

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Production végétale et agriculture durable

THEME

**Etude comparative de l'activité antifongique
de trois huiles essentielles et d'un traitement
antimycosique de synthèse
vis-à-vis de quelques dermatophytes**

Présenté par : M^{elle} TOUTAH Djazia

Jury :

Président : M^{elle} BOUTEBTOUB W.	MCB
Encadreur : M^{elle} ABDELLAOUI K.	MAA
Examineur : M^{me} TALEB-TOUDERT K.	MCB
Examineur : M^{me} TAIBI-HADJ YUCEF H.	MAA
Invitée : M^{me} HOUCHI-AID A.	MCB

Promotion : 2016-2017

Remerciements

*En premier lieu et avant tout je tiens à remercier **DIEU** le tous puissant qui ma donné le courage, la patience et la force de terminer ce travail.*

*Je tiens tout d'abord à remercier ma promotrice Melle **K. ABDELLAOUI**, qui a bien voulu m'encadrer pendant ce modeste projet et de m'avoir donné la chance de réaliser un travail dans un domaine que j'ai beaucoup apprécié et dans lequel j'ai beaucoup appris. Sans sa confiance et ses encouragements, le travail n'aurait jamais pu s'achever. Elle s'est d'autant plus investit, en me permettant d'acquérir une expérience unique dans le domaine des huiles essentielles. De plus, **K. ABDELLAOUI** m'a soutenu durant tout ce modeste travail par ses conseils et son optimisme, ce qui m'a fait vraiment plaisir de travailler avec elle.*

*Je remercie Melle **BOUTEBTOUB Wahiba**, de m'avoir faciliter le déroulement de mon mémoire et de m'avoir honoré en acceptant la présidence de ce jury de thèse*

*Je tiens à exprimer ma reconnaissance aux membres du jury, Mme **TALEB-TOUDERT K.**, Maître assistante B, UMMTO de Tizi-Ouzou, Mme **TAIBI-HADJ YUCEF H.**, Maître assistante A, UMMTO de Tizi-Ouzou, qui ont acceptés d'évaluer ce travail.*

*Et je remercie d'une façon toute particulière, Mme **HOUCHI-AID A.**, ex-responsable du master « Production végétale et agriculture durable » à l'UMMTO de Tizi-Ouzou. Je ne serais pas arrivé jusque là sans l'aide de Mme HOUCHI. Je la remercie pour la qualité de ses conseils, ses encouragements et sa disponibilité. Et je la remercie de m'avoir honoré en acceptant mon invitation.*

*La majorité de ce travail a été réalisé au laboratoire de physiologie végétale du département d'agronomie, un grand merci à l'ingénieur de ce laboratoire **Zohra** et à l'équipe de ce dernier pour leur disponibilité, pour l'accueil et les facilités qu'ils m'ont réservé au sein du laboratoire.*

Enfin, je voudrais remercier mes chers parents, mes sœurs et frères et ma belle sœur, qui ont survécu aux aléas d'une fille et d'une sœur préoccupé, sans leurs encouragements et soutiens je n'aurais pas arrivé à achever ce travail.

Merci à tous !

D.TOUTAH

Dédicaces

A mes chers parents de témoignage de mon affection

A mes sœurs, mes frères et ma belle sœur

A mes très chers neveux à leur tête mon adoré Nazim

A ma promotrice

A Fatima MEDJKANE

A tous mes enseignants qui m'ont donné leur savoir

A toute ma famille

A mes amies Radia et Ghania

Djazia

Liste des abréviations et symboles

% : pourcentage

Ø : diamètre

µl : microlitre

AFNOR : Association Française de Normalisation

AFssaps : Agence Française de sécurité sanitaire des produits de santé

C° : Degré Celcius

CMI : Concentration minimale inhibitrice

DL50 : Dose létale à 50%

DMSO : Diméthylsulfoxyde

H.E : Huile essentielle

HMPC : The Committee on Herbal Medicinal Products

jr : jr

jrs : jours

ml : millilitre

mm : millimètre

PDA : Patato Dextrose Agar

VIH : Virus de l'immunodéficience humaine

ZI : Zone d'inhibition

Liste des tableaux

Tableau 1 : Souches utilisées et leur classification.....	33
Tableau 2 : Zones d'inhibition en (mm) après 7 jours d'incubation.	42
Tableau 3 : Calcul du diamètre en (mm) de la zone d'inhibition (ZI) pour toutes les souches étudiées après 14 jours d'incubation à 27°C.	43
Tableau 4 : Activité fongicides et fongistatiques des huiles essentielles	48
Tableau 5 : CMI des traitements étudiés	50

Liste des figures

Figure 1 : Trichomes glandulaires sur la surface des feuilles de sauge (<i>Salvia officinalis</i>) : trichome pelleté (a), trichome capité (b)	5
Figure 2 : Exemples de structures de terpènes	6
Figure 3 : <i>Eucalyptus globulus</i> : arbre - tronc - fleurs et fruits	16
Figure 4 : Plante en floraison de <i>Marrubium vulgare</i>	19
Figure 5 : Plante en floraison de <i>Lavandula angustifolia</i>	21
Figure 6 : Glabre de la peau causée par <i>T. mentagrophytes</i>	24
Figure 7 : Teigne trichophytique	24
Figure 8 : Affections à <i>Trichophyton rubrum</i> : atteinte totale (a), Onychomycose provoquée par <i>T. rubrum</i> (b), Intertrigo interdigito plantaire causé par <i>T. rubrum</i> (c)	25
Figure 9 : Intertrigo candidosique causé par <i>C. albicans</i>	26
Figure 10 : Onychomycose causé par des moisissures	30
Figure 11 : Méthode des puits	35
Figure 12 : Protocole expérimental de la CMI	37
Figure 13 : Zones d'inhibition d' <i>A. niger</i> traité aux : (a) <i>E. globulus</i> , (b) <i>M. vulgare</i> , (c) nitrate d'éconazole, (d) DMSO	38
Figure 14 : Zones d'inhibition de <i>T. mentagrophytes</i> traité aux : (a) <i>L. angustifolia</i> , (b) <i>E. globulus</i> , (c) nitrate d'éconazole, (d) DMSO	38
Figure 15 : Zones d'inhibition de <i>T. rubrum</i> traité aux : (a) <i>L. angustifolia</i> , (b) <i>E. globulus</i> , (c) nitrate d'éconazole, (d) DMSO	39
Figure 16 : Zones d'inhibition de <i>Rhizopus</i> sp. traitées aux : (a) <i>L. angustifolia</i> , (b) <i>E. globulus</i> , (c) <i>M. vulgare</i> , (d) nitrate d'éconazole, (c) DMSO	39
Figure 17 : Zones d'inhibition de <i>C. albicans</i> . traitées aux : (a) <i>L. angustifolia</i> , (b) <i>E. globulus</i> , (c) <i>M. vulgare</i> , (d) nitrate d'éconazole, (c) DMSO	40
Figure 18 : Zones d'inhibition de <i>Rhodotorula</i> sp. traitées aux : (a) <i>L. angustifolia</i> , (b) <i>E. globulus</i> , (c) <i>M. vulgare</i> , (d) nitrate d'éconazole, (c) DMSO	40
Figure 19 : Zones d'inhibition (après 14 jrs) de <i>Rhizopus</i> sp. traitées aux : (a) <i>L. angustifolia</i> , (b) <i>E. globulus</i> , (c) <i>M. vulgare</i> , (d) nitrate d'éconazole, (c) DMSO	41

Figure 20 : Zones d'inhibition (après 14 jrs) de <i>C. albicans</i> traité aux : (a) <i>L.angustifolia</i> , (b) <i>E.globulus</i> , (c) <i>M. marrubium</i> , (d) nitrate d'éconazole, (c) DMSO.....	41
Figure 21 : Test fongitoxique pour <i>Rhodotorula sp.</i> : (a) <i>E. globulus</i> , (b) <i>M. vulgare</i> , (c) nitrate d'éconazole	49
Figure 22 : Activité fongitoxique vis-à-vis de <i>C albicans</i> : (a) <i>E. globulus</i> , (b) <i>M0 vulgare</i> , (c) nitrate d'éconazole	49
Figure 23 : Test fongitoxique vis-à-vis de <i>C. albicans</i> : (a) <i>E. globulus</i> , (b) nitrate d'éconazole.....	49
Figure 24 : CMI d' <i>E. globulus</i> pour <i>A. niger</i> : a=1 µl/ ml, b=2.5µl/ ml, c=5µl/ ml	51
Figure 25 : CMI de <i>M. vulgare</i> pour <i>A. niger</i>	51
Figure 26 : CMI de nitrate d'éconazole pour <i>A. niger</i>	51
Figure 27 : CMI d' <i>E. globulus</i> pour <i>T. mentagrophytes</i>	51
Figure 28 : CMI de <i>M. vulgare</i> pour <i>T. mentagrophytes</i>	52
Figure 29 : CMI de <i>M. vulgare</i> pour <i>T. mentagrophytes</i>	52
Figure 30 : CMI du nitrate d'éconazole pour <i>T. mentagrophytes</i>	52
Figure 31 : CMI d' <i>E. globulus</i> pour <i>T. rubrum</i>	52
Figure 32 : CMI de <i>M. vulgare</i> pour <i>T. rubrum</i>	53
Figure 33 : CMI du nitrate d'éconazole pour <i>T. rubrum</i>	53
Figure 34 : CMI de <i>M. vulgare</i> pour <i>Rhizopus sp</i>	53
Figure 35 : CMI du nitrate d'éconazole pour <i>Rhizopus sp</i>	53
Figure 36 : CMI d' <i>E. globulus</i> pour <i>C. albican</i>	s54
Figure 37 : CMI de <i>M. vulgare</i> pour <i>C. albicans</i>	54
Figure 38 : CMI du nitrate d'éconazole pour <i>C. albicans</i>	54
Figure 39 : CMI d' <i>E globulus</i> pour <i>Rhodotorula sp</i>	55
Figure 40 : CMI de <i>M. vulgare</i> pour <i>Rhodotorula sp</i>	55
Figure 41 : CMI du nitrate d'éconazole pour <i>Rhodotorula sp</i>	55

Sommaire

Introduction	1
---------------------------	----------

Partie I: Données bibliographiques

Chapitre 1. Métabolisme secondaire	
I.1. Métabolisme secondaire	3
I.2. Huiles essentielles	3
2.1. Définition des huiles essentielles.....	3
2.2. Répartition et localisation.....	4
2.3. Propriétés de la composition des huiles essentielles	5
2.3.1. Propriétés physiques	5
2.3.2. Propriétés chimiques	6
2.3.3. Notion de chémotype ou chimiotype	7
2.4. Facteurs de variabilité des huiles essentielles	7
2.4.1. Facteurs Intrinsèques	7
a) Facteur génotypique	7
b) Facteur structural.....	7
c) Facteur évolutif	8
2.4.2. Facteurs extrinsèques	8
a) Origine géographique, écologie et climat	8
b) Nature des sols et techniques culturales	8
c) Facteurs d'origine technologique.....	8
2.5. Techniques d'extraction des huiles essentielles.....	9
2.5.1. Enfleurage et Macération	9
2.5.2. Extraction par expression à froid.....	9
2.5.3. Extraction par distillation	9
2.5.4. Hydrodiffusion	10
2.5.5. Extraction par micro-onde.....	10
2.5.6. Extraction par solvant organique.....	10
2.5.7. Extraction par fluide à l'état supercritique	10
2.6. Propriétés des huiles essentielles.....	11
2.6.1. Propriétés antioxydantes.....	11

2.6.2. Propriétés insecticides	11
2.6.3. Propriétés antivirales	12
2.6.4. Propriétés antibactériennes.....	12
2.6.5. Propriétés antifongiques	13
2.7. Toxicité des huiles essentielles.....	13
2.8. Emploi des huiles essentielles	13
2.8.1. Applications en cosmétologie	13
2.8.2. Applications en santé et soins	14
2.8.3. Applications en industrie alimentaire.....	14
I.3. <i>Eucalyptus globulus</i>	15
3.1. Historique.....	15
3.2. Description botanique	15
3.3. Classification dans la systématique botanique.....	17
3.4. Composition de l'huile essentielle d' <i>Eucalyptus globulus</i>	17
3.5. Propriétés thérapeutiques d' <i>Eucalyptus globulus</i>	18
I.4. <i>Marrubium vulgare</i>	18
4.1. Historique	18
4.2. Classification dans la systématique botanique	18
4.3. Description botanique	19
4.4. Utilisation de la plante	19
I.5. <i>Lavandula angustifolia</i>	20
5.1. Historique	20
5.2. Classification dans la systématique botanique	20
5.3. Description botanique.....	20
5.4. Utilisation de la plante	21
Chapitre 2. Mycoses superficielles.....	22
1. Dermatophytes	22
1.1. Généralités	22
1.2. Origine des dermatophytes.....	23
1.2.1. Dermatophytes anthropophiles	23
1.2.2. Dermatophytes zoophiles	23
1.2.3. Dermatophytes géophiles	23
1.3. Répartition géographique	23

1.4.Epidemiologie et clinique de quelques dermatophytes	24
2. Levures	25
2.1.Définition	25
2.2.Exemples de levures.....	26
2.2.1. <i>Candida albicans</i>	26
2.2.2. Genre <i>Rhodotorula</i>	27
3. Moisissures	28
3.1.Définition	28
3.2. Exemples de moisissures	28
3.2.1.Mucorales	28
3.2.2. <i>Aspergillus</i>	28
4. Thérapeutique des mycoses superficielles.....	30

Partie II : Matériel et méthodes

2.1. Objectif du travail.....	31
2.2. Matériel utilisé	31
2.2.1. Matériel de laboratoire et consommable	31
2.2.2. Produits chimiques utilisés.....	31
2.2.3. Milieux de culture	32
2.2.4. Huiles essentielles	32
2.2.5. Souches de dermatophytes et levures.....	32
2.3. Méthodes utilisées	34
2.3.1. Préparation du milieu de culture	34
2.3.2. Mise en culture des dermatophytes	34
2.3.3. Etude de la sensibilité des champignons aux huiles essentielles	34
2.3.4. Méthodes quantitative	36

Partie III : Résultats et discussion

3.1. Résultats de l'étude de la sensibilité des champignons aux huiles essentielles	38
3.2. Résultats de la détermination de la nature de l'activité.....	47
3.3. Résultats de détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI).....	50
Discussion	56
Conclusion générale	59

Références bibliographiques

L'histoire des plantes aromatiques et médicinales est associée à l'évolution des civilisations. Dans toutes les régions du monde, l'histoire des peuples montre que ces plantes ont toujours occupé une place importante en médecine, dans la composition des parfums et dans les préparations culinaires (Janssen et *al.*, 1987, Bouzouita et *al.*, 2005). Toutefois, il aura fallu attendre le début du 20^{ème} siècle pour que les scientifiques commencent à s'intéresser aux propriétés antimicrobiennes des plantes aromatiques médicinales.

L'Algérie, un pays connu par ses ressources naturelles, dispose d'une flore singulièrement riche et variée. On compte environ 3000 espèces de plantes dont 15% endémique et appartenant à plusieurs familles botaniques (Gaussen, 1982).

La recherche de molécules bioactives d'origine naturelle constitue d'ailleurs un des axes prioritaires de l'industrie pharmaceutique algérienne mais également des médecins et des chimistes qui cherchent à mieux connaître le patrimoine des espèces spontanées utilisées en médecine traditionnelle (Djahra, 2014).

Récemment, beaucoup de chercheurs s'intéressent aux plantes médicinales pour leur richesse en antioxydants naturels à savoir les polyphénols, les flavonoides, les tanins, ... etc. qui possèdent des activités antimicrobiennes. De ce fait, l'exploitation de nouvelles molécules bioactives ayant des effets secondaires limités ou inexistantes depuis des sources naturelles et leur adoption comme une alternative thérapeutique aux molécules synthétiques sont devenues des objectifs prioritaires pour les recherches scientifiques et les industries alimentaires et pharmaceutiques.

Les plantes médicinales se révèlent souvent plus efficaces parce qu'elles associent plusieurs substances qui augmentent ou exténuent réciproquement leurs actions pharmacologiques spécifiques ; de plus, ces substances se trouvent dans un état physico-chimique particulier, elles se libèrent progressivement dans l'organisme, de sorte que l'effet thérapeutique se prolonge dans le temps (Dandreta, 1969).

La préoccupation des chercheurs aujourd'hui est de trouver des solutions alternatives pour traiter les mycoses superficielles qui sont dues aux infections microbiennes. Ces dernières restent des affections graves et leur fréquence a augmenté de façon considérable au cours des dernières années en raison principalement du nombre accru de patients diabétiques, immunodéprimés et d'interventions médicochirurgicales invasives (Hulin et *al.*, 2005).

En effet, les pathologies fongiques sont fréquentes et, bien que le traitement des mycoses cutanées bénéficie déjà des molécules antifongiques présentes sur le marché, se posent divers problèmes :

- ✓ les résistances sont de plus en plus nombreuses ;
- ✓ les récurrences également (il n'y a pas d'immunité vis-à-vis les champignons, mais plutôt une persistance d'un terrain qui demeure favorable aux mycoses) ;
- ✓ les effets secondaires de certains antimycosiques ;
- ✓ l'absence de traitements efficaces pour certaines pathologies comme les aspergilloses. Ceci sous des conditions d'humidité et de chaleurs qui constituent des facteurs favorisants.

Ces différentes difficultés ont suscité l'intérêt de nombreux chercheurs pour la recherche d'autres substances fongitoxiques pouvant être une réponse de traitement ou venir en complément des traitements actuels, d'où l'importance d'orienter les recherches vers de nouvelles voies et surtout vers les végétaux qui ont toujours constitué une source d'inspiration de nouveaux médicaments. Les plantes utilisées dans notre étude proviennent de la région de la Kabylie de Tizi-Ouzou.

Les huiles essentielles commencent à avoir beaucoup d'intérêts comme source potentielle de molécules naturelles bioactives. Elles font l'objet de multiples études pour leur éventuelle utilisation comme alternative dans le traitement des mycoses superficielles.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail qui a pour objectif d'extraire les composés de plantes aromatiques et étudier leur activité antifongique vis-à-vis de six souches : les dermatophytes, les levures et les moisissures qui ont été isolés à l'hôpital de Tizi Ouzou.

Dans le but d'évaluer cette activité antifongique, une étude comparative a été entreprise avec un médicament de synthèse.

Ce travail est structuré en trois parties importantes :

- La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique mettant l'accent sur deux chapitres : le premier chapitre est consacré à des généralités sur le métabolisme secondaire des plantes. Le second chapitre sera consacré à l'étude des mycoses.
- La deuxième partie illustre le matériel et les méthodes utilisés,
- Et une troisième partie illustre les résultats obtenus et enfin nous terminerons par une conclusion et des perspectives d'avenir.

Chapitre 1. Métabolisme secondaire

1. Métabolisme secondaire

Les métabolites secondaires constituent un ensemble de molécules qui ne sont pas strictement nécessaires à la survie d'une plante, d'une bactérie ou d'un champignon.

Il s'agit majoritairement de molécules de taille et de masses faibles comparées aux molécules du métabolisme primaire (glucides, lipides et acides aminés). Elles sont majoritairement à la source d'odeurs jouant le rôle à la fois de répulsif envers les prédateurs (concurrents écologiques) et d'attractif, de pigments permettant de capter le rayonnement solaire mais aussi de protéger la plante contre ce rayonnement.

Parmi les métabolites secondaires, les huiles essentielles (HE) sont les plus étudiées et présentent une grande importance commerciale. Il s'agit de mélanges naturels généralement dominés par des composés mono- ou sesquiterpéniques, plus rarement diterpéniques, et parfois par des phénylpropanoïdes.

Les HE trouvent des emplois dans des secteurs assez divers, principalement en parfumerie, en cosmétique et font aussi l'objet d'une consommation importante de la part de l'industrie agroalimentaire où elles sont appréciées pour leurs propriétés organoleptiques (Boughendjioua, 2015).

2. Huiles essentielles

2.1. Définition des huiles essentielles

Pour la 8^e édition de la Pharmacopée française (1965), les huiles essentielles (=essences ou huiles volatiles) étaient : « des produits de composition généralement assez complexe renfermant les principes volatils contenue dans les végétaux et plus ou moins modifiés au cours de la préparation. Pour extraire ces principes volatils, il existe divers procédés. Deux seulement sont utilisables pour la préparation des essences officinales : celui par distillation dans la vapeur d'eau de plantes à essence ou de certains de leurs organes, et celui par expression».

« Produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale 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 » (Afssaps, 2008).

Le terme « huile essentielle » a été conçu empiriquement. Le mot « huile » souligne le caractère visqueux et hydrophobe de ces substances; cependant, le mot «essentielle» se comprenant comme étant le caractère principal de la plante (Bernard et *al.*, 1988).

Contrairement à ce que le terme pourrait laisser penser, les huiles essentielles ne contiennent pas de corps gras comme les huiles végétales obtenues avec des pressoirs (huile de tournesol, de maïs, d'amande douce, etc.). Il s'agit de la sécrétion naturelle élaborée par le végétal et contenue dans les cellules de la plante, soit dans les fleurs (ylang-ylang, bergamotier, rosier), soit dans les sommités fleuries (tagète, lavande), soit dans les feuilles (citronnelle, eucalyptus), ou dans l'écorce (cannelier), ou dans les racines (vétiver), ou dans les fruits (vanillier), ou dans les graines (muscade) ou encore autre part dans la plante (Anton et Lobstein, 2005).

2.2. Répartition et localisation

C'est souvent chez les végétaux supérieurs qu'on rencontre les HE (Desmares et *al.*, 2008). Elles peuvent être stockées dans tous les organes végétaux : fleurs bien sûr (bergamotier, tubéreuse), mais aussi feuilles (citronnelle, eucalyptus, laurier noble) et, bien que cela soit moins habituel, dans des écorces (cannelier), des bois (bois de rose, santal), des racines (vétiver), des rhizomes (curcuma, gingembre), des fruits (toute-épice, anis, badiane), des graines (muscade). Si tous les organes d'une même espèce peuvent renfermer une huile essentielle, la composition de cette dernière peut varier selon sa localisation (Bruneton, 2009).

La teneur en HE d'un végétal varie selon l'espèce et elle est de l'ordre de 1% à 3 % : (géranium: 0,15-0,3%); (vétiver: 1-2,5%); (ylang-ylang: 1,6-2,0%); (rose de Provence: 0,007%). Il existe, cependant, quelques exceptions comme les clous de girofle (15-20%) ou la badiane de Chine (5%) (Smajda, 2009).

A noter que, pour une même espèce, la composition des essences peut varier d'un organe à un autre et suivant les conditions du milieu. En climat chaud, la teneur en huile essentielle est plutôt élevée (Boughnendjioua, 2015).

La synthèse et l'accumulation des huiles essentielles sont généralement associées à la présence de structure histologique spécialisées, souvent localisées sur ou à proximité de la surface de la plante : cellules à huiles essentielles des *Lauraceae* ou des *Zingiberaceae*, poils sécréteurs des *Lamiaceae*, poches sécrétrices des *Myrtaceae* ou des *Rutaceae*, canaux sécréteurs des *Apiaceae* ou des *Asteraceae* (Bruneton, 2009).

Chez les lamiacées, l'organe sécréteur majeur est le trichome glandulaire (figure 1) (Venkatachalam et *al.*, 1984). Deux types de trichomes sont décrits, les trichomes pelletés et

les trichomes capités, qui sont distingués l'un de l'autre par la structure et le mode de sécrétion. Le premier est formé d'une base cellulaire épidermique, un col cellulaire et une tête de 4-16 cellules. Dans les trichomes matures, la sécrétion est accumulée au large de l'espace sub-cuticulaire, qui forme au-dessus les cellules sécrétrices. Les trichomes capités sont très différents en forme (court, long, avec une tête unicellulaire ou pluricellulaire) (Maleci, 2006).

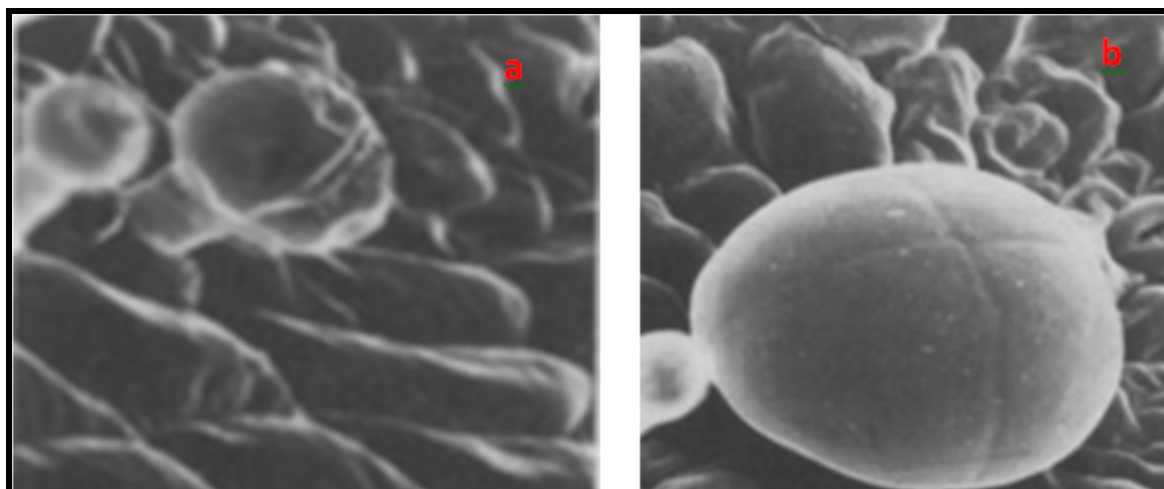


Figure 1. Trichomes glandulaires sur la surface des feuilles de sauge (*Salvia officinalis*) : trichome pelleté (a), trichome capité (b) (Venkatachalam et *al.*, 1984).

2.3. Propriétés de la composition des huiles essentielles

2.3.1. Propriétés physiques

- ✓ ce sont des liquides à la température ordinaire.
- ✓ volatiles, odorants.
- ✓ généralement incolores ou jaune pale.
- ✓ leur densité est le plus souvent inférieure à 1.
- ✓ leur indice de réfraction souvent élevé avec un pouvoir rotatoire.
- ✓ peu soluble dans l'eau, solubles dans l'alcool et solvant organique (Paris et Hurabielle, 1980).
- ✓ entraînant à la vapeur d'eau, elles sont très peu solubles dans l'eau. Elles le sont toutefois suffisamment pour communiquer à celle-ci une odeur. Cette eau est une « eau distillée florale ». Une préparation voisine est obtenue par mise en solution d'arômes dans l'eau purifiée : on parle alors « d'eau aromatisée florale » (Bruneton, 2009).

2.3.2. Propriétés chimiques

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes et éminemment variables de constituants qui appartiennent, de façon quasi exclusive, à deux groupes caractérisés par des origines biogénétiques distinctes : le groupe des terpénoïdes d'une part et le groupe des composés aromatiques dérivés du phénylpropane, beaucoup moins fréquents, d'autre part. Elles peuvent également renfermer divers produits issus de processus de dégradation mettant en jeu des constituants non volatils (Bruneton, 2009).

Il est observé que les HE lorsqu'elles sont produites dans différents organes de la même plante présentent des profils de composition chimique différentes (Balandrin *et al.*, 1985).

Les HE sont principalement composées des monoterpènes et sesquiterpènes avec la formule générale $(C_5H_8)_n$ (Bauer *et al.*, 2001). Les composés oxygénés dérivés de ces hydrocarbures comprennent les alcools, les aldéhydes, les esters, les éthers, les cétones, les phénols et les oxydes. Ces composants sont regroupés en composés majeurs et mineurs selon leurs pourcentages dans l'HE (Okoh, 2010). Les composés majeurs peuvent constituer jusqu'à 85 % de l'HE, alors que d'autres composés sont présents uniquement sous forme de trace (Senatore, 1996).

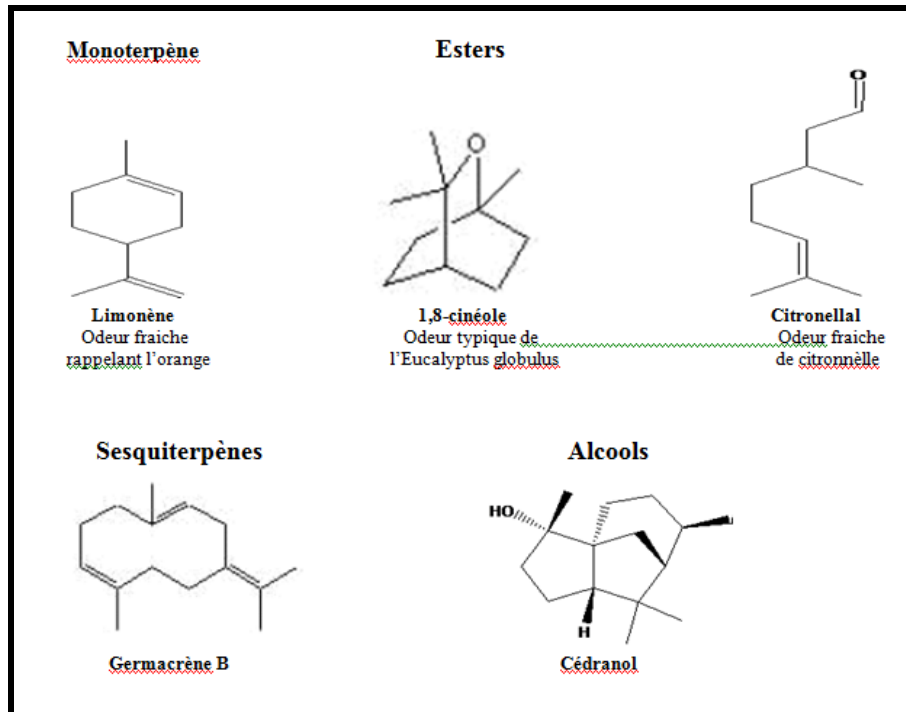


Figure 2. Exemples de structures de terpènes

2.3.3. Notion de chémotype ou chimiotype

Un même végétal peut sécréter des huiles essentielles biochimiquement différentes en fonction de son biotope (composition du sol, climat, ensoleillement). C'est pourquoi a été créée la notion de chémotype ou dit aussi chimiotype. C'est une forme de classification chimique, biologique et botanique définissant la molécule majoritairement présente dans une huile essentielle. Si on prend l'exemple du romarin dont on utilise la sommité fleurie, une même espèce peut donner des huiles essentielles différentes qui auront des propriétés différentes :

- ✓ *Rosmarinus officinalis* à camphre : propriétés anti-inflammatoires et action contre les contractures musculaires.
- ✓ *Rosmarinus officinalis* à cinéole : propriétés antiseptiques pulmonaires et mucolytiques.
- ✓ *Rosmarinus officinalis* à verbénone : propriétés cicatrisantes, cholagogues et hépatoprotectrices.

Il est donc important de savoir quel est le chémotype d'une huile essentielle avant de l'utiliser afin de connaître les propriétés et la toxicité (Koziol, 2015).

2.4. Facteurs de variabilité des huiles essentielles

La composition des HE d'une espèce donnée dépend de plusieurs facteurs d'origine intrinsèques (spécifiques de l'équipement génétique de la plante) et extrinsèques (liées aux conditions environnementales de la plante). Ces facteurs peuvent influencer à la fois et la quantité et la qualité des huiles produites. Le temps de récolte, l'humidité relative, la photopériode, la méthode d'extraction, la position de l'organe sur la plante (son emplacement), les techniques culture des plantes aromatiques si elles sont cultivées, la structure du sol et le climat font partie de ces facteurs (Panizzi et *al.*, 1993).

2.4.1. Facteurs Intrinsèques

a) Facteur génotypique : les variations de la composition des HE provenant d'un même phénotype se développant dans le même environnement sont l'expression de différences génotypiques. Elles peuvent être attribuées à des hybridations, à un polymorphisme génétique ou à des mutations (polyploïdies, aberration chromosomique).

b) Facteur structural : le potentiel et la composition de l'essence dépendent de l'organe. Ainsi la racine, l'écorce et les feuilles peuvent produire des HE différentes (Pingot, 1998). Ils dépendent également de la nature des glandes sécrétrices.

c) Facteur évolutif : la biosynthèse des principes odorants évolue lors de la maturation de la plante. Elle est prédominante pendant les périodes de forte croissance ou pendant celles correspondantes à des activités métaboliques intenses telles que la floraison et la fructification (Bernard *et al.*, 1988).

2.4.2. Facteurs extrinsèques

Les facteurs extrinsèques peuvent être de nature diverse comme :

a. Origine géographique, écologie et climat : les rendements des HE ainsi que leur composition diffèrent suivant l'origine géographique de la plante (El Abed et Kambouche, 2003).

Les caractéristiques écologiques exercent une influence directe sur la production et la quantité de l'essence (Dupont, 2000).

La durée d'exposition au soleil, la température nocturne et diurne, l'humidité, le régime du vent, la pluviométrie, ...etc, sont des paramètres responsables des modifications de la proportion de l'essence et de la composition chimique (Clarck et Menary, 1980).

b. Nature des sols et techniques culturales : la nature du sol (calcaire, siliceux, ...), les aspects culturaux comme la densité de culture, l'apport d'engrais, le nombre de récolte par an et l'alimentation en eau affecte d'une manière déterminante la qualité des HE et leur rendement (El Abed et Kambouche, 2003).

c. Facteurs d'origine technologique : le mode d'extraction d'une HE marque de son empreinte la composition chimique de celle-ci. En effet, l'hydrodistillation et la distillation par solvant volatil ne conduisent pas à la même quantité et qualité d'essence. La durée et la vitesse de distillation, ainsi que la masse du végétal à traiter ont une grande influence (Clark et Menary, 1984).

Selon Bruneton (1999), un changement très léger dans la durée de distillation peut entraîner des manques de 18 à 20% dans les constituants chimiques des huiles.

Lors de l'hydrodistillation d'une plante aromatique, l'eau, l'acidité et la température peuvent induire des réactions chimiques d'altération (hydrolyse, élimination, cyclisation, réarrangement et autres ...) sur les composés terpéniques thermosensible de l'essence (Morin *et al.*, 1985).

2.5. Techniques d'extraction des huiles essentielles

Parmi les paramètres qui influencent fortement la composition chimique des huiles, on retrouve la technique d'extraction. En effet, le choix d'une technique d'extraction approprié à une plante donnée reste une étape très importante puisqu'elle peut avoir des répercussions sur le rendement et sur la qualité de l'huile produite. Il existe plusieurs techniques d'extraction. Les plus importantes peuvent être résumées comme suit :

2.5.1. Enfleurage et Macération

Cette technique, la plus ancienne, très coûteuse et peu employée aujourd'hui. On l'emploie pour des fleurs sensibles, ne supportant pas un chauffage trop élevé, comme par exemple le jasmin, la violette et la rose. Les fleurs sont mises à macérer dans des graisses ou des huiles et chauffées (bain-marie ou soleil) et étalées sur des châssis en bois pendant plusieurs jours. Une fois gorgés de parfum, les corps gras sont filtrés au travers de tissus de lin ou de coton. Les huiles sont ensuite lavées à l'alcool pur, filtrées et évaporées (Bruneton, 1993 ; Sousa et *al.*, 2002 ; Adio, 2005).

2.5.2. Extraction par expression à froid

L'expression à froid est réservée à l'extraction des composés volatils dans les péricarpes. Il s'agit d'un traitement mécanique qui consiste à déchirer les péricarpes riches en cellules sécrétrices. L'essence libérée est recueillie par un courant d'eau, puis séparé par décantation (AFNOR, 1986).

2.5.3. Extraction par distillation

Selon Benjilali (2000), Il existe trois méthodes de distillation qui repose sur le principe d'entraînement des constituants volatils du matériel végétal par la vapeur d'eau : l'hydrodistillation, la distillation à la vapeur d'eau ou évapohydrodistillation et la distillation à la vapeur directe. La différence entre ces trois modes réside dans le degré de contact entre l'eau liquide et le matériel végétal.

Dans le premier type, le matériel végétal se trouve en contact direct avec l'eau bouillante. L'évaporation de l'eau dans l'alambic peut être réalisée par chauffage direct ou par injection de vapeur surchauffée.

La seconde technique utilise une grille ou une plaque perforée placée à une distance adéquate du fond de l'alambic, permettant d'éviter le contact du matériel végétal avec l'eau.

La distillation à la vapeur directe utilise aussi la grille, sauf que cette fois il n'y a pas d'eau au fond de l'alambic. La vapeur provient d'une chaudière indépendante et traverse la masse végétale de bas en haut (Board, 1999).

2.5.4. Hydrodiffusion

Cette technique consiste à faire passer, du haut vers le bas et à pression réduite, la vapeur d'eau au travers de la matrice végétale. L'avantage de cette méthode est d'être plus rapide donc moins dommageable pour les composés volatils. Cependant, l'HE obtenue avec ce procédé contient des composés non volatils, ce qui lui vaut une appellation spéciale: « essence de percolation » (Franchommeet *al.*, 1990 ; Richard, 1992).

2.5.5. Extraction par micro-onde

La technique d'extraction par micro-onde a été développée au cours des dernières décennies pour des fins analytiques. Le procédé d'extraction est basé sur l'absorption de l'énergie de la micro-onde par les composantes du matériel végétal et qui sont mesurées par une constante diélectrique. Cette absorption dépend aussi de la fréquence de l'onde et de la température du matériel végétal (Benayad, 2008).

2.5.6. Extraction par solvant organique

Cette technique est basée sur la solubilité des essences aromatiques dans les solvants organiques. Les solvants les plus utilisés actuellement sont l'hexane, cyclohexane, l'éthanol moins fréquemment, le dichlorométhane et l'acétone. L'emploi de cette méthode est limité par son coût, les problèmes de sécurité et de toxicité, ainsi que la réglementation liée à la protection de l'environnement (Lagunez Rivera, 2006).

2.5.7. Extraction par fluide à l'état supercritique

L'extraction par gaz liquéfié ou par fluide à l'état supercritique met en œuvre généralement le dioxyde de carbone vu son inertie et inflammabilité. Dans ce système le solvant est utilisé en boucle par interposition d'échangeurs de chaleur afin de porter le solvant à l'état désiré à chaque stade du processus. La séparation de l'extrait a lieu en phase gazeuse par simple détente (Moura et *al.*, 2005).

Cette technique est aujourd'hui considérée comme la plus prometteuse car elle fournit des extraits volatils de très haute qualité et qui respecterait intégralement l'essence originelle de la plante (Wenqiang et *al.*, 2007).

2.6. Propriétés des huiles essentielles

2.6.1. Propriétés antioxydantes

Les radicaux libres de l'oxygène et certains dérivés oxygénés réactifs non radicalaires, dont la toxicité est importante (tel le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂), le peroxy-nitrite (ONOO), sont produits par divers mécanismes physiologiques (inflammation, cycle de redox,...etc.) afin de détruire des bactéries au sein des cellules phagocytaires ou pour réguler des fonctions cellulaires létales telle la mort cellulaire programmée ou apoptose (Favier, 2003 ; Novelli, 1997).

Un antioxydant est défini comme toute substance qui peut retarder ou empêcher l'oxydation des substrats biologiques (Boyd et *al.*, 2003). Ce sont des composés qui réagissent avec les radicaux libres et les rendent ainsi inoffensifs (Vansant, 2004).

Les antioxydants sont des agents de prévention capables de dévier ou de piéger les radicaux libres (Berset et Cervelier, 1996).

Au cours de ces dernières années, il y a eu un intérêt croissant pour la recherche d'antioxydants naturels. Les propriétés antioxydantes de nombreuses plantes et épices ont été signalées pour être efficace à cet égard, notamment les espèces appartenant à la famille des *Lamiaceae* qui possèdent une activité antioxydante appréciable (Gutteridge et *al.*, 1994).

2.6.2. Propriétés insecticides

La conservation des denrées entreposées est généralement assurée par des insecticides synthétiques qui peuvent être le moyen le plus efficace et le moins coûteux pour contrôler les insectes. Cependant l'utilisation abusive des insecticides chimiques a des effets nocifs (Guarrera, 1999), ce qui oriente les travaux actuels vers la recherche des substances extraites des végétaux qui présentent une activité insecticide, répulsive ou anti-appétant à l'égard des insectes (Barkire, 1996).

En effet les plantes constituent une source de substances naturelles qui présente un grand potentiel d'application contre les insectes et d'autres parasites des plantes et du monde animal (Bouzouita et *al.*, 2008).

2.6.3. Propriétés antivirales

Les recherches ont découvert qu'un certain nombre d'huiles essentielles ont une activité antivirale contre certaines souches virales de la grippe, les adénovirus, les souches de la fièvre glandulaire, de l'entérite virale, de l'entérocolite virale et le VIH-1 (Schnitzler et *al.*, 2001). Des chercheurs ont montré que certains composés spécifiques des huiles essentielles, testés séparément, possèdent une activité antivirale remarquable. Il s'agit de l'acétate d'anéthole, carvone, bêta-caryophyllène, citral, eugénol, limonène, linalol et linalyle (Belaiche, 1979).

2.6.4. Propriétés antibactériennes

La résistance contre les agents antimicrobiens est devenue de plus en plus un problème majeur et urgent dans le monde (Tim Cushnie et *al.*, 2005), ce qui a orienté les recherches des agences et des autorités de la santé vers les ressources phytogénétiques pour trouver une solution à ce problème (Sudano Roccaro, 2004).

L'utilisation des HE comme agents antibactériens semble être une solution alternative intéressante pour contrôler la présence des bactéries pathogènes dans les aliments, dont beaucoup de ces huiles ont des activités antibactériennes remarquables contre un large spectre (Ghasemi Pirbalouti et *al.*, 2010).

Les HE qui ont des activités antibactériennes déstabilisent la bicouche phospholipidique de la membrane bactérienne, bien qu'elles interviennent dans les systèmes enzymatiques et matériel génétique des bactéries (Kim et *al.*, 1995). En outre, un certain nombre de constituants des huiles essentielles présentent des propriétés antibactériennes significatives lorsqu'ils sont testés séparément en intervenant par différents mécanismes (Ultee et *al.*, 1998).

Il est évident que les propriétés antibactériennes des huiles essentielles sont plus fortement expliquées par l'effet additif de leurs principaux composés antimicrobiens en raison de leurs constituants mineurs qui apparaissent, à jouer un rôle significatif en synergie (Lattaoui et *al.*, 1994).

Certains constituants d'HE tels que le carvacrol, le thymol et l'eugénol (composé phénolique) ont été prouvés antibactériens. Les composés Aldéhydes des huiles essentielles sont quelque peu antibactériens; les constituants aldéhydes : néral, géraniol, citronnellal et cuminal sont les plus largement utilisés. L'action antibactérienne des éthers est certaine, mais irrégulière; les terpènes ont été prouvés intéressants, mais sont surtout diffusés dans l'air (Kim et *al.*, 1995).

2.6.5. Propriétés antifongiques

Les infections fongiques ont augmenté durant ces dernières années en raison du nombre croissant de patients à haut risque, particulièrement les hôtes immunodéprimés (personne avec système immunitaire déficient). L'augmentation de la résistance fongique vis-à-vis les médicaments classiques, les frais de traitement et le fait que les antifongiques les plus disponibles n'ont que l'activité fongistatique, justifient la recherche de nouvelles stratégies (Rapp, 2004).

Les huiles essentielles de nombreuses plantes sont reconnues qu'elles possèdent une activité antifongique (Kalemba et *al.*, 2003), cependant, seulement des informations limitées existent sur l'activité des champignons pathogènes humains (Okoh, 2010).

Les HE ont un spectre d'action très large puisqu'elles inhibent aussi bien la croissance des bactéries que celles des moisissures et des levures. Leur activité antimicrobienne est principalement fonction de leur composition chimique et en particulier de la nature de leurs composés volatils majeurs. Pour les levures, elles agissent sur la biomasse et la production des pseudo-mycéliums alors qu'elles inhibent la germination des spores, l'élongation du mycélium, la sporulation et la production de toxines chez les moisissures.

Il est intéressant de rappeler l'importance d'utiliser la totalité de l'HE ou « totum », où l'effet synergique de plusieurs composés majoritaires sont plus puissants que l'action seule du composé biochimique majoritaire (**Lahlou, 2004**).

Dans le domaine phytosanitaire et agroalimentaire, les huiles essentielles ou leurs composés actifs pourraient également être employés comme agents de protection contre les champignons phytopathogènes et les microorganismes envahissant la denrée alimentaire.

2.7. Toxicité des huiles essentielles

Les HE utilisées depuis des siècles présentent souvent des propriétés biologiques intéressantes. Cependant, certaines d'entre-elles peuvent révéler une toxicité qui peut être redoutable en raison de leur passage par voie transdermique et de leur impact sur certaines cibles de l'organisme. Elles peuvent par mésusage être utilisées non diluées et s'avérer toxiques en particulier chez l'enfant (Desmares et *al.*, 2008).

En règle générale, les huiles essentielles d'usage commun ont une toxicité par voie orale faible ou très faible avec des DL50 supérieures à 5g/kg. Chez l'Homme, des intoxications

aigues sont possibles. Les accidents graves, les plus souvent observés chez les petits enfants, sont provoqués par l'ingestion en quantité importante d'huiles essentielles (Laib, 2011).

2.8. Emploi des huiles essentielles

Les HE des plantes sont largement utilisées en aromathérapie, en pharmacie, en parfumerie, en cosmétique et dans la conservation des aliments. Leur utilisation est liée à leurs larges spectres d'activités biologiques reconnues (Amarti, 2010 ; Schelz et *al.*, 2010).

2.8.1. Applications en cosmétologie

L'utilisation des HE dans la production des produits cosmétiques peut avoir plusieurs fins, comme un arôme agréable, assurant la protection contre les microorganismes et dans certains cas, améliorent les propriétés dermato-cosmétiques et la préservation des produits cosmétiques (Manou et *al.*, 1998).

Les problèmes de cheveux comme les pellicules et la dermatite séborrhéique causée par *Malassezia furfur* pouvait être corrigée à l'aide d'huile de théier grâce à la présence de terpinen-4-ol qui s'est avéré efficace.

L'ajout d'HE comme agents colorant ou odorant dans le produit cosmétique final est souvent déconseillée et considérée comme une perte potentielle en raison de leur volatilité et leur caractère lipophile (McLaughlin et *al.*, 1999).

2.8.2. Applications en santé et soins

Des HE ont été utilisées depuis des siècles dans la guérison, la modification des humeurs et l'amélioration de la conscience (Wagner et *al.*, 1998). Elle affecte l'état émotionnel, mental, spirituel et physique d'un être humain. Quelques études montrent que les composés aromatiques peuvent exercer des effets sur le cerveau, en particulier sur l'hypothalamus et le système limbique (le siège des émotions). Certaines HE peuvent considérablement augmenter l'oxygénation et l'activité du cerveau, et inhiber la croissance bactérienne (Okoh, 2010).

L'usage des HE en médecine ne fut jamais abandonné malgré la découverte de processus de synthèse organique et la naissance de l'industrie pharmaceutique. Elles sont considérées comme un réservoir irremplaçable des principes actifs (Ouraini et *al.*, 2005).

L'aromathérapie est une branche de la phytothérapie qui utilise les HE pour traiter un certain nombre de maladies. En effet, les HE sont largement utilisés pour traiter certaines maladies internes et externes (infections d'origine bactérienne ou virale, troubles humoraux ou nerveux).

En médecine dentaire, plusieurs HE ont donné des résultats cliniques très satisfaisants dans la désinfection de la pulpe dentaire, ainsi que dans le traitement et la prévention des caries (Schwartz et *al.*, 1992).

De même, des études très récentes ont montré que le géraniol a une action sur les cellules cancéreuses du colon (Carnesecchi et *al.*, 2001), en plus de l'activité anti-inflammatoire, mise en évidence par Siani et *al.* (1999).

2.8.3. Applications en industrie alimentaire

Dans ces dernières années, une attention croissante est tirée vers l'exploration des ressources naturelles à cause de la demande élevée des aliments sans additifs chimiques synthétiques, les HE par leurs propriétés antimicrobiennes et antioxydantes sont considérées le leader pour répondre à cette tendance (Wang et *al.*, 2010).

Les HE peuvent servir d'additifs alimentaires ou d'agents de conservation qui soutiennent la production, la transformation et maintiennent les propriétés organoleptiques désirées. Elles peuvent assurer plusieurs fonctions dans l'industrie alimentaire tel que l'amélioration de la valeur nutritive des aliments; le maintien de la salubrité des aliments et l'appétibilité; le contrôle d'acidité/alcalinité; l'amélioration de la saveur et la couleur (Fouk et *al.*, 2002).

Comme agent de conservation, les huiles essentielles peuvent servir d'agents antimicrobiens ou d'antioxydants, comme agents antimicrobiens, elles empêchent la croissance des moisissures, levures et bactéries, comme agents antioxydants, elles empêchent les aliments de rancissement, brunissement et développement de black spots, par la suppression de la réaction qui se produit lorsque les aliments se combinent avec l'oxygène en présence de lumière, la chaleur et certains métaux afin de minimiser les dommages à certains acides aminés essentiels et la perte de certaines vitamines (Okoh, 2010).

3. *Eucalyptus globulus*

3.1. Historique

Les *Eucalyptus* sont originaires d'Australie mais on en retrouve également en Amérique du sud, en Afrique et en Europe, où ils sont bien acclimatés (Koziol, 2015).

L'*eucalyptus* est un arbre exotique car il est introduit en Algérie vers 1856 par Ramel de l'Australie. Il forme beaucoup de bois dans la partie nord de pays (Daroui, 2012).

L'*Eucalyptus globulus*, appelé aussi Gommier bleu de Tasmanie, a été découvert en 1792 par le botaniste français La Billardièrre. C'est un arbre originaire de Tasmanie (Australie). Le docteur Muller (1825-1896), directeur du jardin botanique de Melbourne, a été le premier à le

décrire dans son ouvrage *Fragmenta phytographiæ australiæ*. Aujourd'hui, l'*Eucalyptus globulus* est cultivé dans le bassin méditerranéen et en Chine où il est utilisé pour fabriquer de la pâte à papier (Koziol, 2015).

3.2. Description botanique

Les Eucalyptus sont des arbres qui poussent très rapidement. L'*Eucalyptus globulus* mesure 30 à 60 mètres de haut et il peut atteindre jusqu'à 100 mètres dans certains cas (Koziol, 2015). Et il peut dépasser 1,5 m de diamètre (Deyson, 1978).

L'écorce du gommier bleu pèle en larges bandes. Les feuilles des arbres juvéniles apparaissent par paires sur des tiges carrées. Elles mesurent de 6 à 15 cm de long et sont couvertes d'une pruine cireuse bleu-gris, qui est à l'origine du nom de « gommier bleu » (Draoui, 2012).

Les feuilles des arbres matures sont alternes, étroites, en forme de faux et d'un vert foncé luisant. Elles poussent sur des tiges cylindriques et mesurent de 15 à 35 cm de long (Draoui, 2012).

Mais ce sont les feuilles poussant sur les vieilles branches qui sont officinales car ce sont les seules à posséder des poches à essences sur la face inférieure (Koziol, 2015).

Les boutons floraux sont blancs. Ils s'épanouissent au printemps et possèdent un calice, en forme de pyramide quadrangulaire, coiffé par un couvercle formé par la corolle qui se soulève à la floraison, laissant apparaître plusieurs étamines, qui se détachent à maturité (Wichtl et Anton, 2003). Son nom latin « globulus » fait référence à la forme de l'opercule du fruit.

Les fleurs sont blanches solitaires ou groupées en 2 ou 3 (Brosse, 2005). Elles possèdent 4 sépales rugueux ou cireux, soudées en une urne (Bruneton, 2002).

✓ **Odeur** : forte, fraîche, balsamique « odeur d'une baume », camphrée.

✓ **Saveur** : chaude aromatique, un peu amère, suivie d'une sensation de fraîcheur prononcée et agréable.

✓ **Biotope** : très cultivé sur le littoral dans l'air de l'oranger, il préfère les terrains humides. Le but, c'est d'assainir les régions marécageuses. Comme il est planté fréquemment en bordures de routes et forme beaucoup de bois dans la partie nord du pays.

✓ **Récolte** : en Février et en Novembre à la taille des arbres.

✓ **Partie utilisée** : essentiellement par ses feuilles adultes poussant sur les rameaux âgés (Daroui, 2012).



Figure 3. *Eucalyptus globulus* : arbre - tronc - fleurs et fruits

3.3. Classification dans la systématique botanique

- Règne : Plantae
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Magnoliopsida - Eudicotylédones
- Sous-classe : Rosidae
- Ordre : Myrtales
- Famille : Myrtaceae
- Genre : *Eucalyptus*
- Espèce : *Eucalyptus globulus*
- Nom botanique : *Eucalyptus globulus*, Labill. 1800

Les noms vernaculaires :

- Arabe: شجرة الكينا, كالييتوس
- Algerie :kalytous, kafor

3.4. Composition de l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus*

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

L'huile essentielle est liquide, de couleur jaune à jaune pâle et dégage une forte odeur de 1,8-cinéole.

L'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* est également inscrite à la Pharmacopée Européenne. D'après celle-ci, elle contient :

- α -pinène : 0,05 à 10 %
- β -pinène : 0,05 à 1,5 %
- sabinène : au maximum 0,3%
- α -phellandrène : 0,05 à 1,5%
- limonène : 0,05 à 15%
- 1,8-cinéole : au minimum 70%
- camphre : au maximum 0,1%.

D'après la Pharmacopée, l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* doit contenir au minimum 70% de cinéole. Si elle n'est pas dans les normes, elle ne pourra pas être vendue en pharmacie.

3.5. Propriétés thérapeutiques d'*Eucalyptus globulus*

L'HE d'*Eucalyptus globulus* est un antiseptique des voies respiratoires, expectorant, analgésique (Duraffourd et *al.*, 1997), en usage interne et externe, décongestionnant, hypoglycémiant, une action détoxifiante des toxines diphtérique et tétanique, antimicrobien sur les bactéries Gram +, antifongique, anti-inflammatoire, améliore les épreuves fonctionnelles respiratoires, mucolytique, antispasmodique bronchique, fébrifuge, tropisme broncho-pulmonaire très marqué, asséchante en forte proportion.

Les propriétés médicinales de l'*Eucalyptus* sont surtout attribuables à l'eucalyptol (aussi appelé 1,8-cinéole) que renferment ses feuilles. Le 1,8-cinéole que contient l'*Eucalyptus* s'est révélé être efficace pour réduire la dose de corticostéroïdes utilisée par des sujets souffrant d'asthme (Juergens et *al.*, 2003), et pour combattre le rhume (Tesche et *al.*, 2008) et (Kehrl et *al.*, 2004).

4. *Marrubium vulgare*

4.1. Historique

Connu depuis la plus haute antiquité, les égyptiens les utilisèrent, comme principal ingrédient, dans un antidote des poisons végétaux. Elle était déjà considérée comme le spécifique de l'appareil respiratoire dans l'Egypte et la Grèce anciennes. Le moyen âge, qui l'employait couramment dans le traitement des mêmes maux, l'a de surcroît reconnu tonique,

cholagogues et diurétiques. Elle est considérée comme par Gilibert (1798) comme l'une des meilleures plantes d'Europe (Schlempher, 1996 in Bendris, 2003).

4.2. Classification dans la systématique botanique

- Règne : Plantae
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Eudicotylédones
- Ordre : Lamiales
- Famille : Lamiaceae
- Genre : *Marrubium*
- Espèce : *Marrubium vulgare* (CABI, 2015)

Elle est appelée communément par la population locale «**Mernouyeth**».

4.3. Description botanique

Plante herbacée, vivace. Plante à odeur de thym au froissement, couverte d'un duvet blanc, à tiges dressées, portant souvent de nombreuses pousses courtes et stériles. Hauteur de 40 à 60 cm.

Feuilles ovales arrondies, souvent un peu cordées à la base, gaufrées et crénelées, feutrée à la face intérieure (figure 4). C'est une plante à reproduction entomophile. Petites fleurs blanches (12-15 mm de long), corolle à 2 lèvres, l'inférieure trilobée, la supérieure à 2 lobes. Calices à 10 dents courtes, crochues. Placées en verticilles denses à l'aisselle des feuilles supérieures. 4 étamines sont cachées dans le tube de la corolle.

Fruits : 4 petits akènes cachés à la base du calice persistant (une des particularités de la famille de Labiacées) (Schlempher, 1996 in Bendris, 2003).



Figure 4. Plante en floraison de *Marrubium vulgare* (Trevor, 2014 in CABI, 2015).

4.4. Utilisation de la plante

Les feuilles sont utilisées dans des toniques, liqueurs, bières, bonbons expectorants antiseptiques contre la toux.

L'infusion, digestive, laxative, relâche les muscles, contribue à l'expulsion du mucus et combat la bronchite et asthme.

Tonique du foie et détruit les vers intestinaux en usage interne et externe contre l'eczéma et zona.

Action sédative permettant de réguler tachycardie et arythmie cardiaque.

L'infusion chaude aide à faire tomber la fièvre, lorsque la quinine est inefficace, elle est proposée contre la malaria.

Les Navajo administraient une décoction de racine aux mères avant et après l'accouchement (Weel, 1999 in Bendris, 2003).

5. *Lavandula angustifolia*

5.1. Historique

La lavande est utilisée depuis l'antiquité en parfumerie et en médecine pour traiter de nombreux maux, ainsi que comme cosmétique, pour parfumer l'eau du bain et adoucir le linge.

Mais ce n'est qu'en moyen âge que l'on voit apparaître le terme « Lavande », qui trouve son origine dans le terme latin « lavare » qui signifie laver. Son utilisation était liée à la lutte contre les maladies infectieuses (Fabiani et *al.*, 2002).

Aujourd'hui la culture de la lavande est très répandue et son utilisation se fait dans des domaines très différents ; médecine, parfumerie, décoration et même gastronomie.

La lavande est utilisée depuis l'antiquité en parfumerie et en médecine pour traiter de nombreux maux, ainsi que comme cosmétique, pour parfumer l'eau du bain et adoucir le linge (Fabiani et *al.*, 2002).

Mais ce n'est qu'en moyen âge que l'on voit apparaître le terme « Lavande », qui trouve son origine dans le terme latin « lavare » qui signifie laver. Son utilisation était liée à la lutte contre les maladies infectieuses.

Aujourd'hui la culture de la lavande est très répandue et son utilisation se fait dans des domaines très différents ; médecine, parfumerie, décoration et même gastronomie.

5.2. Classification dans la systématique botanique

- Règne : *Plantae*
- Embranchement : Spermatophytes
- Sous-Embranchement : Angiospermes
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Eudicotylédones
- Ordre : Lamiales
- Famille : Lamiaceae
- Genre : *Lavandula*
- Espèce : *Lavandula angustifolia*

Elle est appelée communément par la population locale «**khzama**».

5.3. Description botanique

A l'état sauvage, il en existe plus d'une centaine de variétés et de chémotypes différents (Wichtl et Anton, 1999). Suivant les espèces, ce sous-arbrisseau vivace mesure de 30 à 70 cm de haut et porte des fleurs bleues, pourpres ou violettes, groupées en épis. Certains cultivars arborent des fleurs roses ou blanches. La floraison s'épanouit de Juillet à Août, en dégageant un parfum agréable, frais, léger et fleuri (Vialard, 2008).

Les feuilles sont étroites, sans pétiole ni dents, de couleur vert bleuté, disposées en paires opposées. Les jeunes feuilles sont souvent blanchâtres, ce qui donne à la plante sa teinte gris argenté caractéristique. Les feuilles peuvent mesurer jusqu'à 5 cm de longueur et sont à la fois amères et aromatiques (Vialard, 2008).

Les tiges sont courtes, dressées, très ramifiées, ligneuses à la base (Small et Deutsch, 2001). La tendance spiralée des rameaux se résorbe presque en une rosette, portant de longs et mince épis de fleurs (Palikan, 2002).

Les racines peuvent pousser jusqu'à une profondeur de 4 m et forment un gros système ligneux densément ramifié en profondeur.

Cette plante tolère un pH de 6,4 à 8,2 (Small et Deutsch, 2001).

La lavande nécessite un endroit ensoleillé, où la température ne descend pas en dessous de (-10°C) et surtout, sec (Festy et Dupin, 2012).

Cette belle plante pousse à l'état sauvage, sur les terres rocailleux et ensoleillés. Elle s'adapte bien aux hivers plus froids des régions tempérées si le sol est bien drainé. Elle aime

les terrains calcaires de la méditerranée occidentale. Plus le sol où elle pousse est aride, plus son essence est fine (Vialard, 2008).



Figure 5. Plante en floraison de *Lavandula angustifolia* (Couplin, 2012).

5.4. Utilisation de la plante

L'essence de lavande est utilisée dans la parfumerie, l'aromathérapie et la médecine. L'essence de lavande apporte également un apaisement immédiat en cas de lumbago.

Chapitre 2. Mycoses superficielles

1. Dermatophytes

1.1. Généralités

Les dermatophytes constituent un groupe de champignons adaptés à la kératine humaine et animale. Chez l'homme, la peau et les phanères (ongles, cheveux, poils) sont les sites privilégiés chez les champignons qualifiés de kératinophiles et kératinolytiques (Bioforma, 2004).

Chez l'homme, les dermatophytes sont à l'origine d'atteintes appelées dermatophytoses, qui représentent les mycoses cutanées les plus fréquentes (Lateur et *al.*, 2003).

Les dermatophytes sont classés dans le phylum de Deutéromycètes (ou champignons imparfaits) et à la classe des Hyphomycètes (voir tableau 1 dans matériels et méthodes).

La reproduction asexuée s'effectue, pour les dermatophytes, sur le mode thallique solitaire, et conduit à la production de deux types de spores ou conidies : les microconidies et les macroconidies. Selon l'abondance respective de ces deux types de spores, et leur morphologie, on distingue parmi ces champignons trois genres : *Microsporum* (Gubry, 1843), *Trichophyton* (Mamsten, 1845) et *Epidermophyton* (Sabouraud, 1907) (Bioforma, 2004).

✓ le genre *Microsporum* (Gruby 1843) qui regroupe une dizaine d'espèces dont 5 en pratique métropolitaine peuvent être retrouvées chez l'homme. elles parasitent la peau et les cheveux, mais attaquent rarement les ongles.

Ce genre se définit par la présence de macroconidies uniformes à paroi verruqueuse ou échinulée, et de microconidies le plus souvent piriformes, mais parfois rondes (Chabasse, 2007).

✓ le genre *Trichophyton* (Mamsten, 1845) plus d'une vingtaine d'espèces de dermatophytes sont répertoriés dans ce genre, parmi lesquelles seule une dizaine peut parasiter la peau et les phanères de l'homme. Parmi elles, on retrouve les deux espèces les plus incriminées dans les onychomycoses : *T. rubrum* et *T. mentagrophytes* var. *interdigitale* qui représentent à elles seules plus de 90 % des dermatophytes isolés de l'ongle (Lange et *al.*, 2006).

Sur le plan taxinomique, le genre *Trichophyton* se définit par la présence de macroconidies à paroi lisse, et de microconidies rondes ou piriformes selon les espèces (Chabasse, 2007).

✓ le genre *Epidermophyton* (Sabouraud 1907) qui est caractérisé par la présence de macroconidies à paroi mince en forme de massue, cette espèce n'attaque jamais les cheveux, les poils ou les ongles (Chabasse, 2007).

Les dermatophytoses évoluent chez l'homme selon un mode chronique et volontiers récidivant, elles prennent des aspects cliniques très variés, d'où l'importance du diagnostic reposant sur le prélèvement mycologique (Pétinataud, 2014).

1.2. Origine des dermatophytes

L'origine de la contamination par un dermatophyte est triple : le sol, l'animal et l'homme. Ainsi, selon leur habitat naturel, on distingue trois groupes :

1.2.1. Dermatophytes anthropophiles

La transmission de ces dermatophytes se fait toujours d'homme à homme selon un mode direct ou indirect. La transmission indirecte transite *via* des objets contaminés par des spores tels que des brosses à cheveux, des tapis de bain, des foulards, des chaussures qui seraient échangées, des peignes, des rasoirs....

Parmi cette catégorie de dermatophytes, on retrouve principalement : *Trichophyton rubrum*, *Trichophyton mentagrophytes* var. *interdigitale*, *Trichophyton violaceum*, *T. tonsurans*, *T. soudanense*, *T. schoenleinii*, *Microsporum audouinii* et *Epidermophyton floccosum* (Pétinataud, 2014).

1.2.2. Dermatophytes zoophiles

Ils correspondent à une catégorie de dermatophytes adaptés spécifiquement aux animaux. Parmi ceux-ci : *Microsporum canis*, *Trichophyton mentagrophytes* var. *mentagrophytes*, *Trichophyton mentagrophytes* var. *porcellae*, *Microsporum persicolor*, *Trichophyton gallinae* (Pétinataud, 2014).

1.2.3. Dermatophytes géophiles

Ils ont une vie saprobiotique dans le sol et peuvent parfois contaminer l'homme ou les animaux, il s'agit de : *Microsporum gypseum*, *Trichophyton ajelloi*, *Trichophyton terrestre*.

Le dermatophyte le plus fréquemment rencontré parmi ces espèces est *Microsporum gypseum* (Pétinataud, 2014).

Parmi ces différentes espèces *T. mentagrophytes* est le dermatophyte qui a le plus large habitat. Il est à la fois zoophile, anthropophile, mais il peut également avoir une vie saprobiotique dans le sol (Chabasse, 2008 ; Chabasse, 1999).

1.3. Répartition géographique

La majorité des dermatophytes sont cosmopolites tels que *E. floccosum*, *M. canis*, *T. rubrum*, *T. mentagrophytes*, *M. canis*, *M. gypseum*..... Cependant certaines espèces restent localisées à des zones géographiques spécifiques (Petinataud, 2014).

1.4. Epidémiologie et clinique de quelques dermatophytes

❖ ***Tricophyton mentagrophytes*** (Blanchard) Robin (1896) : On distingue classiquement pour ce dermatophyte deux variétés cosmopolites : la variété *interdigitale* qui est anthropophile, et la variété *mentagrophytes* qui est tellurique.

✓ *T. mentagrophytes* var. *interdigitale* est un parasite fréquent des pieds. Il est à l'origine de l'intertrigo interdigito-plantaire, d'onyxis des pieds, des lésions circinées squameuses du dos du pied. Il détermine plus rarement des intertrigos inguinaux.

✓ *T. mentagrophytes* var. *mentagrophytes* détermine plus volontiers des lésions inflammatoires : teigne inflammatoire chez l'enfant, sycosis chez l'homme, épidermophyties circinées inflammatoires, folliculites sur les parties découvertes chez l'adulte.



Figure 6. Glabre de la peau causée par *T. mentagrophytes* (Audonneau, 2007).



Figure 7. Teigne trichophytique (Audonneau, 2007).

❖ ***Trichophyton rubrum* (Castellani) Sabouraud (1911)** : Ce dermatophyte est cosmopolite, strictement anthropophile, la contamination est liée le plus souvent à la marche à pied nus dans des lieux humides (piscine, salle de bain, saunas ou tatamis de judo). Il présente un large spectre clinique. Il détermine principalement des intertrigos interdigito-plantaires, des onyxis des pieds, et des épidermophities circinées siégeant sur n'importe quelle partie du corps. On observe également des intertrigos des grands plis (inguinaux, axillaires et interfessier avec extension sur les fesses). Avec des pachydermies palmaires ou plantaires. Plus rarement, il sera à l'origine de teigne chez l'enfant, de sycosis chez l'homme, de péri-folliculites granulomateuses des jambes chez la femme.

Enfin, il peut engendrer des lésions cutanées évoquant des maladies dermatologiques tel que l'acné rosacée, le lupus érythémateux disséminé, une sarcoïde du visage ou des furoncles fessiers.

L'examen des lésions sous lampe de Wood est négatif (Bioforma, 2004).



Figure 8. Affections à *Trichophyton rubrum* : atteinte totale (a), Onychomycose provoquée par *T. rubrum* (b), Intertrigo interdigito plantaire causé par *T. rubrum* (c) (Audonneau, 2007).

2. Levures

2.1. Définition

Les levures d'intérêt médical représentent une flore importante et variée issue essentiellement du milieu extérieur. Chez l'homme et de nombreux animaux, certaines espèces vivent en commensales, colonisant le revêtement cutané, mais aussi les voies digestives ou génitales, d'autres sont des saprophytes issues du milieu extérieur qui infectent l'homme par voie alimentaire, aérienne ou transcutanée. Les levures rencontrées chez l'homme ont un comportement opportuniste variable selon les espèces et selon le terrain concerné (Bioforma, 2004).

Les principales levures rencontrées chez l'homme sont les *Candida* et les *Cryptocoques*, plus rarement les *Malessezia*, les *Trichosporon*, les *Rodothorula*, les *Saccharomyces* et les *Geotrichum*.

Les affections à levures sont de plus en plus fréquentes en médecine ; leur incidence a fortement augmenté ces dernières décennies, notamment des patients fragilisés ou à risque et en particulier dans des unités de soins intensifs et en onco-hématologie (Bioforma, 2004).

2.2. Exemples de levures

2.2.1. *Candida albicans*

Parmi les levures, *Candida albicans* est la principale espèce à intérêt médical puisqu'elle représente au moins 60% des isollements de levures en pratique médicale. *Candida albicans* est avant tout un commensal des cavités naturelles de l'homme, en particulier du tube digestif de l'homme. On le retrouve aussi dans la flore intestinale de divers mammifères et oiseaux. Chez l'homme, cette levure est aussi isolée des voies génito-urinaires. *Candida albicans* ne fait pas partie de la flore cutanée de l'individu sain. Il peut se développer par contre sur un épithélium lésé. Levure opportuniste par excellence, *C. albicans* profitera d'un déséquilibre de la flore endogène ou d'un déficit immunitaire pour se multiplier et se comporter en véritable pathogène pouvant envahir un certain nombre de tissus (Bioforma, 2004).



Figure 9. Intertrigo candidosique causé par *C.albicans* (Audonneau, 2007).

❖ Principaux facteurs favorisants

Les *Candida* sont des levures opportunistes. Schématiquement, on distingue des facteurs favorisants liés à l'homme : le nouveau-né est particulièrement vulnérable, chez la femme enceinte les candidoses vaginales sont 3-4 fois plus élevées au 3^{ème} trimestre de sa grossesse, la transpiration, la macération, la chaleur et l'humidité, le diabète, le cancer et le sida et des facteurs extrinsèques qui sont le plus souvent occasionnés par les traitements médicamenteux (Bioforma, 2004).

❖ Pouvoir pathogène

Hôte habituel des cavités naturelles de l'homme, à la faveur d'un déséquilibre de la flore endogène ou d'un déficit immunitaire, cette levure peut se comporter en pathogène et présenter un caractère invasif. C'est le principal agent des candidoses cutanéomuqueuses, des candidoses systémiques et des candidoses disséminées (Bioforma, 2004).

2.2.2. Genre *Rhodotorula*

Le genre *Rhodotorula* regroupe des levures produisant en culture un pigment caroténoïde (colonies orangées à rouge) caractérisées par des blastospores ovoïdes et allongées. Quelques souches produisent également un pseudomycélium rudimentaire.

Ce genre affilié aux Basidiomycètes comprend 8 espèces dont 3 peuvent être isolées chez l'homme : *R. mucilaginosa*, *R. glutinis* et *R. minuta* (Chabasse et al., 2010).

Elles sont reconnaissables par la couleur orangée à rouge des colonies sur milieux de Sabouraud. Elles peuvent être à l'origine d'infections superficielles (kératites) ou profondes. La porte d'entrée peut être cutanée ou digestive (Bioforma, 2004).

❖ Biotope naturel

Rhodotorula mucilaginosa est une levure très répandue, qu'on retrouve dans le milieu extérieur (dans certains aliments ; fruits, produits laitiers). Comme d'autres espèces du genre *Rhodotorula*, notamment *R. glutinis* et *R. minuta*, *R. mucilaginosa* est un commensal des tractus urinaire, gastro-intestinal et respiratoire, de la peau et des phanères (ongles). On peut donc les isoler à partir de prélèvement issu de ces sites, même en l'absence de mycoses (Chabasse et al., 2010).

❖ Pouvoir pathogène

Chez les patients immunodéprimés, les levures du genre *Rhodotorula* peuvent être impliquées dans des atteintes superficielles (kératites) ou profondes (septicémies, méningites, endocardite, péritonites...), notamment chez des patients atteints de cancer, d'hémopathie maligne ou de sida (Chabasse et al., 2010).

3. Moisissures

3.1. Définition

Les moisissures sont des champignons microscopiques ubiquistes à croissance filamenteuse qui regroupent des milliers d'espèces (Halewyne et *al.*, 2002).

3.2. Exemples de moisissures

3.2.1. Mucorales

❖ Epidémiologie

Les Mucorales sont des champignons cosmopolites très répandus. Saprophytes du sol où ils se nourrissent à partir des végétaux, des céréales ou des excréments, ils contaminent fréquemment les denrées alimentaires (fruits, légumes, ...). Certaines espèces sont pathogènes de plantes (Bioforma, 2002).

❖ **Pouvoir pathogène :** redoutables opportunistes, les Mucorales sont des agents zygomycoses (*Rhizopus oryzae*, *Rhizomucor pusillus*, *Absidia corymbifera*, *Mucor circinelloides*, ...) notamment chez les sujets diabétiques et les patients atteints d'hémopathies. Ils sont à l'origine d'atteinte rhinocérébrales, cutanées (chez les grands brûlés) et viscérales (pulmonaires, digestives, rénales, ...) (Bioforma, 2002).

3.2.2. Aspergillus

❖ **Epidémiologie :** Les aspergilloses sont provoquées par des champignons filamenteux cosmopolites, ubiquitaires (on les rencontre aussi bien en milieux ruraux qu'en milieu urbain), et pathogènes opportunistes. L'intensité des facteurs favorisants et le niveau d'exposition à une source environnementale seront déterminants dans la présentation clinique de l'infection. Le spectre clinique s'étend des formes localisées aux atteintes invasives multiviscérales gravissimes. Il comprend également des manifestations immuno-allergiques.

Le diagnostic de ces mycoses est difficile et repose sur un ensemble d'arguments cliniques, biologiques et radiologiques (ANOFEL, 2014).

❖ Agents pathogènes

Les *Aspergillus* sont des moisissures à filaments cloisonnés hyalins. Prés de 300 espèces composent ce genre, parmi lesquelles *Aspergillus fumigatus* est l'espèce la plus souvent impliquée en pathologie humaine dans les pays tempérés (ANOFEL, 2014).

❖ Pouvoir pathogène

Les moisissures sont des organismes peu virulents mais très opportunistes, dans certaines circonstances.

Parmi les principaux éléments qui participent au pouvoir pathogène de ces champignons, on retrouve :

- ✓ la petite taille des spores (2 à 3 μm de diamètre pour *A. fumigatus*) leur donnant la possibilité d'atteindre les alvéoles pulmonaires,
- ✓ la thermotolérance (jusqu'à 55°C pour *A. fumigatus*) permettant leur développement chez leur hôte à 37°C,
- ✓ la capacité d'adhérence à la membrane basale et la capacité d'induire des microlésions et des ulcérations vasculaires par le biais de toxines nécrosantes,
- ✓ le tropisme vasculaire (en particulier pour les *Aspergillus*; les *Fusarium* et les mucorales),
- ✓ la production de mycotoxines impliquées dans des processus de sensibilisation responsables de manifestations allergiques (ANOFEL, 2014).

❖ Facteurs favorisants

Sont les conditions locales et/ou générales qui contribuent le plus au développement du champignon chez son hôte. Parmi les principaux facteurs favorisants, on retrouve :

- ✓ des facteurs locaux : perte d'intégrité des épithéliums cutanés ou muqueux,
- ✓ des facteurs généraux : neutropénie et/ou diminution de la capacité de phagocytose des macrophages,
- ✓ des facteurs environnementaux: toute source de poussière dissémine les spores. Les travaux intra hospitaliers ou proches des services à risque non protégés peuvent être à l'origine de cas groupés d'aspergilloses graves (ANOFEL, 2014).

❖ Réservoirs

Les moisissures sont omniprésentes dans notre environnement. La plupart sont phytopathogènes et se développent en saprophytes. L'humidité favorise leur survie et leur développement. Elles sont retrouvées dans l'air, sur le sol et les surfaces (verticales ou horizontales), dans l'alimentation et parfois dans l'eau (ANOFEL, 2014).

❖ Modes de contamination

La contamination se fait essentiellement par inhalation de spores, d'où l'atteinte préférentielle des poumons et des voies aériennes supérieures comme les bronches ou les

sinus. La contamination directe par déposition de spores sur des plaies ou brûlures cutanées, ou un site opératoire, peut aboutir à des infections locales à risque de dissémination en fonction du contexte clinique. Des infections localisées, post-traumatiques ou non, peuvent également résulter d'une contamination directe et atteindre la peau, le conduit auditif externe (otomycose) ou la cornée (kératite). Plus rarement, la contamination est d'origine digestive (ANOFEL, 2014).



Figure 10. Onychomycose causé par des moisissures (Audonneau, 2007).

4. Thérapeutique des mycoses superficielles

De très nombreuses molécules appartenant à différentes familles chimiques peuvent être utilisées contre les dermatophytes, principalement en usage local. Leur mécanisme d'action est très variable. Elles agissent pour la plupart pour bloquer la biosynthèse de l'ergostérol au niveau de différentes enzymes essentielles de cette voie métabolique. Ce sont des fongostatiques et non des fongicides ce qui explique la nécessité d'une durée importante du traitement (Bioforma, 2004).

❖ Les molécules à usage local

- Les dérivés azolés : le bifonazole sous le nom commercial Amcor® à 1%, l'éconazole (Pévaryl® 1%), l'isconazole (Fazole), le kétoconazole (Kétoderme® 2%), le miconazole (Dactarin® 2%), l'omoconazole (Fongamil 1%), l'oxiconazole (Fonx 1%) et le sertaconazole (Monazole 2%).
- Une allylamine (la Terbinafine), un thiocarbamate (Sporiline®), une morpholine (Locéryl®), etc...

❖ **Les molécules utilisées par voie générale :** En pratique on utilise 3 molécules : La griséofulvine (griséfuline®), la terbénafine (lamisil®) et le kétoconazole (nizoral®).

Il convient bien entendu de vérifier d'éventuelles contre-indications ou interactions médicamenteuses, et de surveiller la survenue des effets secondaires.

2. Matériel et méthodes

2.1. Objectif du travail

Ce modeste travail a été réalisé au niveau du Laboratoire pédagogique de Physiologie végétale au département d'Agronomie de la Faculté des Sciences biologiques et des sciences agronomiques, Université Mouloud Mammeri de tizi ousou.

Son but principal est d'étudier l'activité antifongique de trois huiles essentielles sur les champignons qui causent des mycoses cutanées chez l'homme.

2.2. Matériel utilisé

2.2.1. Matériel de laboratoire et consommable

Le matériel de laboratoire utilisé est :

- Etuve réglée à 27°C ;
- Bain marie
- Autoclave,
- Incubateur
- Balance
- Plaque chauffante
- Bec bunsen
- Hanse
- Pipette Pasteur
- Micropipette réglable
- Des erlènes
- Flacons en verre de 250ml ;
- Tubes à vis stériles
- Boîtes de Pétri de diamètre de 90 mm et de 50 mm
- Embouts jaunes

2.2.2. Produits chimiques utilisés

- Antifongique de synthèse

Le nitrate d'éconazole c'est un antifongique de la famille des imidazolés. Il est préconisé dans le traitement d'appoint de certaines affections mycosiques cutanées.

Ce traitement est utilisé dans notre étude comme témoin positif.

- Diméthylsulfoxyde (DMSO)

Le diméthylsulfoxyde est un solvant polaire organique (organosulfuré), aprotique, de formule brute C_2H_6OS .

Il se présente comme un liquide incolore, qui dissout à la fois des composés polaires et non-polaires, et qui est miscible dans une large gamme de solvants organiques, ainsi que dans l'eau.

Cette solution est utilisée dans notre étude comme témoin négatif.

2.2.3. Milieux de culture

- Gélose pomme de terre glucose (PDA : Potato Dextrose Agar)
- Eau physiologique stérile

2.2.4. Huiles essentielles

Notre expérimentation a pour objectif d'évaluer l'activité fongicide de trois huiles essentielles extraites à partir de trois plantes appartenant à deux familles botaniques différentes : *Eucalyptus globulus* (Myrtacées) et *Lavandula angustifolia* et *Marrubium vulgare* (Lamiacées).

Les huiles essentielles ont été extraites par hydrodistillation par Melle Abdellaoui au laboratoire de Génie de la Réaction à l'Université Houari Boumediene de Bab Ezzouar.

2.2.5. Souches de dermatophytes et levures

Les souches de champignons utilisées sont au nombre de six, elles se répartissent en trois groupes :

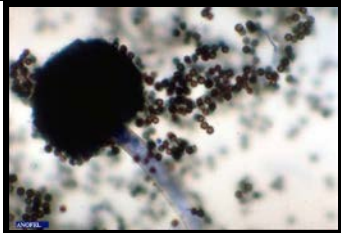
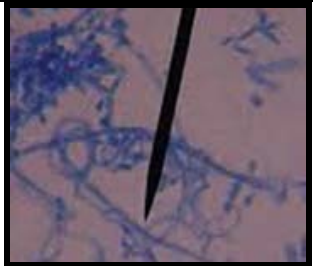
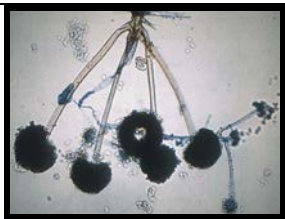
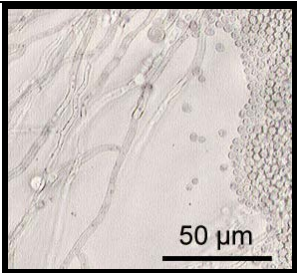
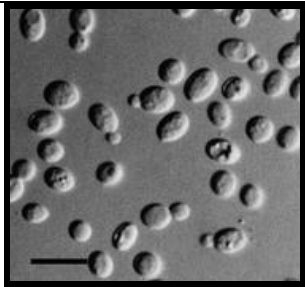
- les dermatophytes, (*Trichophyton mentagrophytes* et *Trichophyton rubrum*)
- les moisissures (*Aspergillus niger* et *Rhizopus* sp.)
- et les levures (*Candida albicans* et *Rhodotorula* sp.)

Ces souches ont été isolées par Dr Seklaoui Nacéra, Chef de Service de Parasitologie et Mycologie au Centre hospitalo-universitaire Nedir Mohamed de Tizi Ouzou.

Le choix des souches est basé sur plusieurs paramètres en particulier pour leur pathogénicité et leur résistance naturelle à divers agents antifongiques actuels.

La systématique des souches étudiées est représentée au niveau du tableau 2.

Tableau 1. Souches utilisées et leur classification

Souches utilisées	Taxonomie	Photographies
<i>Aspergillus niger</i>	Division : <i>Ascomycota</i> Classe : <i>Hyohomycètes (Eurotiomycetes)</i> Ordre : <i>Eurotiales</i> Famille : <i>Trichomaceae</i>	
<i>Trichophyton mentagrophytes</i>	Division : <i>Ascomycota</i> Classe : <i>Hyohomycètes (Eurotiomycetes)</i> Ordre : <i>Onygenales</i> Famille : <i>Arthrodermataceae</i>	
<i>Trichophyton rubrum</i>	Division : <i>Ascomycota</i> Classe : <i>Hyohomycètes (Eurotiomycetes)</i> Ordre : <i>Onygenales</i> Famille : <i>Arthrodermataceae</i>	
<i>Rhizopus sp.</i>	Division : <i>Zygomycota</i> Classe : <i>Mucoromycotina</i> Ordre : <i>Mucorales</i> Famille : <i>Mucoraceae</i>	
<i>Candida albicans</i>	Division : <i>Ascomycota</i> Classe : <i>Saccharomycetes</i> Ordre : <i>Saccharomycetales</i> Famille : <i>Saccharomycetaceae</i>	
<i>Rhodotorula sp.</i>	Division : <i>Basidiomycota</i> Classe : <i>Urediniomycetes</i> Ordre : <i>Sporidiales</i> Famille : <i>Sporidiobolaceae</i>	

2.3. Méthodes utilisées

2.3.1. Préparation du milieu de culture

Le milieu de culture Potato dextrose agar a été préparé comme suite :

- Pomme de terre200 g
- Agar15 g
- Dextrose20 g
- Eau distillée1000 ml

Le milieux de culture Potato dextrose agar est préparé, coulé dans des flacons de 50 ml et autoclavé pendant 20minutes à 120°C.

2.3.2. Mise en culture des dermatophytes

- Le milieu de culture PDA a été coulé aseptiquement à raison de 25ml par boîte de Pétri ;
- Laisser solidifier.
- Prélever des échantillons des dermatophytes à partir des tubes.
- Déposer ces échantillons fongiques au niveau des boites de Pétri
- Incuber à 27°C.

2.3.3. Etude de la sensibilité des champignons aux huiles essentielles

La méthode des puits est la technique choisie pour déterminer l'activité antifongique de l'huile essentielle à tester. Cette méthode repose sur le pouvoir migratoire des huiles essentielles sur un milieu solide à l'intérieur d'une boîte de Pétri. Cette méthode nous permet de mettre en évidence l'effet antifongique de l'huile essentielle sur les champignons, ainsi que la détermination de la résistance ou la sensibilité de ces champignons vis-à-vis de cette huile essentielle.

Cette méthode consiste à faire des puits remplis d'une quantité de l'huile essentielle à la surface de la géloseensemencée par l'inoculum fongiques à tester et de mesurer les diamètres d'inhibition en millimètre (mm) après incubation.

- Mise en œuvre pratique

Couler aseptiquement le milieu de culture PDA dans les boites de Pétri à raison de 30 ml par boîte, puis on rajoute 10µl de l'inoculum fongique (concentration est ajustée à 10^7 - 10^8 germes/ml avec le spectrophotomètre à l'UV-visible) qu'on fait répartir sur le milieu de

culture à l'aide d'une hanse stérile afin d'avoir une croissance homogène du champignon, on laisse refroidir et solidifier.

Creuser des puits de 6 mm de diamètre à l'aide d'une pipette Pasteur stérile. Dans le but d'éviter la surfusion des extraits sous la gélose et on remplit chaque puits avec 30 μ l d'huile essentielle.

L'expérience est répétée trois fois pour chaque espèce fongique afin de minimiser l'erreur expérimentale et garantir un bon déroulement de la méthode.

Le nitrate d'éconazole servira comme témoin positif et le DMSO comme témoin négatif.

Les boîtes de Pétri sont ensuite fermées et mises à l'étuve à la température de 27 °C pendant 7 jours.

- Lecture

A la sortie de l'étuve, l'absence de la croissance microbienne se traduit par un halo translucide autour du puits, identique à la gélose stérile, dont le diamètre est mesuré à l'aide d'une règle en (mm). Les résultats sont exprimés par le diamètre de la zone d'inhibition et peut être symbolisé par des signes d'après la sensibilité des souches vis-à-vis de l'huile essentielle (Ponce et *al.*, 2003).

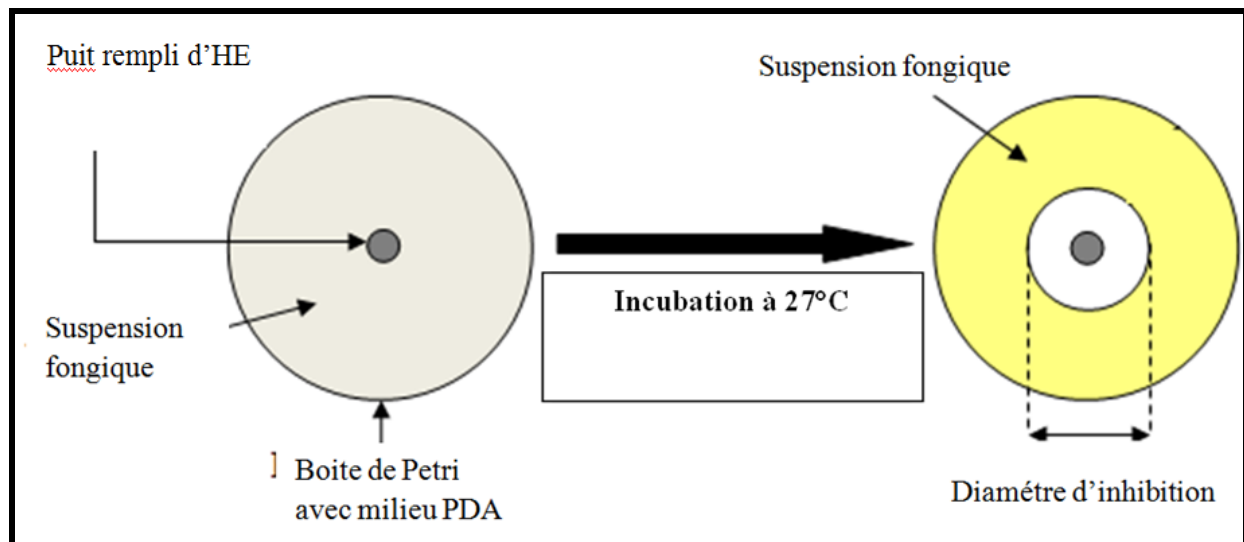


Figure 11. Méthode des puits

D'après Ponce et *al.* (2003), la sensibilité à l'huile a été classée par le diamètre des halos d'inhibition :

- Non sensible (-) pour les diamètres moins de 8mm ;
- Sensible (+) pour des diamètres de 8 à 14mm ;
- Très sensible (++) pour des diamètres de 15 à 19mm ;
- Extrêmement sensible (+++) pour les diamètres plus de 20mm.

2.3.4. Méthodes quantitatives

- Détermination de la nature de l'activité

Pour déterminer la nature de l'activité antifongique (fongicide ou fongistatique), nous prélevons des spots au niveau de la zone d'inhibition. Ils sont ensuite déposés au niveau d'un milieu neuf. S'il y a sporulation, l'activité est fongistatique. S'il n'y a pas sporulation, l'activité est de type fongicide.

- Détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI)

On peut définir la CMI par la concentration minimale inhibitrice ou bien la plus faible concentration d'un antibiotique capable d'inhiber dans un milieu (Soit milieu liquide ou solide), toute culture visible de la souche étudiée.

Pour pouvoir déterminer la CMI, des concentrations d'HE ont été retenues pour tester leurs effets sur le développement des germes choisis.

- La gamme des concentrations finales ainsi obtenue correspond à 10µl/ml ; 7,5µl/ml ; 5µl/ml ; 2,5 µl/ml et 1µl/ml.
- Des spots d'un inoculum sont déposés sur la surface des boîtes Pétri qui contiennent les différentes concentrations;
- Les boîtes sont incubées pendant 24 h à 37°C. La CMI de l'HE est définie à partir de la première boîte de la gamme dépourvue de croissance microbienne.

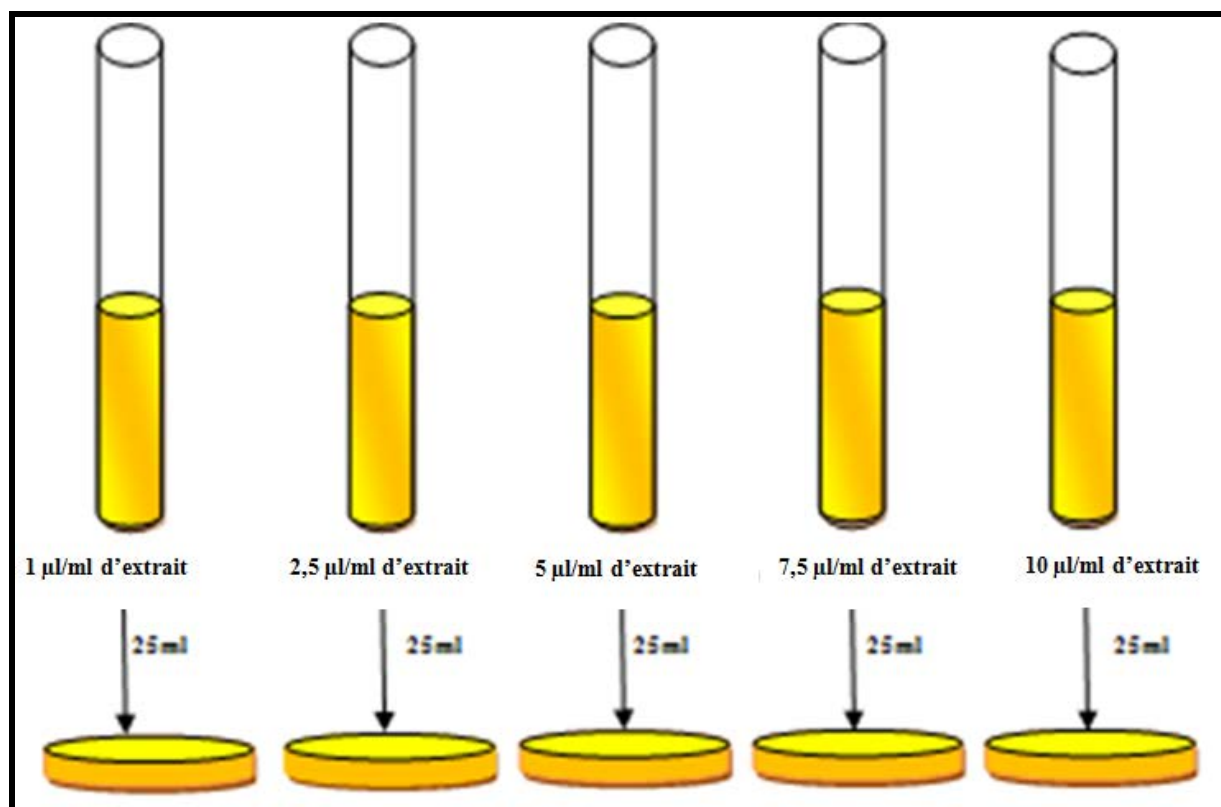


Figure 12. Protocole expérimental de la CMI.

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats de l'étude de la sensibilité des champignons aux huiles essentielles

La méthode de diffusion des puits nous a permis de mettre en évidence le pouvoir antifongique des huiles essentielles testées vis-à-vis des six souches fongiques. Les zones d'inhibition sont indiquées au niveau du tableau 2. D'après la classification de Ponce et al. (2003), les zones d'inhibition, variant entre 8 et 13 mm, indiquent que toutes les souches sont sensibles à l'huile essentielle de *Lavandula officinalis*.

Après 7 et 14 jours d'incubation à 27°C, nous avons mesuré les diamètres des zones d'inhibition par addition des témoins (nitrate d'éconazole, DMSO), des HE d'*Eucalyptus globulus*, *L. angustifolia* et du *M. vulgare* sur les différentes souches fongiques testées, les résultats obtenus sont représentés au niveau des figures 13 à 20 et des tableaux 2 et 3.

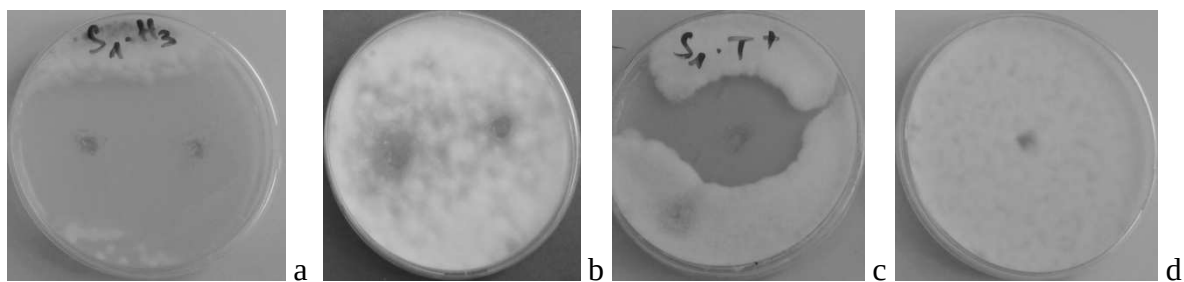


Figure 13. Zones d'inhibition d'*A. niger* traité aux : (a) *E. globulus*, (b) *M. vulgare*, (c) nitrate d'éconazole, (d) DMSO.

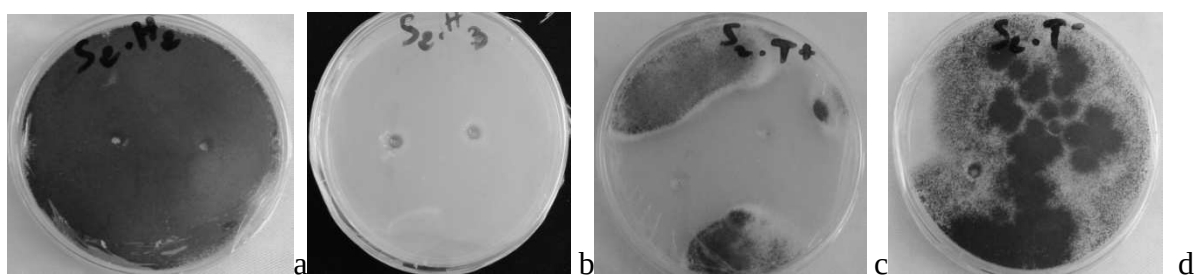


Figure 14. Zones d'inhibition de *T. mentagrophytes* traité aux : (a) *L. angustifolia*, (b) *E. globulus*, (c) nitrate d'éconazole, (d) DMSO.

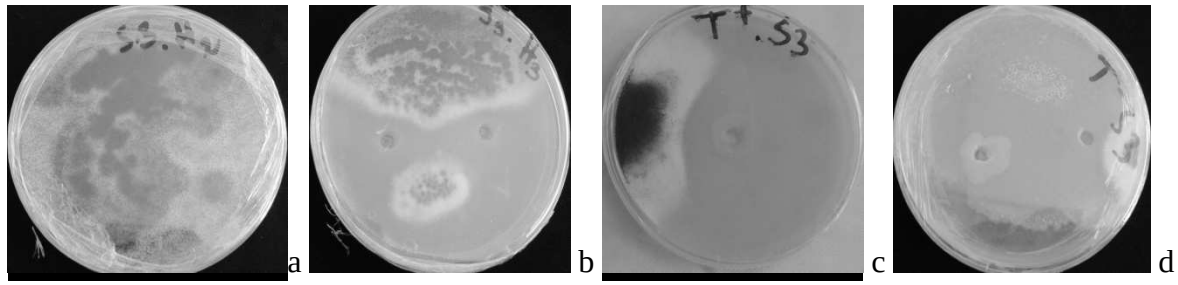


Figure 15. Zones d'inhibition de *T. rubrum* traité aux : (a) *L. angustifolia*, (b) *E. globulus*, (c) nitrate d'éconazole, (d) DMSO.

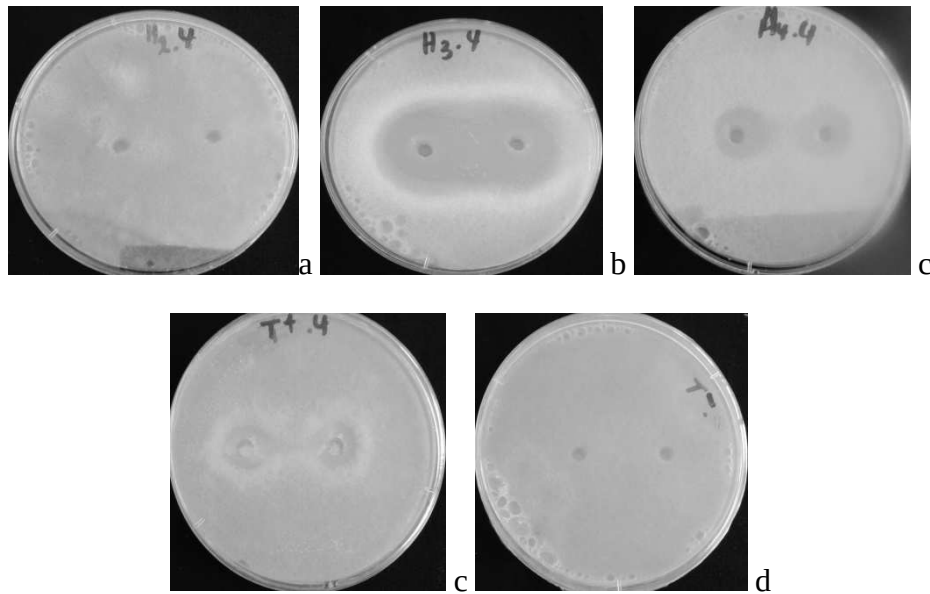


Figure 16. Zones d'inhibition de *Rhizopus* sp. traité aux : (a) *L. angustifolia*, (b) *E. globulus*, (c) *M. vulgare*, (d) nitrate d'éconazole, (c) DMSO.

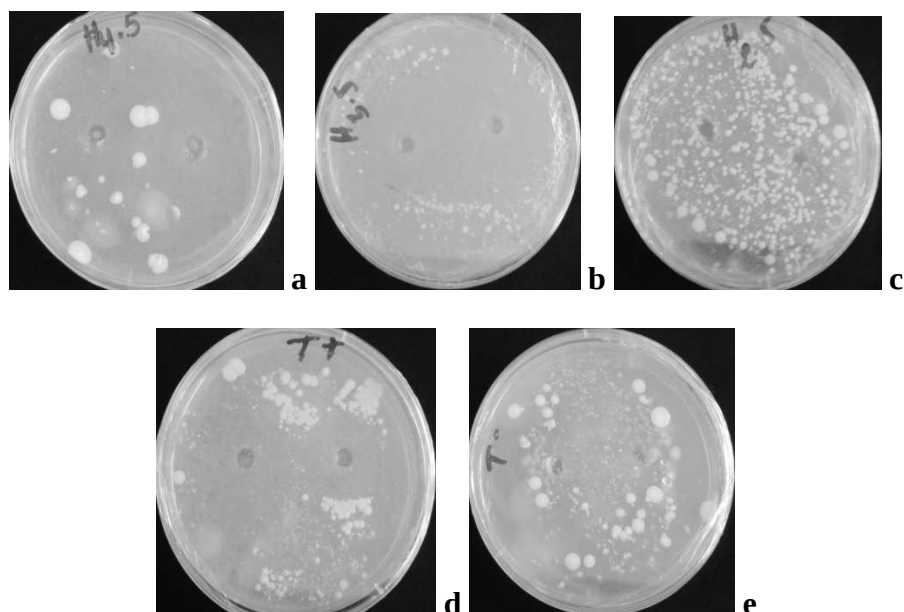


Figure 17. Zones d'inhibition de *C. albicans*. traité aux : (a) *L. angustifolia*, (b) *E. globulus*, (c) *M. vulgare*, (d) nitrate d'éconazole, (e) DMSO.

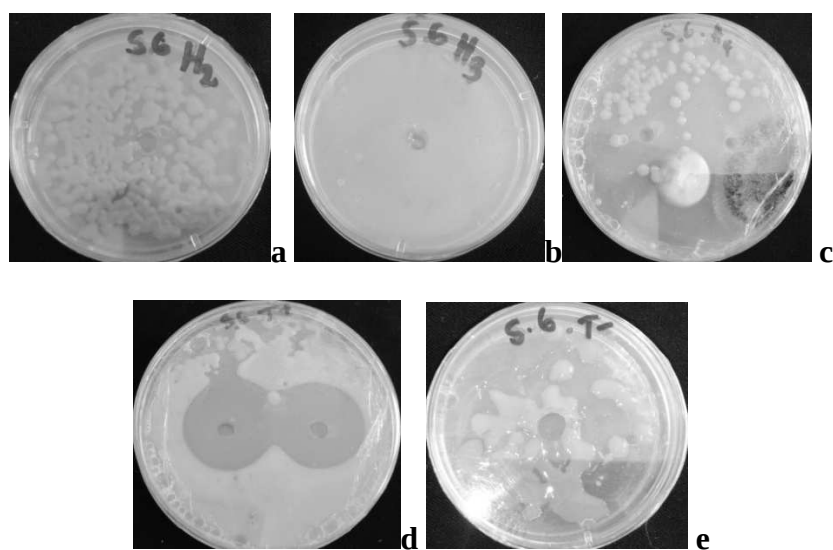


Figure 18. Zones d'inhibition de *Rhodotorula sp.*. traitées aux : (a) *L. angustifolia*, (b) *E. globulus*, (c) *M. vulgare*, (d) nitrate d'éconazole, (e) DMSO.

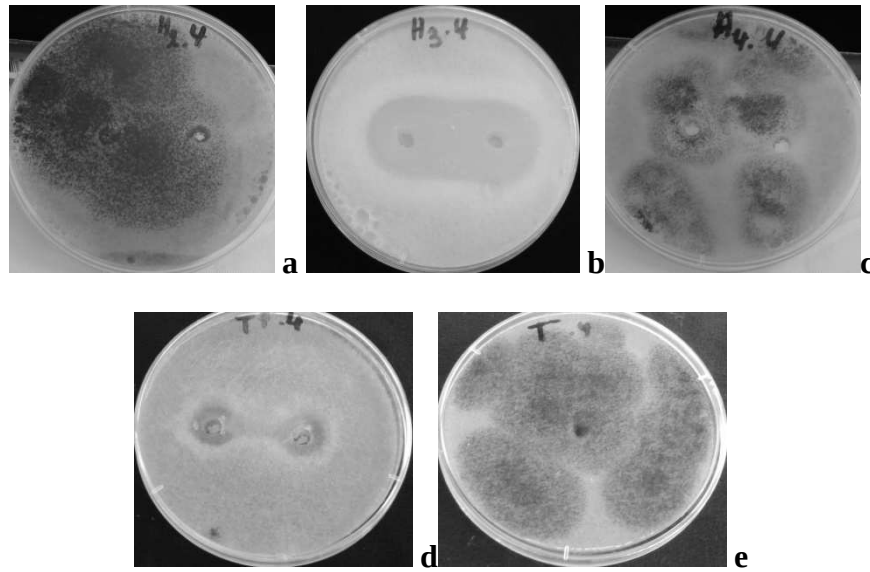


Figure 19. Zones d'inhibition (après 14 jrs) de *Rhizopus sp.* traité aux : (a) *L.angustifolia*, (b) *E.globulus*, (c) *M.marrubium*, (d) nitrate d'éconazole, (e) DMSO.

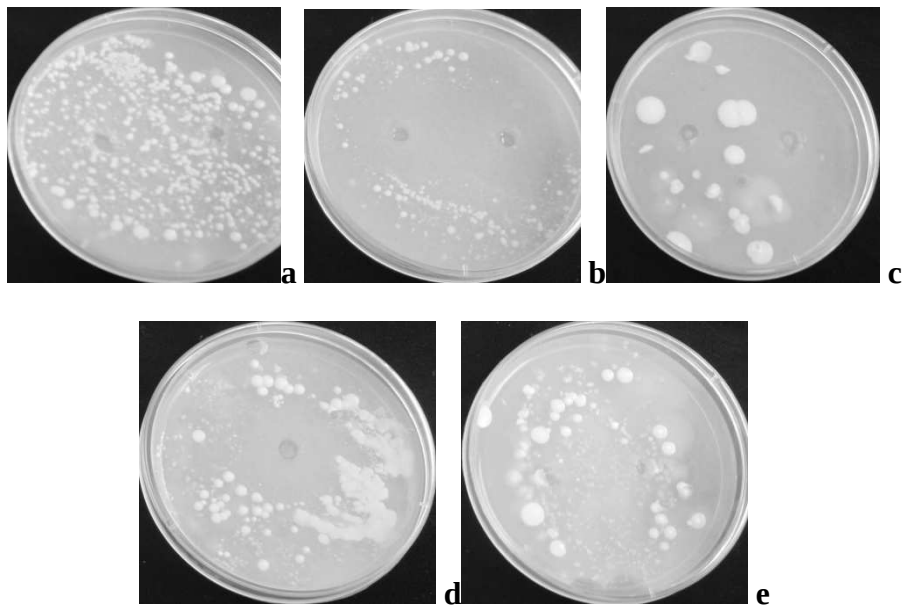


Figure 20. Zones d'inhibition (après 14 jrs) de *C.albicans* traité aux : (a) *L.angustifolia*, (b) *E.globulus*, (c) *M.marrubium*, (d) nitrate d'éconazole, (e) DMSO.

Tableau 2. Zones d'inhibition en (mm) après 7 jours d'incubation.

Souches	Traitements	Diamètre de la zone d'inhibition (mm)			
		R1	R2	R3	Moyenne
<i>Aspergillus niger</i>	<i>L. angustifolia</i>	0	0	0	0
	<i>E. globulus</i>	45	45	56	48,66
	<i>M. vulgare</i>	0	0	15	5
	Nitrate d'éconazole	38	37	38	37,33
<i>Trichophyton mentagrophytes</i>	<i>L. angustifolia</i>	0	0	0	0
	<i>E. globulus</i>	23	70	70	54,33
	<i>M. vulgare</i>	nt	nt	nt	-
	Nitrate d'éconazole	65	53	55	57,66
<i>Trichophyton rubrum</i>	<i>L. angustifolia</i>	0	0	0	0
	<i>E. globulus</i>	23	35	35	31
	<i>M. vulgare</i>	nt	nt	nt	-
	Nitrate d'éconazole	57	50	55	54
<i>Rhizopus sp.</i>	<i>L. angustifolia</i>	0	0	0	0
	<i>E. globulus</i>	27	25	25	25,66
	<i>M. vulgare</i>	12	17	17	15,33
	Nitrate d'éconazole	12	13	13	12,66
<i>Candida albicans</i>	<i>L. angustifolia</i>	0	0	0	0
	<i>E. globulus</i>	33	37	55	41,66
	<i>M. vulgare</i>	0	39	25	21,33
	Nitrate d'éconazole	34	25	33	30,66
<i>Rhodotorula sp.</i>	<i>L. angustifolia</i>	0	0	0	0
	<i>E. globulus</i>	50	53	53	52
	<i>M. vulgare</i>	0	0	22	7,33
	Nitrate d'éconazole	34	30	32	32

Tableau 3. Calcul du diamètre en (mm) de la zone d'inhibition (ZI) pour toutes les souches étudiées après 14 jours d'incubation à 27°C.

Souches	Traitements	Zone d'inhibition (diamètre en mm)			
		R1	R2	R3	Moyenne
Rhizopus sp.	<i>L.angustifolia</i>	0	0	0	0
	<i>E. globulus</i>	24	20	20	21,33
	<i>M. vulgare</i>	0	0	0	0
	Nitrate d'éconazole	0	13	13	8,66
Candida albicans	<i>L.angustifolia</i>	0	0	0	0
	<i>E. globulus</i>	33	34	52	39,66
	<i>M. vulgare</i>	0	32	22	18
	Nitrate d'éconazole	35	25	35	31,66
Rhodotorula sp.	<i>L.angustifolia</i>	0	0	0	0
	<i>E. globulus</i>	50	52	53	51,66
	<i>M. vulgare</i>	0	0	0	0
	Nitrate d'éconazole	34	30	32	32

Les résultats montrent des différences selon l'huile essentielle utilisée et la souche fongique :

1. *Aspergillus niger*

Pour cette souche, *L.angustifolia* n'a pas montré de zone d'inhibition ce qui explique que cette huile n'a pas d'effet sur ce champignon. Par contre, les HE de *E.globulus*, *M.vulgare* et le nitrate d'éconazole ont montré une zone d'inhibition. Les diamètres moyens de ces zones sont respectivement 48,66 mm, 5 mm et 37,33 mm. Cela signifie que ces traitements ont un effet inhibiteur sur le développement de ce champignon.

Ces résultats nous permettent de dire que cette huile a une activité antifongique vis-à-vis *A.niger* contrairement à celle de *L.angustifolia*.

La comparaison des diamètres moyens des trois traitements précédents nous permet de dire que l'huile essentielle d'*E.globulus* est plus efficace que les huiles essentielles de *L.angustifolia* et *M. vulgare* et le nitrate d'éconazole.

2. *Trichophyton mentagrophytes*

L'HE de *L. angustifolia* ne montre aucune zone d'inhibition dans les trois répétitions, ce qui nous permet de dire que cette dernière n'a pas d'effet sur ce champignon (Tableau 2). Par contre, l'HE d'*E.globulus* et le nitrate d'éconazole montrent une zone d'inhibition sur les trois répétitions, et leurs diamètres moyens sont respectivement de 54,33 mm et 57,66 mm, cela signifie que ces traitements ont un effet inhibiteur sur le développement du champignon.

Ces résultats nous montrent que l'HE d'*E. globulus* et le nitrate d'éconazole ont une activité antifongique contrairement à celle de *L. angustifolia* vis-à-vis du *T. mentagrophytes*.

Si nous comparons les diamètres moyens des zones d'inhibition du nitrate d'éconazole (57,66 mm) et l'*E.globulus* (54,33 mm), nous pouvons déduire que le nitrate d'éconazole est plus efficace que l'HE d'*E.globulus*. Mais la différence entre ces deux diamètres n'est pas significative, et le fait que l'huile essentielle ne présente pas d'effet secondaire en respectant la dose et son mode d'utilisation, nous préférons utiliser l'huile essentielle que le nitrate d'éconazole qui présente des effets secondaires sur la santé humaine.

3. *Trichophyton rubrum*

L'huile essentielle de *L. angustifolia* n'a montré aucune zone d'inhibition.

Par contre celle de l'*E. globulus* et le nitrate d'éconazole montrent une zone d'inhibition sur les trois répétitions, et les diamètres moyens de ces zones sont respectivement de 31 mm et 54 mm, l'apparition de la zone d'inhibition pour ces deux traitements nous permet de dire que ces dernières ont un effet inhibiteur sur le développement de ce champignon.

L'HE d'*E.globulus* et le nitrate d'éconazole ont une activité antifongique contrairement à celle de *L.angustifolia* vis-à-vis du *T.rubrum*.

Comparant les diamètres moyens des zones d'inhibition pour la souche *T.rubrum*, le nitrate d'éconazole montre une activité antifongique plus élevée que celle exercée par *E.globulus*.

4. *Rhizopus sp.*

L'huile de *L.angustifolia* ne montre pas de zone d'inhibition, donc cela veut dire que cette dernière n'a pas d'effet sur le développement de ce champignon. Par contre, celle d'*E.globulus*, *M.vulgare* et le nitrate d'éconazole montrent une zone d'inhibition dans toutes les répétitions à des diamètres moyens qui sont respectivement de 25,66 mm, 15,33 mm et

12,66 mm. Cela signifie que ces trois traitements ont un effet inhibiteur sur le développement de ce champignon.

Ces résultats nous permettent de dire que l'HE d'*E.globulus*, *M.vulgare* et le nitrate d'éconazole ont une activité antifongique vis-à-vis du *Rhizopus sp.* contrairement à *L.angustifolia*.

Après 14 jours pour cette souche l'H.E de *L.angustifolia* ne montre aucune zone d'inhibition, ce qui explique et confirme que cette huile n'a aucun effet inhibiteur sur le développement du champignon.

Pour l'HE *E.globulus* on remarque une légère diminution du diamètre de la zone d'inhibition qui devient 21,33 mm, ce qui explique que cette souche est virulente.

Par contre, avec l'HE de *M.vulgare* on observe une disparition totale de la zone d'inhibition dans toutes les boîtes de répétition.

Pour le nitrate d'éconazole, on observe une disparition de la zone d'inhibition dans une répétition et la stabilité dans les deux autres, d'où on a eu une diminution du diamètre moyen de cette dernière avec 8,66 mm.

Après ces résultats nous pouvons dire que seule l'huile essentielle d'*E.globulus* qui a un effet inhibiteur plus important sur le développement du *Rhizopus sp.* que les deux autres huiles et le nitrate d'éconazole.

5. *Candida albicans*

L'huile essentielle d'*E.globulus*, *M.vulgare* et le nitrate d'éconazole montrent une zone d'inhibition avec des diamètres moyens qui sont respectivement de 41,66 mm, 21,33 mm et 30,66 mm, cela signifie que ces trois traitements ont un effet inhibiteur sur le développement du champignon.

Par contre, *L. angustifolia* ne montre aucune zone d'inhibition dans les trois répétitions, ceci veut dire que cette huile n'a pas empêché le champignon de se développer.

Ces résultats nous permettent de dire que les HE de *E.globulus* et de *M.vulgare* et le nitrate d'éconazole ont une activité antifongique vis-à-vis de *C.albicans*, contrairement à celle de *L.angustifolia*.

L'HE de *E.globulus* montre une activité antifongique plus élevée (41,66 mm) que les deux autres traitements (*M.vulgare* et le nitrate d'éconazole).

L'HE de *L.angustifolia* ne montre aucune zone d'inhibition même après 14 jours, ce qui explique que cette huile n'a pas d'activité antifongique à l'égard de *Candida albicans*.

Avec *E.globulus* et *M.vulgare* on observe une légère diminution du diamètre de la zone d'inhibition avec des diamètres moyens qui sont respectivement de 39,66 et de 18 mm, ce qui explique que ce champignon est virulent.

Et dans le cas du nitrate d'éconazole on remarque qu'il ya eu une légère augmentation du diamètre de la zone d'inhibition avec un diamètre moyen de 31,66 mm.

D'après ces résultats, nous constatons que l'H.E. d'*E.globulus* a une activité antifongique à l'égard de *C.albicans* plus importante que le nitrate d'éconazole et les deux autres huiles citées en haut.

6. *Rhodotorula sp.*

Les huiles essentielles d'*E.globulus*, *M.vulgare* et le nitrate d'éconazole montrent des zones d'inhibitions avec des diamètres moyens qui sont respectivement 52 mm, 7,33 mm et 32 mm, cela signifie que ces trois traitements ont un effet sur le développement du champignon.

Par contre, celle de *L.angustifolia* ne montre pas de zones d'inhibitions, ce qui explique que cette huile n'a pas d'effet inhibiteur de croissance sur le champignon.

D'après ces résultats, nous pouvons dire qu'*E.globulus*, *M.vulgare* et le nitrate d'éconazole ont une activité antifongique contrairement à celle de *L.angustifolia* vis-à-vis de *Rhodotorula sp.*. Et l'HE de *E.globulus* se montre plus efficace que *M.vulgare* et le nitrate d'éconazole avec un diamètre moyen de 52 mm à l'égard de *Rhodotorula sp.*

L'HE de *L.angustifolia* ne montre aucune zone d'inhibition après 14 jours, ce qui signifie que cette huile n'a pas d'activité antifongique vis-à-vis de cette souche.

Avec l'HE de *E.globulus*, nous remarquons qu'il y a stabilité du diamètre moyen de la zone d'inhibition du 7^{ème} au 14^{ème} jour d'incubation, donc cette huile a un effet stable sur le développement du champignon.

Par contre, avec l'HE de *M.vulgare*, nous observons une disparition totale de la zone d'inhibition, cela montre que le champignon concerné est virulent, et l'huile essentielle de *M.vulgare* n'a pas d'activité antifongique très puissante vis-à-vis de *Rhodotorula sp.*

Et pour le nitrate d'éconazole, on observe que la zone d'inhibition est restée stable du 7^{ème} au 14^{ème} jour d'incubation avec un diamètre moyen de 32 mm.

Ces résultats nous permettent de dire que l'huile essentielle d'*E.globulus* a une activité antifongique plus importante à l'égard de *Rhodotorula sp.* que le nitrate d'éconazole et les deux autres huiles essentielles.

3.2. Résultats de la détermination de la nature de l'activité

Les résultats de la nature de l'activité sont consignés au niveau du tableau 4 et les figures 21, 22 et 23.

Pour la souche de *Rhizopus sp.*, l'huile essentielle d'*E.globulus* et le nitrate d'éconazole ont montré une activité fongistatique à l'égard de *Rhizopus sp.*

Et pour l'huile essentielle de *M. vulgare*, nous avons observé après 14 jrs d'incubation la disparition de la ZI, donc on considère que cette huile exerce une activité fongistatique.

Ces résultats nous permettent de dire que tous les traitements utilisés, à part celui de *L. angustifolia*, ont un effet fongistatique vis-à-vis du *Rhizopus sp.*

Pour la souche de *Candida albicans*, l'huile essentielle de *L. angustifolia* n'a pas subi de test d'activité, car après 7 et 14 jrs d'incubation nous n'avons observé aucune zone d'inhibition.

En ce qui concerne l'HE de *M. vulgare* et le nitrate d'éconazole ont une activité fongistatique vis-à-vis de *Candida albicans*.

Par contre, avec l'HE d'*E globulus* nous avons constaté que l'activité antifongique est fongicide à l'égard de cette souche.

Ces résultats nous permettent de dire que seule l'HE d'*E globulus* qui exerce un effet fongicide vis-à-vis de *Candida albicans* contrairement à celle de *M. vulgare* et le nitrate d'éconazole qui ont un effet fongistatique.

Pour la souche de *Rhodotorula sp.*, l'HE de *L. angustifolia* n'a pas subi de test d'activité, car après 7 et 14 jrs d'incubation, nous n'avons observé aucune zone d'inhibition.

Par contre, avec l'HE d'*E globulus*, celle de *M. vulgare* et le nitrate d'éconazole, nous avons constaté que l'activité antifongique est fongicide vis-à-vis de *Rhodototrula sp.*

Tableau 4. Activité fongicides et fongistatiques des huiles essentielles.

Souches	Activité	Type d'activité
	H.E.	
<i>Aspergillus niger</i>	H1	
	H2	
	H3	
	T+	
<i>Trichophyton mentagrophytes</i>	H1	
	H2	
	H3	
	T+	
<i>Trichophyton rubrum</i>	H1	
	H2	
	H3	
	T+	
<i>Rhizopus sp.</i>	H1	Aucune activité
	H2	Fongistatique
	H3	Fongistatique
	T+	Fongistatique
<i>Candida albicans</i>	H1	Aucune activité
	H2	Fongicide
	H3	Fongistatique
	T+	Fongistatique
<i>Rhodotorula sp.</i>	H1	Aucune activité
	H2	Fongicide
	H3	Fongicide
	T+	Fongicide

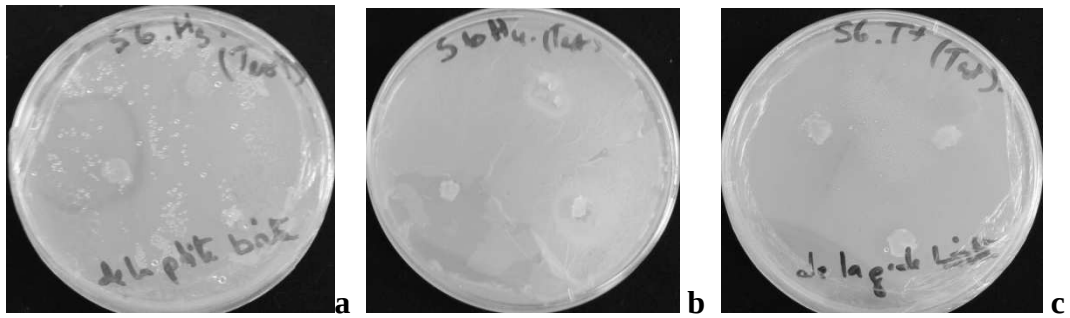


Figure 21. Test fongitoxique pour *Rhodotorula* sp. : (a) *E globulus*, (b) *M vulgare*, (c) nitrate d'éconazole.

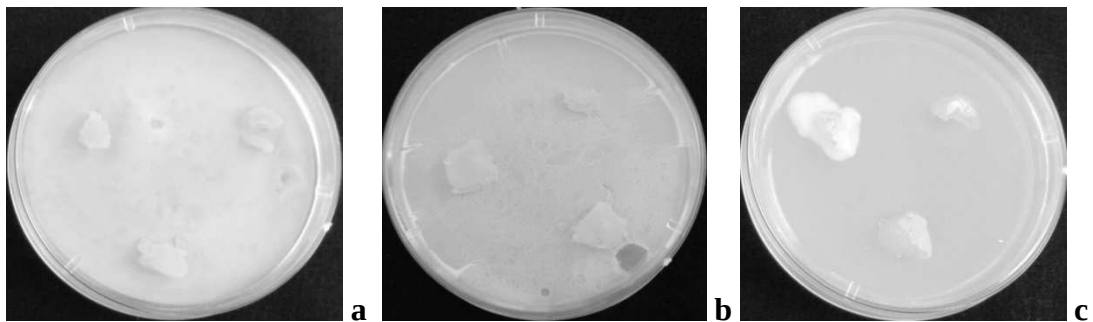


Figure 22. Activité fongitoxique vis-à-vis de *C albicans* : (a) *E globulus*, (b) *M vulgare*, (c) nitrate d'éconazole.

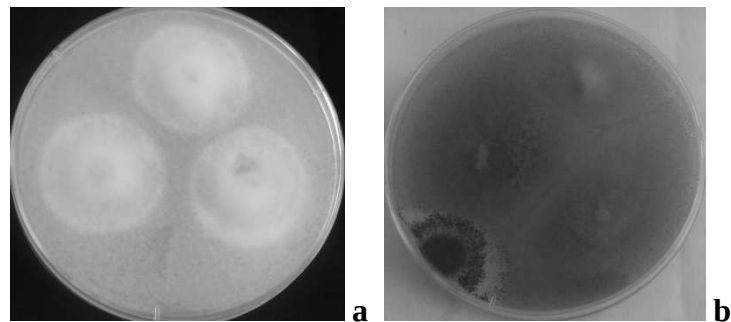


Figure 23. Test fongitoxique vis-à-vis de *C albicans* : (a) *Eglobulus*, (b) nitrate d'éconazole.

3.3. Résultats de détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI)

Les résultats de la concentration minimale inhibitrice sont consignés au niveau du tableau 5 et les figures 24 à 41.

Tableau 5. CMI des traitements étudiés

	Traitement	CMI (µl/ml)			
		1	2.5	5	+ de 5
<i>Aspergillus niger</i>	H1	-	-	-	-
	H2	-	-	5	-
	H3	-	-	-	+ de 5
	T+	-	-	-	+ de 5
<i>Trichophyton mentagrophytes</i>	H1	-	-	-	-
	H2	-	-	-	+ de 5
	H3	-	-	-	+ de 5
	T+	-	-	5	-
<i>Trichophyton rubrum</i>	H1	-	-	-	-
	H2	-	2.5	-	-
	H3	-	-	-	+ de 5
	T+	-	-	5	-
<i>Rhizopus sp.</i>	H1	-	-	-	-
	H2	-	2.5	-	-
	H3	-	-	-	+ de 5
	T+	-	-	-	+ de 5
<i>Candida albicans</i>	H1	-	-	-	-
	H2	-	2.5	-	-
	H3	-	-	-	+ de 5
	T+	-	-	5	-
<i>Rhodotorula sp.</i>	H1	-	-	-	-
	H2	1	-	-	-
	H3	-	-	-	+ de 5
	T+	-	-	5	-

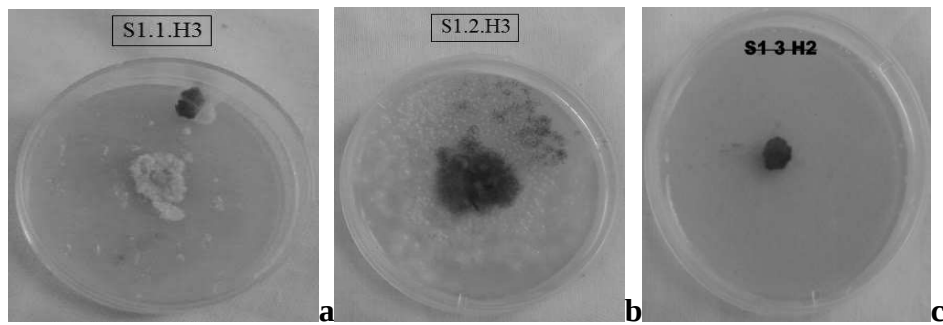


Figure 24. CMI d'*E. globulus* pour *A. niger* : a=1 μ l/ ml, b=2.5 μ l/ ml, c=5 μ l/ ml

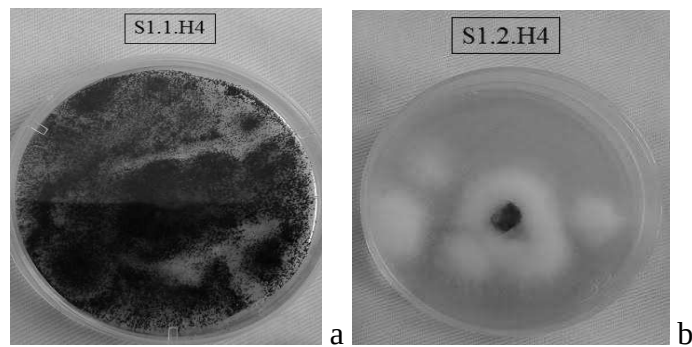


Figure 25. CMI de *M. vulgare* pour *A. niger*

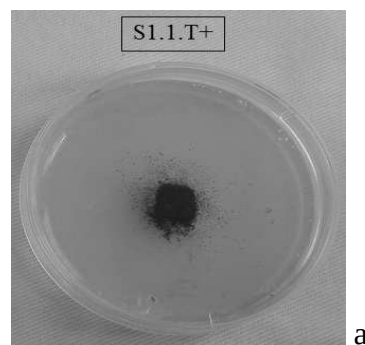


Figure 26. CMI de nitrate d'éconazole pour *A. niger*

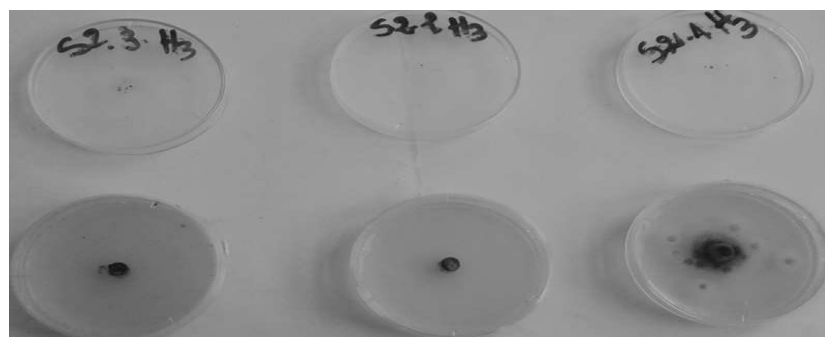


Figure 27. CMI d'*E. globulus* pour *T. mentagrophytes*



Figure 28. CMI de *M. vulgare* pour *T. mentagrophytes*



Figure 29. CMI de *M. vulgare* pour *T. mentagrophytes*



Figure 30. CMI Du nitrate d'éconazole pour *T. mentagrophytes*



Figure 31. CMI d'*E. globulus* pour *T. rubrum*

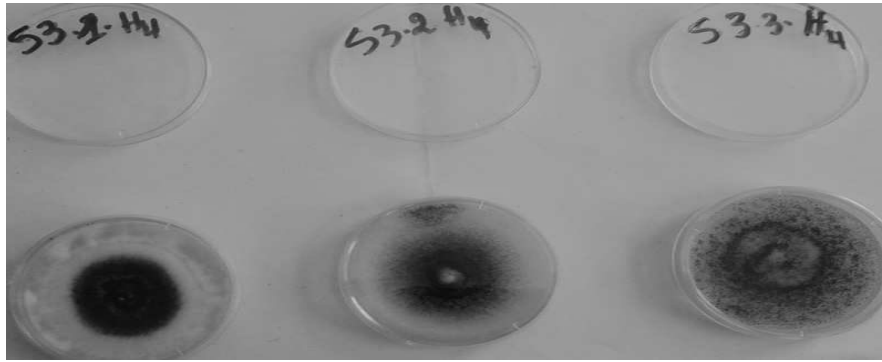


Figure 32. CMI de *M. vulgare* pour *T. rubrum*

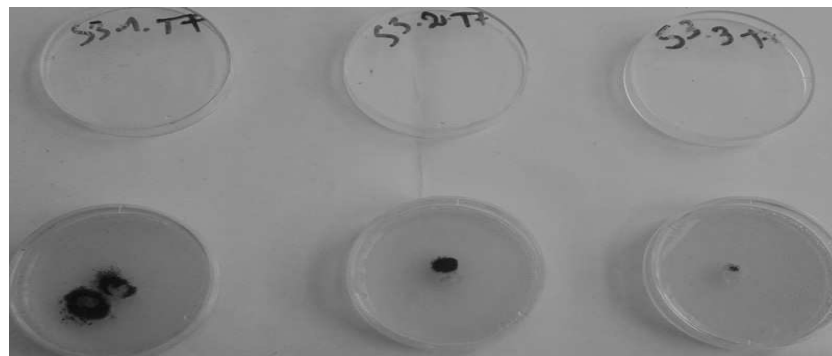


Figure 33. CMI du nitrate d'éconazole pour *T. rubrum*

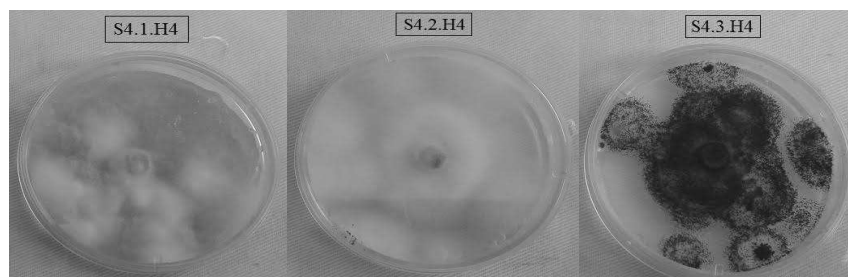


Figure 34. CMI de *M. vulgare* pour *Rhizopus sp.*

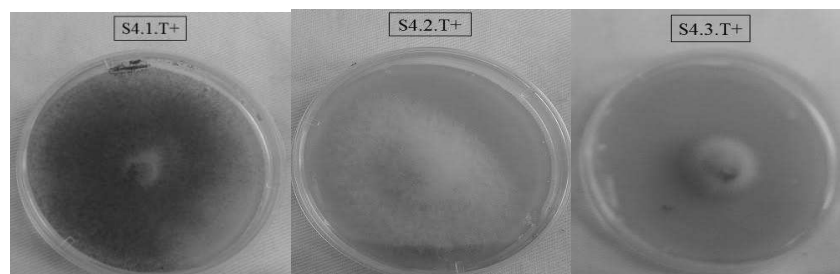


Figure 35. CMI du nitrate d'éconazole pour *Rhizopus sp.*

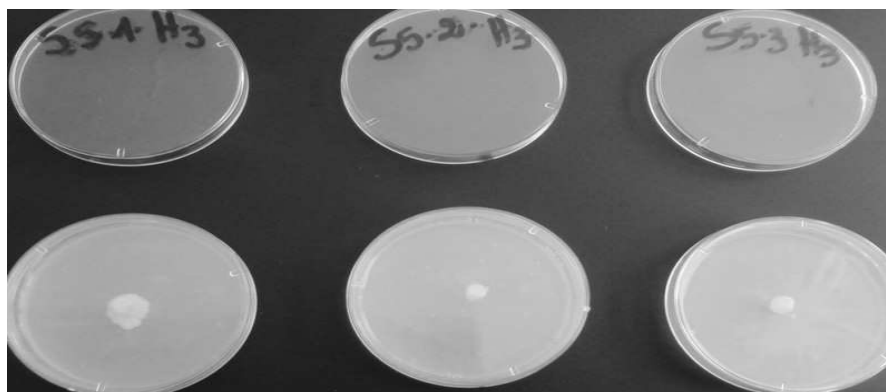


Figure 36. CMI d' *E globulus* pour *C albicans*.

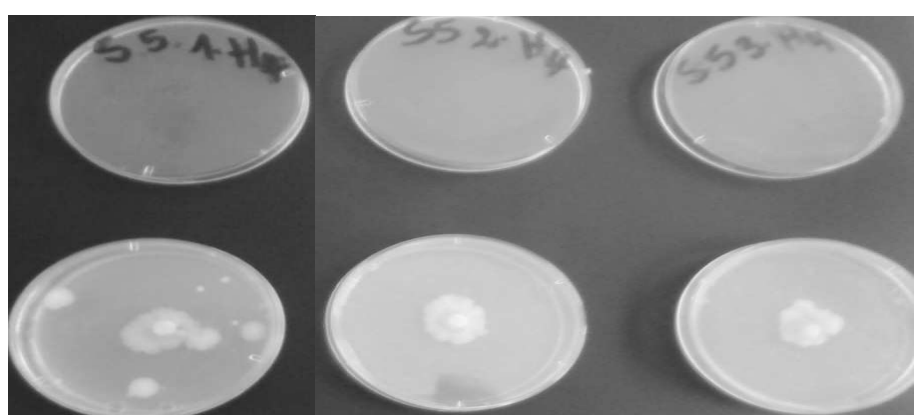


Figure 37. CMI de *M vulgare* pour *C albicans*.

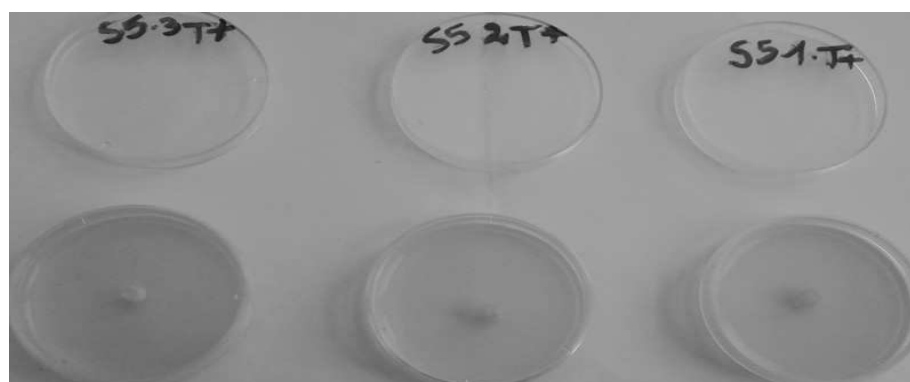


Figure 38. CMI du nitrate d'éconazole pour *C albicans*.

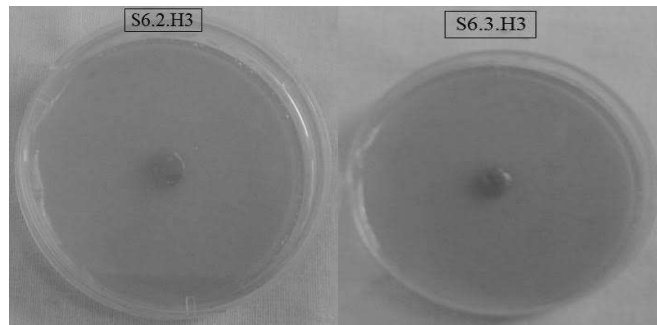


Figure 39. CMI d'*E globulus* pour *Rhodotorula* sp.

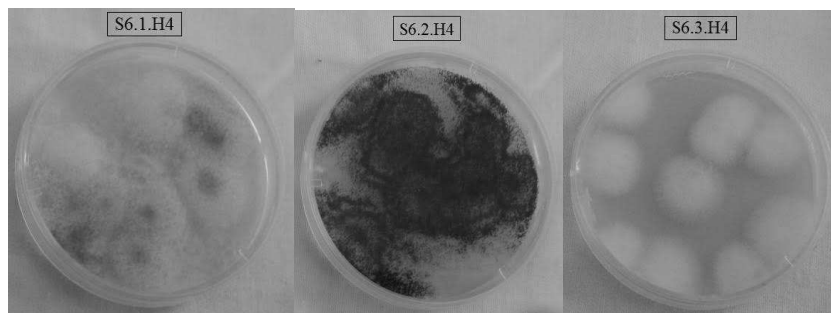


Figure 40. CMI de *M vulgare* pour *Rhodotorula* sp.

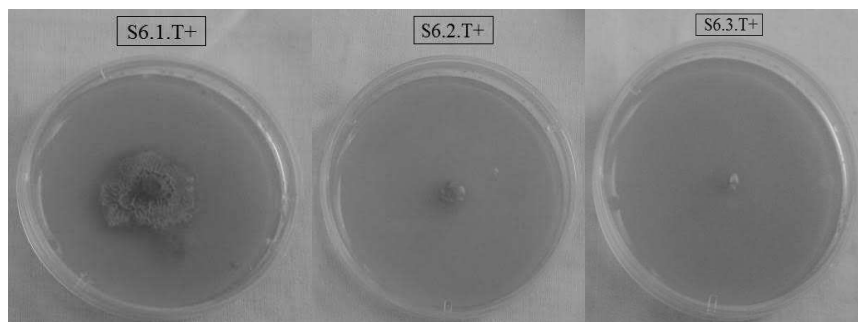


Figure 41. CMI du nitrate d'éconazole pour *Rhodotorula* sp.

D'après les résultats illustrés au niveau du tableau 5, nous avons enregistré les CMI pour l'huile essentielle d'*E globulus* comme suite :

- 1 µl/ ml vis-à-vis de *Rhodotorula* sp.
- 2,5 µl/ ml vis-à-vis de *Rhizopus* sp. , *T rubrum* et de *C albicans*
- 5 µl/ ml vis-à-vis d'*A niger*
- Supérieur à 5 µl/ ml vis-à-vis de *T mentagrophytes*.

En ce qui concerne les CMI pour l'huile essentielle de *M. vulgare*, elles sont de :

- Supérieur à 5 µl/ ml à l'égard de *Aspergillus sp.*, *T mentagrophytes*, *T rubrum*, *Rhizopus sp.*, *C albicans* et *Rhodotorula sp.*

Et enfin pour le nitrate d'éconazole, les valeurs des CMI sont les suivantes :

- 5 µl/ ml à l'égard d' *A niger*, *T mentagrophytes*, *T rubrum*, *C albicans* et *Rhodotorula sp.*
- Supérieur à 5 µl/ ml vis-à-vis de *Rhizopus sp.*

Discussion

Les résultats obtenus confirment l'efficacité de certaines huiles essentielles des plantes médicinales et leur pouvoir antifongique. De nombreux travaux soulignent cet effet antifongique des principes actifs naturels. En effet, l'HE d'*E. globulus* semble jouer d'une activité inhibitrice particulièrement large sur les différentes classes de micro-organismes testés excepté pour *T. mentagrophytes* et *T. rubrum*. Les diamètres moyens d'inhibition sont compris entre 25.66 et 54.33 mm.

Mokadem (2012) constate dans ces travaux, que chez les espèces fongiques, la levure *Candida albicans*, a manifesté une activité inférieure par rapport à la moisissure *Penicillium chrysogenum*. Les zones d'inhibition respectives sont comprises entre 15 et 18 mm et ce pour l'huile d'*E. globulus* : il a noté aussi pour ce cas, la résistance de la souche fongique *Aspergillus niger*.

Dans notre étude, d'*E globulus* a montré une activité fongicide vis-à-vis des levures (*Rhodotorula sp.* et *C albicans*) avec des CMI entre 1 et 2.5 µl/ ml et des zones d'inhibition entre 52 et 41,66 mm de diamètre qui leurs correspondent respectivement, et une activité fongistatique vis-à-vis de la moisissure (*Rhizopus sp.*), avec une CMI de 2.5 µl/ ml et une zone d'inhibition de 25,66 mm de diamètre. Cette variabilité dans les résultats nous amène à dire que les souches fongiques étudiées sont de virulences différentes, la CMI de l'HE d'*E. globulus* est la même (2.5µl/ ml) vis-à-vis de *Rhizopus sp.* et *C. albicans* malgré que les zones d'inhibition de cette huile sont différentes sur ces dernières.

Selon Kebisi (2011), l'activité biologique de l'huile d'*Eucalyptus globulus* présente un pouvoir antibactérien assez important surtout sur les souches bactériennes *Proteus mirabilis*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* et *acinetobacter*. Cette activité permet à notre

huile d'être utilisée dans de nombreux domaines en tant que bactéricide naturel et antifongique. Cette huile présente aussi un pouvoir antioxydant acceptable comparativement à références telles que le Trolox l'acide ascorbique et le romarin.

Selon Djahra et ses collaborateurs (2012), l'huile essentielle de *Marrubium vulgare* a un effet antibactérien important vis à vis de *Pseudomonas aeruginosa* et *Staphylococcus aureus*. Pour notre cas, l'HE de *M. vulgare* s'est avérée fongistatique à l'égard de la majorité des souches étudiées avec une CMI supérieure de 5 µl/ ml, à part vis-à-vis de *Rhodotorula sp.* a montré une activité fongicide avec une CMI supérieure de 5 µl/ ml

Les résultats obtenus dans l'étude d'Ismaili et ses collaborateurs ; ont montré une inhibition significative des HEs (*Thymus vulgaris*, *Mentha spicata* et *Citrus limonum*) sur la croissance des dermatophytes. L'HE du thym a montré l'activité la plus élevée par rapport à celle des deux autres espèces, cette activité antifongique est liée à la substance active: thymol. Tandis que l'HE du citron a montré l'activité la plus faible. Ces résultats sont cohérents avec la classification établie par plusieurs auteurs (Kurita et al., 1979 et Lee et al., 1971).

En effet, Mubashir et al., (2009) signalent que l'extrait aqueux des feuilles de l'espèce de *Marrubium vulgare* exerce une forte activité inhibitrice sur les souches de *Staphylococcus aureus* MTCC 740, *Staphylococcus epidermidis* MTCC 435 et une activité de degré moindre sur *Proteus vulgaris* MTCC 426 et *E.coli* MTCC 4433.

Concernant l'effet fongicide vis-à-vis de *C. albicans*, nos résultats concordent avec ceux obtenus par El Masouri (2013) qui a montré une inhibition à 100% de la croissance de *C. albicans*. Cet auteur a effectué des tests d'inhibition des levures montrant que sur 37 extraits de plantes testés, 27 HE, représentant un pourcentage de 72,97% des extraits étudiés, ont montré une grande activité antifongique sur *C. albicans* 5 et dont 16 ont eu un test d'inhibition à 100% reflétant l'importance de ces essences. Sept HE ont été évaluées sur les espèces suivantes : Origan, Cyprès, Eucalyptus, Myrte, Lavande dentée, Menthe pouliot et Gingembre. *E globulus* a montré un test d'inhibition de 100% avec une CMI de 0,5%.

Certaines huiles essentielles, comme l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus*, sont inscrites dans la Pharmacopée (kozirole, 2015).

Les recherches réalisées sur l'activité antifongique des extraits naturels isolés des plantes, sont relativement peu nombreuses, notamment vis-à-vis de la plupart des souches telles que

Trichophyton rubrum, *Trichophyton mentagrophytes*, *Trichophyton verrucosum*, *Trichophyton soudanense*, *Epidermophyton floccosum* et *Cryptococcus neoformans*. En ce qui concerne les autres espèces telle que : *Candida albicans*, les résultats de Djahra (2014) confirment l'efficacité des extraits du genre *Marrubium* et viennent appuyer les résultats publiés par Kanyonga et al., (2011), Zarai et al., (2011), Sarac et Ugur, (2007) et Khalil et al., (2009).

En général, la variabilité des résultats est probablement due à l'influence de plusieurs facteurs tels que la méthodologie, les microorganismes testés et les huiles essentielles utilisées (Pattnaik et al., 1996). Ceci a été confirmé par Suhar et Nielsen, (2003), qu'ils mentionnent que l'effet antifongique des huiles dépend de la méthode d'application, les grands composés phénoliques tels que le thymol et l'eugénol (thym, cinnamome et clou de girofle), appliqué directement au milieu, ont eu un meilleur effet, tandis que les plus petits composés tels que allyl isothiocyanate et citral (mustard et lemongrass) étaient les plus efficaces par évaporation.

L'évaluation de l'activité antifongique de ces HE a montré que les variations d'inhibition sont en fonction de nombreux facteurs, notamment la nature et la concentration de l'huile essentielle, ainsi que la souche fongique étudiée. Ainsi, les différences observées entre les activités antifongiques des différentes HE étudiées peuvent être attribuées à des différences dans leurs fractions actives.

Cependant, il convient de noter qu'il existe une sensibilité différentielle des dermatophytes testés vis-à-vis des trois HE étudiées (Idmaili et al., 2014).

Notre étude rentre dans le cadre de la recherche de solutions alternatives qui permettent de traiter des mycoses superficielles causées par des dermatophytes, des levures et des moisissures, par l'utilisation des huiles essentielles afin de limiter les effets indésirables liés aux traitements antifongiques de synthèse. Pour cela nous avons procédé par une étude comparative de l'effet de quelques huiles essentielles et un traitement antifongique de synthèse sur six agents mycosiques.

La collection des huiles essentielles utilisée a été extraite à partir de plantes médicinales de la région de la Kabylie. Dans cette collection figurent trois espèces végétales représentatives de deux familles. Il s'agit de *M. vulgare* et *L. angustifolia* pour les Lamiacées et *E. globulus* pour les Myrtacées. Et pour le traitement de synthèse il s'agit du nitrate d'éconazole.

Cette étude a été consacrée à l'évaluation des propriétés antifongiques des trois huiles essentielles extraites par hydodistillation réalisée au laboratoire Génie de la Réaction de l'USTHB à Alger. Ces huiles ont montré des résultats assez probants en révélant leur effet inhibiteur de croissance des champignons étudiés.

Pour cela, nous avons opté par la méthode des puits qui a montré que l'huile essentielle d'*E. globulus* qui a eu l'effet antifongique le plus important par rapport à celles de *M. vulgare*, et le *L. angustifolia* et le nitrate d'éconazole. En effet, l'HE d'*E. globulus* a montré un effet fongicide à l'égard des souches : *Rhodotorula* sp. à la dose de 1 µl/ml et *C. albicans* à la dose de 2,5 µl/ml, et un effet fongistatique à l'égard de *Rhizopus* sp. à la dose de 2,5 µl/ml.

En ce qui concerne *M. vulgare*, nous avons eu un effet fongicide vis-à-vis de *Rhodotorula* sp. à la dose de 5 µl/ml, et fongistatique à l'égard de *C. albicans* et *Rhizopus* sp. à la dose de 5 µl/ml pour chacune.

Et pour le nitrate d'éconazole, il y a eu un effet fongicide sauf vis-à-vis de *Rhodotorula* sp. à la dose de 5 µl/ml, et un effet fongistatique à l'égard de *C. albicans* et *Rhizopus* sp. à la dose de 5 µl/ml.

Par comparaison, les résultats obtenus les huiles essentielles l'*E. globulus* et *M. vulgare* ont montré une activité antifongique à l'égard de toutes les souches étudiées par rapport à *L. angustifolia* qui ne s'est pas montrée antifongique vis-à-vis de ces souches. Et si nous comparons l'activité de ces huiles à celle du nitrate d'éconazole, nous constatons que l'huile essentielle d'*E. globulus* est plus puissante car elle est fongicide à l'égard de deux souches et

à de très faibles doses, par rapport au nitrate d'éconazole qui est fongicide à l'égard d'une seule souche à une dose plus élevée, et à l'égard des autres souches s'est montré fongistatique.

A partir des résultats que nous avons obtenus et confrontés à d'autres chercheurs à travers le monde, nous pourrions dire que l'ensemble des huiles essentielles se distinguent par leur pouvoir antifongique et par leurs différents constituants chimiques car elles appartiennent à des familles différentes. *L. angustifolia* n'a pas montré d'activité antifongique contrairement à *M. vulgare* malgré qu'elles appartiennent à la même famille (*Lamiaceae*).

Le test nous a ainsi permis de mettre en évidence l'activité antifongique des huiles essentielles et de la comparer à celle exercée par le traitement de synthèse testés à l'égard des champignons qui causent les mycoses superficielles chez les humains.

Les résultats intéressants obtenus nous permettent d'espérer au moins une réduction de l'utilisation de traitements de synthèse et avoir recours à des solutions alternatives sous forme de produits naturels à base d'huiles essentielles car ces dernières à des doses respectées ne montrent pas d'effets secondaires.

Il serait intéressant à l'avenir

- ✓ de connaître la composition chimique des huiles essentielles étudiées.
- ✓ tester ces huiles à l'égard des autres souches fongiques qui causent les mycoses superficielles et mêmes à l'égard de celles qui causent les mycoses profondes.
- ✓ sensibiliser les gens aux dangers des effets secondaires indésirables causés par les traitements de synthèse qui sont néfastes à leur santé.
- ✓ élaborer des formules naturelles à base des huiles essentielles sous forme de shampoing, lotions, gels, crèmes,... etc.

Adio A. M. (2005). Isolation and Structure Elucidation of Sesquiterpenoids from the Essential Oils of Some Liverworts (Hepaticae). *Thèse doctorat* . Institut ational de la chimie organique, université de Hambourg, 280p.

AFNOR. (1989). Les huiles essentielles: 3^{ème} Recueil des normes françaises.

Afssaps., (2008). Recommandations relatives aux critères de qualité des huiles essentielles.

Amarti, F., Satrani, B., Ghanmi, M., Farah, A., Aafi, A., Aarab, L., et al. (2010). Composition chimique et activité antimicrobienne des huiles essentielles de *Thymus algeriensis* Boiss. & Reut. et *Thymus ciliatus* (Desf.) Benth. du Maroc. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ* , 14 (1), pp. 141-148.

ANOFEL (2014). « Aspergilloses et autres champignons filamenteux opportunistes ». (Association Française des Enseignants de Parasitologie et Mycologie).

Anton R et Lobstein A. (2005). Plantes aromatiques. Epices, aromates, condiments et huiles essentielles. Tec & Doc, Paris, 522p.

Audonneau (2007). Diagnostiques et cliniques des dermatophytes.

Balandrin, M. F., Kjocke, A., J, & Wurtele. (1985). Natural Plant chemicals sources of Industrial and mechanical materials. *Science*, 228, pp. 1154-1160.

Barkire, B. (1996). *Les ressources naturelles d'origine végétale au Niger : les possibilités de leur valorisation sous forme de biopesticides*. séminaire-atelier, Niamey, Niger, 28 octobre-8 novembre 1996.

Bauer K., Garbe D., & Suburg H. (2001). *Common Fragrance and Flavor Materials: Preparation, Properties and Use*. Weinheim: Wiley-VCH, 293 pp.

Belaiche, P. (1979). *Traite de phytothérapie et d'aromathérapie, L'Aromatogramme*. Paris: Malonie, 204 p.

Benayad, N. (2008). *Les huiles essentielles extraites des plantes médicinales marocaines: moyen efficace de lutte contre les ravageurs des denrées alimentaires stockées. Rapport de stage*. Faculté des sciences, Rabat, Maroc.

Bendris houari, (2003). « Valorisation des extraits des plantes aromatiques et médicinales de : *Ruta chalapensis* et *Marrubium vulgare* »

Benjlali B. (2000). *Huiles essentielles : de la plante à la commercialisation – Manuel pratique*. Rabat, Maroc: Corporation LASEVE, 60 p.

Bernard T., & Coll. (1988). "Extraction des huiles essentielles : chimie et technologie". *Information chimie* , 289.

Berset, C., & Cervelier, M. E. (1996). Methods of estimating the degree of lipid oxidation and of measuring antioxidizing power. *Scienses des Aliments* , 16, pp. 219-245.

Bioforma, (2002). « Les moisissures d'intérêt médical », vol.25.

Bioforma, (2004). « Les dermatophytes », vol. 31.

Board N. (1999). *The complete technology book of essential oils (aromatic chemicals)*. Delhi, India: Asia Pacific business press, 597p.

Boughendjioua H.; (2015). Les plantes médicinales utilisées pour les soins de la peau. Composition chimique, activité antioxydante et antimicrobienne des huiles essentielles de *Citrus limon*, *Cinnamomum zeylanicum* et *Thymus numidicus*. Thèse de doctorat.

Bouzouita, N., Kachouri, F., Ben Halima, M., & Chaabouni, M. (2008). Composition chimique et activités antioxydante, antimicrobienne et insecticide de l'huile essentielle de *Juniperus phoenicea*. *Journal de la Société Chimique de Tunisie*, 10, pp. 119-125.

Boyd B., Ford C., Koepke C., Horn E., McAnalley S., & McAnalley B. (2003). Etude pilote ouverte de l'effet antioxydant d'Ambrotose AOTM sur des personnes en bonne santé. *glyoScience et Nutrition*, 4 (6), p. 7p.

Bruneton J., (1993). Pharmacognosie et Phytochimie, Plantes Médicinales. Paris, France: Lavoisier, 279p.

Bruneton J., (1999). Pharmacognosy: Phytochemistry, Medicinal Plants (éd. 2nd Edition). London: Intercept, 1119 pp.

Bruneton J., (2002). Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales, 3^{ème} édition. Pp : 526.

Bruneton J., (2009). Pharmacognosie : Phytochimie, plantes médicinales. 4^{ème} édition Tec & Doc Lavoisier.

CABI, (2015). « Fiche technique cartes, images, résumés et texte intégrale sur les espèces envahissantes du monde » <http://www.Cabi.Org/isc/datasheet/119607>

Carnesecchi, S., Schneider, Y., Ceraline, J., Duranton, B., Gosse, F., Seiler, N., et al. (2001). Geraniol, a Component of plant essential oils, inhibits growth and polyamine biosynthesis in human colon cancer cells. *J. Pharmacol. Exp. Ther*, 298 (1), pp. 197- 200.

Chabasse D., Jean-Philippe Bouchara, Marc Pihet, Ludovic de Gentile, Bernard Cimon, (2010). « Les levures et levures ». N°44. Biologie médicale.

Clark R. J., & Menary, R. C. (1984). The effect of two harvests per year on the yield and composition of *Tasmanian peppermint* oil (*Mentha piperita* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 35, pp. 1191–1195. Contribution pour l'évaluation de la sécurité des produits cosmétiques contenant des huiles essentielles.

Couplin F., (2012), Lettre d'information n°12, Rencontre avec la lavande.

Daroui-Mokadem H., (2012). Etude phytochimique et biologique des espèces *Eucalyptus globulus* (Myrtaceae), *Smyrniolus olusatrum* (Apiaceae), *Asteriscus maritimus* et *Chrysanthemum trifurcatum* (Asteraceae)

Desmares C., Laurent A., & Delerme C. (2008). Recommandations relatives aux critères de qualité des huiles essentielles: Contribution pour l'évaluation de la sécurité des produits cosmétiques contenant des huiles essentielles. Saint-Denis cedex: Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé (AFSSPS), 17p.

Deyson J., (1978). Cours de botanique générales. 4^{ème} série. Tome II. Organisation et classification des plantes vasculaires, deuxième partie. Pp : 380-381.

Djahra Ali Boutlelis, (2014). « Etude phytochimique et activité antimicrobienne, antioxydante, antihépatotoxique du Marrube blanc ou *Marrubium vulgare* L. »

Dupont, R. (2000). *Propriétés physiques et psychiques des huiles essentielles*. France: Editions Diffusion crucienne, 365.

Duraffourd, C., lapraz, J-C. 1997. Les règles d'utilisation des huiles essentielles en thérapeutique. Edition Phyto. 2000.

Elabed D., & Kambouche N. (2003). *Les huiles essentielles*. Oran, Algérie: Dar El Gharb.

Favier, A. (2003). *le stress oxydant. Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique*. L'actualité chimique, 108- 115pp.

Festy D. et Dupin C., 2012, La lavande, c'est malin : Huile essentielle, fraîche ou séchée, découvrez les incroyables vertus de cette fleur, pour la beauté, la santé, la maison,..., Ed. Leduc's.

Foulk, J. A., Akin, D. E., & Dodd, R. B. (2002). *Trends in New Crops and New Uses*. Alexandria: ASHS Press, 361p.

Franchommeet P., & Penoel D. (1990). Matière médicale aromatique fondamentale. Dans R. Jollois, *L'aromathérapie exactement, encyclopédie de l'utilisation thérapeutique des huiles essentielles* (pp. 317-406). édition Limoge

Guarrera P. M. (1999). Traditional antielmintic, antiparasitic and repelent uses of plants in central Italy. *Journal of Ethnopharmacology* , 68, pp. 183-192.

Guignard J.L., (2001). Botanique systématique moléculaire. Ed: Masson. Paris. 290 p.

Gutteridge J. M., & Halliwell, B. (1994). *Antioxidants in Nutrition, Health and Diseases*. New York: Oxford University Press, 143 pp.

Halewyne M-A., Leclerc J-M. , King N., Legris M., Frenette Y., (2002). "Les risques à la santé associés à la présence de moisissures en milieu intérieur ».

Juergens UR., Dethlefsen U., 2003. Anti-inflammatory activity of a 1.8-cineol (eucalyptol) in bronchial asthma: a double-blind placebo-controlled trial. *Respir. Med.* 97: 250, 256.

Kalemba, D., & Kunicka, A. (2003). Antibacterial and antifungal properties of essential oils "Review". *Curr. Med. Chem* , 10, pp. 813-829.

Kehrl, W., Sonnemann, U., Dethlefsen, U., 2004. Therapy for acute nonpurulent rhinosinusitis with cineole: results of a double-blind, randomized, placebo-controlled trial. *Laryngoscope*. 114 (4):738-742.

Kim, J., Marshall, M. R., & Wei, C. (1995). Antibacterial activity of some essential oil components against five foodborne pathogens. *J. Agric. Food. Chem.* , 43, pp. 2839-2845.

Kozioł N. (2015). Huiles essentielles d'*Eucalyptus globulus*, d'*Eucalyptus radiata* et de *Corymbia citriodora* : qualité, efficacité et toxicité. Thèse de doctorat en pharmacie.

Lagunez Rivera, L. (2006). Etude de l'extraction de métabolites secondaires de différentes matières végétales en réacteur chauffé par induction thermomagnétique directe. *Thèse doctorat* , 331p. Institut national polytechnique, Toulouse, France.

Lahlou, M., 2004. Methods to study phytochemistry and bioactivity of essential oils. *Phytoth. Res.* 18, 435-448.

Laïb, I. (2011). Etude des activités antioxydante et antifongique de l'huile essentielle des fleurs sèches de *Lavandula officinalis* sur les moisissures des légumes secs, diplôme de Magister en Sciences Alimentaires, université Mentouri Constantine. p23, 25- 27.

Lateur N., Mortaki A., et André J., (2003). « Two Hundred Ninety-Six Cases of Onychomycosis in Children and Teenagers: A 10-Year Laboratory Survey », *Pediatr. Dermatol.*, vol. 20, no 5, p. 385–388, 2003.

Lattaoui, N., & Tantaoui-Elaraki, A. (1994). Individual and combined antibacterial activity of the main components of three thyme essential oils. *Riv. Ital. EPPOS* , 13, pp. 13-19.

Maleci Bini L. (2006). *The glandular trichomes of Labiaceae*. International Symposium The Labiatae: Advances in Production, Biotechnology and Utilization, Sanremo, Italy: 22-25 February 2006.

Manou, L., Bouillard, L., Devleeschouwer, M. J., & Barel, A. O. (1998). Evaluation of the preservative properties of *Thymus vulgaris* essential oil in topically applied formulations under a challenge test. *J. Appl. Microbiol.* , 84, pp. 368-376.

McLaughlin, J. L., Rogers, L. L., & Anderson, J. E. (1998). The use of biological assays to evaluate botanicals. *Drug Information Journal* , 32, pp. 513-524.

Morin, L., Guenther, C., Peyron, L., & Richard, H. (1985). Etude des intervenants lors du procédé d'hydrodistillation. *Bulletin de la Société Chimique Française*, 5, pp. 921-930.

Moura, L., Carvalho, J. R., Stefanini, M. B., Ming, L., & Meireles, M. (2005). Supercritical fluid extraction from fennel (*Foeniculum vulgare*): global yield, composition and kinetic data. *The Journal of Supercritical Fluids*. Article en presse.

Novelli, G. P. (1997). Role of free radicals in septic shock. *J physiol pharmacol* , 48, pp. 517-527.

Okoh, O. O. (2010). Chemical transformations and phytochemical studies of bioactive components from extracts of *rosmarinus officinalis* L. *A thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy* , 198pp. Faculty of Science and Agriculture at the University of Fort Hare.

Ourāini, D., Agoumi, A., Alaoui, M. I., Alaoui, K., Cherrah, Y., Benlemlih, M., et al. (2005). Approche thérapeutique des dermatophyties par les huiles essentielles de plantes aromatiques marocaines. *Phytothérapie* , 1, pp. 3-12.

Palikan W., 2002, L'homme et les plantes médicinales, Tome 1, Ed. Triades.

Panizi L., Flamini G., Cioni P. L., & Morelli I. (1993). Composition and antimicrobial properties of essential oils of four Mediterranean Lamiaceae. *Journal of Ethnopharmacology* , 39, pp. 167–170.

Petinataud D., (2014). « Optimisation de la stratégie diagnostique des onychomycoses : du prélèvement à l'identification fongique ». Evaluation d'un kit diagnostique de PCR en temps réel.

PIER, (2013). Écosystèmes en péril des îles du Pacifique. Honolulu, Hawaii, USA: HEAR, Université d'Hawaï. [Http://www.hear.org/pier/index.html](http://www.hear.org/pier/index.html)

Pingot, A. (1998). *Les huiles essentielles*. Paris, : Ed. Tec. & Doc, pp. 230-236.

Quezel P., Santa, S., (1963). La nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome II, Ed : CNRS. Paris. 360-361 p.

Rapp, R. P. (2004). Changing strategies for the management of invasive fungal infections. *Pharmacotherapy* , 24, pp. 4S-28S.

Richard, H. (1992). *Épices et Aromates. Technologie et Documentation*. Paris, France: Lavoisier, 339p.

Schelz, S., Hohmann, J., & Molnar, J. (2010). Recent advances in research of antimicrobial effects of essential oils and plant derived compounds on bacteria. *Ethnomedicine: A Source of Complementary Therapeutics* , pp. 179-201 ISBN: 978-81-308-0390-6 .

Schlempher V. et al., (1996). “Antispasmodic effect of hydroalcoholic extract of *Marrubium vulgare* on isolated tissues” , *Phytomedicine*, 3(2), 211 – 216. (in Bendris Houari)

Schnitzler, P., Schon, K., & Reichling, J. (2001). Antiviral activity of Australian tea tree oil and eucalyptus oil against herpes simplex virus in cell culture. *Pharmazie* , 56, pp. 343–347.

Schwartz, R., Davis, R., & Hilton, T. J. (1992). Effect of temporary cements on the bond strength of resin cement. *Am. J. Dent* , 5 (3), pp. 147-150.

Senatore F. (1996). Influence of harvesting time on yield and composition of the essential oil of a thyme (*Thymus pulegioides* L.) growing wild in Campania (southern Italy). *J. Agric. Food Chem.* , 44 (5), pp. 1327–1332.

Siani, A.C., Ramos, M.F.S., Menezes-de-Lima, Jr., Ribeiro-dos-Santos, R., Fernandez Ferreira, E., Soares, R.O.A., Rosas, E.C., Susunaga, G.S., Guimaraes, A.C., Zoghbi, M.G.B., Henriques, M.G.M.O., 1999. Evaluation of antiinflammatory-related activity of essential oils from the leaves and resin of species of *Protium*. *J. of Ethnopharmacology*, 66 (1): 57- 69.

Smajda J. (2009). « Les huiles essentielles ». Colloque GP3A, Tananarive, Madagascar:2-3 juillet 2009.

Small E. et Deutsch G., 2001, Herbes culinaires pour nos jardins de pays froid, Ed. CNRC.

Sousa E., Chiavone-Filho O., Moreno M. T., Silva D. N., Marques M. O., & Meireles M. A. (2002). Experimental Results for the Extraction of Essential Oil From *Lippia sidoides* Cham. Using Pressurized Carbon Dioxide. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* , 19 (2), pp. 229-241.

Souza M.M. et al., (1998). « Analgesic profile of hydroalcoholic extract obtained from marrubium ». *Phytomedicine*, 5(2), 103 – 107.

Sudano Roccaro A., Rita Blanco A., Giuliano F., Rusciano D., & Enea V. (2004). Epigallocatechin-Gallate Enhances the Activity of Tetracycline in Staphylococci by Inhibiting Its Efflux from Bacterial Cells. *Antimicrob Agents Chemother* , 48 (6), pp. 1968–1973.

Tesche S., Metternich F., 2008. The value of herbal medicines in the treatment of acute non-purulent rhinosinusitis. Results of a double-blind, randomised, controlled trial. *Arch. Otorhinolaryngo.* 1265 (11):1355-1359.

Tim Cushnie, T., & Andrew, J. (2005). Antimicrobial activity of flavonoids "Review". *International Journal of Antimicrobial Agents* , 26, pp. 343–356.

Ultee, A., Gorris, L. G., & Smid, E. J. (1998). Bactericidal activity of carvacrol towards the food-borne pathogen *Bacillus cereus*. *J. Appl. Microbiol.* , 85 (2), pp. 211-218.

Vansant, G. (2004). Radicaux libres et antioxydants. Principe de base. *Symposium « antioxydant et alimentation »*. institut DANONE.

Venkatachalam K. V., Kjonaas R., & Croteau R. (1984). Development and Essential Oil Content of Secretory Glands of Sage (*Salvia officinalis*). *Plant Physiol* , 76, pp. 148-150.

Vialard N., 2008, Remèdes et recettes à la lavande, Ed. Rustica.

Wagner J., Wagner M. L., & Hening W. A. (1998). Beyond benzodiazepines: alternative pharmacologic agents for the treatment of insomnia. *Ann Pharmacother.* , 32 (6), pp. 680-91.

Wang J., Zhao J., Liu, H., Zhou L., Liu, Z., Wang J., et al. (2010). Chemical Analysis and Biological Activity of the Essential Oils of Two Valerianaceous Species from China: *Nardostachys chinensis* and *Valeriana officinalis*. *Molecules* , 15, pp. 6411-6422.

Weel KGC et al., (1999). « Antioxidant activity of Horehound (*Marrubium vulgare* grown in Lithuania, *Fett/Lipid* 101, 10, 395-400, 1999.

Wenqiang, G., Shufen, L., Ruixiang, Y., & Shaokun, T. (2007). Comparison of essential oils of clove buds extracted with supercritical carbon dioxide and other three traditional extraction methods. *Food Chemistry* , 100 (1), pp. 1558-1564.

Wichtl M. et Anton R., (1999), Plantes thérapeutiques : tradition, pratique officinales, sciences et thérapeutique, Ed. Tec et Doc.

Résumé

Plusieurs travaux de recherche ont été concentrés sur l'activité antifongique des huiles essentielles extraites des plantes aromatiques vis-à-vis des dermatophytes. Les différents résultats publiés indiquent qu'elles sont douées de cette activité.

Dans ce contexte, nous avons essayé d'évaluer *in vitro* l'activité antifongique des huiles essentielles d' *Eucalyptus globulus*, *Marrubium vulgare* et *Lavandula angustifolia* et de comparer leur activité à celle du nitrate d'éconazole (traitement de synthèse).

L'extraction des huiles essentielles a été réalisée par hydrodistillation des feuilles sèches des plantes.

Et d'après les résultats obtenus suite à la méthode des puits on peut conclure que l'huile essentielle d'*Eucalyptus globulus* est meilleure que les deux autres huiles et exerce un effet antifongique plus important que celui exercé par le nitrate d'éconazole.

Mots clés : Huiles essentielles, traitement de synthèse, dermatophytes, activité antifongique.

Abstract

Several research studies have focused on the antifungal activity of essential oils extracted from aromatic plants with respect to dermatophytes. The various published results indicate that they are endowed with this activity.

In this context, we tried to evaluate the *in vitro* antifungal activity of essentials oils of *Eucalyptus globulus*, *Marrubium vulgare* and *Lavandula angustifolia* and compare their activity with that of econazole nitrate (synthetic treatment).

The extraction was carried out by hydrodistillation of the dry leaves of the plants.

From the results obtained from the well method, we can be conclude that the essential oil of *Eucalyptus globulus* is better than the two other oils and has a greater antifungal effect than that exerted by econazole nitrate.

Tags: Essentials oils, synthetic treatment, dermatophytosis, antifungal activity,