

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة الجبالي بونعامة  
Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre  
Département de Biologie



## *Mémoire de fin d'études*

En vue de l'obtention de diplôme de **Master** en Microbiologie appliquée

**Domaine:** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière:** Sciences Biologiques

**Spécialité :** Microbiologie Appliquée

# **Etude de l'effet antifongique et antioxydant de l'huile essentielle des graines de *Cuminum cyminum* L.**

**Présenté par :**

- BELKACEM Merwa
- KESSAR Imène
- ETTAHRI Afaf

**Devant le jury :**

|                 |     |              |                        |
|-----------------|-----|--------------|------------------------|
| Mme GUETARNI H  | MCA | Présidente   | (U.D.B Khemis Miliana) |
| Mme ABDELLI W   | MCB | Promotrice   | (U.D.B Khemis Miliana) |
| Mme GHOMARI F.N | MAA | Examinatrice | (U.D.B Khemis Miliana) |

**Année universitaire : 2021/2022**

# Dédicaces

*Je dédie ce travail :*

*Aux êtres les plus chers de ma vie, ma mère **Ouarda**, quoi que je fasse ou je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles, à mon père **Mustapha**, qui a fait de moi une femme, que Dieu vous protège ;*

*A mes chers frères, **Nadjib** qui m'a soutenu et aidé tout au long de ce travail, et **Seif Eddine** ;*

*A mes adorables sœurs, **Rihab** et mon ange **Rahil** ;*

*A mon grand-père **Mouhamed** ;*

*A mes tantes surtout **Halouma** et ses enfants ;*

*A mes aimables amis, collègues d'étude, et sœurs de cœur, mon trinômes **Afaf**, **Imene**, et l'adorable **Chahinez** ;*

*A ma promotrice Mm **ABDELLI Wafae**, qui m'a aidé à réaliser ce travail avec ses remarques et consignes et surtout sa disponibilité ;*

*A mes enseignants et professeurs du primaire à l'université ;*

*A tous ceux qui de loin ou de près m'ont aidé à arriver à ce stade.*

**Merwa**

# Dédicaces

*Je dédie ce travail à :*

*L'âme de mon cœur et de ma vie ma chère mère **Fatima Zahra**, je ne pourrais exprimer la profondeur des sentiments que j'éprouve pour vous, vos sacrifices innombrables et votre dévouement firent pour moi un encouragement pour ma réussite, qui m'a aidé à devenir ce que je suis aujourd'hui, à celle qui a joué le rôle de mère et de père en même temps, qui m'a donné de la tendresse et de la force et m'a soutenu en tout aspects afin d'atteindre ce stade et de réaliser mes rêves, que Dieu la garde et la protège ;*

*A mon père **Mahdjoub** que Dieu le garde et le protège ;*

*À la mémoire de mon cher oncle qui a été comme un père pour moi **Mouloud**, que son âme repose en paix et ma belle **Lina** ;*

*A ma chère tante **Farida**, qui était comme ma deuxième mère, son mari **Amer** et ses enfants que Dieu les bénisse ;*

*A mes chers frères **Youcef** et **Hocine** et ses enfants que Dieu les gardes ;*

*A ma sœur adorée **Ahlem**, je te souhaite le bonheur et la réussite dans ta vie ;*

*A mes proches, à mes sœurs mon trinômes, **Maroua**, **Imene** et ma chère amie **Chahinez** ;*

*Et bien sûr, à notre chère promotrice Mme **ABDELALI Wafae** pour sa grande aide et ses conseils et à tous les enseignants et les professeurs qui m'ont accompagné durant mes études.*

***Afaf***

# Dédicaces

*Je dédie ce travail :*

*A mes chers parents "Abderrahmane & Ghania" qui ont tout sacrifié pour mon bien et qui ont éclairé ma route par leur compréhension, leur soutien et pour lesquels je dois le mérite pour ce que je suis devenue aujourd'hui. Je leur souhaite une bonne et parfaite santé et je prie Dieu de leur prêter longue vie ;*

*A mon cher frère Mohamed Islam que j'ai toujours trouvé à mes côtés pour ses conseils et ses encouragements ;*

*A mon fiancé Mohamed Réda qui a été compréhensif et patient avec moi durant toutes mes études universitaires et ce depuis 2017. Je lui exprime toute ma gratitude et mon profond respect ;*

*A mes beaux-parents Hocine & Yamina et toute ma belle-famille ;*

*A ma grande mère bien aimée Malika et à mes oncles Farid & Sofiane ;*

*A mes très chères sœurs Naima, Lilia, Dalel et Anfal ;*

*A mon trinôme Maroua et Afaf ;*

*A mes copines Kaoutar et Chahinez ;*

*Et bien sûr, et sans oublier notre chère et aimable promotrice Mme ABDELLI Wafae pour sa grande disponibilité, sa gentillesse et sa patience, et à tous les enseignants qui m'ont accompagné durant mon parcours universitaire.*

**Imène**

## *Remerciements*

Avant tout, nos remerciements infinis sont adressés à Dieu le tout puissant et miséricordieux de nous avoir donné la volonté et la patience nécessaire pour réaliser ce modeste travail, nous lui sommes redevables de nous avoir guidé et soutenu durant notre long cursus scolaire. Nous lui formons le vœu et l'espoir qu'il continuera à nous aider à réussir tout ce que nous entreprenons.

Nous tenons tout d'abord à manifester toute notre gratitude à notre chère promotrice Mme **ABDELLI W** pour sa patience, ses judicieux conseils, ses remarques pertinentes, ses qualités humaines, sa gentillesse et son aide généreuse tout au long de la rédaction de notre mémoire. Merci d'avoir accepté de nous encadrer, de nous avoir proposé ce thème de recherche et surtout pour votre disponibilité

Nos remerciements vont aussi aux membres du jury :

Mme **GUETARNI H** de nous avoir fait le grand honneur d'accepter de présider le jury de notre mémoire.

Mme **GHOMARI F.N** pour l'intérêt qu'elle a accordé à notre travail en acceptant de l'examiner.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de notre haute considération, notre profonde reconnaissance et nos sincère gratitude.

Nous adressons nos remerciements également envers tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, ainsi que nos collègues pour les témoignages de sympathie et l'aide morale que nous avons pu trouver auprès d'eux.

Enfin, Merci à tous ceux et celles qui nous ont soutenu d'une manière ou d'une autre, de près ou de loin.

## ملخص

هذا العمل عبارة عن توليف ببيوغرافي يجمع نتائج بعض الدراسات التي أجريت على الزيت العطري لبذور *Cuminum cyminum* L. تم الإبلاغ عن ان هذا الأخير سائل، أصفر فاتح إلى أصفر داكن، عطري حار وقوي. يتراوح متوسط مردودات الزيت العطري المستخرج عن طريق التقطير المائي في الجزائر ما بين 0.41 و 3.66٪، وفي العالم ما بين 1.6 و 5.3٪. سمحت تحليلات CPG-SM بتحديد عدة مركبات في الزيت الجزائري والأجنبي ، من أهمها نذكر 1.8-، 2-carene-10-al ، limonene ،  $\gamma$ -terpinene ،  $\alpha$ -pinene ، trans-dihydrocarvone ، cuminaldehyde و cineole و p-cymene .

أظهر تقييم النشاط المضاد للفطريات بواسطة تقنية الأروماتوغرام و تحديد CMI و CMF، ان الزيت العطري يمتلك تأثير مثبط كبير على الخمائر و الفطريات المختارة، و لا سيما *Aspergillus niger*، *Aspergillus flavus* ، *Candida glabrata* و *Candida albicans* و *Saccharomyces cerevisiae*. تتراوح أقطار التنشيط ما بين 11 و 50 مم. تتراوح قيم CMI من 0.004 الى 1.5 مغ/مل و CMF من 0.019 الى 3 مغ/مل.

أظهر تقييم قدرة كسح الجذور الحرة DPPH أن الزيت العطري له تأثير مضاد للأكسدة قوي. حيث تتراوح قيم  $CE_{50}$  ما بين 0.092 و 318 ميكروغرام / مل.

**الكلمات المفتاحية :** *Cuminum cyminum* L.، زيت عطري ، التقطير المائي، مردود، CPG-SM، نشاط مضاد للفطريات، نشاط مضاد للأكسدة، DPPH.

## Résumé

Ce travail est une synthèse bibliographique rassemblant les résultats de certaines études réalisées sur l'huile essentielle des graines de *Cuminum cyminum* L. Cette dernière est rapportée comme étant liquide, jaune claire à jaune foncé, aromatique, épicée et forte.

Les rendements moyens en huile essentielle extraite par hydrodistillation en Algérie varient entre 0.41 et 3.66%, et dans le monde entre 1.6 et 5.3%. Les analyses par CPG – SM ont permis d'identifier plusieurs composés dans l'huile algérienne et étrangère, parmi les principaux nous citons le cuminaldéhyde, le *trans*-dihydrocarvone, le  $\alpha$ -pinène, le  $\gamma$ -terpinene, le limonène, le 2-carene-10-al, le 1,8-cinéole et le *p*-cymène.

L'évaluation de l'activité antifongique par la technique d'aromatogramme et la détermination de la CMI et la CMF, a montré que l'huile essentielle possédait un grand effet sur les levures et les champignons sélectionnés, notamment *Candida glabrata*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Candida albicans* et *Saccharomyces cerevisiae*. Les diamètres des zones d'inhibition varient entre 11 et 50 mm. Les valeurs de CMI vont de 0.004 à 1.5 mg/ml et de CMF de 0.019 à 3 mg/ml.

L'évaluation de la capacité de piégeage du radical libre DPPH a montré que l'huile essentielle avait un puissant effet antioxydant. Les valeurs de CE<sub>50</sub> sont rangées entre 0.092 et 318  $\mu$ g/ml.

**Mots clés :** *Cuminum cyminum* L., huile essentielle, hydrodistillation, rendement, CPG-SM, activité antifongique, activité antioxydante, DPPH.

## Abstract

This work is a bibliographic synthesis gathering the results of some studies carried out on the essential oil seeds of *Cuminum cyminum* L. This last is reported as being liquid, clear yellow to dark yellow, aromatic, spicy and strong.

The average yields of essential oil extracted by hydrodistillation in Algeria vary between 0.41 and 3.66%, and in the world between 1.6 and 5.3%. The GC-MS analyses allowed to identify several compounds in the Algerian and foreign oil, among the main ones we mention cuminaldehyde, *trans*-dihydrocarvone,  $\alpha$ -pinene,  $\gamma$ -terpinene, limonene, 2-carene-10-al, 1,8-cineole and p-cymene.

The evaluation of the antifungal activity by the aromatogram technique and the determination of MIC and MFC, showed that the essential oil possessed a great inhibitory effect on yeasts and fungi selected, including *Candida glabrata*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Candida albicans* and *Saccharomyces cerevisiae*. The diameters of the inhibition zones vary between 11 and 50 mm. The MIC values ranged from 0.004 to 1.5 mg/ml and MFC from 0.019 to 3 mg/ml.

The evaluation of the DPPH free radical scavenging capacity showed that the essential oil had a potent antioxidant effect. The EC<sub>50</sub> values are ranged from 0.092 to 318  $\mu$ g/ml.

**Keywords:** *Cuminum cyminum* L., essential oil, hydrodistillation, yield, GC-MS, antifungal activity, antioxidant activity, DPPH.

# **Table des matières**

## Table des matières

|  |          |
|--|----------|
| Remerciements.....   | i        |
| المخلص.....  | ii       |
| Résumé.....  | iii      |
| Abstract.....  | iv       |
| Listedes abrégations et symboles.....  | v        |
| Liste des figures.....   | vii      |
| Liste des tableaux.....  | viii     |
| <b>Introduction.....</b>   | <b>1</b> |
| <b>Partie 1 : Synthèse bibliographique</b>   |          |
| <b>Chapitre I : <i>Cuminum cyminum</i> L.</b>  |          |
| I. La famille <i>Apiaceae</i> .....  | 3        |
| I.1. Le genre <i>Cuminum</i> .....   | 3        |
| I.1.1. Le cumin ( <i>Cuminum cyminum</i> L.) .....                                   | 4        |
| I.1.1.1. Description botanique .....   | 4        |
| I.1.1.2. Classification .....  | 4        |
| I.1.1.3. Habitat .....   | 5        |
| I.1.1.4. Distribution géographique .....   | 5        |
| I.1.1.5. Composition chimique du cumin .....   | 5        |
| I.1.1.6. Usages .....  | 7        |
| <b>Chapitre II : Généralités sur les huiles essentielles</b>                         |          |
| II. Les huiles essentielles .....  | 8        |
| II.1. Définition .....   | 8        |
| II.2. Localisation et lieu de synthèse .....   | 8        |
| II.3. Propriétés physico-chimiques .....   | 8        |
| II.4. Rôle physiologique .....   | 9        |
| II.5. Composition chimique des huiles essentielles .....                             | 9        |
| II.5.1. Composés terpéniques .....   | 10       |
| II.5.2. Composés aromatiques .....   | 11       |
| II.5.3. Composés d'origines diverses .....   | 12       |
| II.5.4. Notion de chémotype .....  | 12       |
| II.6. Les facteurs influençant la composition chimique des huiles essentielles ..... | 13       |

|   |    |
|---|----|
| II.6.1. Les facteurs intrinsèques.....                              | 13 |
| II.6.2. Les facteurs extrinsèques.....                              | 13 |
| II.7. Méthodes d'extraction des huiles essentielles.....            | 13 |
| II.7.1. La distillation.....  | 13 |
| II.7.1.1. Hydrodistillation.....                                    | 14 |
| II.7.1.2. Entraînement à la vapeur d'eau.....                       | 15 |
| II.7.1.3. Hydrodiffusion.....                                       | 16 |
| II.7.2. Enfleurage.....   | 17 |
| II.7.2.1. Enfleurage à froid.....                                   | 17 |
| II.7.2.2. Enfleurage à chaud.....                                   | 17 |
| II.7.3. Extraction par les solvants organiques.....                 | 17 |
| II.7.4. Expression à froid.....                                     | 18 |
| II.7.5. Extraction assistée par micro-ondes.....                    | 19 |
| II.7.6Extraction par CO <sub>2</sub> supercritique.....             | 19 |
| II.8. Les domaines d'application.....                               | 20 |
| II.8.1. Aromathérapie.....  | 20 |
| II.8.2. Pharmacie.....  | 21 |
| II.8.3. Parfumerie et cosmétique.....                               | 21 |
| II.8.4. Agro-alimentaire.....                                       | 22 |
| II.8.5. Agriculture.....  | 22 |
| <b>Chapitre III : Les activités biologiques étudiées</b>            |    |
| III.1. Activité antifongique des huiles essentielles.....           | 23 |
| III.1.1. Mode d'action.....   | 24 |
| III.1.2. Activité antifongique de l'huile essentielle du cumin..... | 25 |
| III.2. Activité antioxydante.....                                   | 25 |
| III.2.1. Stress oxydatif.....                                       | 25 |
| III.2.2. Radicaux libres.....                                       | 26 |
| III.2.3. Les antioxydants.....                                      | 27 |
| III.2.3.1. Définition.....  | 27 |
| III.2.3.2. Source des antioxydants.....                             | 28 |
| III.2.3.2.1. Les antioxydants endogènes.....                        | 28 |
| III.2.3.2.2. Les antioxydants exogènes.....                         | 28 |
| III.2.3.3. Mécanisme d'action des antioxydants.....                 | 29 |
| III.2.3.4. Activité antioxydante des huiles essentielles.....       | 30 |

|  |           |
|--|-----------|
| III.2.3.4.1. Activité antioxydante de l'huile essentielle de cumin.....            | 30        |
| <b>Partie 2 : partie expérimentale</b>   |           |
| <b>Chapitre IV : Analyse des travaux antérieurs</b>                                |           |
| IV. Matériel et méthodes.....  | 31        |
| IV.1. Matériel végétal.....  | 31        |
| IV.2. Huile essentielle.....   | 31        |
| IV.2.1. Technique d'extraction.....  | 31        |
| IV.2.2. Etude analytique.....  | 32        |
| IV.2.2.1. Caractéristiques organoleptiques.....                                    | 32        |
| IV.2.2.2. Rendement en huile essentielle.....                                      | 32        |
| IV.2.2.3. Analyse de la composition chimique.....                                  | 32        |
| IV.2.3. Evaluation des activités biologiques de l'huile essentielle.....           | 33        |
| IV.2.3.1. Etude de l'activité antifongique.....                                    | 33        |
| IV.2.3.1.1. Souches testées.....   | 33        |
| IV.2.3.1.2. Milieux de culture utilisés.....                                       | 33        |
| IV.2.3.1.3. Préparation de l'inoculum.....   | 33        |
| IV.2.3.1.4. Méthode de diffusion par disques (Aromatogramme).....                  | 34        |
| IV.2.3.1.5. Détermination de la CMI.....   | 35        |
| IV.2.3.1.6. Détermination de la CMF.....   | 35        |
| IV.2.3.2. Etude de l'activité antioxydante.....                                    | 35        |
| IV.2.3.2.1. Test du DPPH.....  | 35        |
| <b>Chapitre V : Résultats et discussion</b>  |           |
| V.1. Etude analytique de l'huile essentielle de <i>Cuminum cyminum</i> L.....      | 38        |
| V.1.1. Caractéristiques organoleptiques.....                                       | 38        |
| V.1.2. Rendement.....  | 39        |
| V.1.3. Composition chimique.....   | 40        |
| V.2. Evaluation de l'activité antifongique.....                                    | 44        |
| V.2.1. Résultats de l'aromatogramme (méthode de diffusion sur milieu gélosé) ..... | 44        |
| V.2.2. Résultats de la CMI et de la CMF.....                                       | 45        |
| V.3. Evaluation de l'activité antioxydante.....                                    | 47        |
| V.3.1. Résultats du test de DPPH .....   | 47        |
| <b>Conclusion.....</b>   | <b>49</b> |
| <b>Références bibliographiques.....</b>  | <b>51</b> |
| <b>Annexes.....</b>  | <b>67</b> |

## Liste des abréviations et symboles

**%** : Pourcentage

**C°** : Degré Celsius

**µl** : microlitre

**ADN** : Acide désoxyribonucléique

**AFNOR** : Association Française de Normalisation

**Bar** : unités de pressions exactement égales à 100000 pascals

**BN** : bouillon nutritif

**CAT** : catalase

**cm** : Centimètre

**CE<sub>50</sub>** : Concentration Efficace à 50%

**CLSI**: Clinical and Laboratory Standards Institute

**CMI** : Concentration Minimale Inhibitrice

**CMF** : Concentration Minimale Fongicide

**CPG** : Chromatographie en phase gazeuse

**DMSO** : diméthylsulfoxyde

**DPPH** : 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyle

**ERO** : Espèce Réactive Oxygénée

**FDA**: Food and Drug Administration

**g**: gramme

**GN**: gélose nutritive

**GPx**: glutathione Peroxyde

**GRAS**: Generally Recognized As Safe

**H**: heure

**Kg** : killogramme

**ml** : millilitre

**mm** : millimètre

**min**: minute

**nm**: nanomètre

**NRDC** : National Research Development Corporation

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**P** : pression

**PR** : pouvoir de réduction exprimé en pourcentage%

**p/v** : poids/volume

**SM**: Spectrométrie de Masse

**SOD** : superoxyde dismutase

**UFC** : unité formant colonies

**UV** : ultra-violet

**VMHD** : Vacuum Microwave Hydrodistillation

## Liste des figures

|                      |  |    |
|----------------------|--|----|
| <b>Figure n°01 :</b> | Aspect morphologique du cumin.....   | 4  |
| <b>Figure n°02 :</b> | Formule de l'isoprène.....   | 10 |
| <b>Figure n°03 :</b> | Exemples des composés terpéniques.....   | 10 |
| <b>Figure n°04 :</b> | Structures de quelques terpénoïdes.....  | 11 |
| <b>Figure n°05 :</b> | Exemples de composés aromatiques C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> caractéristiques des huiles essentielles ..... | 11 |
| <b>Figure n°06 :</b> | Exemples de composés aromatiques C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub> rencontrés dans les huiles essentielles.....   | 12 |
| <b>Figure n°07 :</b> | Schéma du procédé d'hydrodistillation.....   | 14 |
| <b>Figure n°08 :</b> | Schéma de montage de l'entraînement à la vapeur d'eau.....   | 15 |
| <b>Figure n°09 :</b> | Schéma du dispositif de l'Hydrodiffusion.....  | 16 |
| <b>Figure n°10 :</b> | Extraction par expression à froid.....   | 18 |
| <b>Figure n°11 :</b> | Extraction assistée par micro-onde.....  | 19 |
| <b>Figure n°12 :</b> | Schéma du principe d'extraction par le CO <sub>2</sub> supercritique.....                                      | 20 |
| <b>Figure n°13 :</b> | Balance d'équilibre entre les systèmes pro et antioxydants.....  | 26 |
| <b>Figure n°14 :</b> | Origine des différents radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène impliqués en biologie.....   | 27 |
| <b>Figure n°15 :</b> | Les graines de <i>Cuminum cyminum</i> L.....   | 31 |
| <b>Figure n°16 :</b> | Chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse.....                                       | 33 |
| <b>Figure n°17 :</b> | Principe de la méthode de diffusion par disque.....  | 34 |
| <b>Figure n°18 :</b> | Réduction du radical libre DPPH.....   | 36 |

## Liste des tableaux

|                       |   |    |
|-----------------------|---|----|
| <b>Tableau n°01 :</b> | La teneur des acides aminés dans le cumin.....  | 6  |
| <b>Tableau n°02 :</b> | La teneur des éléments minéraux dans le cumin.....  | 7  |
| <b>Tableau n°03 :</b> | Exemples de certaines huiles essentielles de plantes à effet antifongique.....  | 24 |
| <b>Tableau n°04 :</b> | Les principaux antioxydants exogènes et sources alimentaires associées.....   | 29 |
| <b>Tableau n°05 :</b> | Caractéristiques organoleptiques de l'huile essentielle de <i>Cuminum cyminum</i> .....   | 38 |
| <b>Tableau n°06 :</b> | Rendements en huile essentielle de <i>Cuminum cyminum</i> .....   | 39 |
| <b>Tableau n°07 :</b> | La composition chimique de l'huile essentielle de <i>Cuminum cyminum</i> L. en Algérie et dans le monde.....  | 40 |
| <b>Tableau n°08 :</b> | Résultats de l'activité antifongique de l'huile essentielle de <i>Cuminum cyminum</i> L. exprimés par le diamètre de la zone d'inhibition en millimètres..... | 44 |
| <b>Tableau n°09 :</b> | Résultats de l'activité antifongique de l'huile de <i>Cuminum cyminum</i> L. exprimés par CMI et CMF (mg/ml) .....  | 46 |
| <b>Tableau n°10 :</b> | Les valeurs des CE <sub>50</sub> de l'huile essentielle de <i>Cuminum cyminum</i> L. piégeant les radicaux libres DPPH.....                                   | 47 |

# **Introduction**

L'utilisation des antifongiques comme traitements médicamenteux présente de nos jours des limites, et le taux de réussite des thérapies actuelles est relativement faible, à cause de l'augmentation des infections fongiques en raison du nombre croissant des patients à risque élevé, en particulier des hôtes immunodéprimés. De plus, la candidose est l'infection fongique invasive la plus fréquente chez les patients sévèrement non-neutropéniques malades. En outre, la relation entre l'efficacité clinique, les résultats de sensibilité et les concentrations sériques des antifongiques demeure inconnue (**Sylvie, 2003 ; Jukie et Milos, 2005**).

Par ailleurs, les cellules et les tissus humains peuvent être soumis à diverses attaques physique (traumatisme, rayonnement, hyperthermie ou hypothermie), chimique (acidose, toxines) et métabolique (exposition aux xénobiotiques, manque de facteurs hormonaux ou facteurs de croissance). La plupart de ces attaques se traduisent par l'expression du stress oxydatif, dû à une exagération d'un phénomène physiologique et plus précisément, à une production excessive de radicaux libres dérivés de l'oxygène, qui en temps normal est contrôlée (**Jayaprakasha et al., 2007**). Ce stress peut être partiellement réduit par des antioxydants tels que la vitamine C et E qui sont proposés comme additifs alimentaires synthétiques et traitements complémentaires (**Bonnefont-Rousselot et al., 2005**). Cependant, leur utilisation a été rapportée comme présentant des risques d'effets secondaires sur la santé du consommateur (**Joao et al., 2010**).

Face aux limites des médicaments antifongiques et au risque de toxicité des antioxydants synthétiques, la recherche d'agents alternatifs d'origine naturelle, en prenant en considération l'efficacité et la sécurité, est devenue indispensable. Parmi les substances naturelles prometteuses, figurent les huiles essentielles extraites des plantes aromatiques (**Maihebiau, 1994**). Ces dernières jouissent d'une popularité depuis l'antiquité. Elles sont utilisées quotidiennement par l'homme pour se parfumer, cuisiner et se soigner. L'histoire de l'aromathérapie a connu quatre périodes principales : dans les temps les plus anciens, les plantes aromatiques étaient utilisées entières, généralement en infusion ou en décoction. Dans une seconde époque, elles ont été brûlées ou mises à macérer dans des huiles végétales, l'activité étant alors attribuée aux substances odorantes. La troisième période est celle de l'extraction de cette substance odorante et de la création de la distillation, la notion d'huile essentielle fait alors son apparition. La quatrième et actuelle période correspond, quant à elle, au développement des connaissances sur les huiles essentielles par tous les moyens modernes, que cela concerne leurs propriétés physiques, chimiques ou biologiques. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a

estimé qu'environ 80% des habitants de la planète, ont recours à la médecine traditionnelle à base de plantes en tant que soins de santé primaire (OMS, 2013 ; Deschepper, 2017).

Les plantes aromatiques représentent des ressources très importantes dans divers secteurs économiques (parfumerie, cosmétique, agroalimentaire, pharmacie...etc). Cela est dû à leurs différentes propriétés biologiques, telles que les propriétés anti-inflammatoires, antiseptiques, antivirales, antifongiques, antibactériennes, antitoxiques, insecticides et insectifuges, stimulantes, calmantes...etc (Mishara et Dubey, 1994 ; Tchamdja, 1995). Parmi les familles végétales les plus connues, nous citons par exemple les Lamiacées, les Astéracées et les Apiacées (Bruneton, 2009).

Dans notre étude, nous nous sommes intéressées à l'espèce *Cuminum cyminum* L., autrement dit, le cumin. La plante est herbacée et annuelle et appartient à la famille *Apiaceae*. Elle provient d'Égypte, Turkestan et de la Méditerranée orientale (Tuncturk et al., 2006). Son huile essentielle possède plusieurs activités biologiques : antimicrobienne, insecticide, analgésique, antioxydante, anti-inflammatoire, anticancéreuse, antidiabétique...etc (Al-Snafi, 2016).

Notre travail a pour objectif d'étudier l'effet antifongique et antioxydant de l'huile essentielle des graines de *C. cyminum* L. Il est structuré en deux parties, la première est consacrée à une synthèse bibliographique composée de trois chapitres : le premier concerne la description botanique de l'espèce végétale étudiée, le deuxième présente des généralités sur les huiles essentielles, tandis que le troisième, s'intéresse aux activités biologiques des huiles essentielles, et plus précisément, les activités antioxydante et antifongique. La seconde partie du travail est expérimentale, elle se subdivise en deux chapitres : le premier (quatrième chapitre) présente l'analyse des travaux antérieurs qui ont été réalisés pour cette étude. Le deuxième (cinquième chapitre) est consacré à l'analyse et à la comparaison des résultats rapportés par différents travaux antérieurs. Enfin, le manuscrit est achevé par une conclusion générale qui résumera l'ensemble de ces résultats.

**Partie**

**bibliographique**

# Chapitre I

*Cuminum cyminum* L.

## I. La famille *Apiaceae*

La famille *Apiaceae*, appelée anciennement *Ombelliferae*, est une des plus importantes familles de plantes à fleurs appartenant à l'ordre des *Apiales*, comprenant approximativement de 300 à 455 genres et de 3000 à 3750 espèces (Canter *et al.*, 2005 ; Varin, 2017). Elle est divisée en trois sous-familles, à savoir, les *Apioideae*, les *Saniculoideae* et *Hydrocotyloideae*. Ses membres sont présents dans la majeure partie du monde, mais sont plus communs dans les régions montagneuses tempérées, et relativement rares dans les régions tropicales. Ils occupent une place importante dans la flore algérienne, avec 56 genres et 130 espèces (dont 24 endémiques et 26 sous-espèces) (Quezel et Santa, 1963).

Les *Apiaceae* sont en général constituées de plantes herbacées annuelles ou vivaces, mais peuvent également inclure des arbres et des arbustes (Botineau, 2010). Elles sont caractérisées par une nature aromatique très distinguée due à la présence de cavités sécrétrices, constituées de conduits d'huile résineux, huileux ou fondus mucilage situé dans les fruits, les tiges, les feuilles et les racines. Leurs feuilles sont non stipulées et disposées d'une façon alterne, leurs inflorescences sont en ombelle simple ou composée (Christensen et Brandt, 2006), leurs tiges sont creuses entre les nœuds et souvent striées dans le sens de la longueur, leurs fruits ou leurs grains sont constitués par un diakène couronné (Quezel et Santa, 1963), et leurs fleurs sont petites et pentamères (Botineau, 2010).

La famille regroupe un grand nombre de plantes comestibles comme la carotte, le céleri et le fenouil, et des plantes condimentaires comme la coriandre et le cumin, riches en huiles essentielles (Ouis, 2015). Elle peut être utilisée dans différents domaines dont l'alimentation (boissons, épices et colorants), la médecine, la pharmacie (plus de 760 composants chimiques des huiles essentielles y présentent un grand intérêt), l'agriculture (insectifuges), la cosmétique, la parfumerie...etc (Acimovic et Kostadinovic, 2015).

### I.1. Le genre *Cuminum*

Le genre *Cuminum* fait partie des plantes herbacées, indigènes et odorantes de la famille des Apiacées (Quezel et Santa, 1963 ; Houbaida, 2008). Son nom vient de la langue sémitique et désigne le cumin en latin, et l'épithète est la latinisation du mot grec *Kyminon*, qui a la même signification (Couplan, 2012). Il comprend des espèces comme l'espèce commune qui est noir, le cumin de perse qui est jaune et le nabatéen qui se trouve presque partout (Ibn al-Awam et Clément-Mullel, 2000).

### I.1.1. Le cumin (*Cuminum cyminum* L.)

#### I.1.1.1. Description botanique

Le cumin est une plante glabre, herbacée et annuelle (**figure n°01**), pouvant atteindre une hauteur de 20 à 60 cm. Elle possède des racines allongées, des feuilles vertes, palmatiséquées avec de longues lanières filiformes, involucre et involucelles à bractées sétacées très longues. Les fleurs, plus courtes que les feuilles, sont rassemblées par 3 à 5 par ombellules et sont de couleur blanche ou rose (**Quezel et Santa, 1963**).

Les fruits ou les graines sont schizocarpes, fusiformes et ovoïdes latéralement, appelés diakènes (**Ghahreman, 1994 ; Zohary et Hopf, 2000**). Ils mesurent 5 à 6 mm de long et portent 9 arêtes et 9 canaux sécréteurs. Leur couleur est d'un vert pâle virant au brun sombre, leur odeur est aromatique et leur goût est épicé et amer (**Legrand, 1994 ; Behera et al., 2004**).



a. La plante de cumin

b. Les fleurs de cumin

c. Les graines de cumin

**Figure n°01 : Aspect morphologique du cumin (Espritsanté, 2022 ; Futura-sciences, 2022 ; Wikipédia, 2022)**

#### I.1.1.2. Classification

Selon **Quezel et Santa (1963)**, la classification du cumin est comme suit :

**Règne :** *Plantas*

**Embranchement :** *Spermatophytes*

**Classe :** *Dicotyledones*

**Sous-classe :** *Rosidae*

**Ordre :** *Apiales*

**Famille :** *Apiaceae*

**Genre :** *Cuminum*

**Espèce :** *Cuminum cyminum* L.

**• Nomenclature**

**Nom scientifique :** *Cuminum cyminum* L.

**Nom français :** Cumin

**Nom anglais :** Cumin

**Nom vernaculaire:** Kammoun, كمون (Minakshi *et al.*, 2003)

**I.1.1.3. Habitat**

Le cumin habite les lieux secs et exposés au soleil, il peut tolérer des températures pouvant atteindre les 46°C (Gilly, 2005 ; Vican, 2001). Il pousse dans les sols rudes, sableux et les terres franches, et préfère que ces derniers soient légers, fertiles et bien drainés. Par ailleurs, il n'aime pas les arbres ni leurs voisinages (Ibn-El-Awam, 2009 ; Paquereau, 2016).

**I.1.1.4. Distribution géographique**

Le cumin est la deuxième plante sur le plan mondial à être commercialisée après le poivre noir (Zohary et Hopf, 2000). Originaire d'Égypte, de Syrie et du Turkménistan (Srivastav, 2017), son utilisation en tant qu'épice et plante médicinale, remonte au second millénaire avant J.C en Syrie (Zohary et Hopf, 2000), et vers le sixième millénaire avant J.C en Égypte ancienne (Gilly, 2005). La plante était aussi connue dans la Grèce antique et Rome (Preedy *et al.*, 2011), puis s'est répandue dans tous les pays du bassin méditerranéen jusqu'en Amérique latine par les colonisations espagnoles et portugaises (Boullard, 2001).

La culture primaire du cumin se faisait en Europe (Lim, 2012). Actuellement, il se cultive principalement en Iran, en Inde, en Chine, au Sud de la Russie, en Indonésie, au Japon, en Turquie et en Afrique du Nord (Srivastav, 2017), dont l'Algérie et le Maroc (Bettaieb Rebey *et al.*, 2011). Les principaux exportateurs et fournisseurs mondiaux sont, à ce jour, l'Inde et l'Iran (Lim, 2012).

**I.1.1.5. Composition chimique du cumin**

Les graines de cumin contiennent environ 2.5 - 10% d'huile essentielle, composée généralement de monoterpènes (35%), de sesquiterpènes (3%) et de composés oxygénés (43%) (Verghese, 1991 ; Bellakhdar, 1997). Le constituant majeur de l'huile est l'aldéhyde cuminique (20 - 40%), d'autres composés importants sont également présents comme  $\alpha$ - et  $\beta$ -pinène, carène, cinéole, phellandrène, cymène, limonène, terpène et terpinéol (Nybe, 2007 ; Lim, 2012).

Les graines contiennent également de l'huile fixe avec une teneur de 15% (Saiedirad *et al.*, 2008), et dont les principaux composants sont les triglycérides (55%), les esters de stérol (25%)

et les acides gras libres (10%) (**Shahnaz *et al.*, 2004**). L'étude de la fraction protéique montre que les graines renferment environ 18.25% de protéines dont 18 acides aminés (**tableau 01**) (**Komy, 2004**).

**Tableau n°01 : La teneur des acides aminés dans le cumin (Komy, 2004)**

| Composition      | Teneur en % |
|------------------|-------------|
| Acide glutamique | 2,99        |
| Acide aspartique | 1,41        |
| Arginine         | 0,74        |
| Lysine           | 0,58        |
| Leucine          | 0,67        |
| Isoleucine       | 0,46        |
| Thréonine        | 0,38        |
| Valine           | 0,52        |
| Cystéine         | 0,05        |
| Méthionine       | 0,04        |
| Sérine           | 0,50        |
| Glycine          | 0,91        |
| Alanine          | 0,53        |
| Tyrosine         | 0,26        |
| Phénylalanine    | 0,54        |
| Histidine        | 0,28        |
| Tryptophane      | 0,01        |
| Proline          | 0,65        |

D'autres constituants sont aussi présents dans les graines de cumin, notamment, de la résine (environ 13%), des pentosanes (7%), des tanins, de l'aleurone (**Bellakhdar, 1997**), des fibres diététiques (59%), de l'amidon (8.3%) (**Sowbhagya *et al.*, 2007**), de la cellulose, des sucres (**Behara *et al.*, 2004**), des flavonoïdes (**Vican, 2001**), des coumarines, des acides phénoliques (**surveswaran *et al.*, 2007**) et des caroténoïdes (**Kandlakunta *et al.*, 2008**). En outre, 12 éléments minéraux sont retrouvés dans les graines (**tableau 02**) (**Al-bataina *et al.*, 2003**).

**Tableau n°02 : La teneur des éléments minéraux dans le cumin (Al-bataina *et al.*, 2003)**

| Elément           | Al  | Si  | P   | S   | Mn | Fe  | Cu | Zn | Sr | Cl   | K    | Ca   |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|----|-----|----|----|----|------|------|------|
| Quantité<br>mg/kg | 105 | 396 | 384 | 700 | 15 | 210 | 56 | 34 | 7  | 0,14 | 0,66 | 0,37 |

### I.1.1.6. Usages

Les applications du cumin sont très vastes et touchent particulièrement le domaine alimentaire et celui de la médecine traditionnelle. Ses fruits secs, par leur odeur forte et agréable et leur goût légèrement amer, sont utilisés en cuisine comme épice (**Sriastav et Tayal, 2017**). Les vertus thérapeutiques que présente la plante sont diverses ; ce qui permet son application pour différents traitements. En usage externe, le cumin est utilisé en cataplasme sur la nuque contre les oreillons (**Bellakhdar, 1997**), et dans la phytothérapie indienne, il est mélangé au jus d'oignon pour former une pâte que l'on applique sur les piqûres de scorpion (**Vican, 2001**). En usage interne, les graines sont préparées en poudre ou en décoction, et sont utilisées dans le traitement des troubles gastro-intestinaux dû à leurs effets stomachique, vermifuge et carminatif (**Bellakhdar, 1997 ; Charles, 2012**).

Le cumin peut être utilisé contre les insomnies, les coups de froid et la fièvre (**Vican, 2001**), mais aussi pour calmer le stress, abaisser la pression sanguine, soulager les crampes menstruelles, stimuler la lactation, et réduire les nausées pendant la grossesse. En compresse, il permet de soulager le gonflement des seins et des testicules (**Jalali-Heravi, 2007 ; Charles, 2012**).

Il peut être également employé comme diurétique en raison de sa teneur élevée en acide linoléique, immunostimulant contre les virus qui endommagent la rate et le foie (**Charles, 2012**), anti-inflammatoire, astringent et antispasmodique (**Rudra Pratap et Gangadharappa, 2017**). Par ailleurs, la plante est recommandée pour traiter certaines maladies comme la maladie coronarienne (durcissement des artères), le cancer, la perte osseuse, la cataracte, les syndromes du canal carpien, le diabète...etc (**Tanwar et Goyal, 2021**). Elle permet aussi de traiter des blessures grâce à ses activités antimicrobiennes et larvicides (**Charles, 2012**), et de réduire les crises d'épilepsie (**Janahmadi *et al.*, 2006**). Des applications en médecine vétérinaires lui sont également reconnues (**Rudra Pratap et Gangadharappa, 2017**).

# **Chapitre II**

## **Généralités sur les huiles essentiels**

## II. Les huiles essentielles

### II.1. Définition

Le terme « huile essentielle » désigne un produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière première botaniquement définie, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par distillation sèche, soit par un procédé mécanique approprié sans chauffage. L'huile essentielle est le plus souvent séparée de la phase aqueuse par un procédé physique n'entraînant pas de changement significatif de sa composition (Milpied-Homsi, 2009).

Il est important de faire la distinction entre une huile essentielle et une essence. Cette dernière est la sécrétion produite naturellement par les organismes végétaux, contenue dans divers organes productifs, et variable selon la partie de la plante considérée. En revanche, l'huile essentielle est le résultat d'extraction de l'essence, c'est-à-dire de sa distillation (Carette, 2000). Les huiles essentielles ne contiennent pas de corps gras contrairement aux huiles végétales et comme le terme pourrait laisser penser (Teuscher *et al.*, 2005).

### II.2. Localisation et lieu de synthèse

Les huiles essentielles représentent les produits du métabolisme secondaire des plantes (Dorosso, 2002). Elles se localisent dans différents organes végétaux tels que : les feuilles (citronnelle, eucalyptus), les fleurs (camomille, lavande), le bois (bois de rose, santal), l'écorce (cannelle), les racines (vétiver), les rhizomes (curcuma, gingembre), les fruits (anis, badiane) et les graines (muscade) (Laurent, 2017). Elles peuvent se trouver dans différents organes chez une même espèce, et leur composition chimique peut varier d'un organe à l'autre (Mahmout, 1992).

Leur synthèse se fait dans le cytoplasme des cellules sécrétrices, et leur stockage dans des trichomes glandulaires (poils sécréteurs) (*Lamiaceae*), des cavités sécrétrices (*Myrtaceae* et *Rutaceae*) et des canaux sécréteurs (*Apiaceae* et *Asteraceae*) (Djarri, 2006).

### II.3. Propriétés physico-chimiques

Les huiles essentielles sont en général liquides à température ambiante, volatiles, inflammables et très odorantes. Elles sont constituées de molécules aromatiques de très faible masse moléculaire. Leur densité est le plus souvent inférieur à 1 sauf pour les huiles essentielles de sassafras (*Sassafras albidum*), de clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) et de cannelle (*Cinnamomum zeylanicum*). (Bruneton, 1999 ; Charpentier *et al.*, 2008 ; Desmares *et al.*, 2008). La plupart d'entre-elles ont une couleur jaune presque imperceptible, elles foncent au cours de leur

vieillessement (oxydation), ce qui peut dans certains cas extrêmes, présenter un risque de toxicité important (**Kaloustian et al., 2012**).

Les huiles essentielles sont solubles dans les alcools et dans la plupart des solvants organiques, mais le sont peu dans l'eau (**Bruneton, 1999**), ce qui les rend entraînaibles à la vapeur. Elles se retrouvent dans le protoplasme sous forme d'émulsion plus ou moins stable qui tend à se collecter en gouttelettes de grosse taille (**Martini et Seiller, 1999**). Par ailleurs, leur indice de réfraction est élevé et la plupart sont optiquement actives ; elles dévient la lumière polarisée de manière très variable en fonction de la nature et de la concentration des différentes molécules chirales qu'elles contiennent (**Fernandez et al., 2012**). Elles ont parfois une touche grasse ou huileuse mais ce ne sont pas des corps gras. Quand elles retournent à l'état de vapeur, elles ne laissent pas de traces contrairement aux huiles fixes (non volatiles) comme l'huile d'olive ou de tournesol (**Bernadet, 2000**).

#### II.4. Rôle physiologique

Le rôle exact des huiles essentielles dans la physiologie des plantes n'est pas encore bien connu, cependant, la diversité moléculaire des métabolites qu'elles renferment, leur confère un large éventail de propriétés biologiques. Ceci leur permet de remplir diverses fonctions utiles pour les plantes telles que repousser ou attirer les insectes pour favoriser la pollinisation, et inhiber la prolifération de la microflore infectieuse (**Deroin, 1988 ; Bakkali et al., 2008**). Dans les climats désertiques, elles permettent de garder les plantes humides. En outre, lorsque celles-ci sont en concurrence pour des ressources environnementales, les huiles essentielles peuvent être utilisées pour inhiber la germination des graines d'autres espèces végétales, ou pour limiter la croissance de certaines espèces apparentées (**Fisher et al., 1994 ; Bakkali et al., 2008**).

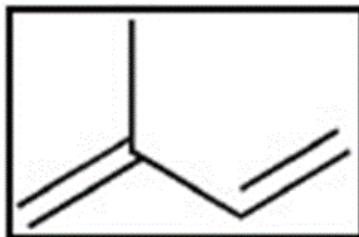
Les essences agissent également sur les plantes elles-mêmes, en effet, certains de leurs composants sont considérés comme des messagers internes ou des intermédiaires dans le métabolisme végétal. Par ailleurs, lorsque l'activité photosynthétique ne suffit plus, elles peuvent devenir une source d'énergie (**Figueredo, 2007**).

#### II.5. Composition chimique

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de constituants qui appartiennent de façon quasi exclusive, à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques distinctes : le groupe des terpénoïdes et le groupe des composés aromatiques dérivés du phénylpropane (**Boukhobza et Goetz, 2014**).

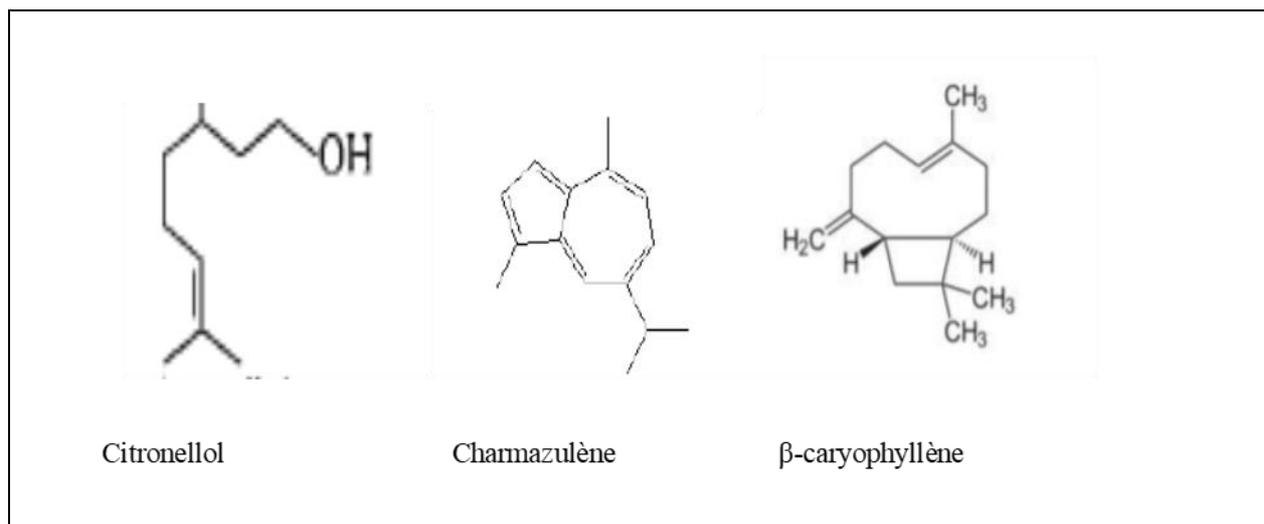
### II.5.1. Composés terpéniques

Au sens strict, les terpènes sont des hydrocarbures mais de nombreux dérivés de structure apparentée comme les alcools, les aldéhydes, les cétones et les acides, sont considérés comme des composés terpéniques. Leur particularité structurale la plus importante est la présence dans leur squelette d'unité isoprénique à cinq atomes de carbone ( $C_5H_8$ ) (**figure n°02**) (**Hernandez-Ochoa, 2005 ; Fillatre, 2011**).



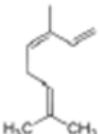
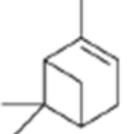
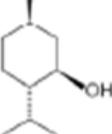
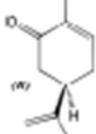
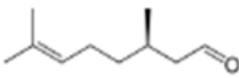
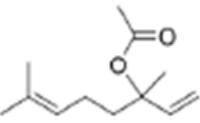
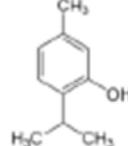
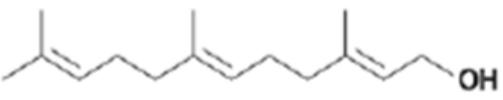
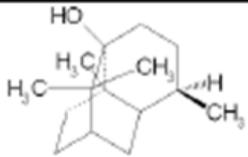
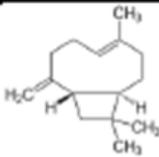
**Figure n° 02 : Formule de l'isoprène (Fillatre, 2011)**

Les terpènes sont subdivisés selon le nombre d'unités isopréniques en : hémiterpènes (1 unité  $C_5$ ), monoterpènes (2 unités :  $C_{10}$ ), sesquiterpènes (3 unités :  $C_{15}$ ), diterpènes (4 unités :  $C_{20}$ ), sesterpènes (5 unités :  $C_{25}$ ), triterpènes (6 unités  $C_{30}$ ), carotènes (8 unités :  $C_{40}$ ) et les polyisoprènes ( $n$  unités :  $C_{5n}$ ). Les terpènes les plus fréquents dans les huiles essentielles sont les plus volatils et dont la masse moléculaire n'est pas trop élevée, à savoir, les monoterpènes et les sesquiterpènes (**Couic-Marinier et Lobstein, 2013**).



**Figure n°03 : Exemples des composés terpéniques (Bakkali *et al.*, 2008)**

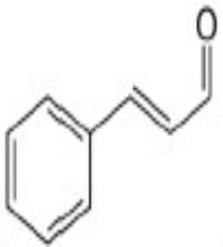
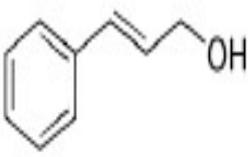
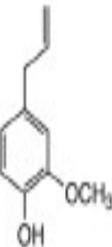
Certains composés oxygénés sont des dérivés des terpènes appelés terpénoïdes. Une grande variété de structures les caractérise selon le nombre de carbones présents, le caractère saturé ou insaturé des liaisons, la configuration spatiale (forme de chaise, bateau...etc) et la nature du groupe fonctionnel (**figure n°04**) (**Bakkali et al., 2008**).

|   |   |   |   |  |
|---|---|---|---|--|
|  |  |    |  |   |
| <i>Ocimène</i>  | <i>α-terpinène</i>  | <i>α-pinène</i>   | <i>(+)-menthol</i>  | <i>R-carvone</i>   |
|  |  |    |  |   |
| <i>Citronellal</i>  | <i>Acétate de linalyle</i>  | <i>Eucalyptol</i>   | <i>Ascaridole</i>   | <i>Thymol</i>  |
|  |   |  |   |  |
| <i>Farnésole</i>  |   | <i>Patchouliol</i>  |   | <i>β-caryophyllène</i>   |

**Figure n°04 : Structures de quelques terpénoïdes (Fillatre, 2011)**

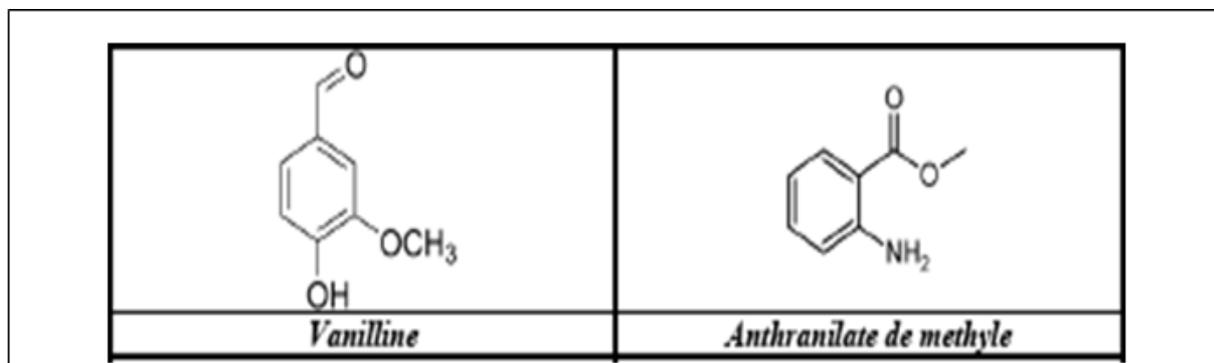
## II.5.2. Les composés aromatiques

Les composés aromatiques des huiles essentielles sont principalement des dérivés du phénylpropane C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>. Ils sont beaucoup moins fréquents que les terpènes (**Bakkali et al., 2008**). Il s'agit d'allyle et de propényl phénols, parfois des aldéhydes (cinnamaldéhyde), et peuvent comprendre des phénols (chavicol, eugénol), des alcools (alcool cinnamique), des dérivés méthoxy (anéthol, estragol) ou de méthylène dioxy (myristicine, safrol) (**figure n°05**) (**Bakkali et al., 2008 ; Boukhobza et Goetz, 2014**).

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |
| <i>Cinnamaldéhyde</i>   | <i>Alcool cinnamique</i>  | <i>Eugenol</i>  | <i>Anéthole</i>   | <i>Safrol</i>   |

**Figure n°05 : Exemples de composés aromatiques C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub> caractéristiques des huiles essentielles (Bruneton, 1999)**

Il est possible de rencontrer des composés aromatiques en C<sub>6</sub>-C<sub>1</sub> comme la vanilline (assez fréquente) et l'antranilate de méthyle (**figure n°06**), ainsi que des lactones dérivées des acides cinnamiques (coumarines, par exemple) (**Bruneton, 1999**).



**Figure n°06 : Exemples de composés aromatiques C<sub>6</sub>-C<sub>1</sub> rencontrés dans les huiles essentielles (Bruneton, 1999)**

### II.5.3. Les composés d'origines diverses

Les composés d'origines diverses sont des produits issus de la transformation de molécules non volatiles entraînaibles à la vapeur d'eau et plus précisément, de la dégradation des terpènes non volatils ou des acides gras tels que les irones cétones en C<sub>14</sub> (**Bruneton, 1999 ; Géorgetti et al., 2003**). Compte tenu de leur mode d'extraction, les huiles essentielles peuvent renfermer divers composés aliphatiques, généralement de faible masse moléculaire, entraînaibles lors de l'hydrodistillation tels que les alcools (menthol, géraniol, linalol) ; les aldéhydes (géraniol, cétronellal), les cétones (comphre, pipéritone), les phénols (thymol, cavacrol), les esters (acétate de géranyle), les acides (acide gérannique) et les oxydes (1,8-cinéole). Certains produits peuvent être azotés ou soufrés, c'est le cas des glucosinolates ou des dérivés d'isothiocyanate (**Iranshahi, 2012 ; Boukhobza et Goetz, 2014**).

### II.5.4. Notion de chémotype

La notion de chémotype (ou polymorphisme) est une notion clé en aromathérapie (**Descbepper, 2017**), elle indique le composant biochimique majoritaire ou distinctif présent dans l'huile essentielle. Le concept permet de distinguer des huiles essentielles extraites à partir de plantes de la même espèce mais d'une composition biochimique différente (**Lakhdar, 2015**). Cette variation chimique est rencontrée chez certaines espèces comme *Origanum vulgare* (**Mockute et al., 2001**) et *Mentha spicata* (**Edris et al., 2003**), mais l'exemple le plus marquant est celui de

*Thymus vulgaris*. En effet, six chémotypes différents sont reconnus pour cette même espèce ; cela est dû à la nature du monoterpène majoritaire qui peut être soit le géraniol, l' $\alpha$ -terpinèol, le thuyanol-4, le linalool, le carvacrol ou le thymol (Thompson *et al.*, 2003).

## II.6. Les facteurs influençant la composition chimique des huiles essentielles

Les huiles essentielles ont une très grande variabilité à la fois dans la composition et dans le rendement de la plante d'origine ; ce qui rend leurs activités biologiques différentes à leur tour (Bruneton, 1999 ; Benini, 2007). Cette variabilité peut s'exprimer par l'influence de divers facteurs intrinsèques et/ou extrinsèques.

### II.6.1. Facteurs intrinsèques

La composition chimique des huiles essentielles mais aussi le rendement, diffèrent selon leur localisation dans la plante de la même espèce (Faleiro *et al.*, 2003 ; Figueredo, 2007), selon le cycle végétal ; la variation peut en effet être observée tout au long du développement de la plante (Slimane, 2002), mais aussi selon l'âge de la plante. Une étude faite sur deux plantes cueillies à la même période, une étant âgée de 2 ans et l'autre de 5 ans, a montré que les rendements des huiles étaient respectivement de 0,5% et 0,15% (Fantino, 1990 ; Hudaib *et al.*, 2002). Le chémotype d'une huile essentielle est également un facteur important qui permet de faire la distinction au sein d'une même espèce végétale, grâce aux constituants biochimiques majeurs ou uniques présents (Pibiri, 2005).

### II.6.2. Facteurs extrinsèques

Les conditions climatiques et environnementales (la température, le taux d'humidité, la durée d'ensoleillement, la pluviométrie...etc), les conditions édaphiques (la composition du sol, sa nature, ses propriétés physiques...etc), les pratiques culturales, le mode d'extraction employé, mais aussi le stockage des matières premières avant la distillation, sont des causes extrinsèques potentielles de variations de la composition chimique d'une plante aromatique donnée (Huang *et al.*, 2006 ; Teuscher *et al.*, 2005 ; Besombes, 2008).

## II.7. Méthodes d'extraction des huiles essentielles

### II.7.1. La distillation

La distillation est une méthode ancienne et très répandue pour l'extraction des huiles essentielles à partir des plantes aromatiques (Silou *et al.*, 2004). Ce procédé est basé sur la nature volatile des composants aromatiques à séparer du reste de la plante (Solène, 2012), et sur

l'existence d'un azéotrope de température d'ébullition inférieure au point d'ébullition de l'huile essentielle et de l'eau ; ce qui permet à ces derniers de distiller à la fois à une température inférieure à 100°C, et sous pression atmosphérique normale (**Besombes, 2008**). Les composés aromatiques sont ainsi entraînés par la vapeur d'eau sans endommagements (**Bruneton, 1999**). Il existe trois types de distillation : l'hydrodistillation, l'entraînement à la vapeur d'eau et l'hydrodiffusion (**Piochon, 2008**).

### II.7.1.1. Hydrodistillation

Cette méthode est la plus simple et la plus utilisée car elle ne nécessite pas d'équipement coûteux (**Bruneton, 1993 ; Chemat, 2009**). Elle consiste à immerger la plante directement dans un alambic rempli d'eau placé au-dessus d'une source de chaleur, l'ensemble est porté à ébullition. Les vapeurs d'eau se chargent des molécules odorantes libérées lors de l'éclatement des cellules végétales. Elles se sont condensent par la suite dans un réfrigérant, et l'huile essentielle se sépare de l'hydrolat par simple différence de densité (**figure n°07**) (**Nait-achour, 2012**). La durée de l'hydrodistillation est très variable ; pouvant aller jusqu'à plusieurs heures selon le matériel végétal à traiter (**Hernandez-Ochoa, 2005**). Ceci peut constituer un inconvénient étant donné que des réactions d'hydrolyse, de racémisation, d'oxydation, ou encore d'isomérisation peuvent être provoquées ; ce qui pourrait très sensiblement conduire à la dénaturation de certains composés aromatiques (**El-bahai et al., 2000**).

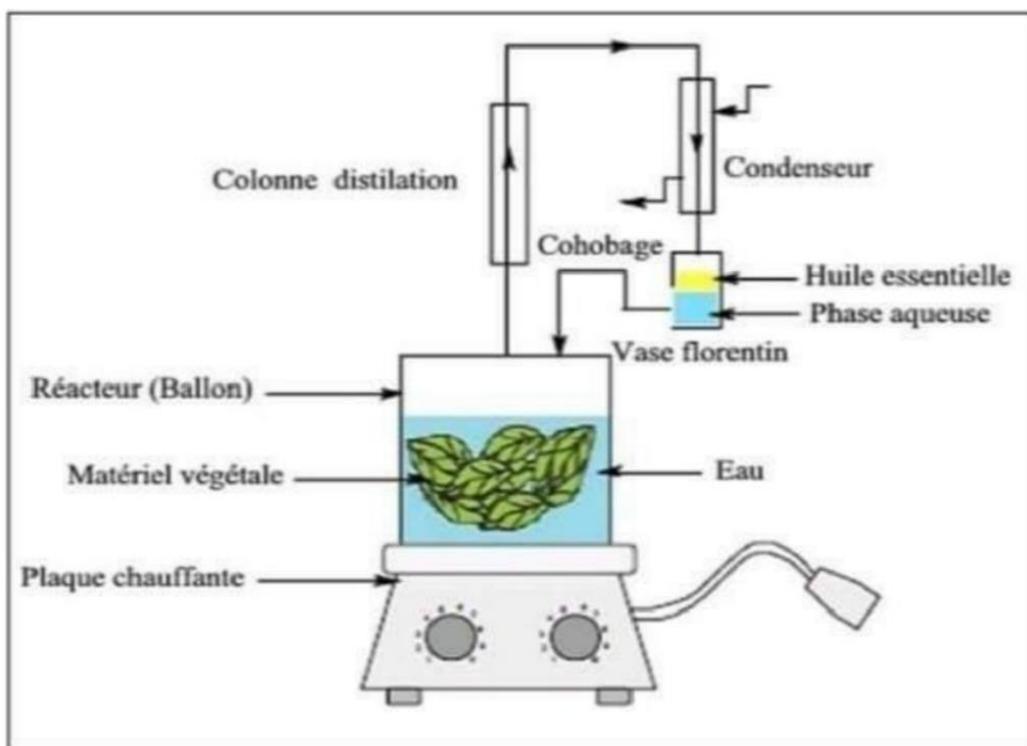


Figure n°07 : Schéma du procédé d'hydrodistillation (Chenni, 2016)

### II.7.1.2. Entraînement à la vapeur

C'est le procédé le plus ancien utilisé et le mieux adapté pour extraire les huiles essentielles des végétaux (Mailhebiau, 1989). Il consiste à placer le matériel végétal sur une grille perforée à travers laquelle passe la vapeur d'eau à une température adéquate, la structure des cellules végétales endommagées, libèrent l'huile essentielle qui est ensuite entraînée vers le réfrigérant (Bego, 2011). Les vapeurs refroidies retournent par condensation à l'état liquide formant ainsi le mélange « eau (hydrolat) + huile essentielle ». La phase organique se sépare ensuite de la phase aqueuse par simple différence de densité (figure n°08) (Benjilali, 2004 ; Neffati, 2010).

L'absence de contact direct entre l'eau et la matière végétale, préserve les molécules aromatiques de la dégradation et de ce fait, de nuire à la qualité de l'huile essentielle (Franchomme *et al.*, 1990 ; El Haïb, 2011). Ce mode est préférable à hydrodistillation du fait qu'il permet une extraction totale des huiles essentielles en améliorant le rendement de 33% par rapport à l'hydrodistillation (Vernon et Richard, 1976).

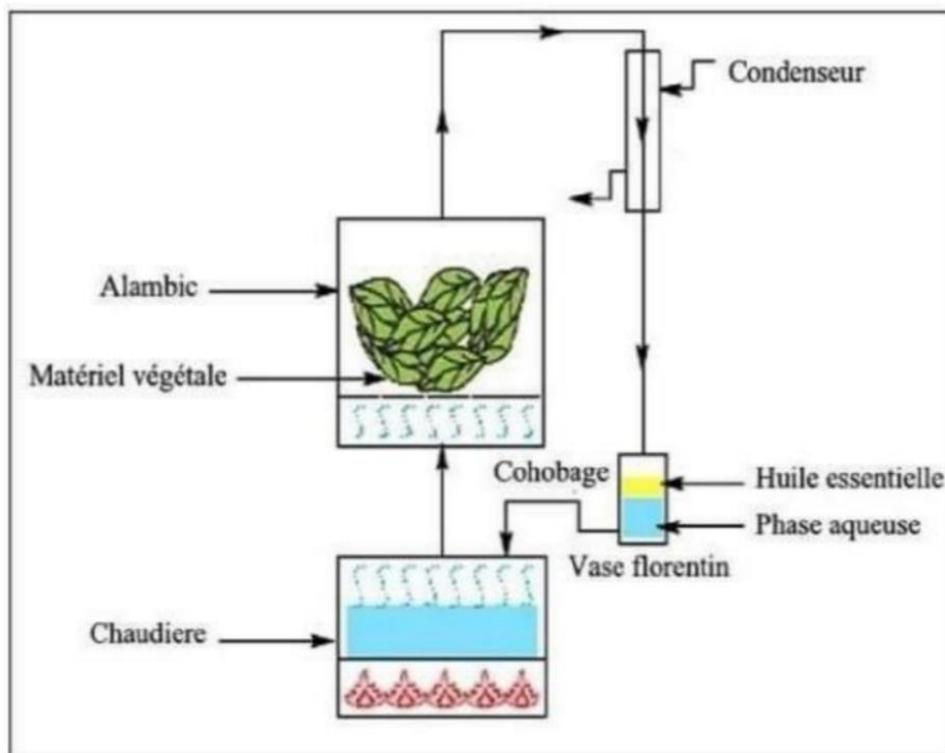


Figure n°08 : Schéma de montage de l'entraînement à la vapeur d'eau

### II.7.1.3. Hydrodiffusion

Comme la technique de l'entraînement à la vapeur d'eau, l'hydrodiffusion ne nécessite pas de contact direct entre l'eau et la matière végétale (**Ganou, 1993**). Le procédé consiste à faire passer un courant de vapeur d'eau à très faible pression (0.02 - 0.15 Bar), à travers la masse végétale du haut vers le bas en utilisant l'apesanteur comme force de déplacement de la vapeur (**figure n°09**) (**Lamamra, 2018**). La composition des produits obtenues est sensiblement différente qualitativement de celle obtenue par les techniques précitées (**Luccehesi, 2005**).

L'avantage de l'hydrodiffusion est qu'elle est plus rapide donc moins dommageable pour les composés volatils (**Penoël, 1990**), de plus, elle permet une économie d'énergie due à la réduction de la distillation et donc à la réduction de la consommation de vapeur (**El Haib, 2011**). Néanmoins, elle présente l'inconvénient de charger les huiles essentielles en substances non volatiles (essences de percolation) (**Richard, 1992**).

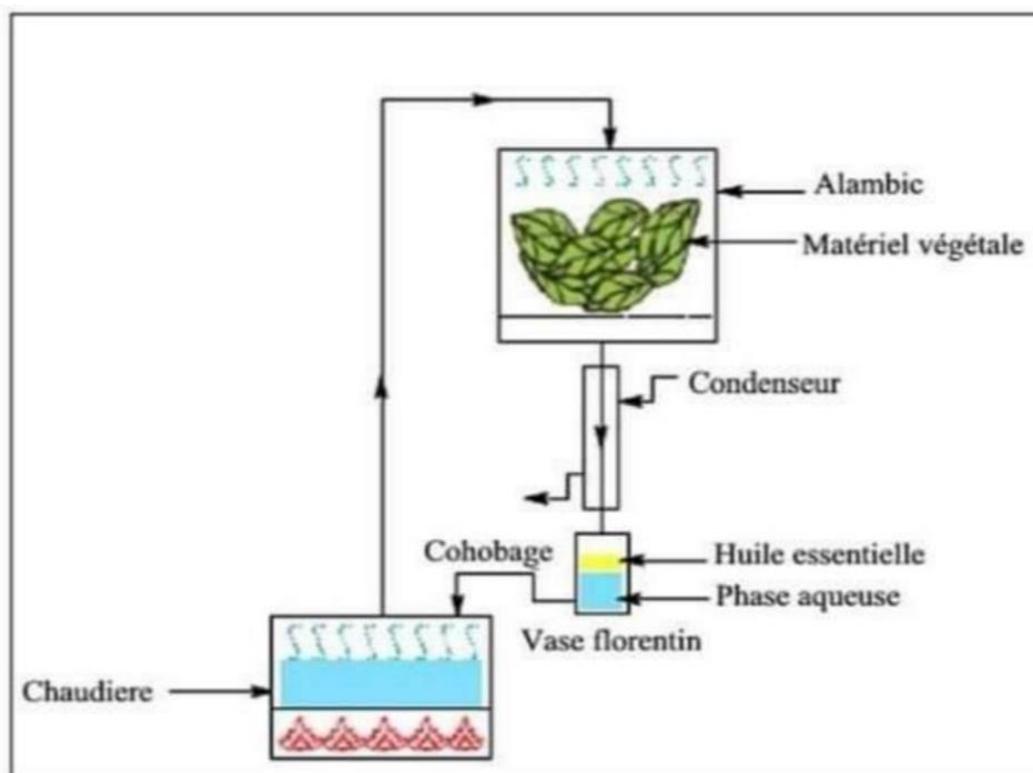


Figure n°09 : Schéma du dispositif de l'Hydrodiffusion (Chenni, 2016).

### II.7.2. Enfleurage

C'est une méthode d'extraction manuelle des essences, particulièrement utilisée pour les organes végétaux fragiles comme les fleurs (le jasmin, la tubéreuse, le narcisse, le muguet, la jonquille...etc). Cette technique met à profit la liposolubilité des composantes odorantes des végétaux dans le corps gras (**Moro et Buronzo, 2008**). Si le processus se fait par diffusion à froid vers le corps gras, on parle d'extraction par enfleurage, si par contre, il se pratique à chaud, par immersion des fleurs dans des graisses fondues, on parle de digestion (**Bruneton, 2009**).

#### II.7.2.1. Enfleurage à froid

Dans ce procédé, les pétales de fleurs sont déposés sur des plaques de verre enduites d'une mince couche de graisse inodore, ces plaques sont ensuite superposées sur des châssis de bois. L'extraction se fait par diffusion à froid, la graisse capture les constituants du parfum exhalé par la matière première. Les fleurs sont éliminées au fur et à mesure de leur épuisement et renouvelées périodiquement par des fleurs fraîches jusqu'à ce que la graisse soit complètement saturée en parfum. Le produit obtenu est appelé « pommade florale », il peut être directement utilisé dans la fabrication de produits cosmétiques, ou bien il est traité à l'alcool dans les batteuses pour le décharger de sa graisse, permettant ainsi d'obtenir l'absolu après une évaporation sous vide de l'alcool (**Desmares et al., 2008**).

#### II.7.2.2. Enfleurage à chaud

Ce procédé est basé sur la macération des fleurs dans de la graisse animale préalablement chauffée à 60 °C, ce qui permet une extraction plus rapide mais moins douce que l'enfleurage à froid. Le mélange est laissé à refroidir puis est réchauffé et filtré afin d'éliminer la matière première épuisée (**Bruneton, 2009 ; Arno Behr et Thomas, 2020**). Ce processus est répété plusieurs fois jusqu'à ce que les composés aromatiques soient saturés (**Möller, 2008**). Comme pour l'enfleurage à froid, une pâte parfumée appelée « pommade florale » est obtenue et son lavage avec de l'alcool permet de séparer les graisses des composés aromatiques (**Bruneton, 2009**).

### II.7.3. Extraction par les solvants organiques

Cette méthode est utilisée pour les organes végétaux à faibles concentrations en essences, ou qui ne peuvent pas être traités par distillation (**Duraffourd et al., 1990**). Elle consiste à faire macérer la matière végétale dans un solvant volatil hydrocarboné apolaire (l'hexane, le cyclohexane, le dichlorométhane, l'acétone... etc) (**Nixon et Mc Caw, 2001**). Grâce à des lavages successifs, le solvant utilisé va se charger en molécules aromatiques avant d'être envoyé au concentrateur pour

une distillation à pression atmosphérique (Lucchesi, 2005). Les solvants organiques ont un pouvoir d'extraction plus élevé que l'eau, si bien que les extraits ne contiennent pas uniquement des composés volatils mais aussi, ceux qui ne le sont pas tels que des cires, des pigments d'acide gras et bien d'autres substances (Hubert, 1992). L'utilisation de cette technique d'extraction reste restreinte due à son coût, ses problèmes de sécurité et de toxicité, et des réglementations liées à la protection de l'environnement (Lagunez Rivera, 2006).

#### II.7.4. Expression à froid

C'est la technique d'extraction la plus simple, appliquée particulièrement aux agrumes comme le citron, l'orange, la mandarine... etc (Chaintreau *et al.*, 2003). Elle consiste à déchirer mécaniquement les poches à essences que l'on trouve en grande quantité sur l'épiderme de ces fruits (Couecou *et al.*, 2001), l'essence libérée est recueillie par un courant d'eau (Roux, 2008) puis est isolée par décantation ou centrifugation (figure n°10) (Chaintreau *et al.*, 2003). L'intérêt de cette technique réside dans l'obtention d'essence n'ayant pas subi de modification chimique liée à la chaleur et à l'action de l'eau. De plus, elle est couplée à la production de jus de fruits (Mnayer 2014).

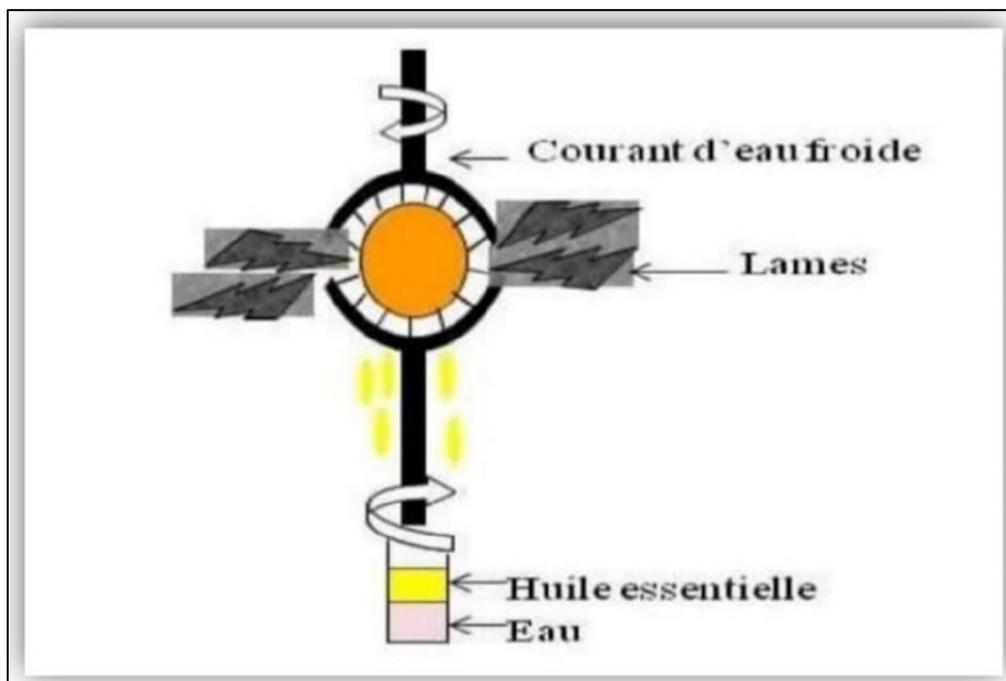
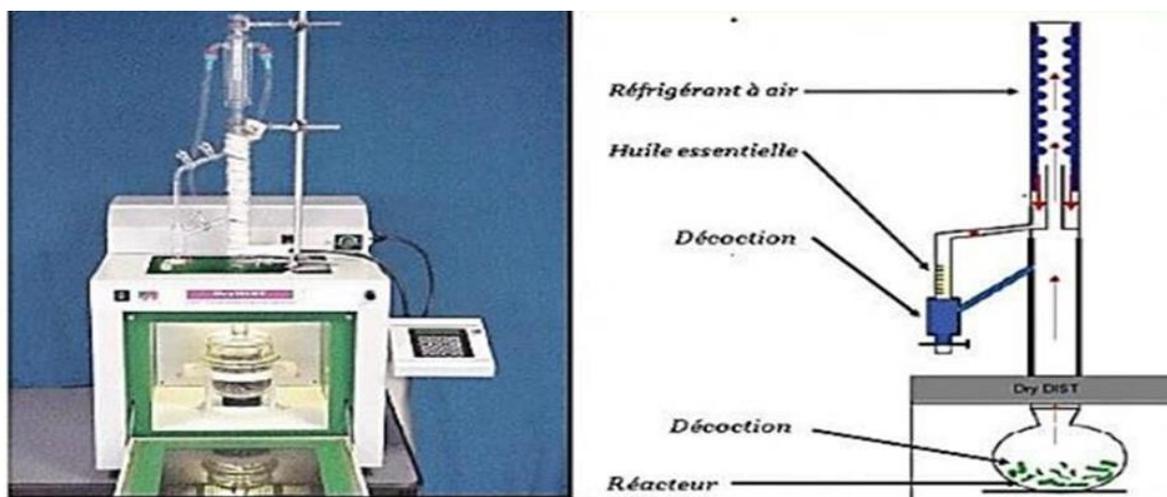


Figure n°10 : Extraction par expression à froid (Mnayer, 2014)

### II.7.5. Extraction assistée par micro-ondes

Appelée également Vacuum Microwave Hydrodistillation (VMHD), cette technique consiste à chauffer la matière végétale par micro-onde dans une enceinte close dans laquelle la pression est réduite de manière séquentielle. Les composés volatils sont entraînés par la vapeur d'eau formée à partir de l'eau propre à la plante (**figure n°11**). Ils sont ensuite récupérés à l'aide des procédés classiques de condensation, de refroidissement et de décantation (**Hemwimon et al., 2007**). Ce procédé possède plusieurs avantages tels que : le gain de temps et d'énergie car elle est considérablement rapide, l'utilisation de petites quantités de solvant donc elle n'est pas coûteuse (**Mengal et al., 1993 ; Chemat et al., 2012**), aussi, l'huile essentielle est le plus souvent de qualité supérieure à celle de l'hydrodistillation traditionnelle (**Bruneton, 1999**).



**Figure n°11 : Extraction assistée par micro-onde (Soins et Nature, 2017)**

### II.7.6. Extraction par CO<sub>2</sub> supercritique

Cette méthode utilise le CO<sub>2</sub> à l'état supercritique (P = 73.8 bars, T = 31.1°C) (**Pourmortazavi et Hajimirsadeghi, 2007**) c'est-à-dire possédant des propriétés intermédiaires entre celles des liquides et des gaz, ce qui lui confère un bon pouvoir d'extraction (**Fernandez et Chemat, 2012**). Dans ce système le solvant est utilisé en boucle par interposition d'échangeurs de chaleur d'un compresseur et d'un détendeur afin de porter le solvant à l'état désiré à chaque stade du processus (**figure n°12**) (**Pourmortazavi et Hajimirsadeghi, 2007**). On commence par faire passer le CO<sub>2</sub> à l'état liquide à travers la masse végétale, sous pression et à une température inférieure à 40 °C, ce qui fait éclater les poches à essences et entraîne les substances aromatiques (**Paré, Sigouin et**

Lapointe, 1990 ; Vangelder, 2017). Le CO<sub>2</sub> s'évapore complètement à la fin du processus et ne laisse aucun résidu toxique dans l'extrait (kaloustian *et al.*, 2012).

L'avantage de cette méthode est la possibilité d'éliminer et de recycler le solvant par simple compression détente. De plus, elle est considérée comme la plus prometteuse car elle fournit des extraits volatils de très haute qualité (Pourmortazavi et Hajimirsadeghi, 2007 ; Wenqiang *et al.*, 2007).

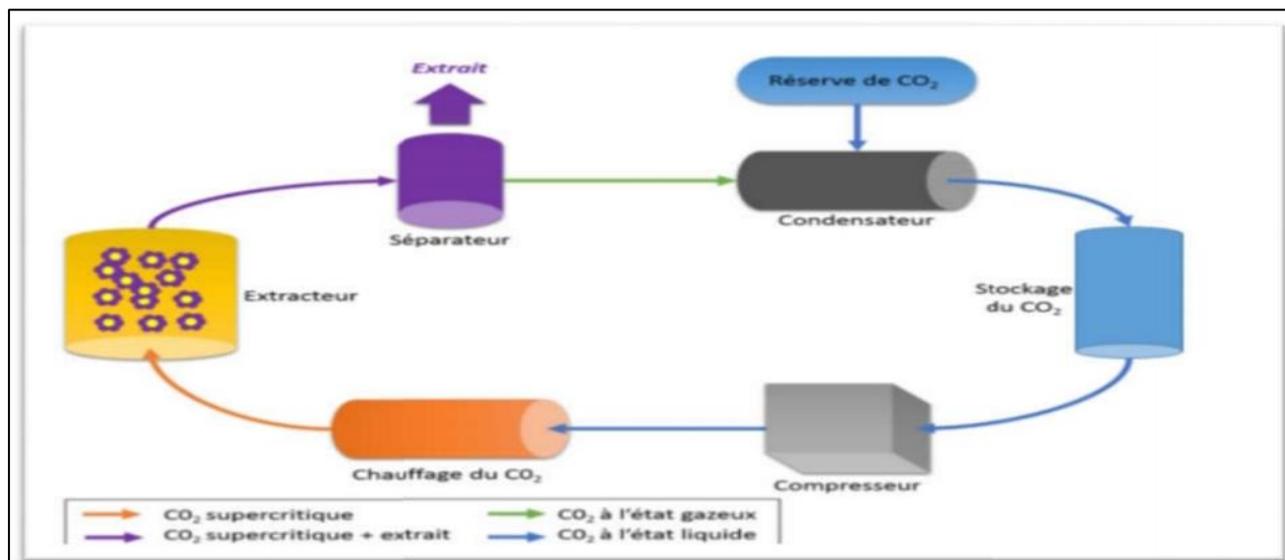


Figure n°12 : Schéma du principe d'extraction par le CO<sub>2</sub> supercritique (Deschepper, 2017)

## II.8. Les domaines d'application

### II.8.1. Aromathérapie

Le terme « aromathérapie » signifie littéralement « soin par les odeurs », il désigne la thérapie basée sur l'utilisation des huiles essentielles (Buronzo, 2008). Ces dernières sont connues pour leurs propriétés curatives, et sont utilisées depuis longtemps soit directement comme agents thérapeutiques, soit comme matières premières pour la synthèse de principes actifs, notamment en Asie, où elles constituent la base de la médecine traditionnelle (Bruneton *et al.*, 1999 ; Bessah *et al.*, 2015). Leur administration se fait par voie interne, cutanée, ou par inhalation (Baser et Buchbauer, 2010). Elles peuvent aussi bien être employées pour traiter certaines maladies, que pour purifier l'air en cas d'épidémie ou dans la chambre d'un malade contagieux, voire simplement être utilisées à titre préventif dans les locaux de séjour (Bardeau, 2009).

Les huiles essentielles présentent des propriétés anti-infectieuses, antalgiques, anti-inflammatoires, sédatives, antimicrobiennes, antispasmodiques, antioxydantes...etc, ce qui explique leur utilisation comme traitements contre différentes pathologies. Par exemple, contre certains types de cancer principalement due à leurs propriétés cytotoxiques, la cataracte, les accidents vasculaires cérébraux, la polyarthrite, l'arthrose, les maladies d'Alzheimer et de Parkinson, ou encore des maladies inflammatoires, où elles bloquent la formation et/ou la sécrétion des médiateurs d'inflammation comme l'histamine, pour soulager les entorses, les courbatures, les allergies articulaires ou musculaires (**Dethier, 1996 ; Bessah et al., 2015**).

Les différentes activités biologiques des huiles essentielles ont permis à l'aromathérapie de trouver son utilité dans une variété de spécialités médicales y compris la podologie, l'acupuncture, la masso-kinésithérapie, l'ostéopathie et la rhumatologie (**Sallé, 1991**).

### II.8.2. Pharmacie

Plus de 40% des produits pharmaceutiques sont à base de composants actifs de plantes parmi lesquels, les huiles essentielles. Celles-ci sont utilisées sous la forme de préparations galéniques, dans les préparations d'infusion (verveine, thym, menthe...etc) (**Richard, 1999**), ou encore comme matière de base de nombreux produits tels que les pommades, les crèmes et les gels, où les huiles facilitent l'administration des médicaments par voie cutanée grâce aux terpènes qu'elles contiennent (**Razakindrakoto, 1998 ; Edris, 2007**). Elles peuvent aussi être retrouvées dans les médicaments pris par voie orale, où elles permettent de masquer la désagréable odeur de leurs principes actifs, grâce à leurs propriétés aromatisantes (**Ouis, 2015**), ou encore être une source de précurseur d'hémisynthèse, c'est le cas des citrals qui servent à la production de la vitamine A (**Franchomme et Pénéol, 2001**).

### II.8.3. Parfumerie et cosmétique

Les propriétés odoriférantes des huiles essentielles confèrent à ces dernières une grande importance dans l'industrie des parfums et des cosmétiques, où elles sont utilisées comme matière première de base dans la fabrication. Ce domaine constitue le plus gros consommateur d'huiles essentielles ; représentant 60% de la demande totale en substances naturelles selon le National Research Development Corporation (NRDC). En cosmétologie, les huiles sont utilisées pour parfumer les produits tels que les dentifrices, les crèmes, les brillants à lèvres, les savons, les shampoings...etc. (**Seu-saberno et Blakeway, 1984 ; Bessah et al., 2015**).

#### II.8.4. Agroalimentaire

Les huiles essentielles sont pour la plupart classées comme GRAS « Generally Recognized As Safe » ou généralement reconnus comme sains (**Mascret, 2010**). Elles sont quotidiennement utilisées comme condiments dans les préparations culinaires (ail, laurier, thym...etc), mais également très présentes en liquoristerie (boissons anisées, kummel, alcools), et en confiserie (bonbons, chocolat...), dans les boissons gazeuses, les produits laitiers, les produits carnés, les produits de boulangerie, mais aussi dans la nutrition animale (**Bruneton, 1999 ; Benjlali, 2004**). Elles sont particulièrement employées pour rehausser le goût des aliments, et pour prolonger la durée de leur conservation grâce aux effets antimicrobiens et antioxydants de certains de leurs constituants, par exemple, les huiles essentielles de cannelle, de coriandre, de thym ou encore d'origan, ont une réelle efficacité dans la conservation de la viande alors que la menthe sera plus efficace dans le contrôle des contaminations dans les yaourts. Ces agents naturels peuvent réduire l'utilisation des agents de conservation chimiques ou synthétiques qui présenteraient des effets néfastes pour la santé ou même les remplacer (**Zambonelli et al., 1996; Fernandez et Chemat, 2012 ; Bessah et al., 2015**).

#### II.8.5. Agriculture

Les biopesticides à base d'huiles essentielles sont caractérisés par leur faible rémanence et leur faible toxicité pour l'homme par rapport aux produits phytosanitaires qui comportent des risques pour la santé et l'environnement. Les huiles protègent les cultures contre les insectes nuisibles par leurs activités insecticides, où leur action affecte leur croissance et leur fécondité (**Bessah et al., 2015**). Certaines d'entre-elles ont des activités intéressantes contre les champignons et les bactéries phytopathogènes, où elles sont utilisées pour le traitement des maladies cryptogamiques et bactériennes des plantes (**Seu- Saberno et Blakeway, 1984 ; Bessah et al., 2015**). Parmi les essences de plantes appliquées dans le domaine d'agriculture, nous citons par exemple l'huile de clou de girofle pour lutter contre les maladies des pommes et des poires, l'huile de menthe verte pour inhiber la germination des pommes de terre, et l'huile d'orange douce contre de nombreuses maladies et insectes (mildiou, oïdium, rouille blanche, cicadelles, aleurodes...etc) (**Furet et Bellenot, 2013 ; Chavassieux, 2014**).

# **Chapitre III**

## **Les activités biologiques étudiées**

### III.1. Activité antifongique des huiles essentielles

Plusieurs travaux ont mis en évidence le pouvoir des huiles essentielles contre les moisissures allergisantes, les dermatophytes et les champignons pathogènes et opportunistes (**Duarte, 2005**). Dans le domaine phytosanitaire et agroalimentaire où elles sont très utilisées, les huiles agissent comme agents de protection contre les champignons phytopathogènes et les microorganismes envahissant la denrée alimentaire (**Lis-Balchin, 2002**). Leur activité antifongique a été rapportée comme étant plus grande que leur activité antibactérienne (**Cox et al., 2000**).

Les huiles essentielles des plantes aromatiques les plus étudiées appartiennent à la famille des Labiées comme le thym, l'origan, la lavande, et la menthe (**Vokou et al., 1988**), des Rutacées tel que le *Citrus*, des Cistacées comme le *Cistus* (**Fisher et Phillips, 2008**), des Myrtacées tels que l'*Eucalyptus* et le clou de girofle (**Jaset-Dongmo et al., 2008**), et bien d'autres familles telles que les Lauracées, les Verbénacées, les Cupressacées, les Liliacées, les Apiacées, les Taxodiacées, les Chénopodiacées, les Théacées, et les Astéracées (**Voda et al., 2004 ; D'auria et al., 2005**). Certaines de ces huiles essentielles sont présentées dans le tableau ci-après avec les espèces fongiques rapportés comme étant sensibles (**tableau n°3**).

L'activité antifongique des huiles essentielles est due à la présence de phénols monoterpéniques et aromatiques, des alcools monoterpéniques, des aldéhydes aromatiques et monoterpéniques et des lactones (**Ultee et al., 2002 ; Zhiri, 2006**).

Tableau n°03 : Exemples de certaines huiles essentielles de plantes à effet antifongique

| Nom scientifique              | Nom commun  | Champignons testés  | Références   |
|-------------------------------|-------------|---|--|
| <i>Cinnamomum zeylanicum</i>  | Cannelle    | <i>Aspergillus niger</i> , <i>A. flavus</i> ,<br><i>Fusarium moniliforme</i> ,<br><i>F. graminearum</i> , <i>Penicillium citrinum</i> et <i>P. viridicatum</i>  | (Velluti <i>et al.</i> , 2004 ;<br>Singh <i>et al.</i> , 2007) |
| <i>Citrus limon</i> L.        | Citron      | <i>Penicillium chrysogenum</i> ,<br><i>P. verrucosum</i> , <i>Aspergillus niger</i><br>et <i>A. flavus</i>  | (Viuda-Martos <i>et al.</i> , 2008)                            |
| <i>Cymbopogon</i> spp.        | Citronnelle | <i>Fusarium</i> spp.  | (Velluti <i>et al.</i> , 2004)                                 |
| <i>Eucalyptus globulus</i>    | Eucalyptus  | <i>Aspergillus flavus</i> et <i>A. parasiticus</i>  | (Vilela <i>et al.</i> , 2009)                                  |
| <i>Foeniculum vulgare</i>     | Fenouil     | <i>Phytophthora infestans</i>   | (Soylu <i>et al.</i> , 2006)                                   |
| <i>Rosmarinus officinalis</i> | Romarin     | <i>Phytophthora infestans</i><br>et <i>Botrytis cinerea</i>   | (Soylu <i>et al.</i> , 2006 ;<br>Soylu <i>et al.</i> , 2010)   |
| <i>Thymus vulgaris</i>        | Thym        | <i>Fusarium oxysporum</i> ,<br><i>F. verticillioides</i> , <i>Penicillium expansum</i> , <i>P. brevicompactum</i> ,<br><i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>A. flavus</i><br>et <i>Alternata alternata</i> | (Feng et Zheng, 2007 ;<br>Zabka <i>et al.</i> , 2009)          |

### III.1.1. Mode d'action

Les huiles essentielles ont généralement un effet sur la biomasse et la production du pseudomycélium chez les levures, et empêchent la germination des spores, l'élongation du mycélium et la toxicogénèse chez les moisissures (Hulin *et al.*, 1998). Il existe deux mécanismes par lesquels leur activité antifongique peut s'exprimer ; certains composés peuvent provoquer une augmentation de la perméabilité de la membrane plasmique suivie de sa rupture entraînant ainsi,

une fuite des électrolytes et l'épuisement des acides aminés et des sucres, d'autres peuvent s'insérer dans les lipides membranaires et par conséquent, induire la perte des fonctions membranaires (Suppakul *et al.*, 2003).

### III.1.2. Activité antifongique de l'huile essentielle du cumin

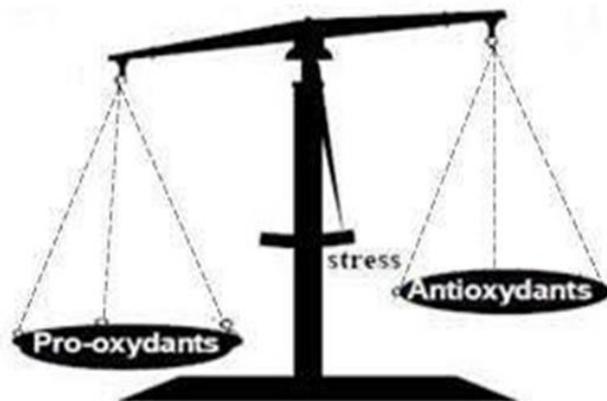
L'huile essentielle de *Cuminum cyminum* est dotée d'une activité antifongique significative contre les dermatophytes (Ramagnoli *et al.*, 2010) et quelques mycètes phytopathogènes (Boyras et Özcan, 2005). Parmi les espèces étant rapportées comme étant sensibles vis-à-vis de celle-ci, nous citons *Candida* spp., *Pseudallescheria boydi*, *Aspergillus flavus* (Choudhary *et al.*, 2000 ; Fakoor et Rasooli, 2008), *Trichophyton rubrum* (Romagnoli *et al.*, 2010), *Fusarium solani*, *F. oxysporum*, *F. oxysporum*, *F. tulipae*, *F. verticillioides*, *F. poae*, *F. equiseti*, *Botrytis cinerea* et *Alternata citri* (Boyras et Özcan, 2005 ; Naeini *et al.*, 2010). De par son effet antifongique, l'huile peut trouver son application dans le secteur agroalimentaire, notamment comme additif dans la conservation des fraises, car elle a été rapportée comme étant capable de prolonger leur durée de conservation de manière significative (Oroojalian *et al.*, 2010), mais aussi d'inhiber la croissance des champignons et éviter de ce fait, la contamination par l'aflatoxine dans les échantillons commerciaux qui la contenant (O-Riordan et Wilkinson, 2008).

## III.2. Activité antioxydante

### III.2.1. Le stress oxydatif

Le stress oxydatif est défini comme un déséquilibre de la balance entre les prooxydants et les antioxydants en faveur des premiers (figure n°13) (Sies et Jones, 2007). Il peut avoir diverses origines telles que la surproduction endogène d'agents prooxydants d'origine inflammatoire, un déficit nutritionnel en antioxydant ou même une exposition environnementale à des facteurs prooxydants (tabac, alcool, médicaments, rayons ultraviolets, pesticides, ozone, amiante, métaux toxiques...etc) (Magder, 2006).

L'accumulation des ERO (espèces réactives de l'oxygène) non détoxiquées (prooxydants) par le système antioxydant attaquant cause la peroxydation des lipides, l'oxydation des protéines et l'altération de l'ADN (Deoton, 2003 ; Koechlin-Ramonatxo, 2006). Les ERO ont un effet analogue sur les mitochondries, les enzymes cellulaires, et les chromosomes, le collagène et l'acide hyaluronique (Muanda, 2010). Ces altérations structurelles lorsqu'elle ne sont pas réparées entraînent à long terme des altérations génétiques (Koechlin-Ramonatxo, 2006).



**Figure n°13 : Balance d'équilibre entre les systèmes pro et antioxydants (Favier, 2006)**

Le stress oxydatif n'est pas une maladie mais un mécanisme physiopathologique qui conduit à la l'apparition de diverses maladies telles que le cancer, la cataracte, la sclérose latérale amyotrophique, le syndrome de stress respiratoire aigu, l'œdème pulmonaire, le vieillissement accéléré, le diabète, la maladie d'Alzheimer, les rhumatismes et les maladies cardiovasculaires (Favier, 2003).

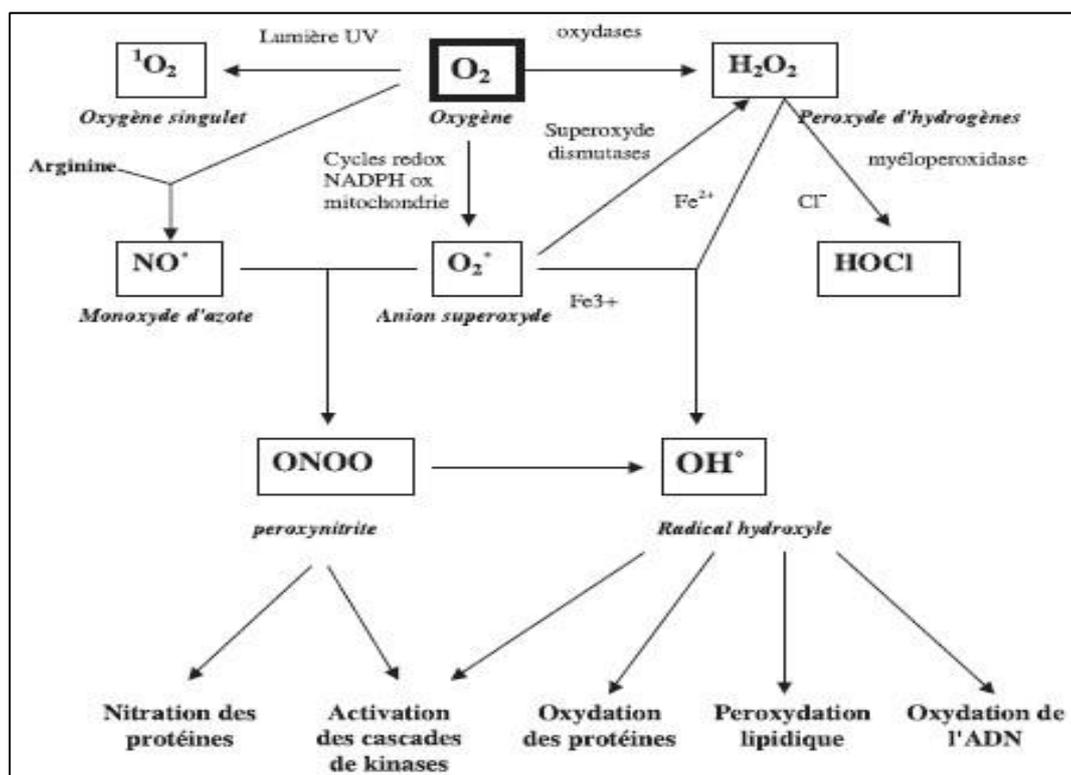
### III.2.2. Les radicaux libres

Un radical libre est une espèce chimique, atome ou molécule très réactive, contenant un ou plusieurs électrons non appariés (libres) sur son orbitale externe, ce qui le rend instable énergétiquement. Ce déséquilibre n'est que transitoire ; il est comblé soit par l'acceptation d'un électron, soit par le transfert d'un de ses électrons libres sur une autre molécule. Il est très réactif vis-à-vis des autres molécules en raison de sa durée de demi-vie qui est extrêmement courte (quelques millisecondes à quelques nanosecondes), et est produit d'une manière continue dans de nombreux phénomènes biologiques (Koechlin-Ramonatxo, 2006 ; Tremllen, 2008).

Bien que le terme « radical libre » ait souvent été assimilé à une espèce réactive ou à un oxydant, il est important de signaler que tous les radicaux libres ne sont pas forcément des oxydants. De même, que tous les oxydants ne sont pas des radicaux libres (Diallo, 2005).

Parmi toutes les espèces radicalaires susceptibles de se former dans les cellules, il convient de distinguer celles dites « primaires », qui dérivent de l'oxygène et qui jouent un rôle particulier en physiologie, de celle dites « secondaires ». Ces dernières se forment par réaction des radicaux primaires sur les composés biochimiques de la cellule (Novelli, 1997). Du point de vue de la terminologie, il est souvent fait mention d'espèces réactives de l'oxygène (ERO). Ceci inclue non

seulement les radicaux libres réactifs de l'oxygène : anion superoxyde ( $O_2^{\cdot-}$ ), radical hydroxyle ( $OH^{\cdot}$ ), radical hydroperoxyde ( $OH_2^{\cdot}$ ), monoxyde d'azote ( $NO^{\cdot}$ ), radical peroxyde ( $RO_2^{\cdot}$ ), radical aloxyle ( $RO^{\cdot}$ ), mais aussi d'autres espèces non radicalaires dérivées de l'oxygène : peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ), acide hypochloreux ( $HOCl$ ), ozone ( $O_3$ ), oxygène singulet ( $^1O_2$ ), peroxydinitrite ( $ONOO^-$ ) (**figure n°14**) (**Bonne font-rousselot *et al.*, 2003**). La réactivité est très variable selon la nature des ERO, l'anion radicalaire superoxyde et le monoxyde d'azote, par exemple, ne sont pas très réactifs mais constituent des précurseurs d'autres espèces plus réactives (**Favier, 2003**).



**Figure n°14 : Origine des différents radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène impliqués en biologie (Favier, 2003)**

### III.2.3. Les antioxydants

#### III.2.3.1. Définition

Un antioxydant désigne toute substance capable, à concentration faible, d'entrer en compétition avec d'autres substrats oxydables et ainsi, de retarder ou empêcher l'oxydation de ces substrats (**Berger, 2006**), en d'autres termes, une substance pouvant inhiber directement la production, limiter la propagation ou encore, détruire les espèces réactives de l'oxygène (**Velioglu *et al.*, 1998**).

### III.2.3.2. Source des antioxydants

#### III.2.3.2.1. Les antioxydants endogènes

Les antioxydants endogènes sont des enzymes qui ont un rôle essentiel dans la neutralisation des effets toxiques des ERO, par des systèmes de défense primaire ou secondaire. Le premier est constitué de trois enzymes :

- La superoxyde dismutase (SOD) qui catalyse la dismutation de l'anion superoxyde en oxygène moléculaire et peroxyde d'hydrogène, composés stables et moins toxiques ;
- La catalase (CAT) qui réduit le peroxyde d'hydrogène en libérant l'oxygène et l'eau ;
- La glutathion peroxyde (GPx) qui élimine les peroxydes lipidiques résultant de l'action du stress oxydant sur les acides gras polyinsaturés.

Le système comprend également des molécules antioxydantes de petites tailles comme l'acide urique, la bilirubine et l'ubiquinone, et les protéines comme la ferritine, la transferrine et l'albumine (**Pincemail, 2002 ; Arora *et al.*, 2002 ; Bensaad, 2017**).

Le second système de défense est quant à lui composé de phospholipases, d'ADN endonucléases, de ligases et de macroxyprotéinases dont le rôle consiste à empêcher l'accumulation dans la cellule de lipides, d'ADN et de protéines oxydées, et à participer à l'élimination de leurs fragments toxiques (**Pincemail, 2002**).

#### III.2.3.2.2. Les antioxydants exogènes

Les antioxydants exogènes sont présents dans l'alimentation et comprennent certaines vitamines comme la vitamine E ( $\alpha$ -tocophérol), la vitamine C (ascorbate), les caroténoïdes (vitamine A et  $\beta$ -carotène, les flavonoïdes...), les tanins, le métabolisme de la cystéine, le glutathion, l'acide phénolique (**Koehlin-Ramonatxo, 2006**), et les oligoéléments tels que le sélénium, le cuivre et le zinc qui sont des cofacteurs des enzymes antioxydants (**tableau n°04**) (**Haleng, 2007**). Les médicaments aussi représentent une source importante d'antioxydants, dont plusieurs agents thérapeutiques comme les anti-inflammatoires non stéroïdiens, les anti-hyperlipoprotéïnémiques, les bêtabloquants et les antihypertenseurs (**Ekoumou, 2003**). Les antioxydants sont également présents dans des produits naturels extraits de n'importe quelle partie de plantes, utilisés tels quels ou après modifications chimiques, des produits extraits d'animaux terrestres ou marins, ou encore des produits de synthèse imitant les enzymes, chélatant le fer ou piégeant les radicaux (**Favier, 2003 ; Vansant, 2004**).

**Tableau n° 04 : Les principaux antioxydants exogènes et sources alimentaires associées (Koechlin-Ramonatxo, 2006)**

| Antioxydants                         | Sources alimentaires   |
|--------------------------------------|--|
| Vitamine C                           | Agrumes, melon, brocoli, fraise, kiwi, chou, poivron   |
| Vitamine E                           | Huile de tournesol et de soja, maïs, beurre, œufs, noix                                      |
| $\beta$ -carotène                    | Légumes et fruits orangés et vert foncés   |
| Sélénium                             | Poissons, œufs, viande, céréales, volaille   |
| Zinc                                 | Viande, pain complet, légumes verts, huitres, produits laitiers                              |
| Flavonoïdes                          | Fruits, légumes, thé vert  |
| Acides phénoliques                   | Céréales complètes, baies, cerises   |
| Tanins                               | Lentilles, thé, raisins, vin   |
| Métabolisme de cystéine, glutathione | Caséine, lactalbumine (petit-lait), produits laitiers, brocoli, chou, œufs, poissons, viande |

### III.2.3.3. Mécanisme d'action des antioxydants

Les mécanismes d'action des antioxydants sont divers incluant le captage de l'oxygène singulet, la désactivation des radicaux par réaction d'addition covalente, la réduction de radicaux ou de peroxydes, la chélation de transition...etc. (Diallo, 2005). Les antioxydants peuvent être divisés en deux types:

- Les antioxydants dont le rôle est le transfert d'hydrogène ou d'électron sur les radicaux libres (Hellal, 2011). Ils bloquent la phase d'initiation du processus d'oxydation en complexant les catalyseurs, en réagissant avec l'oxygène ou des agents de terminaison capables de dévier ou de piéger les radicaux libres (Favier, 2006), générant ainsi des produits finis non radicalaires (Hellal, 2011) ;
- Les antioxydants dont la fonction est de chélater des traces métalliques responsables de la production d'espèces réactives oxygénées, ou encore d'interrompre la réaction en chaîne de peroxydation en réagissant rapidement avec un radical d'acide gras avant que celui-ci ne puisse réagir avec un autre acide gras. (Favier, 2006 ; Hellal, 2011).

### III.2.3.4. Activité antioxydante des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont connues pour leurs propriétés antioxydantes, et dont les principaux composés responsables sont les phénols. Cette capacité leur a permis d'ailleurs d'être mises à profit dans le domaine agroalimentaire où elles sont employées comme additifs pour la conservation des aliments tels que la viande rouge, la volaille, les légumes, les fruits, les yaourts...etc (**Richard, 1992 ; Caillet et Lacroix, 2007**).

Lorsque nous parlons d'activité antioxydante, nous en distinguons deux en fonction de leurs niveaux d'action : une activité primaire et une autre préventive (indirecte). La première consiste à interrompre la chaîne d'oxydation autocatalytique (**Multon, 2002**), tandis que la seconde à retarder l'oxydation par des mécanismes indirects tels que la complexation des ions métalliques ou la réduction de l'oxygène (**Madhavi et al., 1996**). Les huiles essentielles des plantes aromatiques les plus étudiées pour leurs activités antioxydantes appartient aux familles des *Labiatae* (origan, thym, sauge, romarin), des *Myrtaceae* (clou de girofle) (**Richard, 1992**), des *Apiaceae* (*Centella asiatica*), des *Asteraceae* (tournesol) (**Raza et al., 2009**), et *Rutaceae* (*Citrus limon*) (**Himed, 2011**).

#### III.2.3.4.1. Activité antioxydante de l'huile essentielle du cumin

L'huile essentielle de *Cuminum cyminum* est rapportée comme étant une des meilleures ressources d'antioxydants **Al-Juhaimi et Ghafoor, 2013 ; Sahadeo et al., 2016**). De nombreuses études ont, par exemple, démontré sa capacité à augmenter l'activité de la glutathione-S-transférase (**Santa, 2000**). Son activité anti-radicalaire lui permet de trouver applications dans différents secteurs notamment, celui de l'agroalimentaire ; où elle est utilisée en tant qu'agent antioxydant naturel pour conserver et parfumer les denrées alimentaires (**Ghasemi et al., 2019**), mais aussi elle les industries pharmaceutiques et thérapeutiques (**Hajlaoui et al., 2010 ; Saber Ibrahim et Jameel Kiki, 2020**).

**Partie**

**Expérimentale**

# **Chapitre IV**

## **Analyse des travaux antérieurs**

Nous présentons dans ce chapitre le matériel et les méthodes devant être requis pour l'étude analytique de l'huile essentielle des graines de l'espèce *Cuminum cyminum* L., à savoir, la détermination de son rendement, sa composition chimique et la description de ses propriétés organoleptiques, mais aussi l'évaluation de ses activités antifongique et antioxydante. Nous précisons que, pour notre part, nous avons opté pour une étude bibliographique, autrement dit, l'étude de quelques travaux antérieurs réalisés sur cette espèce végétale.

## IV. Matériel et méthodes

### IV.1. Matériel végétal

Les graines de *Cuminum cyminum* sont achetées sous forme séchée chez un arboriste. Elles sont conservées dans des sachets hermétiques pour servir ultérieurement à l'extraction de leur huile essentielle et son étude.



**Figure n°15 : Les graines de *Cuminum cyminum* L. (Abahri, 2018).**

### IV.2. Huile essentielle

#### IV.2.1. Technique d'extraction

L'extraction de l'huile essentielle des graines de *Cuminum cyminum* est réalisée par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger. Pour ce faire, 100 g de matériel végétal séché et broyé, est placé dans un ballon à fond rond contenant 500 ml d'eau distillée. Le mélange est porté à ébullition à l'aide d'un chauffe-ballon pendant 3 heures, la vapeur huileuse est conduite vers le réfrigérant où elle se condensera. Les gouttelettes ainsi produites sont recueillies. L'huile essentielle moins dense que l'eau, se sépare de celle-ci, et se retrouve dans la partie supérieure du distillat. Elle est ensuite récupérée et conservée à 4 - 5°C dans un tube en verre opaque, fermé hermétiquement pour la préserver de l'air et de la lumière.

## IV.2.2. Etude analytique

### IV.2.2.1. Caractéristiques organoleptiques

Les caractéristiques organoleptiques (apparence, couleur, odeur) sont parmi les indicateurs permettant d'évaluer la qualité d'une huile essentielle. Celle du cumin est déterminée selon des tests sensoriels et comparée à la norme **AFNOR (1988)**.

### IV.2.2.2. Rendement en huile essentielle

Selon la norme **AFNOR (2000)**, le rendement en huile essentielle est défini comme étant le rapport entre la masse d'huile obtenue après extraction, et la masse de la matière végétale utilisée. Il est exprimé en pourcentage et calculé selon la formule suivante :

$$\text{RHE (\%)} = [M / M_0] \times 100$$

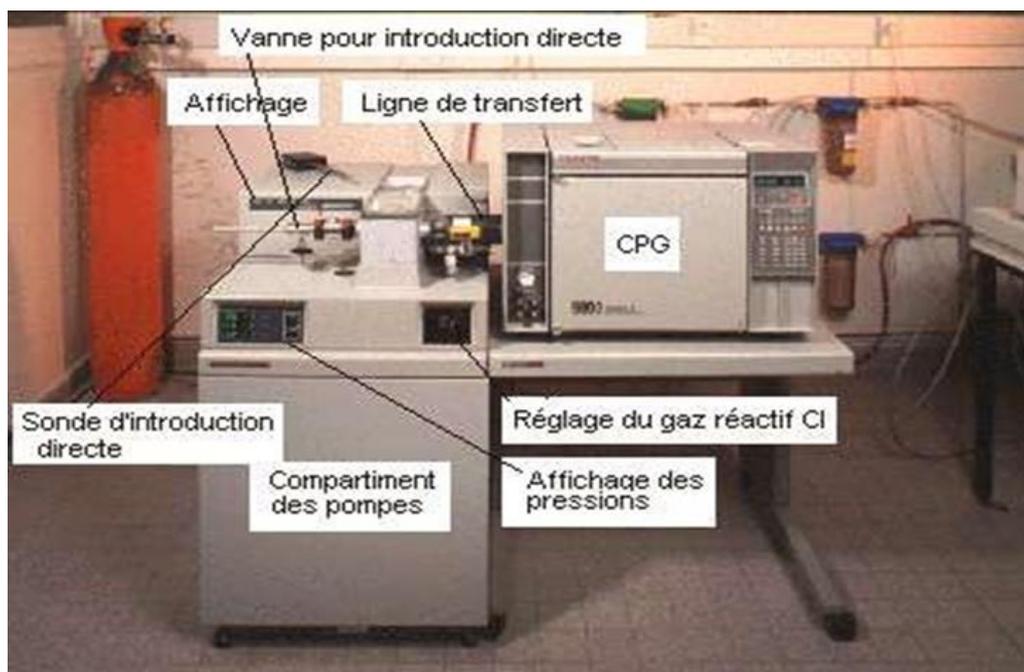
Où : **RHE** : rendement de l'extraction en huile essentielle en % ;

**M** : masse de l'huile essentielle en gramme ;

**M<sub>0</sub>** : masse de la matière végétale sèche utilisée en gramme.

### IV.2.2.3. Analyse de la composition chimique

La chromatographie en phase gazeuse (CPG) est une technique usuelle dans l'analyse des huiles essentielles, elle permet d'effectuer la séparation de composés volatils d'un mélange très complexe (**Arpino et al., 1995**). Elle est couplée à la spectrométrie de masse (SM) dont le principe consiste à bombarder une molécule à fragmenter à l'aide d'électrons, et les différents fragments chargés positivement obtenus constituent le spectre de masse de la molécule (**Adams, 2001**). La CPG/SM (**figure n°16**) permet de connaître dans la grande majorité des cas, la masse moléculaire d'un composé et d'obtenir des informations structurales relatives à une molécule suite à sa fragmentation (**Cavalli, 2002**).



**Figure n°16 : Chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (Amoukrane et Mokrani, 2018)**

### IV.2.3. Evaluation des activités biologiques de l'huile essentielle

#### IV.2.3.1. Etude de l'activité antifongique

##### IV.2.3.1.1. Souches testées

Pour notre étude, le choix s'est porté sur sept souches fongiques. Quatre étant des levures : *Candida albicans*, *C. glabrata*, *C. krusei* et *Saccharomyces cerevisiae* et trois étant des champignons : *Aspergillus niger*, *A. fumigatus* et *A. flavus*.

##### IV.2.3.1.2. Milieux de culture utilisés

Les milieux de cultures utilisés pour les différents tests microbiologiques sont les suivants (annexe I) :

- Milieu Sabouraud
- Gélose nutritive (GN)
- Bouillon nutritif (BN)

##### IV.2.3.1.3. Préparation de l'inoculum

Les tests antifongiques doivent être réalisés à partir de cultures jeunes de 48H pour les levures et de 3 à 5 jours pour les champignons, préparées préalablement par ensemencement dans des boites

de Pétri contenant de la gélose nutritive. Une fraction de ces cultures sont prélevées et inoculées dans des tubes à essai contenant un milieu liquide (bouillon nutritif), les inoculum ainsi préparés, sont incubés à 25°C pendant 48H pour les levures et 3 à 5 jours pour les champignons. La turbidité de la suspension doit être ajustée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis à une densité optique comprise entre 0.12 et 0.15 à 600 nm correspondant à une concentration de  $10^6$  ufc/ml pour les levures et  $10^6$  spores/ml pour les champignons.

#### IV.2.3.1.4. Méthode de diffusion par disques (Aromatogramme)

L'aromatogramme est basé sur une technique utilisée en bactériologie médicale, appelée antibiogramme ou méthode par diffusion en milieu gélosé ou encore, méthode des disques (Fauchère et Avril, 2002). La FDA (Food and Drug Administration) a approuvé cette méthode comme standard pour le Comité national de laboratoire clinique (Tajkarimi *et al.*, 2010).

La technique consiste à utiliser des disques stériles de papier Wattman de 6 mm de diamètre, imprégnés de 15  $\mu$ l d'huile essentielle de cumin puis déposés, à l'aide d'une pince stérile, à la surface du milieu gélosé Sabouraud. Celui-ci a été préalablementensemencé de façon uniforme avec une suspension de  $10^6$  cellule/ml de levures et de  $10^6$  spores/ml de champignons (figure n°17). Les boîtes de Pétri sont ensuite fermées et laissées diffuser à température ambiante pendant 30 min avant d'être incubées à 25 C° pendant 48H pour les levures et 5 à 7 jours pour les champignons. Les essais sont répétés trois fois pour chaque souche fongique testée. Après incubation, si les colonies se développent à la surface du milieu de culture, laissant des zones vierges autour des disques (zones d'inhibition), l'activité de l'huile essentielle peut alors être exprimée par la mesure du diamètre de la zone générée en millimètre. Plus celui-ci est grand, plus la souche est sensible à la substance testée (Celikel et Kavas, 2007 ; Hanif *et al.*, 2011).

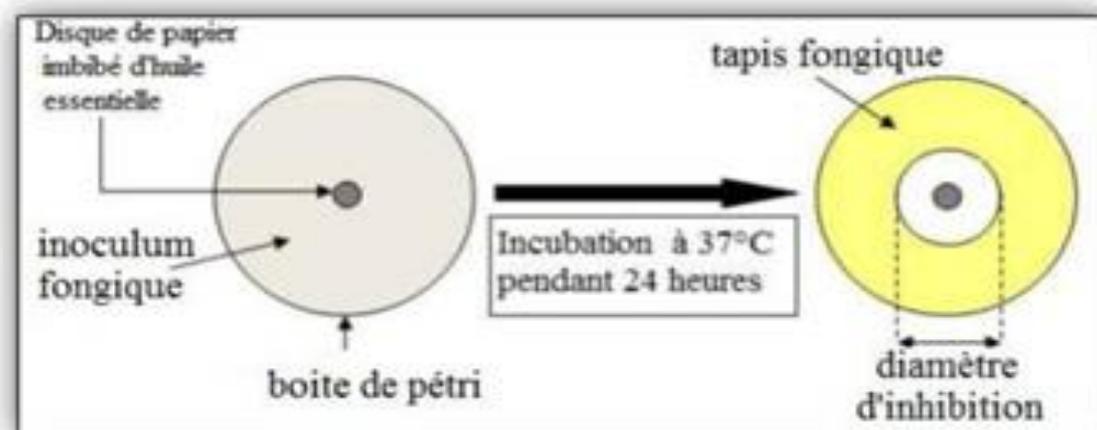


Figure n°17 : Principe de la méthode de diffusion par disque (Boukhatem *et al.*, 2014)

#### IV.2.3.1.5. Détermination de la CMI

L'OMS (Organisation mondiale de la santé) définit la concentration minimale inhibitrice (CMI), comme étant la plus faible concentration d'un agent antimicrobien capable d'inhiber la croissance de 90% d'une population microbienne appréciable à l'œil nu, après une période d'incubation donnée (**Mann et Markham, 1998**).

Une des techniques les plus utilisées est la macrodilution en milieu liquide. Cette dernière consiste à introduire un volume déterminé d'inoculum de  $10^6$  UFC/ml de levures et  $10^6$  spores/ml de champignons dans une gamme de concentrations déterminées d'huile essentielle à tester (les dilutions d'huile sont préparées à l'aide du DMSO). Tous les tubes inoculés sont incubés à 25 C° pendant 48H pour les levures et 5 à 7 jours pour les champignons. L'expérience est réalisée en triple. Après incubation, la lecture des résultats se fait à l'œil nu, le premier tube exempt de croissance microbienne correspond à la CMI (**Singh et al., 2011**).

#### IV.2.3.1.6. Détermination de la CMF

La concentration minimale fongicide (CMF) est définie comme étant la plus faible concentration d'un agent antimicrobien capable de tuer 99,9% de la concentration cellulaire finale. Une des méthodes les plus utilisées pour sa détermination est celle décrite par **Canton et al. (2003)**, car elle répond aux exigences de la CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute). Pour ce faire, les tubes n'ayant présenté aucun trouble lors de la détermination de la CMI, serviront pour la détermination de la CMF. Un volume déterminé est prélevé de chaque tube et est transféré dans des boîtes de Pétri contenant le milieu Sabouraud. Les boîtes sont portées à l'étuve pour une incubation à 25 C° pendant 48H pour les levures et 5 à 7 jours pour les champignons. Les essais sont répétés trois fois. La CMF correspondra à la boîte qui renferme un nombre de colonies inférieur à 3 ou une absence totale de la croissance microbienne (**Mahoros et al., 2005**).

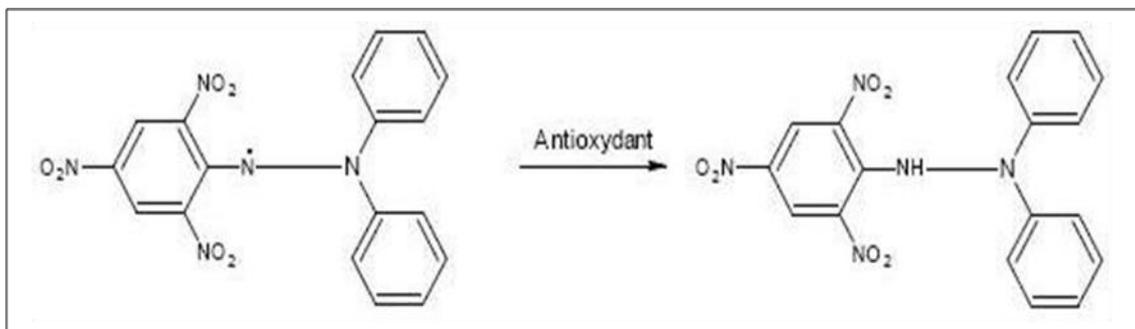
#### IV.2.3.2. Etude de l'activité antioxydante

##### IV.2.3.2.1. Test du DPPH

- **Principe**

Ce test est basé sur la réduction d'un radical libre très stable appelé le 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH) en présence d'un antioxydant donneur. Ce dernier est réduit à la forme d'hydrazine (non radical) en acceptant un atome d'hydrogène. Cette réaction peut être suivie par spectrophotométrie, en mesurant la diminution de l'absorbance à 517 nm (**Burit et Bucar, 2000**).

Le DPPH est initialement violet, il vire au jaune lorsque l'électron célibataire s'apparie (**Figure n°18**). Ce changement de couleur est représentatif de la capacité de l'agent antioxydant testé, à piéger ces radicaux libres indépendamment de toutes activités enzymatiques (**Molyneux, 2004**).



**Figure n°18 : Réduction du radical libre DPPH (Molyneux, 2004)**

- **Mode opératoire**

Un volume de 100 µl de chacune des solutions éthanoliques d'huile essentielle à tester, préparées à différentes concentrations, est mélangé avec 2.9 ml d'une solution d'éthanol de DPPH° de 0,004% (p/v). Après 30 min d'incubation à l'obscurité et à température ambiante, l'absorbance est mesurée à 517 nm par spectrophotomètre UV-Visible. La même procédure est effectuée pour l'acide ascorbique (antioxydant de référence). Un contrôle négatif composé de 100 µl d'éthanol et de 2.9 ml de la solution de DPPH° est également préparé (**Archana et al., 2005**).

- **Expression des résultats**

L'activité antiradicalaire est exprimée en pourcentage de réduction de la solution de DPPH°. Le pouvoir de réduction est déterminé en appliquant la formule suivante (**Dung et al., 2008**) :

$$PR = (A_C - A_E) / A_C \times 100$$

**PR** : pouvoir de réduction exprimé en pourcentage (%) ;

**A<sub>E</sub>** : absorbance de la solution de DPPH° en présence de l'huile essentielle ou de l'acide ascorbique ;

**A<sub>C</sub>** : absorbance de la solution de DPPH° en absence de l'huile essentielle et de l'acide Ascorbique.

- **Calcul de la CE<sub>50</sub>**

La CE<sub>50</sub> est définie comme étant la concentration de l'huile essentielle qui cause la perte de 50% de l'activité de DPPH. Elle est calculée graphiquement par la régression linéaire du graphe tracé, où l'abscisse est représentée par la concentration des échantillons testés, et l'ordonnée par le pouvoir de réduction en pourcentage (**Mensor *et al.*, 2001 ; Molyneux, 2004**).

# **Chapitre V**

## **Résultats et discussion**

Dans ce chapitre, nous rassemblons et discutons les résultats obtenus par quelques travaux antérieurs, réalisés sur l'huile essentielle de *Cuminum cyminum*. La première partie concerne la caractérisation organoleptique, le rendement et la composition chimique de l'huile, tandis que la deuxième partie porte sur la valorisation de deux de ses activités biologiques, à savoir, l'activité antifongique et antioxydante.

## V.1. Etude analytique de l'huile essentielle de *Cuminum cyminum* L.

### V.1.1. Caractéristiques organoleptiques

Nous rassemblons dans le **tableau n°05** les propriétés organoleptiques de l'huile essentielle de *Cuminum cyminum* L. obtenues par quatre travaux en comparaison avec le norme **AFNOR (1988)**.

**Tableau n°05 : Caractéristiques organoleptiques de l'huile essentielle de *Cuminum cyminum***

| Zone de collecte | Aspect          | Couleur                   | Odeur                                       | Références                           |
|------------------|-----------------|---------------------------|---|--------------------------------------|
| /                | Liquide mobile  | Jaune ambré à jaune foncé | Odeur caractéristique, grasse, aromatique   | <b>AFNOR (1988)</b>                  |
| Oued Souf        | Limpide         | Jaune pâle                | Odeur puissante et épicée                   | <b>Abbas et Maouche (2019)</b>       |
| Blida            | Liquide huileux | Jaune claire              | Odeur anisée                                | <b>Bouchachia et Aneur. (2019)</b>   |
| Boumerdès        | Liquide         | Jaune                     | Odeur caractéristique épicée très forte     | <b>Dridi (2005)</b>                  |
| Mascara          | Liquide         | Jaune foncé               | Odeur caractéristique, aromatique et épicée | <b>Moumen Chentouf et al. (2016)</b> |

La majorité des travaux mentionnés dans le **tableau n°05** rapporte que l'huile essentielle de cumin est d'un aspect liquide et d'une odeur épicée forte, ce qui est en accord avec les normes établies par **AFNOR**. **Bouchachia et Aneur (2019)** ont indiqué que l'aspect était non seulement liquide mais aussi huileux et ont noté, à la différence des autres études, que l'odeur est anisée. **Abbas et Maouche (2019)** ont par ailleurs décrit que l'aspect était limpide. En ce qui concerne la couleur, l'intervalle de variation établi par **AFNOR** a permis de constater que les travaux entraînent

dans les normes. La couleur va du jaune pâle ou clair (Abbas et Maouche, 2019 ; Bouchachia et Ameer, 2019), au jaune (Dridi, 2005), voire au jaune foncé (Moumen Chentouf, 2016).

L'aspect d'une huile essentielle dépend des composés qui la constituent, il peut paraître sous forme liquide, solide ou bien semi-solide, et est lié au pouvoir de dissolution de la matière végétal. La couleur dépend également de la composition de l'huile. Certains solvants ont le pouvoir d'extraire des pigments, ce qui intensifie la couleur et permet de la faire varier (Tahari et Saadou, 2015). L'odeur appartient aux sens chimiques les plus sensibles, de plus, d'après la nature du système olfactif, une substance pour être sentie doit être volatile. En générale, l'odeur de l'huile essentielle du cumin est dominante fraîche et épicée, elle est attribuée à la présence de :  $\gamma$ -terpinène, *p*-cymène et  $\beta$ -pinène (Jirovetz *et al.*, 2005 ; Tahari et Saadou, 2015).

### V.1.2. Rendement

Le tableau n°06 illustre les rendements moyens en huile essentielle de *Cuminum cyminum* L., extraites par la technique d'hydrodistillation dans six différentes régions d'Algérie et quatre autres pays.

**Tableau n°06 : Rendements en huile essentielle de *Cuminum cyminum***

|   | Zone de récolte | Rendement en % | Références                                 |
|---|-----------------|----------------|--|
| <b>Huile essentielle de <i>Cuminum cyminum</i> L. en Algérie</b>    | Blida           | 2,15           | <b>Bouchachia et Ameer (2019)</b>          |
|   | Boumerdès       | 2,25           | <b>Dridi (2005)</b>                        |
|   | Oued Souf       | 1,67           | <b>Abbas et Maouche (2019)</b>             |
|   | Ouargla         | <b>3,66</b>    | <b>Yaacoub et Tlidjane (2018)</b>          |
|   | Biskra          | 1,89           | <b>Bachir (2019)</b>                       |
|   | Tizi-Ouzou      | 0,41           | <b>Amokrane et Mokrani (2019)</b>          |
| <b>Huile essentielle de <i>Cuminum cyminum</i> L. dans le monde</b> | Bulgarie        | <b>5,3</b>     | <b>Jirovetz <i>et al.</i> (2005)</b>       |
|   | Chine           | 3,8            | <b>Rong et Zi-Tao (2004)</b>               |
|   | Inde            | 2,0            | <b>Wang <i>et al.</i> (2009)</b>           |
|   | Tunisie         | 1,6            | <b>Bettaieb Rebey <i>et al.</i> (2012)</b> |

Le **tableau n°06** montre que les rendements obtenus par le cumin provenant de différentes régions d'Algérie varient entre 0,41% et 3,66%. La plus faible valeur correspond à celle de l'espèce originaire de Tizi-Ouzou, tandis que la plus grande valeur correspond à celle de Ouargla, elle est suivie par les rendements de la région de Boumerdès et de Blida (2,27% et 2,15%, respectivement), puis celui de Biskra (1,89%) et de Oued Souf (1,67%).

En dehors de l'Algérie, le plus grand rendement est obtenu par la plante originaire de Bulgarie (5,3%), suivi par celui de la Chine (3,8%), tandis que le plus faible est celui de la Tunisie (1,6%). Nous constatons par comparaison que le plus grand rendement obtenu en Algérie (Ouargla : 3,66%) est presque similaire à celui de la Chine (3.8%) mais reste nettement inférieur à celui obtenu en Bulgarie (5,3%).

Ces variations de rendements en huile essentielle de *Cuminum cyminum* sont probablement liées à différents facteurs intrinsèques et extrinsèques tels que, le génotype de la plante, la période de récolte et la manière de séchage de l'espèce végétale, le climat, la région et la nature du sol, la méthode et la durée d'extraction de l'huile essentielle (Naili, 2013).

### V.1.3. Composition chimique

La composition chimique de l'huile essentielle de l'espèce *Cuminum cyminum* L. originaire d'Algérie et de deux autres pays, à savoir, l'Iran et l'Inde, a été obtenue après analyse par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-SM). Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous (**tableau n°07**).

**Tableau n°07 : La composition chimique de l'huile essentielle de *Cuminum cyminum* L.**

| Composés \ Régions  | Algérie<br>(Abbas et Maouche,<br>2019) | Iran<br>(Gachkar <i>et al.</i> ,<br>2007) | Inde<br>(Mohammed Ali<br><i>et al.</i> , 2014) |
|---------------------|--|---|--|
| $\alpha$ -thujène   | /                                      | 0.3                                       | /  |
| $\alpha$ -pinène    | /                                      | <b>29.1</b>                               | <b>1.78</b>                                    |
| Sabinène            | /                                      | 0.6                                       | 0.14   |
| Myrcène             | /                                      | 0.2                                       | /  |
| $\delta$ -3-carène  | /                                      | 0.2                                       | /  |
| <i>p</i> -cymène    | /                                      | 0.3                                       | <b>15.87</b>                                   |
| Limonène            | /                                      | <b>21.5</b>                               | 0.72   |
| 1,8-cinéole         | /                                      | <b>17.9</b>                               | /  |
| (E)-ocimène         | /                                      | 0,1                                       | /  |
| $\gamma$ -terpinène | <b>17.01</b>                           | 0,6                                       | <b>23.22</b>                                   |
| Terpinolène         | /                                      | 0.3                                       | /  |
| Linalol             | /                                      | <b>10.4</b>                               | 0.03   |

| Régions<br>Composés                    | Algérie<br>(Abbas et Maouche,<br>2019) | Iran<br>(Gachkar <i>et al.</i> ,<br>2007) | Inde<br>(Mohammed Ali<br><i>et al.</i> , 2014) |
|--|--|---|--|
| $\alpha$ -campholéol                   | /                                      | 0,03                                      | /  |
| <i>trans</i> -pinocarvéole             | /                                      | 0,07                                      | 0,19   |
| $\delta$ -terpinéol                    | /                                      | 0,09                                      | /  |
| Terpinène-4-ol                         | 0.17                                   | 0,5                                       | /  |
| $\alpha$ -terpinéol                    | /                                      | <b>3,17</b>                               | 0,23   |
| <i>trans</i> -carvéole                 | /                                      | 0,4                                       | /  |
| <i>cis</i> -carvéole                   | /                                      | 0,07                                      | /  |
| Géranol                                | /                                      | <b>1,1</b>                                | /  |
| Linalyl acetate                        | /                                      | <b>4,8</b>                                | /  |
| Méthyl géranate                        | /                                      | 0,2                                       | /  |
| $\alpha$ -terpinyl acetate             | /                                      | <b>1,3</b>                                | /  |
| Neryl acetate                          | /                                      | 0,09                                      | /  |
| Méthyle eugénol                        | /                                      | <b>1,6</b>                                | /  |
| $\beta$ -caryophyllène                 | /                                      | 0,2                                       | /  |
| $\alpha$ -humulène                     | /                                      | 0,2                                       | /  |
| Spathulenol                            | /                                      | 0,07                                      | /  |
| Caryophyllène epoxide                  | /                                      | 0,1                                       | /  |
| Humulène epoxide II                    | /                                      | 0,08                                      | /  |
| Acétocyclohexane dione (2)             | /                                      | 0,4                                       | /  |
| Isobutyl isobutyrate                   | /                                      | 0,8                                       | /  |
| $\beta$ -pinène                        | /                                      | /   | 0,07   |
| O-cymène-5-ol                          | /                                      | /   | 0,02   |
| <i>p</i> -cymène-3-ol                  | /                                      | /   | 0,01   |
| <i>p</i> -cymène-7-ol                  | /                                      | /   | 0,2  |
| Cuminaldéhyde                          | <b>53.31</b>                           | /   | 0,58   |
| $\alpha$ -terpinène                    | /                                      | /   | <b>1,24</b>                                    |
| 1-méthyl-4-isopropyl-3-cyclohexen-1-ol | /                                      | /   | 0,02   |
| <i>p</i> -menth-2-en-1-ol              | /                                      | /   | 0,80   |
| Thymol                                 | /                                      | /   | /  |
| $\beta$ -linalool                      | /                                      | /   | 0,03   |
| Thujol                                 | /                                      | /   | 0,02   |
| <i>cis</i> -limonène oxide             | /                                      | /   | 0,09   |
| Hexadécylène-oxide                     | /                                      | /   | 0,01   |
| Selina-3,7(11)-diène                   | /                                      | /   | 0,01   |
| <i>cis</i> -ocimène                    | /                                      | /   | 0,07   |
| $\beta$ -phéllandrène                  | /                                      | /   | 0,36   |
| $\alpha$ -phéllandrène                 | /                                      | /   | <b>12.01</b>                                   |
| Verbenène                              | /                                      | /   | 0,99   |
| Camphène                               | /                                      | /   | 0,45   |
| Acétate de cinnamyl                    | /                                      | /   | /  |
| Eugénol                                | /                                      | /   | /  |
| Terpinéol-4-ol                         | /                                      | /   | /  |

| Régions<br>Composés                                   | Algérie<br>(Abbas et Maouche,<br>2019) | Iran<br>(Gachkar <i>et al.</i> ,<br>2007) | Inde<br>(Mohammed Ali<br><i>et al.</i> , 2014) |
|---|--|---|--|
| 2-methyl-4-isopropyliden-<br>cyclopentan-1-a          | /                                      | /   | 0,45   |
| 2-norpinène   | /                                      | /   | 0.13   |
| (-)-4-terpinéol                                       | /                                      | /   | 0.45   |
| <i>trans</i> -dihydrocarvone<br>isomer                | /                                      | /   | 0.40   |
| <i>trans</i> -dihydrocarvone                          | /                                      | /   | <b>31.11</b>                                   |
| 1-methyl-4-isopropyl-3-<br>cyclohexen-1-ol            | /                                      | /   | 0.02   |
| Myrténal  | /                                      | /   | 0.11   |
| Myrtényl acétate                                      | /                                      | /   | 0.11   |
| Pin-2(10)-en-3-ol                                     | /                                      | /   | 0.12   |
| 2-isopropenyl-5-methyl-<br>hex-4-éнал                 | /                                      | /   | 0.022  |
| 1-(1,2,3-triméthyl-2-<br>cyclopenten1-yl) éthanone    | /                                      | /   | 0.15   |
| 4-isopropyl-1-cyclohexen-<br>1- carbaldéhyde          | /                                      | /   | 0,49   |
| (-)-R-carvone   | /                                      | /   | 0,06   |
| <i>trans</i> -pinocarvéol                             | /                                      | /   | 0,19   |
| <i>p</i> -menth-2-en-7-ol                             | /                                      | /   | <b>3,48</b>                                    |
| Carotol   | 0.08                                   | /   | /  |
| B-Bisabolène  | 0.02                                   | /   | /  |
| 4-épi-cubedol   | 0.02                                   | /   | /  |
| Acoradiène  | 0.11                                   | /   | /  |
| $\beta$ -cubebène                                     | 0.06                                   | /   | /  |
| <i>cis</i> - $\beta$ -farnesène                       | 0.10                                   | /   | /  |
| (Z.E)- $\alpha$ -farnesène                            | 0.03                                   | /   | /  |
| O-cymène  | <b>5.42</b>                            | /   | /  |
| 2-carene-10-al  | <b>21.42</b>                           | /   | 0.02   |
| <i>p</i> -mentha-1.4-dien-7-al                        | 0.76                                   | /   | /  |
| Safranal  | 0.12                                   | /   | /  |
| $\alpha$ -elemène                                     | 0.14                                   | /   | /  |
| <i>cis</i> -caryophyllène                             | 0.07                                   | /   | /  |
| Teresantalol  | /                                      | /   | <b>2,62</b>                                    |
| 4-isopropyl-cyclohex-1,3-<br>dien-1- yl) méthanol     | /                                      | /   | 0,28   |
| 8 $\alpha$ -methyl octahydro-<br>2(1H)- naphthalénone | /                                      | /   | 0,15   |
| 2-pinen-10-ol   | /                                      | /   | 0,04   |
| 2-isopropyl-5-methyl phénol                           | /                                      | /   | 0,01   |

| Régions<br>Composés                                 | Algérie<br>(Abbas et Maouche,<br>2019) | Iran<br>(Gachkar <i>et al.</i> ,<br>2007) | Inde<br>(Mohammed Ali<br><i>et al.</i> , 2014) |
|---|--|---|--|
| Karvaknol   | /                                      | /   | 0,04   |
| 3-isopropyl phénol                                  | /                                      | /   | 0,02   |
| 6-allyl-4,5-dimethoxy-1,3-benzodioxole              | /                                      | /   | 0,01   |
| (3,4-dimethyl-2-oxo-cyclopenten1-yl) acetic acid    | /                                      | /   | 0,01   |
| 2,2,8,8-tetramethyl decahydrocyclopropanal [d] naph | /                                      | /   | 0,01   |
| Total   | 98.7                                   | 95,9                                      | 99,372   |

D'après le **tableau n°07** nous remarquons que l'huile essentielle de *Cuminum cyminum* L. présente des variations dans sa composition chimique. En effet, celle de l'Algérie contient 16 composés, celle de l'Iran 32 composés, tandis que celle de l'Inde renferme 56 composés, représentant respectivement 98.7% (Abbas et Maouche, 2019), 95.9% (Gachkar *et al.*, 2007) et 99.372% (Mohammed Ali *et al.*, 2014) de l'huile totale.

Les composés majoritaires de l'huile du cumin algérien sont : cuminaldéhyde (53.31%), 2-carene-10-al (21.42%),  $\gamma$ -terpinène (17.01%) et O-cymène (5.42%) (Abbas et Maouche, 2019). Ceux du cumin iranien sont :  $\alpha$ -pinène (29.1%), limonène (21.5%), 1,8-cinéole (17.9%), linalol (10.4%), linalyl acétate (4.8%),  $\alpha$ -terpinéol (3.17%), méthyle eugénol (1.6%),  $\alpha$ -terpinyll acétate (1.3%) et géraniol (1.1%) (Gachkar *et al.*, 2007). Quant au cumin indien, les composés principaux sont : *trans*-dihydrocarvone (31.11%),  $\gamma$ -terpinène (23.22%), *p*-cymène (15.86%),  $\alpha$ -phéllandrène (12.01%), *p*-menth-2-en-7-ol (3.48%), teresantalol (2.62%),  $\alpha$ -pinène (1.78%) et  $\alpha$ -terpinène (1.24%) (Mohamed Ali *et al.*, 2014).

Selon Johri (2011), le cuminaldéhyde, les dérivés de menthane,  $\gamma$ -terpinène, *p*-cymène et  $\beta$ -pinène sont généralement les composés prédominants de nombreuses huiles essentielles de cumin et sont responsables de l'arôme et de la bioactivité. D'autres études le confirment, à l'exemple de Jirovetz *et al.* (2005) pour le cumin de Bulgarie (cuminaldéhyde (36%),  $\beta$ -pinène (19,3%), *p*-cymène (18,4%) et  $\gamma$ -terpinène (15,3%)), et de Hajlaoui *et al.* (2010) pour celui de la Tunisie (cuminaldéhyde (39,48%),  $\gamma$ -terpinène (15,21%), o-cymène (11,82%),  $\beta$ -pinène (11,13%).

Les différences dans la composition des huiles essentielles de l'espèce constatées dans le **tableau n°07** peuvent être dues à l'influence de plusieurs facteurs extrinsèques et intrinsèques à la plante comme les conditions de stockage, le climat (la température, l'humidité relative, la durée totale de l'ensoleillement et les vents) (Bruneton, 1999 ; Gyorgyi *et al.*, 2006), et la météorologie au moment de la récolte, la région et l'heure de la récolte (Laouer, 2004). De plus, le procédé et la durée de distillation, les procédés physiques ou chimiques utilisés lors de l'extraction et de l'analyse peuvent donner lieu à des transformations des constituants (Bruneton, 1999 ; Kofidis *et al.*, 2004).

## V.2. Evaluation de l'activité antifongique

L'étude de l'effet antifongique de l'huile essentielle de *Cuminum cyminum* L. sur quelques souches fongiques, est réalisée par la méthode d'aromatogramme et la méthode de détermination de concentration minimale inhibitrice. Les **tableaux n°08** et **09** rassemblent les résultats de l'aromatogramme et de CMI et CMF rapportés par quelques travaux antérieurs.

### V.2.1. Résultats de l'aromatogramme (méthode de diffusion sur milieu gélosé)

Nous rassemblons dans le **tableau n°08** les résultats d'aromatogramme de cinq études contre sept souches fongiques, plus précisément, trois espèces du genre *Candida*, trois autres du genre *Aspergillus* et une espèce du genre *Saccharomyces*.

**Tableau n° 08 : Résultats de l'activité antifongique de l'huile essentielle de *Cuminum cyminum* L. exprimés par le diamètre de la zone d'inhibition en millimètres**

| Souches fongiques               | Diamètre de zone d'inhibition (mm) |                               |                               |                                   |                        |
|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
|                                 | Naeini <i>et al.</i> (2014)        | Jirovetz <i>et al.</i> (2005) | Hajlaoui <i>et al.</i> (2010) | Mohammed Ali <i>et al.</i> (2014) | Saber et Jameel (2020) |
| <i>Candida albicans</i>         | 37                                 | 19.1 ± 0.2                    | 17 ± 1                        | 11 ± 0.8                          | /                      |
| <i>Candida glabrata</i>         | <b>50</b>                          | /                             | <b>22.67 ± 0.58</b>           | /                                 | /                      |
| <i>Candida krusei</i>           | R                                  | /                             | <b>23 ± 1</b>                 | /                                 | /                      |
| <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | /                                  | 20.0 ± 0.5                    | 17.33 ± 0.58                  | <b>24 ± 0.6</b>                   | /                      |
| <i>Aspergillus niger</i>        | /                                  | <b>45.0 ± 0.5</b>             | /                             | <b>23 ± 1.1</b>                   | /                      |
| <i>Aspergillus fumigatus</i>    | /                                  | /                             | /                             | 19 ± 1.2                          | 20                     |
| <i>Aspergillus flavus</i>       | /                                  | /                             | /                             | /                                 | <b>45</b>              |

R : résistant ; / : non étudié

Le **tableau n°08** montre que les souches fongiques testées par l'huile essentielle de cumin ont une sensibilité variable d'une étude à l'autre. Selon **Ponce et al. (2003)**, les champignons sont classés en différentes catégories selon le diamètre de la zone d'inhibition de croissance obtenu :

$D < 8$  mm : Souches résistantes (-) ;

$9 \text{ mm} \leq D \leq 14$  mm : Souches sensibles (+) ;

$15 \text{ mm} \leq D \leq 19$  mm : Souches très sensibles (++) ;

$D \geq 20$  mm : Souches extrêmement sensibles (+++).

Nous notons d'après le tableau que l'huile essentielle de *C. cyminum* possède un pouvoir antifongique. Les sept souches mentionnées ont été rapportées, au moins par une étude, comme étant extrêmement sensibles (+++) ce qui veut dire que les diamètres des zones d'inhibition sont égaux à 20 mm ou supérieurs. Parmi ces dernières, celle s'étant montrée la plus sensible est *Candida glabrata* avec 50 mm de diamètre (**Naeini et al., 2014**), suivie d'*Aspergillus niger* et d'*A. flavus* avec le même diamètre, à savoir, 45 mm (**Jirovetz et al., 2005 ; Saber et Jameel, 2020**), vient en troisième position *Candida albicans* avec 37 mm de diamètre (**Naeini et al., 2014**). Les zones d'inhibition du reste des souches considérées comme (+++) varient entre 20 et 24 mm.

Si certaines de ces études ont rapportées que les souches étaient extrêmement sensibles envers l'huile de cumin, d'autres ont noté qu'elles l'étaient légèrement moins (diamètres des zones inférieurs à 20 mm (++) voire inférieurs à 14 mm (+)). C'est le cas de **Jirovetz et al. (2005)**, **Hajlaoui et al. (2010)** et **Mohammed Ali et al. (2014)** concernant *C. albicans* (19, 17 et 11 mm, respectivement), de **Hajlaoui et al. (2010)** concernant *Saccharomyces cerevisiae* (17.33 mm) et de **Mohammed Ali et al. (2014)** concernant *Aspergillus fumigatus* (19 mm). Par ailleurs, **Naeini et al. (2014)** a montré que *Candida krusei* était résistante à l'effet inhibiteur de l'huile essentielle contrairement à **Hajlaoui et al. (2010)**.

### V.2.2. Résultats de la CMI et de la CMF

Nous rassemblons dans le **tableau n°09** les résultats de CMI et CMF de quatre études contre sept souches fongiques, plus précisément, trois espèces du genre *Candida*, trois autres du genre *Aspergillus* et une espèce du genre *Saccharomyces*.

Les résultats indiquent que les valeurs de CMI vont de 0.004 à 1.5 mg/ml et que les valeurs de CMF vont de 0.019 à 2 mg/ml. Nous remarquons que l'huile essentielle des graines de *C. cyminum* a exercé, par comparaison, un effet antifongique plus important sur les levures que sur les champignons. En effet, pour *Candida albicans*, *C. glabrata*, *C. krusei* et de *Saccharomyces cerevisiae*, les valeurs de CMI et de CMF sont plus faibles que celles des champignons.

Les CMI varient entre 0.004 et 0.578 mg/ml et les CMF varient entre 0.019 et 1.156 mg/ml (Hajlaoui *et al.*, 2010 ; Naeini *et al.*, 2014), alors que pour *Aspergillus niger*, *A. fumigatus* et *A. flavus*, les CMI sont rangées de 1 à 1.5 mg/ml, et de CMF de 1 à 2 mg/ml (Khosravi *et al.*, 2011 ; Sharifzadeh *et al.*, 2015).

**Tableau n°09 : Résultats de l'activité antifongique de l'huile de *Cuminum cyminum* L. exprimés par CMI et CMF (mg/ml)**

| Souches fongiques               | Naeini <i>et al.</i> (2014) |       | Hajlaoui <i>et al.</i> (2010) |              | Khosravi <i>et al.</i> (2011) |     | Sharifzadeh <i>et al.</i> (2015) |      |
|---------------------------------|-----------------------------|-------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|-----|----------------------------------|------|
|                                 | CMI                         | CMF   | CMI                           | CMF          | CMI                           | CMF | CMI                              | CMF  |
| <i>Candida albicans</i>         | 0.578                       | 1.156 | <b>0.039</b>                  | <b>0.31</b>  | /                             | /   | /                                | /    |
| <i>Candida glabrata</i>         | 0.578                       | 1.156 | <b>0.009</b>                  | <b>0.019</b> | /                             | /   | /                                | /    |
| <i>Candida krusei</i>           | 0.289                       | 0.578 | <b>0.004</b>                  | <b>0.039</b> | /                             | /   | /                                | /    |
| <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | /                           | /     | <b>0.009</b>                  | <b>0.019</b> | /                             | /   | /                                | /    |
| <i>Aspergillus niger</i>        | /                           | /     | /                             | /            | /                             | /   | 1.5                              | 2.00 |
| <i>Aspergillus fumigatus</i>    | /                           | /     | /                             | /            | 1.5                           | 2   | 1.00                             | 1.50 |
| <i>Aspergillus flavus</i>       | /                           | /     | /                             | /            | 1.5                           | 3   | 1.25                             | 1.75 |

CMI : concentration minimale inhibitrice (en mg/ml) ; CMF : concentration minimale fongicide/ fongistatique (en mg/ml) ; / : non étudié

Le caractère fongistatique ou fongicide d'une huile essentielle est déterminé par le rapport CMF/CMI, lorsque le rapport est inférieur ou égal à 4, l'huile est dite fongicide, tandis que s'il est supérieur à 4, elle est dite fongistatique (Chebaibi *et al.*, 2016). A cet effet, nous avons calculé le rapport CMF/CMI par rapport aux résultats obtenus dans le **tableau n°05**, nous avons trouvé que les valeurs variaient entre 1 et 9.75. Nous constatons que l'huile de cumin est fongicide contre les sept souches fongiques testées selon les quatre travaux suscités, à l'exception, des résultats de **Hajlaoui *et al.* (2010)** concernant les deux souches *Candida albicans* et *C. krusei* où l'huile est fongistatique, avec des rapports respectifs de 7.95 et 9.75.

Il a ultérieurement été démontré que le l'huile essentielle des graines de cumin pouvait agir comme un puissant agent antifongique contre des espèces des genres *Candida* et *Saccharomyces*. En général, cela est lié aux diverses propriétés que les composants des huiles essentielles possèdent. Nous citons par exemple leur capacité à modifier les propriétés de la membrane cellulaire telles que la fluidité ou perméabilité et les autres fonctions membranaires (**Hammer et al., 2003**). Ce qui peut également affecter la réglementation et la fonction des enzymes liées à la membrane qui modifient la synthèse de nombreux composants polysaccharidiques de la paroi cellulaire ( $\beta$ -glucane, chitine et mannane) et altèrent la croissance cellulaire et la morphogénèse (**Sanchez et al., 2004**).

Chez *Cuminum cyminum*, le pouvoir antifongique pourrait être attribué aux composés majeurs, terpènes. Ces derniers sont capables d'inhiber la respiration des levures comme *Candida* en exerçant des effets néfastes sur les mitochondries, provoquant ainsi la mort de la cellule, ou des changements morphologiques (**Uribe et al., 1985**). Une étude réalisée par **Khosravi et al. (2011)** sur la sensibilité des espèces d'*Aspergillus* vis-à-vis de l'huile de cumin, a également montré que la perturbation des organites membraneux était principalement due aux terpènes. Ils sont responsables de la lyse des noyaux et des mitochondries, et de la désorganisation du contenu cytoplasmique.

### V.3. Evaluation de l'activité antioxydante

#### V.3.1. Résultats du test de DPPH

L'évaluation de l'activité antioxydante de l'huile essentielle de *Cuminum cyminum* L. par la méthode de piégeage du radical libre DPPH, a été réalisée par cinq travaux antérieurs. Les résultats sont exprimés par la concentration efficace 50 (CE<sub>50</sub>), et sont résumés dans le **tableau n°10**.

**Tableau n°10 : les valeurs des CE<sub>50</sub> de l'huile essentielle de *Cuminum cyminum* L. piégeant les radicaux libres DPPH**

| Références               | Hajlaoui et al. (2010) | Mékaoui et al. (2013) | Kedia et al. (2014) | Soltani et Djeghdali (2021) | Bessedik (2021) |
|--------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------|
| CE <sub>50</sub> (µg/ml) | 31                     | 242.4                 | 0.092               | 79.16                       | 318             |

Nous remarquons que les valeurs de CE<sub>50</sub> mentionnés ci-dessus (**tableau n°10**) varient entre 0.092 µg/ml et 318 µg/ml, la plus faible valeur correspond à l'étude de **Kedia et al. (2014)**, ce qui constitue le résultat le plus remarquable, se traduisant par une grande capacité de l'huile à neutraliser le radicale libre DPPH. **Hajlaoui et al. (2010)** a obtenu la deuxième plus faible valeur

qui est de 31  $\mu\text{g/ml}$ , celle-ci est nettement supérieure à la valeur précitée, mais reste significativement inférieure à celles rapportées par **Mékaoui *et al.* (2013)** et **Bessedik (2021)** qui dépassent les 200  $\mu\text{g/ml}$ .

La  $\text{CE}_{50}$  et la concentration requise pour la neutralisation et la stabilité de l'activité du radical libre DPPH de 50 % (**Bessedik, 2021**). Ces différences observées entre les résultats des différents travaux antérieurs peuvent être attribuées à la différence dans la concentration de DPPH• utilisée dans le test d'une part (**Sharma et Bhat, 2009**) et d'autre part, à l'influence de divers facteurs pouvant affecter la composition chimique de l'huile essentielle et par conséquent, sa capacité antioxydante, comme la variété, les conditions de croissance de la plante, les conditions du stockage de l'huile et les méthodes d'extraction pratiquées (**Mastelic *et al.*, 2008**). L'activité de piégeage des radicaux libres de l'huile essentielle de *C. cyminum* peut être due à la présence de composés phénoliques et/ou à l'effet synergique de l'ensemble de ses composés (**Sharififar *et al.*, 2007**).

# **Conclusion**

Le présent travail a pour objectif l'étude bibliographique de l'espèce *Cuminum cyminum* L., et plus précisément, de l'huile essentielle extraite de ses graines. Nous avons rassemblé, analysé et discuté les résultats rapportés par de nombreuses études antérieures portant particulièrement, sur la détermination de la teneur en huile essentielle, l'analyse de sa composition chimique et de ses différentes propriétés organoleptiques, mais aussi sur l'évaluation de ses activités antifongique et antioxydante.

Les travaux de recherche consultés rapportent que l'huile essentielle de *C. cyminum* est généralement liquide, jaune clair à jaune foncé et son odeur est caractéristique, forte et épicée. Son extraction par hydrodistillation a révélé des rendements allant de 0.41 à 3.66% en Algérie et de 1.6 à 5.3% à l'étranger. Les analyses de la composition chimique des huiles originaires d'Algérie, d'Iran et d'Inde, par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG - SM), ont permis d'identifier respectivement 16, 32 et 56 composés représentant par ordre 98.7% 95.9% et 99.37% du total de chaque huile. Parmi les composés majoritaires de ces huiles nous citons : cuminaldéhyde (55.31%), *trans*-dihydrocarvone (31.11%),  $\alpha$ -pinène (29.1%),  $\gamma$ -terpinène (17.01 et 23.22%), 2-carene-10-al (21.42%), limonène (21.5%), 1,8-cinéole (17.9%), *p*-cymène (15.87%),  $\alpha$ -phéllandrène (12.01%) et linalol (10.4%).

Les études antérieures basées sur la méthode d'aromatogramme et la détermination de la CMI et de la CMF, ont montré que l'huile de cumin possédait une activité antifongique puissante et variable vis-à-vis des sept souches testées. Les résultats les plus remarquables, obtenus par la première technique, concernent les souches suivantes : *C. glabrata*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus* et *Candida albicans* ; leurs diamètres de zones d'inhibition dépassent les 30 mm, ils sont respectivement notés à 50, 45, 45 et 37mm. Les valeurs de CMI varient entre 0.004 et 1.5 mg/ml, tandis que celles de la CMF varient entre 0.019 et 3 mg/ml. Les valeurs les plus basses et donc les meilleures correspondent à celles de *Saccharomyces cerevisiae*, en revanche, les plus élevées correspondent à *Aspergillus niger* pour la CMI et *Aspergillus flavus* pour la CMF.

L'évaluation de l'activité antioxydante réalisée par le test de DPPH nous a permis de constater que l'huile de cumin possédait un pouvoir antiradicalaire très important, la CE<sub>50</sub> la plus basse et donc la meilleure, a été rapportée comme étant égale à 0.092  $\mu$ g/ml tandis que la plus élevée a été enregistrée à 318  $\mu$ g/ml.

Les activités étudiées sont dues principalement aux composés majoritaires de l'huile essentielle de *Cuminum cyminum*. Les propriétés antifongiques sont dues aux terpènes, tandis que les propriétés antioxydantes sont dues aux composées phénoliques. Les composés minoritaires

peuvent également y contribuer par synergie avec les composés principaux. Divers facteurs biotiques et abiotiques comme la zone de récolte, les conditions de croissance de la plante, le stade végétatif, les conditions de stockage de l'huile, et les méthodes d'extraction pratiquées...etc, peuvent affecter la composition chimique de l'huile essentielle, ce qui peut par extension, influencer ses activités biologiques.

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances concernant l'huile essentielle de *Cuminum cyminum* mais aussi, de valoriser la plante grâce à plusieurs travaux. Ces derniers nous ont permis de constater et de démontrer que l'huile possède des pouvoirs antifongiques et antioxydant très importants. Ce travail n'est toutefois qu'une initiation à la recherche, il serait intéressant de le compléter par une étude pratique, il serait ainsi souhaitable de :

- Extraire l'huile essentielle de la plante par différentes méthodes et comparer les rendements obtenus ;
- Analyser la composition chimique de l'huile essentielle par CPG – SM ;
- Déterminer ses caractéristiques organoleptiques ;
- Évaluer les différentes activités biologiques de l'huile essentielle telles que l'activité antifongique, antibactérienne, antioxydante, anti-inflammatoire...etc;
- Étudier la toxicité de l'huile essentielle *in vitro* et *in vivo*.

**Références**

**bibliographiques**

- Abahri S, 2018**, Caractéristiques physicochimiques de trois huiles essentielles extraites par hydrodistillations de trois plantes aromatiques (cumin, canbelle de chine et la coriandre). *Mémoire de master, Université de Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, Algérie*, 85p
- Abbas M., Maouche R.N, 2019**, Etude chimique des huiles essentielles de *Cuminum cyminum* et *Cinnamomum zeylanicum*, test de synergisme antibactérien contre des microorganismes liés à l'alimentation. *Mémoire de master, Université de Blida 1, Algérie*, 96p
- Aćimović M., Kostadinović L, 2015**, *Apiaceae* seeds as functional food. *Journal of Agricultural*, **60**(03), 237-246p.
- Adams R.P, 2001**, Identification of essential oils components by gas Chromatography / quadrupole mass spectroscopy. *4<sup>th</sup> Ed, Allured Publ. Corp., Carol stream, IL*. 445p.
- AFNOR (Association Française de Normalisation), 1988**, Huiles essentielles, recueil des normes françaises. *3<sup>ème</sup> Edition AFNOR, Paris*.
- AFNOR (Association Française de Normalisation), 2000**, Recueil des normes françaises "huiles essentielles". Monographies relatives aux huiles essentielles. *AFNOR, Paris*
- Al-Snafi A.E, 2016**, The pharmacological activities of *Cuminum cyminum*. *A review, IOSR Journal of Pharmacy*, **6**(6), 46-65p
- Amokrane S., Mokrani H, 2019**, Extraction et analyse de deux huiles essentielles : le basilic (*Ocimum basilicum* Mill.) et le cumin (*Cuminum cyminum*) sur le développement de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Mémoire de master, Université de Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie*, 105p
- Angelucci F.L., Silva V.V., Dal Pizzol C., Spir L.G., Praes C.E.O., Maibach H, 2014**, Physiological effect of olfactory stimuli inhalation in humans: an overview. *International journal of cosmetic science*, **36**(2), 117-123p.
- Archana B., Dasgupta N., De B, 2005**, *In vitro* study of antioxidant activity of *Syzygium cumini* fruit. *Food Chemistry*, **90**(4), 727-733p.
- Arora A., Sairam R.K., Srivastava G.C, 2002**, Oxidative stress and antioxidative system in plants. *Current Science*, **82**(10), 1227-1238p
- Arpino P., Prévôt A., Serpinet J., Tranchant J., Vergnol A., Witier P, 1995**, Manuel pratique de chromatographie en phase gazeuse. *Edition Masson, Paris*, 700p.
- Bachir N, 2020**, Contribution à l'étude des propriétés des huiles essentielles extraites à partir des plantes médicinales utilisées contre l'anémie. *Mémoire de master, Université de Biskra*, 92p
- Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D., Idaomar M, 2008**, Biological effects of essential Oils. *Food and Chemical Toxicology*, **46**(2), 446-475p.
- Bardeau F, 2009**, Les huiles essentielles : Découvrir les bienfaits et les vertus d'une médecine ancestrale. *Lanore, Paris*, 315p

- Baser K.H.C., Buchbauer G, 2010**, Handbook of essential oils: Science, technology, and applications. *CRC Press, Taylor and Francis Group, LLC. Boca Raton. New York*, 994p
- Behera S., Nagarajan S., Rao L.J.M, 2004**, Microwave heating and conventional roasting of cumin seeds (*Cuminum cyminum* L.) and effect on chemical composition of volatiles. *Food Chem.* 87(1), 25-29p.
- Behr A., Seidensticker N, 2020**, Chemistry of renewables: *An Introduction. Springer Nature*, 349p
- Belaiche P, 1979**, Traité de phytothérapie et d'aromathérapie, Tome 1 : l'aromatogramme. *Ed, Maloine, Paris.*
- Benini C, 2007**, Contribution à l'étude de la diversification de la production des huiles essentielles aux Comores. *Mémoire d'ingénieur, Université Gembloux*, 109p
- Benjilali B, 2004**, Extraction des plantes aromatiques et médicinales cas particulier de l'entraînement à la vapeur d'eau et ses équipements. *Manuel pratique. Huiles essentielles : de la plante à la commercialisation*, 17-59p
- Bensaad H., Kammoun I., Zeghal KH. M., Ben amara I., Magné C., Hakim A, 2017**, Effets du selenium sur le stress oxydant au niveau des reins de rats traités par le tebuconazole effects of selenium on tebuconazole-induced nephrotoxicity in adult rats. *J.I. M. Sfax*, 27, 35 – 42p.
- Berger M, 2006**, Manipulations nutritionnelles du stress oxydant : état des connaissances. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 20(1), 48-53p.
- Bernadet M, 2000**, Phyto-aromathérapie pratique, plantes médicinales et huiles essentielles. Dictionnaire thérapeutique de 530 affections courantes. *Dangles, Toulouse, France*, 384p.
- Besombes C, 2008**, Contribution à l'étude des phénomènes d'extraction hydro-thermo-mécanique d'herbes aromatiques. Applications généralisées. *Thèse de doctorat, Université de La Rochelle, France*, 289p
- Bessah R et El-Hadi B, 2015**, La filière des huiles essentielles : état de l'art, impacts et enjeux socioéconomiques. *Revue des Energies Renouvelables*, 18(03), 513-528p
- Bessedik A, 2021**, Antibacterial and antioxidant activities of the essential oil of *Cuminum cyminum* seeds. *AGROFOR International Journal*, 6(1), 79-85p
- Bettaieb Rebey I., Bourgou S., Ben Slimane Debez I., Jabri Karoui I., Hamrouni Sellami I., Msaada K., Limam F., Marzouk B, 2012**, Effects of extraction solvents and provenances on phenolic contents and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. *Food and Bioprocess Technology*, 5(7), 2827-2836p
- Bonnefont-Rousselot D., Théron P., Delattre J, 2003**, Radicaux libres et anti-oxydants in biochimie pathologique : aspects moléculaires et cellulaires. *Médecine-sciences. Ed Flammarion, Paris*, 59-81p.

- Botineau M, 2010**, Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs. *Ed, Tec & Doc, Paris*, 1335p.
- Bouchachia R., Ameur S, 2019**, Valorisation via hémi-synthèse des huiles essentielles à chémotype aldéhyde. *Mémoire de master, Université de Blida 1, Algérie*, 74p.
- Boukhatem M. N., Ferhat M. A., Kameli A., Saidi F., Taibi H, 2014**, Potential application of thyme (*Thymus vulgaris* L.) essential oil as antibacterial drug in aromatherapy. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, **8**(4), 1418-1431p.
- Boukhobza F., Goetz P, 2014**, Phytothérapie en odontologie. *Editions CDP, Initiatives Santé, Amazon France*, 226p.
- Boyraz N., Özcan M, 2005**, Antifungal effect of some spice hydrosols. *Fitoterapia*, **76**(7-8), 661-665p
- Bruneton J, 1993**, Pharmacognosie, Phytochimie, plantes médicinales. *2<sup>ème</sup> édition, Tec & Doc, Lavoisier, Paris*, 915p
- Bruneton J, 1999**, Pharmacognosie : Phytochimie, plantes médicinales. *3<sup>ème</sup> édition, Tec & Doc. Lavoisier, Paris*, 1120p.
- Bruneton J, 2009**, Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. *4<sup>ème</sup> édition, Tec & Doc, Lavoisier, Paris*, 1292p
- Burits M., Bucar F, 2000**, Antioxidant activity of Nigella sativa essential oil. *Phytotherapy Research*, **14**, 323–328p.
- Caillet S., Lacroix M, 2007**, Les huiles essentielles : leurs propriétés antimicrobiennes et leurs applications potentielles en alimentaire. *INRS-Institut Armand-Frappier, (RESALA)*, 1- 8p.
- Canter P.H., Thomas H., Ernst E, 2005**, Bringing medicinal plants into cultivation: opportunities and challenges for biotechnology. *Trends in Biotechnology*, **23**(4),180–185p.
- Carette A.S, 2000**, La lavande et son huile essentielle. *Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France*, 100p.
- Cavalli J.F, 2002**, Caractérisation par CPG/IK, CPG/SM et RMN du carbone-13 d'huile essentielle de Madagascar. *Thèse de doctorat, Université de Corse, France*, 274p.
- Celikel N., Kavas G, 2007**, Antimicrobial properties of some essential Oils against some pathogenic microorganisms. *Czech journal of Food Sciences*, **26**(3), 174-181p.
- Chaintreau A., Joulain D., Marin C., Schmidt C.O., Vey M, 2003**, GC-MS quantitation of fragrance compounds suspected to cause skin reactions. 1. *Journal of agricultural and food chemistry*, **51**(22), 6398-6403p.
- Charpentier B., Hamon-Lorleac'h F., Harlay A., Huard A., Ridoux L., Chanselle S, 2008**, Guide du préparateur en pharmacie, *3<sup>ème</sup> édition, Elsevier Masson, Paris*, 1358p.

- Chaudhary N., Husain S.S., Ali M, 2014**, Chemical composition and antimicrobial activity of volatile oil of the seed of *Cuminum cyminum* L. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 3(7), 1428-1441p
- Chavassieux D, 2014**, Les huiles essentielles en protection des cultures ? Analyse et Enquêtes. *Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB)*.
- Chemat F., 2009**, Essential oils and aromas: Green extractions and Applications. *HKB Publishers, Dehradun, india*, 311p
- Chemat F., Zill-e-Huma et Khan M.K, 2011**, Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics sonochemistry*, 18(4), 812-835 p.
- Chenni M, 2016**, Etude comparative de la composition chimique et de l'activité biologique de l'huile essentielle des feuilles du basilic "*Ocimum basilicum* L." extraite par hydrodistillation et par micro-ondes. *Thèse de Doctorat, Université d'Oran I*, 185p
- Choudhary M.I., Afgan F., Aftab A., Zafar I.M., Betul D., Can K.B, 2000**, Antifungal activities and essential oil constituents of some spices from Pakistan. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 22(1), 60-65p
- Christensen L., Brandt K, 2006**, Bioactive polyacetylenes in food plants of the *Apiaceae* family: occurrence, bioactivity and analysis. *Journal of pharmaceutical and biomedical*, 41(3), 683-693p.
- Couecou B., Lapierre L, 2001**, Transformation des fruits exotiques en jus : description des process et optimisation des qualités. *Conférence Cirad flhor. Conservation et transformation des fruits : nouveaux enjeux, nouvelles techniques. France*, 62p
- Couic-Marinier F., Lobstein A, 2013**, Les huiles essentielles gagnent du terrain à l'officine. *Actualités pharmaceutiques*, 52(525), 18-21p.
- Couplan F, 2012**, les plantes et leurs noms : Histoires insolites. *Editions Quae, Amazone France*, 224p.
- Cox S.D., Mann C.M., Markham J.L., Bell H.C., Gustafson J.E., Warmington J.R., Wyllie S.G, 2000**, The mode of antimicrobial action of the essential oil of *Melaleuca alternifolia* (tea tree oil). *Journal of Applied Microbiology*, 88(1), 170-175p
- D'auria F.D., Tecca M., Strippoli V., Salvatore G., Battinelli L., Mazzanti G, 2005**, Antifungal activity of *Lavandula angustifolia* essential oil against *Candida albicans* yeast and mycelial form. *Medical mycology*, 43(5), 391-396p
- Deaton C.M., Marlin D.J, 2003**, Exercise-associated oxidative stress. *Clinical Techniques in Equine Practice*, 2(3), 278-291 p.
- Delattre J., Beaudoux J.L., Bonnefont-Rousselot D, 2005**, Radicaux libres et stress oxydant : Aspects biologiques et pathologiques. *Ed, Tec & Doc*, 87-108p

- Deroin T, 1988**, Biologie florale d'une Annonacées introduite en Côte D'Ivoire : *Cananga Odorata* (Lam.) Hook.f. & Thoms. *Bulletin du Musée National d'Histoire Naturelle*, **10**(4), 377-393p.
- Deschepper R, 2017**, Variabilité de la composition des huiles essentielles et intérêt de la notion de chémotype en aromathérapie. *Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille, France*, 172p
- Desmares C., Laurent A., Delerme C, 2008**, Recommandations relatives aux critères de qualité Des huiles essentielles. *AFSSAPS. Anatole, France*, 18p.
- Dethier M, 1996**, Contribution à l'étude des plantes aromatiques du Burundi. *Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, France*, 182p
- Diallo A, 2005**, Etude de la phytochimie et des activités biologiques de *Syzygium guineense* willd. (*Myrtaceae*). *Thèse de Doctorat, Université de Bamako, Mali*, 99p
- Djarri L., Medjroub K., Akkal S., Elomri A., Seguin E., Vérité P, 2006**, Composition of the essential oil of aerial parts of an endemic species of the *Apiaceae* of Algeria, *Daucus reboudii* coss. *Flavour and fragrance journal*, **21**(4), 647-649p.
- Doross Sonate J, 2002**, Composition chimique des huiles essentielles extraites des plantes aromatiques de la zone soudanienne du Burkina Faso : Valorisation. *Université de Ouagadougou*
- Dridi F, 2005**, Extraction et l'analyse de l'huile essentielle de cumin formulation d'une pommade décongestionnante. *Mémoire de magister, Université M'Hamed Bouguerra Boumerdes, Algérie*, 148p
- Duarte M.C., Figueira G.M., Sartoratto A., Rehder V.L., Delarmelina C, 2005**, Anti-Candida activity of Brazilian medicinal plants. *J Ethnopharmacol*, **97**(2), 305-311p
- Dung N.T., Kim J.M., Kang S.C, 2008**, Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and the ethanol extract of *Cleistocalyx operculatus* (Roxb.) Merr and Perry buds. *Food and Chemical Toxicology*, **46**(12), 3632-3639p.
- Duraffourd C., D'Hervicourt L., Lappraz J.C, 1990**, Cahiers de phytothérapie clinique. Examen de laboratoire galénique. Eléments thérapeutiques synergiques. *2<sup>ème</sup> édition Masson (Paris)*, 87 p
- Edris A.E., Shalaby A.S., Fadel H.M., Abdel-Wahad M.A, 2003**, Evaluation of a chemotype of spearmint (*Mentha spicata* L.) grown in Siwa oasis, Egypt. *European Food Research and Technology*, **218**(1), 47-78p.
- Ekoumou C, 2003**, Etude phytochimique et pharmacologique des 5 recettes traditionnelles utilisées dans le traitement des infections urinaires et de la cystite. *Thèse de doctorat. Université Du Bamako, Mali*. 158p.
- El Haib A, 2011**. Valorisation des terpènes naturels issus de plantes marocaines par transformations catalytiques. *Thèse de Doctorat, Université de Toulouse*, 158 p.

- El-Bahai M., Al-Hariru M., Yar T., Bamosa A, 2000**, Cardiac inotropic and hypertrophic effects of *Nigella sativa*. *Saudi Arabia University*, 1.2.3p
- Espritsanté**, (Consulté le 05 mars 2022), Esprit Santé. Disponible sur : (<https://www.espritsante.com>)
- Fakoor M.H., Rasooli I, 2008**, Pathogen control by antioxidative characteristics of *Cuminum cyminum* and *Rosmarinus officinalis* essential oils. *International Workshop on Medicinal and Aromatic Plants*, 786, 125-136p
- Fantino N.S, 1990**, Etude du polymorphisme d'une population de lavande (*Lavandula angustifolia* Mill.) - Détermination de critères précoces de sélection. *Thèse de doctorat, Université de La Rochelle, France*, 41-45p
- Fauchère J.L., Avril J.L, 2002**, Bactériologie générale et médicale. *Ellipses Editions, Paris*, 365 p
- Favier A, 2003**, Le stress oxydant : Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité chimique*, 14, 108- 115p
- Feng W., Zheng X, 2007**, Essential oils to control *Alternaria alternata* *in vitro* and *in vivo*. *Food Control*, 18(9), 1126-1130p.
- Fernandez X., Chemat F, 2012**, La chimie des huiles essentielles. *Editions Vuibert*, 288p.
- Figueredo G, 2007**, Étude chimique et statistique de la composition d'huiles essentielles d'origans (*Lamiaceae*) cultivés issus de graines d'origine méditerranéenne. *Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal*, 195p.
- Fillatre Y, 2011**, Produits phytosanitaires : Développement d'une méthode d'analyse multirésidus dans les huiles essentielles par couplage de la chromatographie liquide avec la Spectrométrie de masse en mode tandem. *Thèse de Doctorat, Université d'Angers. France*, 288p.
- Fischer N.H., Williamson G.B., Weidenhamer J.D., Richardson D.R, 1994**, In search of allelopathy in the Florida Scrub- the role of terpenoids. *Journal of Chemical Ecology*, 20(6),1355-1380p.
- Fisher K., Phillips C, 2008**, Potential antimicrobial uses of essential oils in food: is *Citrus* the answer? A review. *Trends in Food Science and Technology*, 19(3), 156-164p
- Franchomme P., Pénéol D, 2001**, L'aromathérapie exactement. Encyclopédie de l'utilisation thérapeutique des huiles essentielles. *Roger Jollois, Limoges*, 445p
- Furet A., Bellenot D, 2013**, Les huiles essentielles dans la protection des cultures : une voie en cours d'exploration. *Institut technique interprofessionnel des plantes médicinales, aromatiques et industrielles (ITEIPMAI)*.
- Futur-sciences**, (Consulté le 05 mars 2022), Futura planète. Disponible sur : (<https://www.futura-sciences.com>)

- Gachkar L., Yadegari D., Rezaei M.B., Taghizadeh M., Astaneh S.A., Rasooli I, 2007**, Chemical and biological characteristics of *Cuminum cyminum* and *Rosmarinus officinalis* essential oils. *Food chemistry*, **102**(3), 898-904p
- Ganou L, 1993**, Contribution à l'étude des mécanismes fondamentaux de l'hydrodistillation des huiles essentielles. *Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France*, 273p
- Garnero J, 1991**, Les huiles essentielles, leur obtention, leur composition, leur analyse et leur normalisation. *Ed, Encyclopédie des médecines naturelles, Paris, France*, 2-20p
- Georgetti S.R., Casagrande R., Di Mambro V.M., Azzolini Ana E.C.S., Fonseca Maria J.V, 2003**, Evaluation of the antioxidant activity of different flavonoids by the Chemiluminescence Methode. *AAPS Pharm Sci*, **5**(2),111-115p.
- Ghahreman A, 1994**, Iran chromophytes (systematic plant). *Tehran Université publication center, Tehran*, 211p
- Gilly G, 2005**, Les plantes aromatiques et huiles essentielles à Grasse : botanique, culture, chimie, production et marché, *Ed. L'Harmattan*, 102-105p.
- Hajlaoui H., Hedi Mighri H., Noumi E., Snoussi M., Trabelsi N., Ksouri R., Bakhrouf A, 2010**, Chemical composition and biological activities of Tunisian *Cuminum cyminum* L. essential oil: A high effectiveness against *Vibrio* spp. Strains. *Food and Chemical Toxicology* **48**(8-9), 2186–2192p
- Haleng J., Pincemail J., Defraigne J.O., Charlier C., Chapelle J.P, 2007**, Oxidative stress. *Revue médicale de Liège*, **62**(10), 628-638p.
- Hammer K.A., Carson C.F., Riley T.V, 2003**, Antifungal activity of the components of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil. *Journal of applied microbiology*, **95**(4), 853-60p.
- Hanif M.A., Al-Maskari M.Y., Al-Maskari A., Al-Shukaili A., Al-Maskari A.Y., Al-Sabahi J.N, 2011**, Essential oil composition, antimicrobial and antioxidant activities of unexplored Omani basil. *Journal of Medicinal Plants Research*, **5**(5), 751–757p.
- Hellal Z, 2001**, Contribution à l'étude des propriétés antibactériennes et antioxydantes de certaines huiles essentielles extraites des citrus. Application sur la sardine (*Sardina pilchardus*). *Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammer Tizi-Ouzou*. 78 p.
- Hemwimon S., Pavasant P., Shtiprux A, 2007**, Micronare assisted extraction of antioxidative anthroquinones from roots of *Morinda Citrifolia*. *Separation and purification Technology*, **54**, 44-50p
- Hernandez-Ochoa L.R, 2005**, Substitution de solvants et matières actives de synthèse par Combiné « Solvant/Actif » d'origine végétale. *Thèse de doctorat, Institut National Polytechniques de Toulouse. France*, 225p.
- Himed, 2011**, Evaluation de l'activité antioxydante des huiles essentielles de *Citrus limon* : Application à la margarine. *Mémoire de Magister. Université Mentouri Constantine, Algérie*, 91p.

- Houbaida M, 2008**, Le Maroc végétarien, 15<sup>ème</sup>-18<sup>ème</sup> siècles : histoire et biologie. *Edditif, Bourgogne-Casablanca*, 149p.
- Huang H.S., Chang L.H., Jong T.T., Nien Y.F., Chang C.M.J, 2006**, Supercritical carbon dioxide extraction of turmeric oil from *Curcuma longa* Linn. And purification of turmerones. *Separation and Purification Technology*, **47**(3), 119-125p
- Hubert R, 1992**, Epices et aromates. *Edition Tec & Doc, Lavoisier, France*. 339 p
- Hudaib M., Speroni E., Pietra A.M.D., Carvin V, 2002**, GC/MS evaluation of thyme (*Thymus vulgaris* L.) oil composition and variations during vegetative cycle. *J. pharmaceutical and Biomédical Analysis*, **29**(4), 691-700p
- Hulin V., Mathot A.G., Mafart P., Dufossé L, 1998**, Les propriétés antimicrobiennes des huiles essentielles et composés d'arômes. *Sciences des aliments*, **18**(6), 563-582p
- Ibn al-Awam Y.I.M, 2009**, Le livre de l'agriculture d'Ibn al-Awam. Tome 2, partie1. *Ed, A. Franck, Princeton University, Paris*, 293p
- Ibn al-Awam Y.I.M., Clément-Mullel J, 2000**, Le livre de l'agriculture. *Révisée, Actes Sud, Paris*, 1027p.
- Iranshahi M, 2012**, A review of volatile sulfur-containing compounds from terrestrial plants: biosynthesis, distribution and analytical methods. *Journal of Essential Oil Research*, **24**(4), 393-434p.
- Jaset Dongmo P.M., Tatsadjieu N.L., Tchinda Sonwa E., Kuate J., Amvam Zollo P.H., Menut C, 2008**, Antiradical potential and antifungal activities of essential oils of the leaves of *Citrus latifolia* against *Phaeoramularia angolensis*. *African Journal of Biotechnology*, **7**(22), 4045-4050p
- Jayaprakasha G.K., Negi P.S., Jena B.S., Rao L.J.M, 2007**, Antioxidant and antimutagenic activities of *Cinnamomum zeylanicum* fruit extracts. *Journal of Food composition and analysis*, **20**(3-4), 330-336p
- Jirovetz L., Buchbauer G., Albena S. Stoyanova A.S., Evgenii V. Georgiev E.V., Damianova S.T, 2005**, Composition, quality control and antimicrobial activity of the essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds from Bulgaria that had been stored for up to 36 years. *International Journal of Food Science and Technology*, **40**(3) 305-310p
- Joao C.F., Eaton P., Nascimeto H., Giao M.S., Ramos O.S., Belo L., Santos-Silva A., Pintado M.E., Malcata F.X, 2010**, Antioxidant activity of chitoooligosaccharides upon two biological systems: erythrocytes and bacteriophages. *Carbohydrate Polymers*, **79**(4), 1101-1106p
- Johri RK, 2011**, *Cuminum cyminum* and *Carum carvi*: an update. *Pharmacognosy Reviews*, **5**(9), 63-72p
- Jukie, M., Milos, M, 2005**, Catalytic oxidation and antioxidant properties of thyme essential oils (*Thymus vulgarae* L.). *Croatica chemical acta*, **78**(1), 105-110p.

- Kaloustian J., Hadji-Minaglou F, 2012,** La connaissance des huiles essentielles : qualilogie et aromathérapie : Entre science et tradition pour une application médicale raisonnée. *Illustrée, Springer Paris*, 210p.
- Kedia A., Prakash B., Mishra P.K., Dubey N.K, 2014,** Antifungal and antiaflatoxic properties of *Cuminum cyminum* (L.) seed essential oil and its efficacy as a preservative in stored commodities. *International Journal of Food Microbiology*, **168**, 1-7p
- Khosravi A.R., Minooeianhaghighi M.H., Shokri H., Emami S.A., Alavi S.M., Asili J, 2011,** The potential inhibitory effect of *Cuminum cyminum*, *Ziziphora clinopodioides* and *Nigella sativa* essential oils the growth of *Aspergillus fumigatus* and *Aspergillus flavus*. *Brazilian Journal of Microbiology*, **42**, 216-224p
- Koechlin-Ramonatxo C, 2006,** Oxygen, oxidative stress and antioxidant supplementation, or another way for nutrition in respiratory diseases. *Nutrition clinique et métabolisme*. **20**(4),165–177p.
- Kofidis G., Bosabalidis A., Kokkini S, 2004,** Seasonal variation of essential oils in a linalool-rich chemotype of *Mentha spicata* grown in Greece. *Journal of Essential Oil Research*, **16**(5), 469-472p
- Lagunez Rivera L, 2006,** Etude de l'extraction de métabolites secondaires de différentes matières végétales en réacteur chauffée par induction thermomagnétique directe. *Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France*, 335p
- Lakhdar L, 2015,** Evaluation de l'activité antibactérienne d'huiles essentielles marocaines sur *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* : étude *in vitro*. *Thèse de Doctorat, Université de Rabat, Maroc*, 183p.
- Lamamra M, 2018,** Activités biologiques et composition chimique des huiles essentielles d'*Ammiopsis aristidis* Coss. (Syn. *Daucus aristidis* Coss.) et d'*Achillea santolinoides* Lag. *Thèse de Doctorat, Université de Sétif, Algérie*,146p
- Laouer H, 2004,** Inventaire de la flore médicinale utilisée ans les régions de Sétif, de Béhaia, de M'sila et de Djelfa, composition et activité antimicrobienne des huiles essentielles d'*Ammoides pisilla* et de *Magydaris pastinacea*. *Thèse de doctorat d'état, Université de Sétif, Algérie*
- Laurent J, 2017,** Conseils et utilisations des huiles essentielles les plus courantes en Officine. *Thèse de Doctorat, Université de Toulouse III, France*, 225p
- Lis-Balchin M, 2002,** Lavender : the genus *Lavandula*. *CRC Press, London and New York*, 296p
- Lucchesi M.E, 2005,** Extraction sans solvant assistée par micro-ondes conception et application à l'extraction des huiles essentielles. *Thèse de Doctorat en Sciences, Université de la Réunion, France*, 146p
- Madhavi D.L., Deshpande S.S., Salunkhe D.K, 1996,** Food antioxidants, technological, toxicological, and health perspectives. *Marcel Dekker, Inc. New York*, 65p.

- Magder S, 2006**, Reactive oxygen species: Toxic molecules or spark of life? *Critical Care Med Journal*, **10**(1), 208-216 p.
- Mahmout Y, 1992**, Contribution à l'étude de quelques aromates et condiments utilisés au Tchad, *thèse doctorat, Université de Montpellier II*
- Maihebiau P, 1994**, La nouvelle aromathérapie : biochimie aromatique et influence psychosensorielle des odeurs. *Lausanne*. 635p.
- Mailhebiau P, 1989**, La nouvelle aromathérapie : caractérologie des essences et tempéraments humains. *Ed, Nouvelle Vie, Toulouse*, 372 p
- Mann C.M., Markham J.L, 1998**, A new method for determining the minimum inhibitory concentration of essential oils. *Journal of Applied Microbiology*, **84**, 838-544p.
- Martini M.C., Seiller M, 1999**, Actifs et additifs en cosmétologie. *Tec & Doc édition, Paris*, 656p.
- Mascret C, 2010**, La réglementation régissant les huiles essentielles. *Actualités Pharmaceutiques*, **49**(492), 54-56p
- Mastelic J., Politeo O., Jerkovic I, 2008**, Contribution to the analysis of the essential oil of *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don, determination of ester bonded acids and phenols. *Molecules*, **13**(4), 795-803p
- Mékaoui R., Benkaci-Ali F, 2013**, Composition chimique et l'activité antioxydant de l'huile volatile de grains du *Cuminum cyminum* isolé par vapo-distillation assisté par micro-ondes. *First seminar in engineering, Health and Analysis*
- Mensor L.L., Menezes F.S., Leitão G.G., Reis A.S., dos Santos T.C., Coube C.S., Leitão S.G., 2001**, Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. *Phytotherapy Research*, **15**(2), 127-130p.
- Milpied-Homsy B, 2009**, Progrès en dermato-allergologie : Bordeaux 2009. *John Libbey Eurotexte*, 391p.
- Minakshi D., Krishna A., Mukhopadhy R., Baran Benerjee A., Miro M., 2003**, Antimicrobial activity of *Cuminum cyminum* L. *Ars Pharmaceutica*, 257-269p.
- Mishara A.K., Dubey N.K, 1994**, Evaluation of some essential oils for their toxicity against fungi causing deterioration of stored food commodities. *Applied and environmental microbiology*, **60**(4), 1101-1105p.
- Mnayer D, 2014**, Eco-Extraction des huiles essentielles et des arômes alimentaires en vue d'une application comme agents antioxydants et antimicrobiens. *Thèse de doctorat, Université d'Avignon et des pays de Vaucluse. France*, 157p
- Mockute D., Bernotiene G., Judzentiene A, 2001**, The essential oil of *Origanum vulgare* L. Ssp. *Vulgare* growing wild in Vilnius district (*Lithuania*). *Phytochemistry*, **57**(1), 65-69p.

- Moller K., 2008**, La distillation à l'alambic, un art à la portée de tous. *Editorial UNICO*, 152 P.
- Molyneux P, 2004**, The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH), for estimating antioxidant activity. *Songklanakarim J. Sci. Technol*, **26**(2), 211-219p
- Moro-buronzo A, 2008**, Grand guide des huiles essentielles : santé beauté, bien être. *Hachette pratique*, 245 p.
- Muanda F.N, 2010**, Identification de polyphénols, évaluation de leur activité antioxydante et étude de leurs propriétés biologiques. *Thèse de Doctorat, Université de Lorraine*, 296 p.
- Multon J.L, 1982**, Conservation et stockage des grains et graines et produits dérivés : Céréales, oléagineux, aliments pour animaux. *Lavoisier Technique & Documentation, Paris, 1*, 576p.
- Naeini A., Jalayer Naderi N., Shokri H, 2014**, Analysis and in vitro anti-*Candida* antifungal activity of *Cuminum cyminum* and *Salvadora persica* herbs extracts against pathogenic *Candida* strains. *Journal de Mycologie Médicale*, **24**(1), 13-18p
- Naeini A., Ziglari T., Shokri H., Khosravi A.R, 2010**, Assessment of growth-inhibiting effect of some plant essential oils on different *Fusarium* isolates. *Journal de Mycologie Médicale*, **20**(3), 174-178p
- Naili N.E.P., kesraoui, 2013**, Activité antibactérienne du cumin velu *Ammodaucus leucotrichus*. *Mémoire de Master, en Botanique médicale et Cryptogamie*.
- Nait Achour K, 2012**, Etude de la composition chimique des essences de quatre espèces d'Eucalyptus poussant dans la région du Nord de Tizi- Ouzou. *Thèse de magistère, Université de Tizi-Ouzou, Algérie*, 123p.
- Neffati A, 2010**, Etude de la composition chimique et évaluation d'activités biologiques de l'huile essentielle d'une *Apiaceae* de Tunisie : *Pituranthos chloranthus*. *Thèse de Doctorat, Université de Caen, France*, 236p
- Nixon M., Mc Caw M, 2001**, The Complete distiller. *The Amphora Society, New Zealand*, 225p
- Novelli G.P, 1997**, Role of free radicals in septic shock. *Journal of Physiology and Pharmacology*, **48**(4), 517-527p.
- O'Riordan M.J., Wilkinson M.G, 2008**, A survey of the incidence and level of aflatoxin contamination in a range of imported spice preparations on the Irish retail market. *Food Chemistry*, **107**(4), 1429-1435p
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2013**, Stratégie de l'OMS pour la médecine traditionnelle pour 2014-2023. ISBN 978 92 4 250609 9, Genève, Suisse, 72p
- Oroojalian F., Kasra-Kermanshahi R., Azizi M., Bassami M.R, 2010**, Phytochemical composition of the essential oils from three *Apiaceae* species and their antibacterial effects on food-borne pathogens. *Food Chemistry*, **120**(3), 765-770p

- Ouis N, 2015**, Etude chimique et biologiques des huiles essentielles de coriandre, de fenouil et de persil. *Thèse de doctorat, Université d'Oran 1, Algérie*, 224p
- Mengal P., Behn D., Gil M.B., Monpon B,1993**, Parfums, Cosmétiques, Aromes, *114*, 66-67p.
- Paquereau J, 2016**, Au jardin des plantes de la Bible : botanique, symboles et usages. *Ed, CNPF-IDF, Paris*, 416p
- Paré J.R.J., Sigouin M., Lapointe J, 1990**, Extraction de produits naturels assistée par micro-ondes. *Brevet européen, EP 398798, Paris*, 204 p
- Pibiri M.C, 2005**, Assainissement microbiologique de l'air et des systèmes de ventilation au moyen d'huile essentielle. *Thèse de doctorat. Ecole Polytechniques Fédérale de Lausanne. France*, 159p
- Pincemail J., Bonjean K., Cayeux K., Defraigne, J.O, 2002**, Mécanismes physiologiques de la défense antioxydante. *Nutrition clinique et métabolisme. 16(4)*, 233-239p.
- Piochon M, 2008**, Etude des huiles essentielles d'espèces végétales de la flore Laurentienne : composition chimique, activités pharmacologiques et hémi-synthèse. *Mémoire de Master, Université du Quebec, Canada*, 200p
- Ponce A.G., Fritz R., Del Valle C., Roura S.I, 2003**, Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard. *Society of Food Science and Technoogy, 36(7)*, 679-684p
- Pourmortazavi S.M., Hajimirsadeghi S.S, 2007**, Supercritical fluid extraction in plant quantitation of fragrance compounds suspected to cause skin reactions. 1. *Journal of chromatography A, 1163*, 2-24p
- Quezel P., Santa S, 1963**, Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. *Tome II. C.N.R.S, Ed. Paris*, 565 p.
- Raza S.A., Rehman A., Adnan A., Qureshi F, 2009**, Comparison of antioxidant activity of Essential oil of *Centella asiatica* and *Butylated hydroxyanisole* in sunflower oil at ambient Conditions. *Biharean Biologiste, 3(1)*,71-75p.
- Richard F, 1992**, Manuel des corps gras. *Ed Lavoisier, Tec & Doc., Paris*, 1228-1242p.
- Richard H, 1992**, Epices et aromates. *Ed, Tec et Doc – Lavoisier, APRIA., Paris*, 340 p.
- Romagnoli C., Andreotti E., Maietti S., Mahendra R., Mares D, 2010**, Antifungal activity of essential oil from fruits of Indian *Cuminum cyminum*. *Pharmaceutical Biology, 48(7)*, 834-838p
- Rong L., Zi-Tao J, 2004**, Chemical composition of the essential oil of *Cuminum cyminum* L. from China. *Flavor and fragrance journal, 19(4)*, 311-313p
- Roux D, 2008**, Conseil en aromathérapie. *2<sup>ème</sup> Edition, pro-officia*, p187.

- Saber Ibrahim G., Jameel Kiki M, 2020**, Chemical composition, antifungal and antioxidant activity of some spice essential oils. *International journal of life science and pharma research*, **10**(1), 43-50p
- Sallé J.L., Pelletier J, 1991**, Les huiles essentielles : synthèse d'aromathérapie et introduction à la sympathicothérapie. *Ed, Frison-Roche*, 167p
- Sanchez M.E., Turina A., Garcia D.A., Nolan M.V., Perillo M.A, 2004**, Surface activity of thymol: implications for an eventual pharmacological activity. *Colloid Surface B Biointerfaces*, **34**(2), 77-86p
- Seu-Saberno M., Blakeway J, 1984**, La moussede chêne, une base de la parfumerie. *Pour la science, Edition Française de Scientific America*
- Sharififar F., Moshafi M.H., Mansouri S.H., Khodashenas M., Khoshnoodi M, 2007**, In vitro evaluation of antibacterial and antioxidant activities of the essential oil and methanol extract of endemic *Zataria multiflora* Boiss. *Food Control*, **18**(7), 800-805p
- Sharifzadeh A., Jebeli Javan A., Shokri H., Abbaszadeh S., Keykhosravy K, 2015**, Evaluation of antioxidant and antifungal properties of the traditional plants against foodborne fungal pathogens. *Journal de Mycologie Médicale*, **26**(1), 1-7p
- Sharma O.P., Bhat T.K, 2009**, DPPH antioxidant assay revisited. *Food chemistry*, **113**(4), 1202-1205p
- Sies H., Jones D.P, 2007**, Oxidative stress. In Fink G. *Encyclopaedia of stress. San Diego : Elsevier*, 45-48 p.
- Silou T., Malanda M., Loubaki L, 2004**, Optimisation de l'extraction de l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* grâce à un plan factoriel complet. *Journal of Food engineering*, **65**(2), 219-223 p
- Singh G., Maurya S., DeLampasona M.P, Catalan C.A.N, 2007**, A comparison of chemical, antioxidant and antimicrobial studies of cinnamon leaf and bark volatile oils, oleoresins and their constituents. *Food and Chemical Toxicology*. **45**(9), 1650-1661p
- Singh R., Shushni M.A.M., Belkheir A, 2011**, Antibacterial and antioxidant activities of *Mentha piperita* L. *Arabian Journal of Chemistry*, **8**, 322-328p
- Slimane Z, 2002**, Contribution l'évolution d'hé des écorces de fruits de certaine Rutacées
- Solene J, 2012**, La qualité des huiles essentielles et son influence sur leur efficacité et sur leur toxicité. *Thèse de doctorat, Université de Lorraine. France*, 142 p.
- Soltani S., Djeghdali A, 2021**, Evaluation de l'activité antioxydante de quelques huiles essentielles en vue de leur utilisation comme agent naturel conservateur et aromatique. *Mémoire Master, Université de M'sila*, 68p

- Soylu E.M., Kurt, S., Soylu S, 2010**, In vitro and in vivo antifungal activities of the essential oils of various plants against tomato grey mould disease agent *Botrytis cinerea*. *International Journal of Food Microbiology*, **143**(3), 183-189p
- Soylu E.M., Soylu S., Kurt S, 2006**, Antimicrobial activities of the essential oils of various plants against tomato late blight disease agent *Phytophthora infestans*. *Mycopathologia*. **161**(2), 119-128p
- Suppakul P., Miltz J., Sonneveld K., Bigger S.W, 2003**, Antimicrobial properties of basil and its possible application in food packaging. *J. Agric. Food Chem*, **51**(11), 3197-3207p
- Sylvie, C, 2003**, Les antifongiques dans le traitement des infections invasives. *Pharmactuel*, **36**(1), 25-41p
- Tahari B., Saadou Z, 2015**, Détermination des propriétés organoleptiques et physicochimiques des huiles essentielles : *Rosmarinus officinalis*, *Origanum majorana*, *Mentha pulegium* (Lamiacées). *Mémoire de Master, Université de Khemis-Miliana, Algérie*, 110p
- Tajkarimi M.M., Ibrahim S.A., Chiver D.O, 2010**, Antimicrobial herb and spice compounds in food. *Food control*, **21**(9),1199-1218p.
- Tchamdja K.M, 1995**, Etude de performance d'un extracteur artisanal pour la production d'essence de citronnelle. *Mémoire d'ingénieur des travaux biologiques, ESTBA, UB*, 9 P.
- Teuscher E., Anton R., Lobstein A, 2005**, Plantes aromatiques. Epices, aromates, condiments et huiles essentielles. *Ed, Tec & Doc*. Paris, 522p.
- Thompson J.D., Chalchat.J.C., Michet A., Linhart Y.B., Ehlers B, 2003**, Qualitative and quantitative variation in monoterpene co-occurrence and composition in the essential oil of *Thymus vulgaris* chemotypes. *Journal of Chemical Ecology*, **29**(4), 859-880p.
- Tremellen K, 2008**, Oxidative stress and male infertility a clinical perspective. *Human reproduction update*, **14**(3), 243-258p.
- Tuncturk R., Tuncturk M, 2006**, Effects of different phosphorus levels on the yield and quality components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, **2**(6), 336-340p
- Ultee A., Bennik M.H.J., Moezelaar R, 2002**, The phenolic hydroxyl group of carvacrol is essential for action against the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *Appl Environ Microbiol*, **68**(4), 1561-1568p
- Uribe S., Ramirez J., Pena A, 1985**, Effects of beta-pinene on yeast membrane functions. *Journal of bacteriology*, **161**(3), 1195-1200p
- Vangelder V, 2017**, L'aromathérapie dans la prise en charge des troubles de sante mineurs chez l'adulte a l'officine. *Thèse de doctorat. Université de Lille 2, France*.145p.
- Vansant G, 2004**, Radicaux libres et antioxydants : principes de base. *In Symposium « Antioxydants et alimentation » Institut Danone*.

- Varin S, 2017**, Ontogénèse et variations génétiques de l'architecte du système racinaire des mono et dicotylédones modèles. *Editions l'Harmattan, Paris, 250p.*
- Velioglu Y., Mazza G., Gao L., Oomah B.D, 1998**, Antioxydant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of agricultural and food chemistry*, **46**(10), 4113-4117p.
- Velluti A., Marín S., Gonzalez P., Ramos A.J, Sanchis V,2004**, Initial screening for inhibitory activity of essential oils on growth of *Fusarium verticillioides*, *F. proliferatum* and *F. graminearum* on maize-based agar media. *Food Microbiology*. **21**(6), 649-656p
- Vernon F., Richard H, 1976**, Quelques épices et aromates et leurs huiles essentielles. *APRIA*, **2**(10), 151-166 p
- Vican P, 2001**, Encyclopédie des plantes médicinales. *Larousse (Ed). Paris, 355p.*
- Vilela G.R., De Almeida G.S., D'Arce M.A.B.R., Moraes M.H.D., Britob J.O., Da Silva M.F.d.G.F., Silva S.C., De Stefano Piedade S.M., Calori-Domingues, M.A., Da Gloria E.M, 2009**, Activity of essential oil and its major compound, 1,8-cineole, from *Eucalyptus globulus* Labill. against the storage fungi *Aspergillus flavus* Link and *Aspergillus parasiticus* Speare. *Journal of Stored Products Research*. **45**(2), 108-111p.
- Viuda-Martos M., Ruiz-Navajas Y., Fernández-López J., Pérez-Álvarez J, 2008**, Antifungal activity of lemon (*Citrus lemon* L.), mandarin (*Citrus reticulata* L.), grapefruit (*Citrus paradisi* L.) and orange (*Citrus sinensis* L.) essential oils. *Food Control*, **19**(12), 1130-1138p.
- Voda K., Boh B., Vrtacnik M, 2004**, A quantitative structure-antifungal activity relationship study of oxygenated aromatic essential oil compounds using data structuring and PLS regression analysis. *Journal of Molecular Modeling*, **10**(1), 76-84p
- Vokou D., Kokkini S., Bessiere J.M, 1988**, *Origanum onites* (Lamiaceae) in Greece: Distribution, volatile oil yield, and composition. *Economic Botany*, **42**(3), 407-412p
- Wang R., Wang R., Yang B., 2009**, Extraction of essential oils from five cinnamon leaves and identification of their volatile compound compositions. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, **10**(2), 289-292p
- Wikipédia**, (Consulté le 05 mars 2022), Wikipédia. Disponible sur : (<https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Cumin>)
- Yaacoub R., Tlidjane I, 2018**, Caractérisation physico-chimiques et analyses biologiques de l'huile essentielle des grains de *Cuminum cyminum* L. et de *Foeniculum vulgare* Mill. extraite par hydrodistillation et CO<sub>2</sub> supercritique : Etude comparative. *Mémoire de master, Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi, Algérie*, 84p
- Zabka M., Pavela R., Slezakova L, 2009**, Antifungal effect of Pimenta dioica essential oil against dangerous pathogenic and toxinogenic fungi. *Industrial Crops and Products*, **30**(2), 250-253p.

- Zambonelli A., d'Aurelio A.Z., Bianchi A., Albasini A, 1996**, Effects of essential oils on phytopathogenic fungi in vitro. *Journal of Phytopathology*, **144**(9-10), 49-494p.
- Zhiri A, 2006**, Les huiles essentielles un pouvoir antimicrobien avéré. Nutra News Science, Nutrition, Prévention et santé. *Edité par la Fondation pour le libre choix*, **12**, 8p
- Zohary D., Hopf M, 2000**, Domestication of plants in the old world: the origin and spread of cultivated plants in west Asia, Europe and the Nile Valley. *3<sup>rd</sup> edition, Oxford University Press, Oxford, UK*, 206p

# **Annexes**

## Annexe I

### Milieux de culture

| Milieux                             | Composition des milieux de culture   |
|-------------------------------------|--|
| <b>Bouillon nutritif (BN) (g/l)</b> | Peptone.....10g<br>Extrait de viande..... 5g<br>Chlorure de sodium..... 5 g<br>Eau distillée.....1000 ml<br>pH = 7,3 ± 0,2   |
| <b>Gélose nutritive (GN) (g/l)</b>  | Peptone.....10 g<br>Extrait de viande.....3 g<br>Extrait de levure..... 3 g<br>Chlorure de sodium..... 5 g<br>Agar..... 18 g<br>Eau distillée..... 1000 ml<br>pH = 7,3 ± 0,2 |
| <b>Milieu Sabouraud</b>             | Eau distillée..... 1000 ml<br>Peptone.....10 g<br>Glucose..... 20 g<br>Agar-agar..... 15 g<br>pH = 6.3   |