Food Bioengineering, Soft Chemistry and Food Fermentation*, Academic Press. 2017, p.379-419.
- Mohamed, M.A., Ibrahim, M.E., Wahba, H.E.** Flavoring Compounds of Essential Oil Isolated from Agriculture Waste of Coriander ( *Coriandrum sativum* ) Plant. *Journal of Materials and Environmental Science*. 2018. Vol.9, no.1. p.77-82.
- Mohamed, N. A.** Study on important parameters affecting the hydro-distillation for ginger oil production. Master of Engineering: Chemical. Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia. 2005. 33p.
- Mohammadpour, H., Moghimipour, E., Rasooli, I., Fakoor, M. H., Alipoor Astaneh, S., Shehni Moosaie, S., & Jalili, Z.** Chemical Composition and Antifungal Activity of *Cuminum cyminum* L. Essential Oil From Alborz Mountain Against *Aspergillus* species. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*. 2012. Vol. 7, no.2, p.50–55.
- Mohammed, A.H.H., El Sayed, M.A., Hegazy, M. E., Helaly, S. E., Esmail, A. M., & Mohamed, N. S.** Chemical constituents and biological activities of *Artemisia herba-alba*. *Records of Natural Products*. 2010. Vol.4, no.1, p.1-25.
- Mohammed, M.J., Anand, U., Altemimi, A.B., Tripathi, V., Guo, Y., Pratap-Singh, A.** Phenolic Composition, Antioxidant Capacity and Antibacterial Activity of White Wormwood (*Artemisia herba-alba*). *Plants*. 2021. Vol.10, no.1, p.164.
- Mohite, S., et Salunkhe, A.** Formulation and evaluation of Emulgel containing *Coriandrum sativum* seeds oil for Anti-inflammatory activity. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*. 2019. vol.9, no.3, p.124-130.
- Mohsen, H., & Ferchichi, A.** Essential oil composition of *Artemisia herba-alba* from southern Tunisia. *Molecules (Basel, Switzerland)*. 2009. Vol.14, no.4, p.1585–1594.

- Moretti, A. L., Filippo, A., Elementi, S.** Essential Oils of *Nigella sativa* L. and *Nigella damascena* L. Seed. *Journal of Essential Oil Research*. 2004. Vol.16, no.3, p.182-183.
- Morsy, N. F. S.** *Chemical Structure, Quality Indices and Bioactivity of Essential Oil Constituents*. In: El-Shemy, H. A., editor. *Active Ingredients from Aromatic and Medicinal Plants*. London: IntechOpen; 2017.  
Valable sur: <https://www.intechopen.com/chapters/53045>
- Moufid, A., Eddouks, M.** *Artemisia herba alba*: a popular plant with potential medicinal properties. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2012. Vol.15, no.24, p.1152–1159.
- Msaada, K., Ben Jemia, M., Salem, N., Bachrouch, O., Sriti, J., Tammar, S., Bettaieb, I., Jabri, I., Kefi, S., Limam, F., Marzouk, B.** Antioxidant activity of methanolic extracts from three coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruit varieties. *Arabian Journal of Chemistry*. 2017. V.10, no.2, p.3176-3183.
- Msaada, K., Ben Taarit, M., Hosni, K., Salem, N., Sonia, T., Hammami, M., Limam, F., Marzouk, B.** Comparison of Different Extraction Methods for the Determination of Essential oils and Related Compounds from Coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Acta chimica Slovenica*. 2012. Vol.59, no.4, p.803-13
- Msaada, K., Hosni, K., Ben Taarit, M., Chahed, T., Kchouk, M & Marzouk, B.** Changes on essential oil composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruits during three stages of maturity. *Food Chemistry*. 2007. Vol.102, no.4, p.1131-1134.
- Mugao, L.G., Gichimu, M.B., Muturi, P.W., Mukono, S.T.** Characterization of the Volatile Components of Essential Oils of Selected Plants in Kenya. *Biochemistry Research International*. 2020. Vol.2020, no.4, p.1-8.
- Mukadam, M., Shaikh, F., Ahmed, S., Mandlekar, B.** Gas chromatography of Volatile oil. *International Journal of Pharmaceutical Research and Applications*. 2021. Vol.6, no.5, p.399-406.
- Muráriková, A., Ťažký, A., Neugebauerová, J., Planková, A., Jampilek, J., Mučaji, P., & Mikuš, P.** Characterization of Essential Oil Composition in Different Basil Species and Pot Cultures by a GC-MS Method. *Molecules (Basel, Switzerland)*. 2017. Vol.22, no.7, p.1221.
- Nadji, M., et Beghou, T.** *Etude phytochimique d'une plante médicinale « Lavande »*. Mémoire de Master : Chimie Analytique. Oum El Bouaghi : Université Larbi Ben M'Hidi-Oum El Bouaghi. 2021. 102p.

- Nedkov, N., Dobрева, A., Kovacheva, N., Bardarov, V., Velechava, A.** BULGARIAN ROSE OIL OF WHITE OIL-BEARING ROSE. *Bulgarian Journal of Agriculture Science*. 2009. Vol.15, no.4, p.318-322.
- Neffati, A., Skandrani, I., Ben sghaier, M., Bouhlel, I., Kilani, S., Neffati, M., Cheraief, I., Hammami, Met Chekir-Ghedira, L.** Chemical Composition, Mutagenic and Antimutagenic Activities of Essential Oils from (Tunisian) *Artemisia campestris* and *Artemisia herba-alba*. *The Journal of Essential Oil Research*. 2008. Vol.20, no.5, p.471-477.
- Neffati, M., & Marzouk, B.** Changes in essential oil and fatty acid composition in coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves under saline conditions. *Industrial Crops and Products*. Vol.28, no.2, p.137–142.
- Nieto, G., Ros, G., & Castillo, J.** Antioxidant and Antimicrobial Properties of Rosemary (*Rosmarinus officinalis*, L.): A Review. *Medicines (Basel, Switzerland)*. 2018. Vol.5, no.3, p.98.
- Nigam, M., Atanassova, M., Mishra, A., Pezzani, R., Devkota, H., Plygun, S., Salehi, B., Setzer, W., Sharifi-Rad, J.** Bioactive Compounds and Health Benefits of *Artemisia* Species. *Natural product communications*. 2019. Vol.14, no.7, p.1-17.
- Nitthiyah, J., Hamid, N.A., Kantasamy, R., Akindoyo, J.O.** Microwave Assisted Hydrodistillation- An Overview of Mechanism and Heating Properties. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2017. Vol.11, no.3, p.22-29.
- Nitthiyah, J., Nour, A. H., Kantasamy, R., & Akindoyo, J. O.** Microwave assisted hydrodistillation—an overview of mechanism and heating properties. *Australian Journal of Basic Applied Sciences*. 2017. Vol.11, no.3, p.22-29.
- Novidzro, K., Wokpor, K., Fagla, B., Koudouvo, K., Dotse, K., Osseyi, E., Koumaglo, K.** Etude de quelques paramètres physicochimiques et analyse des éléments minéraux, des pigments chlorophylliens et caroténoïdes de l'huile de graines de *Griffonia simplicifolia*. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 2019. Vol.13, no.4, p.2360.
- Nurzyńska-Wierdak, R.** Essential oil composition of the coriander (*Coriandrum sativum* L.) herb depending on the development stage. *Acta Agrobotanica* 2013. Vol.66, no.1, p.53-60.
- Ojah, Emmanuel.** Exploring essential oils as prospective therapy against the ravaging Coronavirus (SARS-CoV-2). *Iberoamerican Journal of Medicine*. 2020. Vol.2, p.322-330.



- Orav, A., Arak, E., Raal, A.** Essential Oil Composition of *Coriandrum sativum* L. Fruits from Different Countries. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2010. Vol.14, no.1, p.118-123.
- Ouguirti, N., Bahri, F., Bouyahyaoui, A., Wanner, J.** Chemical characterization and bioactivities assessment of *Artemisia herba-alba* Asso essential oil from South-western Algeria. *Natural Volatiles and Essential Oils*. 2021. vol.8, no.2, p.27-36.
- Ouis, N.** *Etude chimique et biologique des huiles essentielles de coriandre, de fenouil et de persil*. Thèse de doctorat : Science, chimie organique. Oran : Université d'Oran 1. 2015. 239p.
- Özbek, H.** The Anti-inflammatory Activity of the *Foeniculum vulgare* L. Essential Oil and Investigation. *International Journal of Pharmacology*. 2005. Vol.50, no.4, p.329-331.
- Palá-Paúl, J., Usano-Aleman, J., Soria, A., Pérez-Alonso, M.J., Brophy, Joseph.** Essential Oil Composition of *Eryngium Campestre* L. Growing in Different Soil Types. A Preliminary Study. *Natural Product Communications*. 2008. Vol.3, no.7, p.1121-1126.
- Pande, K., Pande, L.K., Pande, B.P., Pujari, A.S., et Sah, P.** Gas Chromatographic Investigation of *Coriandrum sativum* L. from Indian Himalayas. *New York Science Journal*. 2010. Vol.3, no.6, p.43-47.
- Paolini, J., Ouariachi, E., Bouyanzer, A., Hammouti, B., Desjobert, J., Costa, J., Muselli, A.** Chemical variability of *Artemisia herba-alba* Asso. Essential Oils from East Morocco. *Chemical Papers*. 2010. Vol.64, no.5, p.550-556.
- Parthasarathy, V.A., Zachariah, T.J.** *Coriander*. In: Parthasarathy, V.A., Chempakan, B., Zachariah, T.J. editor, *Chemistry of Spices*. India: CABI Publishing (CAB International). 2008, p.190-210.
- Peters, Max S., Timmerhaus, Klaus D.** *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. Fourth Edition. Singapore: McGRAW Hill INTERNATIONAL EDITIONS, Chemical and Petroleum Engineering Series. 1991. 925p.
- Petrova, O. E., & Sauer, K.** High-Performance Liquid Chromatography (HPLC)-Based Detection and Quantitation of Cellular c-di-GMP. *Methods in Molecular Biology (Clifton, N.J.)*. 2017. Vol.1657, p.33-43.
- Pino, J., Rosado, A., Fuentes, V.** Chemical Composition of the Seed Oil of *Coriandrum sativum* L. from Cuba. *Journal of Essential Oil Research*. 1996. Vol.8, no.1, p.97-98.

- Piras, A., Rosa, A., Marongiu, B., Porcedda, S., Falconieri, D., Dessì, M. A., et al.** Chemical composition and in vitro bioactivity of the volatile and fixed oils of *Nigella sativa* L. extracted by supercritical carbon dioxide. *Industrial Crops and Products*. 2013. Vol.46, p.317–323
- Polatoglu, Kaan.** “Chemotypes”– A Fact that should not be Ignored in Natural Product Studies. *The Natural Products Journal*. 2013. Vol.3, no.1, p.10-14.
- Pourmortazavi, S. M., Hajimirsadeghi, S. S.** Supercritical fluid extraction in plant essential and volatile oil analysis. *Journal of Chromatography A*. 2007. Vol.1163, no.1–2, p.2-24.
- Prachayasittikul, Ve., Prachayasittikul, S., Ruchirawat, S., Prachayasittikul, V.** Coriander (*Coriandrum sativum*): A promising functional food toward the well-being. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*. 2018. Vol.105, p.305-323.
- Pradhan, B. K., Badola, H. K.** Effect of storage conditions and storage periods on seed germination in eleven populations of *Swertia chirayita*: a critically endangered medicinal herb in Himalaya. *The Scientific World Journal*. 2012, p.9.
- Qnais, E., Alatshan, A., Bseiso, Y.** Chemical composition, antinociceptive and anti-inflammatory effects of *Artemisia herba-alba* essential oil. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2016. Vol.1414, no.22, p.20-27.
- Radulescu, V., Popescu, M., Ilies, D.C.** Chemical composition of the volatile oil from different plant parts of *Anethum graveolens* L. (Umbelliferae) cultivated in Romania. *Farmacia*. 2010. Vol.58, no.5, p.594-600.
- Raffo, A., Mozzanini, E., Ferrari Nicoli, S., Lupotto, E., & Cervelli, C.** Effect of light intensity and water availability on plant growth, essential oil production and composition in *Rosmarinus officinalis* L. *European Food Research and Technology*. 2019. Vol.246, no.1, p.167-177.
- Ramadan, M., Eldeen, N.N., El-Kamali, Hatil., Ghanem, K.Z., Farrag, A. R.** Chemopreventive effect of *Coriandrum sativum* fruits on hepatic toxicity in male rats. *World Journal of Medical Sciences*. 2013. Vol.8, p.322-333.
- Ramezani, S., Rasouli, F., Solaimani, B.** Changes in Essential Oil Content of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Aerial Parts during Four Phonological Stages in Iran. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*. 2009. Vol.12, no.6, p.683-689.

- Raoudi, C., & Krami, I.** *Contribution à l'étude de l'influence de la période de récolte sur quelques caractéristiques physico-chimiques des huiles essentielles de Pituranthos scoparius et d'Artemisia herba alba.* Mémoire de Master : Génie Chimique. Ghardaïa : Université de Ghardaïa. 2019. 82p.
- Rašković, A., Milanović, I., Pavlović, N., Čebović, T., Vukmirović, S., & Mikov, M.** Antioxidant activity of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) essential oil and its hepatoprotective potential. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 2014. Vol.14, p.225.
- Raut, J., Karuppayil, S. M.** A status review on the medicinal properties of essential oils. *Industrial Crops and Products*. 2014. Vol.62, p.250–264.
- Ravi, R., Prakash, M., Bhat, K.** Aroma characterization of coriander (*Coriandrum sativum* L.) oil samples. *European Food Research and Technology*. 2007. Vol.225, no.3, p.367-374.
- Rchid, H., Nmila, R., Bessière, J.M., Sauvaire, Y., Chokairi, M.** Volatile Components of *Nigella damascena* L. and *Nigella sativa* L. Seeds. *Journal of Essential Oil Research*. 2004. Vol.16, p.585-587.
- Rebhi, A. E. M., Lounici, H., Lahrech, M. B., Morel, J. L.** Response of *Artemisia herba alba* to hexavalent chromium pollution under arid and semi-arid conditions. *International Journal of Phytoremediation*. 2019. Vol.21, no.3, p.224-229.
- Recham, H.** Algérie: la dynamique naissante des huiles essentielles. *Agroligne : L'essentiel de l'agroalimentaire et l'agriculture-N°113*. 2019, p.15.
- Rekkab et al .** Chemical composition of the essential oil of aerial parts of *Artemisia herba-alba* Asso. From Oum El-Bouaghi (Algeria) and chemotaxonomic survey. *Journal of Materials and Environmental Science*. 2016. Vol.7, no.12, p.4383-4390
- Reyes-Jurado, F., Franco-Vega, A., Ramírez-Corona, N., et al.** Essential Oils: Antimicrobial Activities, Extraction Methods, and Their Modeling. *Food Engineering Reviews*. 2015. Vol.7, p.275–297.
- Rezaei, M., Karimi, F., Shariatifar, N., Mohammadpourfard, I., & Shiri Malekabad, E.** Antimicrobial Activity of the Essential Oil from the Leaves and Seeds of *Coriandrum sativum* toward Food-borne Pathogens. *The West Indian Medical Journal*. 2015. Vol.65, no.1, p.8–12.
- Rezakhanlo, A., Talebi, S.M.** Trichomes morphology of *stachys lavandulifolia* vahl. (Labiatae) of Iran. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2010. Vol,2, no.2, p.3755-3763.

**Rezzag, S., & Zahi, S.** *Etude statistique sur l'influence de la composition chimique des huiles essentielles sur l'activité antioxydant.* Mémoire de Master : Génie Chimique. Ghardaïa:Université de Ghardaïa. 2021. 108p.

**Rojas Molina, R., Castro-López, C., Sánchez-Alejo, E., Niño-Medina, G., Martinez, G.** *Phenolic Compound Recovery from Grape Fruit and By- Products: An Overview of Extraction Methods.* In: Morata, A., Loira, I., editors. *Grape and Wine Biotechnology.* London: IntechOpen; 2016. Valable sur: <https://www.intechopen.com/chapters/51977>

**Romeilah, R., Fayed, S., Mahmoud, G.** Chemical compositions, antiviral and antioxidant activities of seven essential oils. *Journal of Applied Sciences Research.* 2010. Vol.6, p.50-62.

**Ruberto, G., Baratta, M. T., Deans, S. G., & Dorman, H. J. D.** Antioxidant and Antimicrobial Activity of *Foeniculum vulgare* and *Crithmum maritimum* Essential Oils. *Planta Medica.* 2000. Vol.66, no.8, p.687-693.

**Rustaiyan, A., Faridchehr, A., Bakhtiyar, M.** Sesquiterpene lactones of Iranian Compositae Family (Astraceae); their Chemical Constituents and Anti- Plasmodial Properties of Tehranolide (A.Review). *Oriental Journal of Chemistry.* 2017, vol.33, no.5, p.2188-2197.

**Sahib, N., Anwar, F., Gilani, A., Abdul Hamid, A., Saari, N., Alkharfy, K.** Coriander (*Coriandrum sativum* L.): A Potential Source of High-Value Components for Functional Foods and Nutraceuticals - A Review. *Phytotherapy Research.* 2013. Vol.27, no.10, p.1493-1456.

**Sahraoui, Naima & Boutekedjiret, Chahrazed.** *Chapter 61: Innovative Process of Essential Oil Extraction: Steam Distillation Assisted by Microwave.* In: Dincer, I., Colpan, C.O., Kizilkan, Onder, Akif Ezan, M (eds), *Progress in Clean Energy, Volume 1: Analysis and Modeling.* Switzerland: Springe. 2015. 981p.

**Said-Al Ahl, H., Hikal, W., Tkachenko, K.** Essential Oil Composition of *Artemisia herba-alba* Grown in Egypt. *Asian Research Journal of Current Science.* 2021. Vol.3, no.2, p.27-36.

**Saini, P., Singh, P., Singh, A., Srivastava, U.** Carpathian journal of food science and technology effect of processing on beta carotene, ascorbic acid and chlorophyll retention of spinach and mint. *Carpathian Journal of Food Science and Technology.* 2020. Vol.11, p.20-28.

- Saleem, H.M., Xiukang, W., Sajjad, A., Zafar, S., Nawaz, M., Adnan, M., Fahad, S., Shah, A., Alyemeni, M., Hefft, D., Ali, S.** Interactive effects of gibberellic acid and NPK on morpho-physio-biochemical traits and organic acid exudation pattern in coriander (*Coriandrum sativum* L.) grown in soil artificially spiked with boron. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2022. Vol.167, p.884-900.
- Salem, A.** A General Comparison Between *Artemisia Herba Alba* and *Artemisia Tridentata*. *American Research Journal of Biosciences*. 2016. Vol.2, p.1-5.
- Salido, S., Joaquín A., Manuel N., Adolfo S.** Chemical Composition of the Essential Oil of *Artemisia herba-alba* Asso ssp. *valentina* (Lam.) Marcl., *Journal of Essential Oil Research*. 2001. Vol.13, no.4, p.221-224.
- Salido, S., Valenzuela, L. R., Altarejos, J., Nogueras, M., Sánchez, A., Cano, E.** Composition and infraspecific variability of *Artemisia herba-alba* from southern Spain. *Biochemical Systematics and Ecology*. 2004. Vol.32, no.3, p.265-277.
- Samojlik, I., Lakić, N., Mimica-Dukic, N., Daković-Svajcer, K., Bozin, B.** Antioxidant and Hepatoprotective Potential of Essential Oils of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) and Caraway (*Carum carvi* L.)(Apiaceae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010. Vol.58, p.8848-8853.
- Santana de Oliveira, M., Almeida da Costa, W., Bezerra, P. N., Souza Filho, A. P., Nunes de Carvalho, R.** *Potentially Phytotoxic of Chemical Compounds Present in Essential Oil for Invasive Plants Control: A Mini-Review*. In: Radhakrishnan, R, editor. *Biological Approaches for Controlling Weeds*. London: IntechOpen; 2018. Valable sur: <https://www.intechopen.com/chapters/59533>
- Santoleri, J.J.** *Hazardous Waste Incineration*. In: Robert A. Meyers, editor. *Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition)*, Academic Press, 2003, p.223-244,
- Satyal, P., Murray, B. L., McFeeters, R. L., & Setzer, W. N.** Essential Oil Characterization of *Thymus vulgaris* from Various Geographical Locations. *Foods (Basel, Switzerland)*. 2016. Vol.5, no.4, p.70.
- Seaman, F. C.** Sesquiterpene Lactones as Taxonomic Characters in the Asteraceae. *Botanical Review*. 1982. Vol.48, no.2, p.121–595
- Sell, C.** *Chemistry of Essential Oil*. In: Hüsnü Can, K. B., Buchbauer, G (editors), *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications, Second Edition*, CRC Press. 2016, p.165-195.

- Shah, B., Davidson, P. M., & Zhong, Q.** Encapsulation of eugenol using Maillard-type conjugates to form transparent and heat stable nanoscale dispersions. *LWT - Food Science and Technology*. 2012. Vol.49, no.1, p.139–148.
- Shah, G., Shri, R., Panchal, V., Sharma, N., Singh, B., & Mann, A. S.** Scientific basis for the therapeutic use of *Cymbopogon citratus*, stapf (Lemon grass). *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research*. 2011. Vol.2, no.1, p.3-8.
- Shahwar, M. K., El-Ghorab, A. H., Anjum, F. M., Butt, M. S., Hussain, S., & Nadeem, M.** Characterization of Coriander (*Coriandrum sativum*L.) Seeds and Leaves: Volatile and Non Volatile Extracts. *International Journal of Food Properties*. 2012. Vol.15, no.4, p.736–747.
- Shankar, S., Prasad, S., Owaiz, M., Yadav, S., Manhas, S., Yaqoob, M.** Essential oils, components and their applications: A review. *Plant Archives*. 2021. Vol.21, no.1, p.2027-2033.
- Sharma, N. K., Ahirwar, D., Jhade, D., & Gupta, S.** Medicinal and phamacological potential of *nigella sativa*: a review. *Ethnobotanical Leaflets*. 2009. Vol.7, p.11.
- Sharopov, F., Valiev, A., Satyal, P., Setzer, W., Wink, M.** Chemical composition and anti-proliferative activity of the essential oil of *Coriandrum sativum* L. *Records of Natural Products*. 2017. Vol.5, p.11-14.
- Silva, J.A., Borges, N., Santos, A. et al.** Method Validation for Cafestol and Kahweol Quantification in Coffee Brews by HPLC-DAD. *Food Anal.Methods*. 2012. Vol.5, p.1404–1410.
- Singh, G., Lampasona, M., Catalan, C .** Studies on essential oils, Part 41.Chemical composition, antifungal, antioxidant and sprout suppressant activities of coriander (*Coriandrum sativum*) essential oil and its oleoresin. *Flavour and Fragrance Journal*. 2006. Vol.21, no.3, p.472–479.
- Singh, G., Marimuthu, P., de Heluani, C. S., & Catalan, C.** Chemical constituents and antimicrobial and antioxidant potentials of essential oil and acetone extract of *Nigella sativa* seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2005. Vol.85, no.13, p.2297–2306.
- Singh, I., Kaur, P., Kaushal, U., Kaur, V., Shekhar, N.** Essential oils in treatment and management of dental diseases. *Biointeraface Reaserch in Applied Chemistry*. 2022. Vol.12, no.6, p.7267-7286.

- Singh, R.K., Vishwakarma, R., Vishal, M.K.** Moisture Dependent Physical Properties of Anise Seeds. *International Journal of Food Processing Technology*. 2015. Vol.2, p.39-45.
- Snyder, L. R., Kirkland, J. J., & Dolan, J. W.** *Introduction to modern liquid chromatography*. John Wiley & Sons. 2011. 960p.
- Sobhi, W.** Caractérisation de l'huile des graines de *Nigella sativa* et étude de son activité hypoglycémiant et son hépato-toxicité. Thèse de Doctorat : en Science. Sétif : Université Ferhat Abbas Sétif 1. 2014. 179p.
- Sorrels, J.L., Walton, T.G.** Cost Estimation: Concepts and Methodolgy. Air Economics Group, Health and Environmental Impacts Division, Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711. 2017, p.45.
- Sourmaghi, M., Kiaee, G., Golfakhrabadi, F., Jamalifar, H., Khanavi, M.** Comparison of essential oil composition and antimicrobial activity of *Coriandrum sativum* L. extracted by hydrodistillation and microwave-assisted hydrodistillation. *Journal of Food Science and Technology*. 2015. Vol.52, no.4, p.2452-2457.
- Spaho, N.** *Distillation Techniques in the Fruit Spirits Production*. In: Mendes, M. F. , editor. *Distillation - Innovative Applications and Modeling*. London: IntechOpen; 2017. Valable sur: <https://www.intechopen.com/chapters/54078>
- Sriti, J., Aidi W.W., Talou, T., Vilarem, G., Marzouk, B.** Chemical Composition and Antioxidant Activities of Tunisian and Canadian Coriander (*Coriandrum sativum* L.)Fruit. *Journal of Essential Oil Research*. 2011. Vol.23, p.7-15.
- Sriti, J., Bachrouch, O., Salem, N., Msaada, k., Aouini, J., Hammami, M., Boushih, E., Abderraba, M., Limam, F., Mediouni, J.J.** Chemical composition and insecticidal activity of essential oil from coriander fruit against *Tribolium castaenum*, *Sitophilus oryzae*, and *Lasioderma serricorne*,. *International Journal of Food Properties*. 2018. Vol.20, no.3, p.1-13.
- Stephane, F.F.Y., Jules, B.K.J.** *Terpenoids as Important Bioactive Constituents of Essential Oils*. In: de Oliveira, M. a., Costa, W. A. d., Silva, S. G., editors. *Essential Oils - Bioactive Compounds, New Perspectives and Applications*. London: IntechOpen. 2020. 222p. valable sur: : <https://www.intechopen.com/chapters/72167>
- Stoyanova, A., Georgiev, E., Wajs, A., & Kalemba, D.** A Comparative Investigation on the Composition of the Volatiles from Seeds of *Nigella sativa*L. from Bulgaria. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2003. Vol.6, no.3, p.207–209.

- Stratakos, A. C., & Koidis, A.** *Methods for extracting essential oils*. In : Preedy, V., editor. *Essential oils in food preservation, flavor and safety*. San Diego: Irish Academic Press. 2015. 930p.
- Sudhir, S. P., Deshmukh, V. O., & Verma, H. N.** Nigella sativa seed, a novel beauty care ingredient: A review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2016. Vol.7, no.8, p.3158.
- Sulborska, A., Chmielewska, E. W., Chwill, M.** Micromorphology of Rosa rugosa Thunb. Petal epidermis secreting fragrant substances. *Acta Agrobotanica*. 2012. Vol.65, no.4, p.21-28.
- Sun, Z., Wang, H., Wang, J., Zhou, L., & Yang, P.** Chemical Composition and Anti-Inflammatory, Cytotoxic and Antioxidant Activities of Essential Oil from Leaves of Mentha piperita Grown in China. *PLoS ONE*. 2014. Vol.9, no.12, e114767.
- Sunita, M., Meenakshi, S.** Chemical composition and antidermatophytic activity of Nigella sativa essential oil. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 2013. Vol.7, no.20, p.1286-1292.
- Svoboda, P.K., Svoboda, T.G., Syred, A.** A closer look : Secretory structures of Aromatic and Medicinal Plants. *American Botanical Council*. 2000, no.53, p.34-43.
- Tahir, F., Sonibare, M., Yagi, S.** Comparative chemical profiling and antimicrobial activity of Nigella sativa seeds oils obtained from different sources. *Natural Resources for Human Health*. 2022. Vol.2, no.2, p.194-199.
- Talati, Ali.** Extraction methods of natural essential oils. 2017. Valable sur: [https://www.researchgate.net/publication/313638030\\_EXTRACTION\\_METHODS\\_OF\\_NATURAL\\_ESSENTIAL\\_OILS](https://www.researchgate.net/publication/313638030_EXTRACTION_METHODS_OF_NATURAL_ESSENTIAL_OILS)
- Tawfeeq, A. M.** *Factors affecting Essential Oil Production in Rosemary (Rosmarinus officinalis L.)*. Thèse de doctorat: Philosophie. England: Université de Reading. 2017. 171p.
- Telci, I., Tancer, O., Sahbaz, N.** Yield, Essential Oil Content and Composition of Coriandrum sativum Varieties (var. vulgare Alef and var. microcarpum DC.) Grown in Two Different Locations. *Journal of Essential Oil Research*. 2006. (a). Vol.18, p.189-193.
- Telci, I., Bayram., E., Avci, B.** Changes in yields, essential oil and linalool contents of Coriandrum sativum varieties (var. vulgare Alef. and var. microcarpum DC.) harvested at different development stages. *European Journal of Horticultural Science*. 2006. (b). Vol.71, no.6, p.267-271.



- Telci, I., Hisil, Y.** Biomass Yield and Herb Essential Oil Characters at different Harvest Stages of Spring and Autumn Sown *Coriandrum sativum*. *European Journal of Horticultural Science*. 2008. Vol.73, no.6, p.267-272.
- Telci, I., Sahin, Y.A., Eser, F., Aksit, H., Demirtas, I., Tekin, S.** Comparison of Seed Oil Composition of *Nigella sativa* L. and *N. damascena* L. During Seed Maturation Stages. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2014. Vol.91, no.10, p.1723-1729.
- Thi Kim Ngan, T., Huong, N., Le, T., Long, P., Quoc Toan, T., Vo, D., Danh, V., Trung, L., Trieu, T.** Physico-Chemical Characteristics of *Rosmarinus officinalis* L. Essential Oils Grown in Lam Dong Province. *Vietnam.Asian Journal of Chemistry*. 2019. Vol.31, no.12, p.2759-2762.
- Tisserand, R., Young, R.** *Essential oil profiles*. In: *Essential Oil Safety (Second Edition)*, Churchill Livingstone. 2014.(a) 800p.
- Tisserand, R., Young, R.** *12 - Cancer and the immune system*. In: *Essential Oil Safety (Second Edition)*, Churchill Livingstone. 2014.(b). 800p.
- Toncer, Ö., Süleyman, K., Tansi, S.** The Effect of Different Sowing Times on Essential Oil of Coriander in GAP Region. *International, Double-blind Peer Reviewed, Open-access Journal*. Vol.8, no.2, p.101-105.
- Toparslan, C.** *A propos de Nigella sativa L. Thèse : Sciences pharmaceutiques*. Lorraine: université de Lorraine. 2012. 137p.
- Tsagkli, A., Hancianu, M., Aprotosoie, A., Cioanca, O., Tzakou, O.** Volatile Constituents of Romanian Coriander Fruit. *Records of Natural Products*. 2012. Vol.6, p.156-160.
- Tunctürk, M., Ekin, Z., Didem, T.** Response of Black Cumin (*Nigella sativa* L.) to Different Seed Rates Growth, Yield Components and Essential Oil Content. *Journal of Agronomy*. 2005. Vol.4, no.3, p.216-219.
- Türkman, M., Bahadırli, N.P., Mert, A.** Essential Oil Components of Fresh Coriander (*Coriandrum Sativum* L.) Herbs from Different Locations in Turkey. *Conference: The 6th International Conference on Advanced Materials and Systems*. 2016, p.305-308.
- Undavalli, V.K., Ling, C., Khandelwal, B.** *Chapter 6 - Impact of alternative fuels and properties on elastomer compatibility*. Editor(s): Bhupendra, K., *Aviation Fuels*, Academic Press. 2021. 322p.

- Valderrama, F., et Ruiz, F.** An optimal control approach to steam distillation of essential oils from aromatic plants. *Computers and Chemical Engineering*. 2018. Vol.117, p.25-31.
- Venkatachallam, S. K., Pattekhan, H., Divakar, S., & Kadimi, U. S.** Chemical composition of *Nigella sativa* L. seed extracts obtained by supercritical carbon dioxide. *Journal of food science and technology*. 2010. Vol.47, no.6, p.598–605.
- Venkatachallam, S.K.T., Pattekhan, H., Divakar, S., et Kadimi, U.S.** Chemical composition of *Nigella sativa* L. seed extracts obtained by supercritical carbon dioxide. *Journal of Food Science and Technology*, 2010. Vol.47, no.6, p.598–605.
- Vian, M.A., Fernandez, X., Visinoni, F., Chemat, F.** Microwave hydrodiffusion and gravity, a new technique for extraction of essential oils. *Journal of Chromatography A*. 2008. Vol.1190, no.1–2, p.14-17.
- Virendra, P. S., Diwaker, P.** *Extraction of essential oil and its applications*. Bachelor of Technology: Chemical engineering. Orissa: National Institute of Technology. 2006. 44 p.
- Wajs, B.A., Bonikowski, R., Danuta, K.** Composition of essential oil from seeds of *Nigella sativa* L. cultivated in Poland. *Flavour and Fragrance Journal*. 2008. Vol.23, no.2, p.126-132.
- Wang, L., Weller, C.L.** Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science & Technology*. 2006. Vol.17, no.6, p.300-312.
- Wei, J. N., Liu, Z. H., Zhao, Y. P., Zhao, L. L., Xue, T. K., & Lan, Q. K.** Phytochemical and bioactive profile of *Coriandrum sativum* L. *Food chemistry*. 2019. Vol.286, p.260–267.
- Wesołowska, A., Jadczyk, D., Grzeszczuk, M.** Influence of distillation time on the content and composition of essential oil isolated from lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.). *Herba Polonica*. 2010. Vol.56, no.3, p.24-36.
- Woo, J., Lee, S., Kim, J., woo, P.** Antioxidant and Antimicrobial Activity of Peppermint Oil Products. *Journal of Korea Society for Plants People and Environment*. 2013. Vol.16, no.6, p.361-367.
- Wu, S., Lyu, G., & Lou, R.** *Applications of Chromatography Hyphenated Techniques in the Field of Lignin Pyrolysis*. In R. Davarnejad, & M. Jafarkhani (Eds.), *Applications of Gas Chromatography*. London: IntechOpen. 2012. 117p.
- Yan, M.-R., Wang, C.-H., Cruz Flores, N.J., Su, Y.-Y.** Targeting Open Market with Strategic Business Innovations: A Case Study of Growth Dynamics in Essential Oil and Aromatherapy Industry. *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex*. 2019. Vol.5, no.7.

- Yashni, G., Willy, K., Al-Gheethi, A., Radin, M., Radin, M. S., Mohd-Salleh, S.N.A., Hashim, M.** A Review on Green Synthesis of ZnO Nanoparticles Using Coriandrum Sativum Leaf Extract For Degrading Dyes in Textile Wastewater: A Prospect Towards Green Chemistry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol.736, no.4.
- Yildiz, H.** Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activities of Essential Oil and Ethanol Extract of Coriandrum sativum L. Leaves from Turkey. *International Journal of Food Properties*. 2015. Vol.19, no.7, p.1593-1603.
- Younsi, F., Rahali, N., Mehdi, S., Boussaid, M., Messaoud, C.** Relationship between chemotypic and genetic diversity of natural populations of Artemisia herba-alba Asso growing wild in Tunisia. *Phytochemistry*. 2018. Vol.148, p.48-56.
- Yuan, Y., Huang, M., Pang, Y., Yu, F., & Chen, C., Liu, L., Chen, Z., Yingbo, Z., Chen, X., Hu, X.** Variations in Essential Oil Yield, Composition, and Antioxidant Activity of Different Plant Organs from Blumea balsamifera (L.) DC. at Different Growth Times. *Molecules*. 2016. Vol.21, no.8, p.1024.
- Zermane, A., Meniai, A., Larkeche, O., Barth, D.** Extraction and Modeling of Algerian Rosemary Essential Oil Using Supercritical CO<sub>2</sub>: Effect of Pressure and Temperature. *Energy Procedia*. 2012. Vol.18, p.1038-1046.
- Zerrouak, K., et hadji, N.** Contribution à l'étude phytochimique et biologique de l'espèce *Artémisia herba alba* de la région de khenchela. Master Académique : Chimie Pharmaceutique. M'sila : Université Mohamed Boudiaf. 2019. 66p.
- Zhang, H., Stephanopoulos, G.** Co-culture engineering for microbial biosynthesis of 3-amino-benzoic acid in Escherichia coli. *Biotechnol Journal*. 2016. Vol.11, no.7, p.981-987.
- Zheljazkov, V., Astatkie, T., Schlegel, V.** Hydrodistillation Extraction Time Effect on Essential Oil Yield, Composition, and Bioactivity of Coriander Oil. *Journal of oleo science*. 2014. Vol.63, no.9, p.857-865.
- Zouaghi, N.** Contribution a l'étude du procédé d'extraction de l'huile essentielle des graines de coriandre. Application des résultats a l'échelle industrielle. Thèse de Magister : Génie chimique. Alger : L'école nationale polytechnique .2001. 236p.
- Zouari, N.** Essential Oils Chemotypes: A Less Known Side. *Medicinal and Aromatic Plants*. 2013. Vol.2, no.2.

**Zouari, N., Ayadi, I., Fakhfakh, N. et al.** Variation of chemical composition of essential oils in wild populations of *Thymus algeriensis* Boiss.et Reut., a North African endemic Species. *Lipids in Health and Disease*. 2012. Vol.11, no.1, p.28.

**Zouari, S., Zouari, N., Fakhfakh, N., Bougatef, A., Ayadi, M.** Chemical composition and biological activities of a new essential oil chemotype of Tunisian *Artemisia herba alba* Asso. *Journal of Medicinal Plants Research*. 2010. Vol.4, no.10, p.871-880.

**Zoubiri, S, A. Baaliouamer.** Essential oil composition of *Coriandrum sativum* seed cultivated in Algeria as food grains protectant. *Food Chemistry*. 2010. Vol.122, p.1226–1228.

**Zuzarte, M., Gonçalves, M., Cruz, M., Cavaleiro, C., Canhoto, J., Vaz, S., Pinto, E., Salgueiro, L.** *Lavandula luisieri* essential oil as a source of antifungal drugs. *Food Chem*. 2012. Vol.135, no.3, p.1505–1510.