

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة الإخوة منتوري قسنطينة I
Frères Mentouri Constantine I University
Université Frères Mentouri Constantine I

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biochimie et Biologie
Cellulaire et Moléculaire

كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم الكيمياء الحيوية و البيولوجيا
الخلوية و الجزيئية

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : Biochimie de Nutrition

N° d'ordre :
N° de série :

Intitulé :

**Etude théorique de l'activité biologique et application des hydrolats des
plantes aromatiques**

Présenté par : HADJADJ Romaila
NOURI Aya

Le 28/06/2022

Jury d'évaluation :

Encadreur : BOUSEBA Bachir. (MC-B - Université Frères Mentouri, Constantine 1).
Examineur 1 : CHIBANI Salih. (MC-A - Université Frères Mentouri, Constantine 1).
Examineur 2 : BAZRI Kamel-eddine (MC-A - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

**Année universitaire
2021 - 2022**

Remerciements

On remercie dieu de tout puissant de nous avoir donné la santé, et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr **BOUSEBA Bachir**, on le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury **Dr. S. CHIBANI** et **Dr. K. BAZRI** pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.*

Nous profitons aussi de cet occasion pour adresser remerciements à nos parents pour leur sacrifices et à toutes les familles qui nous ont toujours encouragé et soutenu tout au long des années d'étude.

Enfin, Nous remercions à toutes les personnes qui ont aidées dans la réalisation de ce mémoire.





2022

Dédicace : Hadjadj Romaila

A MA TRÈS CHÈRE MÈRE : Hadjadj Razika

Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes cotés pour me consoler quand il fallait. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime. Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour..



A Mon TRÈS CHÈR Père : Hadjadj Hacenne

Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes soit-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Ta patience sans fin, ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter. Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester ta fierté et ne jamais te décevoir. Que Dieu le tout puissant te préserve, t'accorde santé, bonheur, quiétude de l'esprit et te protège de tout mal.

Mes sœurs Amira, Chahrazed, Nessrine pour leur dévouement, leur compréhension et leur grande tendresse, qui en plus de m'avoir encouragé tout le long de mes études, m'ont consacré beaucoup de temps et disponibilité, et qui par leur soutien, leurs conseils et leur amour, m'ont permis d'arriver jusqu'à ici car ils ont toujours cru en moi, Merci d'avoir toujours soutenu et merci pour tout les bons moments passé ensemble, et ce n'est pas fini

A mon neveu Hodni Bey Yanis

Avoir un neveu est le plus beau cadeau qu'une sœur puisse vous faire. Tes petites mains, ton envie de parcourir le monde, ton enthousiasme, tes sourires, tes yeux brillants sont incomparables. Tu as apporté beaucoup de bonheur à notre famille. Je t'aime

Ma chère binôme Nouri Aya

*Pour son soutien moral, sa patience
et sa compréhension tout
au long de ce mémoire*





2022

Dédicace : Nouri Aya

Je dédie ce travail avant tout à mes chères parents qui m'ont soutenu pendant mon parcours universitaire.

Ma chère binôme Romaila Pour son partage, sa compréhension, son aide et ses efforts.

Je dédie aussi à mon frère, ma sœur, mes amis, qui m'ont soutenu aussi dans mon parcours .et qui m'ont couvert d'affection et de sacrifices toutes ces longues années d'études.



Sommaire

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction	1
Chapitre I : Plantes aromatiques et leurs métabolites secondaires	3
I. Plantes aromatiques	3
I. 1 – Introduction.....	3
I. 2 – Types de plantes aromatiques	4
I. 3 – Usages des plantes aromatiques	5
I. 3.1– Usages des plantes aromatiques en cuisine	6
I. 3.2– Usages des plantes aromatiques en cosmétique.....	6
I. 3.3– Usages des plantes aromatiques en parfumerie	8
I. 4 – Métabolites secondaires des plantes médicinales et aromatiques.....	9
Chapitre II : Huiles essentielles et hydrolats	16
II. 1-Les huiles essentielles	16
II.1 .1- sources et caractéristiques :	16
II. 1.2 - Techniques d'extraction des huiles essentielles.....	18
II .1.3- La composition chimique des huiles essentielles	27
II. 1. 4 - Utilisation d'huiles essentielles	28
II. 2-Hydrolats	29
II. 2. 1-Définition	29
II. 2. 2-Production d'hydrolat.....	30

II. 2. 3-Composition chimique d'hydrolat.....	31
Chapitre III : Activité biologique et applications des hydrolats	34
III.1-Activité biologique des hydrolats	34
III. 1. 1-Activité antibactérienne des hydrolats	34
III. 1. 2-Activité antifongique des hydrolats	38
III. 1. 3-Activité antioxydante des hydrolats	42
III. 1.4-Activités anti-inflammatoire des hydrolats.....	44
III. 2-Applications des hydrolats.....	45
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVE	
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
RESUME	

Liste d'abréviation

<u>MAP :</u>	Plantes médicinales et aromatiques
<u>C :</u>	Carbone
<u>% :</u>	Pourcentage
<u>E4P :</u>	Erythrose-4-phosphate
<u>PEP :</u>	Phosphoénolpyruate
<u>DOX5P :</u>	désoxyxylulose-5-phosphate
<u>ISO :</u>	Organisation Internationale de Normalisation
<u>°C :</u>	Degré Celsius
<u>PEF :</u>	Méthode du champ électrique pulsé
<u>EFS :</u>	l'extraction par un fluide supercritique
<u>CO2 :</u>	Le dioxyde de carbone
<u>EAU:</u>	Extraction assistée par ultrasons
<u>OAHD:</u>	Hydrodistillation assistée par ohmique
<u>HE :</u>	Huile essentielle
<u>TFC :</u>	La teneur totale en flavonoïdes
<u>(TPC) :</u>	La teneur totale en phénols
<u>L :</u>	Litre
<u>g :</u>	Gramme
<u>kV :</u>	kilovolt
<u>Cm :</u>	Centimètre
<u>Mg :</u>	Milligramme
<u>N°:</u>	Numéro
<u>E. coli:</u>	<i>Escherichia coli</i>
<u>C. albicans:</u>	<i>Candida albicans</i>
<u>S. aureus:</u>	<i>Staphylococcus aureus</i>
<u>AFH, AFAH et ARH:</u>	Hydrolats de fleur, d'axe floral et de racine d' <i>Areca catechu</i> , respectivement.
<u>CFH, CFAH et CRH :</u>	Hydrolats de fleur, d'axe floral et de racine de <i>Cocos nucifera</i> , respectivement.

<u>Cm²</u> :	Centimètre carré
<u>Cm</u> :	Centimètre
<u>h</u> :	Heure
<u>CDA</u> :	Czapex Dox Agar
<u>DRO</u> :	Dérivés réactifs de l'oxygène
<u>ADN</u> :	Acide désoxyribonucléique
<u>Dpph</u> :	Diphénylpicrylhydrazyle
<u>DMPD</u> :	Diméthylphénylènediamine
<u>UV/Vis</u> :	Ultraviolet/visible
<u>TBARS</u> :	Substances réactives à l'acide thiobarbiturique
<u>TEAC</u> :	Capacité antioxydante en équivalent Trolox
<u>TTH</u> :	Tetragonia tetragonoides hydrosols
<u>LPS</u> :	Lipopolysaccharides
<u>MAPK</u> :	Les Mitogen-activated protein kinases
<u>NF-κB</u> :	Nuclear factor-kappa B

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Structures génériques des principaux flavonoïdes.....	11
Figure 2 :Exemples de terpènes.	12
Figure 3 :Biosynthèse des métabolites secondaires dans les plantes médicinales et aromatique.	13
Figure 4 :Appareil d'hydrodistillation de type Clevenger.	20
Figure 5 :Représentation schématique de distillation à la vapeur.....	22
Figure 6 :Représentation schématique de système d'extraction des huiles essentielles par micro-ondes.....	25
Figure 7 :Composants de base d'un système OAHD pour l'extraction d'huile essentielle.	26
Figure 8 :Processus de production d'hydrolat.....	31
Figure 9 : Niveaux d'inhibition de la croissance de <i>S. Typhimurium</i> sur des échantillons de pomme (A) et de carotte (B)	37
Figure 10 : Niveaux d'inhibition de la croissance d' <i>E. coli</i> O157:H7 sur des échantillons de pomme (A) et de carotte (B).....	37
Figure 11 : Effet inhibiteur de l'hydrolat de sarriette sur <i>Alternaria mali</i>	39
Figure 12 : Effet inhibiteur de l'hydrolat de sarriette sur <i>Botrytis cinerea</i>	39

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classification botanique des plantes aromatiques.....	5
Tableau 2 : L'utilisation des quelques plantes aromatiques en gastronomie et en cuisine	6
Tableau 3 : L'utilisation des quelques plantes aromatiques dans la composition de certains cosmétiques.....	7
Tableau 4 : Utilisations de différentes parties de plantes en cosmétique.....	7
Tableau 5 : Pourcentage d'huiles essentielles et d'alcool dans différents types de parfums.....	9
Tableau 6 : Quelques matières aromatiques d'origine végétale.....	14
Tableau 7 : Caractéristiques, principaux avantages et inconvénients des différents procédés d'extraction des huiles essentielles	18
Tableau 8 : Quelques familles moléculaire dans les huiles essentielles.....	26
Tableau 9 : La teneur en phénols et flavonoïdes dans les fleurs, les feuilles et les fruits.....	31
Tableau 10 : Composition chimique de certains hydrolats.....	32
Tableau 11 : Composition chimique des hydrolats de trois espèces d'eucalyptus <i>E. alba</i> , <i>E.camaldulensis</i> et <i>E. tereticornis</i>	33
Tableau 12 :Activité antibactérienne des hydrolats de différentes parties de la noix d'arec et de la noix de coco contre quatre bactéries	35
Tableau 13 :Effets antifongiques des hydrolats sur les champignons phytopathogènes.....	40
Tableau 14 : Efficacité et effets secondaires de l'extrait de noix chez les patients atteints de diabète de type 1.....	48

Introduction

general

INTRODUCTION

L'histoire des plantes médicinales ou aromatiques est étroitement liée à l'évolution de la civilisation. Dans toutes les régions du monde, l'histoire des peuples montre que ces plantes ont toujours eu une place importante dans la médecine, les ingrédients de parfumerie et les préparations culinaires.

Aujourd'hui, on constate un intérêt croissant pour ces plantes. Cela est dû, d'une part, à l'efficacité et à la facilité d'extraction de leurs composés chimiques (principes actifs) et, d'autre part, aux risques posés par de nombreuses substances chimiques de synthèse.

Par exemple, les maladies causées par des aliments qui contiennent des conservateurs de synthèse à des doses non respectées par le fabricant ou qui sont intrinsèquement cancérigènes. De plus, de nombreux médicaments sont inefficaces en raison de la résistance acquise par les agents pathogènes, en particulier après une utilisation fréquente.

Un autre exemple, tous les aliments et les cosmétiques contiennent des micro-organismes. Certains ne présentent aucun risque pour les consommateurs, mais d'autres sont pathogènes et peuvent se développer après un mauvais stockage ou une durée de conservation dépassée (**BORGES, 2014**).

D'après l'**OMS, 2007**, jusqu'à 30 % des habitants des pays industrialisés souffrent chaque année de maladies d'origine alimentaire et, en 2005, au moins 1,8 million de personnes dans le monde sont mortes de maladies diarrhéiques. Une grande partie de ces cas peut être attribuée à la contamination des aliments et de l'eau potable.

Pour cette raison, un retour aux plantes médicinales et aromatiques est presque nécessaire. De ce fait, elles sont devenues la source de production d'un grand nombre de molécules chimiques complexes exploitées par l'homme dans plusieurs industries, dont les industries cosmétique, alimentaire et pharmaceutique.

Les huiles essentielles et les hydrolats sont une grande source de ces molécules, et la qualité de ces extraits est souvent déterminée par l'efficacité de leur activité biologique, en particulier leur activité contre les micro-organismes contaminants et les oxydants qui peuvent causer de graves problèmes de santé.

Ainsi, la composition chimique, les propriétés et les activités biologiques des hydrolats constituent un sujet de recherche qui reste à explorer et un moyen pour répondre à de nombreuses questions sur son utilisation, comme la possibilité de l'utiliser pour remplacer l'eau du robinet pour le nettoyage de la peau, le rinçage des cheveux et pour l'industrie des cosmétiques.

Afin d'apporter notre contribution dans ce domaine, nous avons choisi de mener une étude théorique sur l'activité biologique et les applications des hydrolats de plantes aromatiques, qui se décline en trois chapitres :

Chapitres I : Est consacré à une synthèse bibliographique sur l'importance des plantes aromatiques et leurs métabolites secondaires.

Chapitres II : Présentela composition chimique des huiles essentielles et hydrolats extraits de plantes aromatiques.

Chapitres III : La mise en évidence de l'activité biologique et les applications des hydrolats.

Enfin, ce travail est achevé par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre I

Plantes aromatiques et leurs métabolites secondaires

I. Plantes aromatiques

I. 1 – Introduction

Ce sont des plantes qui sécrètent des odeurs aromatiques distinctives, elles ont de nombreuses utilisations dans divers domaines tels que la cuisine comme épices, la médecine comme médicament et aussi la phytothérapie car elles ont plusieurs propriétés importantes et bénéfiques pour notre santé.

L'utilisation des plantes aromatiques existe depuis l'Antiquité, et cela est attesté par de nombreuses cultures, notamment chinoise, égyptienne et grecque, où elles étaient utilisées comme médicaments, épices, aliments ou produits cosmétiques.

Malgré les avancées de la médecine dans le monde d'aujourd'hui, la majorité de la population des pays en voie de développement n'a pas accès aux soins de santé, ces plantes occupent donc une place très importante dans la vie de ces populations.

A titre d'exemple, le continent africain joue un rôle important en tant que source de ces plantes pour les marchés mondiaux de l'alimentation, des médicaments, des herbes, des compléments alimentaires et des cosmétiques (**Máthé *et al.*, 2017**).

En Algérie, grâce à ses caractéristiques et particularités biologiques et géographiques, ainsi que sa diversité bioclimatique, elle permet l'existence d'une grande diversité végétale (3000 genres) y compris les plantes aromatiques, qu'elles soient cultivées ou sont encore prélevées dans la nature (**Constantine *et al.*, 2020**).

La demande mondiale en plantes médicinales et aromatiques (MAP) a augmenté ces dernières années, en particulier dans l'industrie des arômes et des parfums. Pour répondre à ce besoin, la recherche scientifique, comme le changement du microclimat et le développement des nanotechnologies, assure des cultures durables, des rendements élevés et la qualité de ces plantes (**Thakur et Kumar, 2021**).

Selon la même référence, dans les microclimats qui sont des zones relativement petites, c'est-à-dire à des hauteurs de 3 à 6 mètres au-dessus de la surface, les changements des conditions climatiques affectent la croissance et le développement des plantes en modifiant différents paramètres physiques tels que l'intensité lumineuse et la longueur d'onde. La morphologie, la croissance, le rendement et le rendement en métabolites secondaires dans ces plantes sont également affectés par cette modification.

La nanotechnologie, une science émergente, est l'étude de petites particules ou de matériaux à l'échelle nanométrique, dont la taille varie de 1 à 100 nanomètres (1 nanomètre = 10⁻⁹ m). La biosynthèse verte est la possibilité d'utiliser des organismes (y compris des plantes médicinales et aromatiques) comme bioréacteurs pour synthétiser des nanoparticules.

En raison de la toxicité des traitements actuels et des problèmes de multi-résistance microbienne, de nombreuses nanoparticules métalliques différentes obtenues à partir de ces plantes via la biosynthèse verte sont considérées comme des antioxydants potentiels et des candidats prometteurs pour le traitement du cancer (**Chandra *et al.*, 2020**).

Récemment, la culture de plantes médicinales et aromatiques s'est répandue dans les jardins, notamment les jardins maisons, car elles apportent de nombreux avantages économiques, thérapeutiques ou psychologiques à la famille. A cet effet, une petite parcelle de terrain est aménagée dans le jardin pour la culture de ces plantes, notamment la menthe, la citronnelle, la ciboulette, l'estragon, le thym, le romarin, la sauge et la sarriette.

Les plantes aromatiques peuvent également être cultivées en pots, mais elles nécessitent un sol et une exposition différents.

I. 2 – Types de plantes aromatiques

C'est un groupe de plantes diverses composé d'arbres, d'arbustes et d'herbes utilisées comme épices, herbes ou condiments. Certaines sont des vivaces, d'autres des bisannuelles ou des annuelles. Elles sont cultivées selon les besoins pour leurs feuilles, tiges, bulbes, racines, graines, fleurs, écorce, etc.

Une ou plusieurs parties des plantes aromatiques, à savoir les racines, le bois, l'écorce, les tiges, les feuilles, les fleurs et les fruits, contiennent des odorants volatils sous forme d'huiles essentielles, de sécrétions de gomme, de baumes et d'oléorésines.

Sur un total d'environ 1500 plantes aromatiques connues, seulement un peu plus de 300 ont été étudiées en détail. Sur les 50 espèces utilisées comme sources commerciales d'huiles essentielles et de produits chimiques aromatiques, un peu plus de douzaines sont utilisées régulièrement et à grande échelle.

Les plantes aromatiques importantes dans le monde sont listées ci-dessous, classées par famille botanique (**Tableau1**).

Tableau1 : Classification botanique des plantes aromatiques
(Guenther, 1952, modifié par Reddy, 2014)

Subdivision	Classe	Famille
I. Gymnospermes	Conifères	<i>Podocarpaceae, Pinaceae, Taxodiaceae</i>
II. Angiospermes	1. Monocotylédones	<i>Graminae(Poaceae), Cyperaceae, Palmae Cocos (Palmaceae), Araceae, Liliaceae, Amaryllidaceae, Iridaceae,</i>
	2. Dicotylédones	<i>Piperaceae, Betulaceae, Moraceae, Santalaceae, Aristolochiaceae, Chenopodiaceae, Caryophyllaceae, Ranunculaceae, Magnoliaceae, Anonaceae, Myristicaceae, Lauraceae, Cruciferae, Resedaceae, Saxifragaceae, Hamamelidaceae, Rosaceae, Leguminosae, Geraniaceae, Zygophyllaceae, Rutaceae, Burseraceae, Euphorbiaceae, Anacardiaceae, Tiliaceae, Malvaceae, Dipterocarpaceae, Cistaceae, Violaceae, Myrtaceae, Umbelliferae(Apiaceae), Ericaceae, Primulaceae, Oleaceae, Verbenaceae, Labiatae(Lamiaceae), Rubiaceae, Caprifoliaceae, Valerianaceae, Compositae(Asteraceae).</i>

I. 3 – Usages des plantes aromatiques

Les matériaux de spécialité suivants peuvent être obtenus à partir de ces plantes (**Lubbe & Verpoorte, 2011**):

- Huiles essentielles
- Eaux aromatiques (hydrolats)
- Produits pharmaceutiques
- Produits de santé à base de plantes
- Teintures et colorants
- Cosmétiques, produits de soins personnels
- Produits phytosanitaires
- Intermédiaires à partir desquels ce qui précède peut être produit.

I. 3.1– Usages des plantes aromatiques en cuisine

L'utilisation des plantes aromatiques en cuisine était et reste toujours importante, particulièrement dans les régions méditerranéennes.

Le **tableau 2** présente l'utilisation de quelques plantes aromatiques en gastronomie et en cuisine :

Tableau 2 : L'utilisation des quelques plantes aromatiques en gastronomie et en cuisine (**Foued, 2018**)

Plante aromatique	Utilisation en cuisine
Romarin	Se marie bien avec la viande blanche, l'agneau, le veau et la volaille. Il est indispensable dans les recettes provençales
Sauge	Dans les salades, ses feuilles peuvent également être placées sous la peau d'un poulet ou en intercaler entre une caille et les bardes qui l'entourent.
Oranges	Ses feuilles peuvent être placées sous la peau d'un poulet ou en intercaler entre une caille et les bardes qui l'entourent.
Thym	Il peut être utilisé pour aromatiser les plats mijotés, seul ou avec un bouquet garni, et aussi pour parfumer les viandes grillées.
Basilic	Souvent associée à la tomate et au poisson, elle parfume les sauces à base d'huile ou de vinaigre, et incarne parfaitement la cuisine méditerranéenne.
Coriandre	S'associe bien avec les fruits de mer et peut également être utilisé dans les desserts tels que l'ananas frais et la salade d'orange

I. 3.2– Usages des plantes aromatiques en cosmétique

Un produit cosmétique est toute substance ou préparation destinée à être utilisée sur toute surface externe du corps humain, sur les dents ou sur l'ensemble de la muqueuse buccale, ou principalement dans le but de les nettoyer, de les parfumer ou de les protéger et de les maintenir en bon état (**Aburjai & Natsheh, 2003**).

De nombreux produits obtenus à partir des plantes aromatiques entrent dans la composition de certains cosmétiques (**tableau 3**).

Tableau 3 : L'utilisation des quelques plantes aromatiques dans la composition de certains cosmétiques (Aburjaïet Natsheh, 2003; Foued, 2018)

Plante aromatique	Utilisation en cosmétique
Mangue	Il contient des grains qui produisent une huile précieuse riche en acides gras oléiques et en triglycérides utilisés en cosmétique. L'huile de noyau de mangue convient comme base de pommade, tandis que le fruit non mûr est censé aider à guérir les éruptions cutanées allant de la lèpre aux aphtes.
Persil	Les feuilles sont antirides, elle est réputée pour réduire les taches de rousseur et éclaircir la peau. Les graines sont réduites en poudre et appliquées sur le cuir chevelu par friction, ce qui est utile contre la chute des cheveux.
Artemisia	La plante entière est transformé en décoction et est utilisé comme lavage pour de nombreux types de plaies et d'ulcères cutanés, ses feuilles sèches aident à cicatrifier les plaies, l'eczéma, l'herpès et la gale sévère.
Orange	Masque pour les cheveux, la poudre d'orange pour le visage.
Basilic	Une plante anti-inflammatoire et anti-ulcère grâce à l'huile qu'elle possède L'acide linoléique présent a la capacité de bloquer à la fois la cyclooxygénase et la lipoxygénase.
Lavande	Baume nourrissant corps et savon

Dans le même contexte, les différentes parties des plantes aromatiques peuvent être utilisées comme produits cosmétiques comme indiqué dans le **tableau 4**.

Tableau 4 : Utilisations de différentes parties de plantes en cosmétique (Faccio, 2020)

Partie de la plante	Plante	Application cosmétique
Écorce	<i>Prunus padus</i>	Raffermissment et blanchiment de la peau
Fleurs	<i>Dendrobium</i>	Raffermissment et blanchiment de la peau
Fruit	<i>Carica papaya</i>	Traitement des cicatrices
Feuilles	<i>Fragaria vesca</i>	Antioxydant, blanchissant la peau
Racines	<i>Helianthus annuus</i> s	Blanchiment de la peau

Il a été dit que "chaque continent a une plante pour chaque besoin". Notamment, cette affirmation semble être vraie. Par exemple, en regardant les ressources naturelles qui font du savon, *Saponaria officinalis* apparaîtrait en Europe ; *Yucca glauca* dans le sud des États-Unis ; *Sapindus indica* en Inde ; *Phytolacca dodecandra* en Afrique et l'écorce de savon sud-américaine (*Quillaja saponaria*) (Aburjai et Natsheh, 2003).

Un autre exemple, les rhizomes de la plante *Kaempferia galanga* L. qui sont très aromatiques ont été largement utilisés comme épices, dans les arômes alimentaires, les produits cosmétiques (dentifrices, shampooing, déodorants, crèmes pour le visage, après-rasages...) et les produits de parfumerie (industrie de la fabrication de parfums) (Kumar, 2020).

Les utilisations cosmétiques de certains produits naturels peuvent être résumées comme suit (Aburjai et Natsheh, 2003):

- Pour les soins de la peau tels que la sécheresse, l'eczéma, l'acné, les taches et les boutons, les anti-radicaux libres, les anti-inflammatoires, les anti-âge et la protection de la peau.
- Utilisé dans les soins capillaires comme stimulateur de croissance des cheveux, traitement des pellicules, teinture capillaire et affections des cheveux et du cuir chevelu telles que les pellicules.

I. 3.3– Usages des plantes aromatiques en parfumerie

La plupart des plantes aromatiques dans le monde sont utilisées dans le développement de parfums (El Meskaoui A. *et al*, 2008), notamment celui à base de fleur où la recherche scientifique s'est concentrée sur son élucidation chimique, couplée à la synthèse chimique pour produire les grandes quantités demandées par les industries de la parfumerie de l'agroalimentaire (Aburjai et Natsheh, 2003).

Le mot parfum vient du latin « per fumen », qui signifie littéralement « à travers la fumée » (Aburjai et Natsheh, 2003).

La parfumerie fait référence à l'art et à l'industrie de fabriquer du parfum d'une part, et au lieu où il est fabriqué ou vendu d'autre part.

Les plantes aromatiques peuvent synthétiser et stocker une grande variété de substances biochimiques, dont beaucoup sont extractibles et peuvent être utilisées comme matières

premières chimiques ou comme matières premières pour diverses études scientifiques (Tamboli *et al.* 2021).

La plupart des plantes aromatiques dans le monde sont utilisées dans l'élaboration des parfums, notamment ceux à base de fleurs (El Meskaoui A. *et al.*, 2008 ; Aburjai et Natsheh, 2003).

Il existe plusieurs procédés pour extraire les parfums des fleurs et des plantes, à savoir : l'enfleurage, la distillation, l'expression, l'extraction par solvant et l'extraction au CO₂ supercritique (Site web N° 1; Tamboli *et al.*, 2021).

Les ingrédients de parfum d'origine naturelle sont issus d'huiles essentielles. Les huiles essentielles elles-mêmes peuvent être considérées comme des parfums créatifs, car elles contiennent des centaines d'ingrédients parfaitement mélangés qui, lorsqu'ils sont ajoutés aux composants du parfum, améliorent leur odeur (Aburjai et Natsheh, 2003).

Les huiles essentielles de grande valeur utilisées comme parfums comprennent les huiles d'agrumes, de lavande, d'eucalyptus, d'arbre à thé et d'autres huiles de fleurs, tandis que le linalol, le géraniol, le limonène, le citronellol et le citral sont des ingrédients de parfum couramment utilisés dans différents cosmétiques. (Sharmeen *et al.*, 2021).

Les types de parfum peuvent être définis par la quantité d'huiles essentielles contenues, comme l'Eau de Parfum, l'Eau de Cologne, l'Eau de Toilette, etc. (Tableau 5)

Tableau 5 : Pourcentage d'huiles essentielles et d'alcool dans différents types de parfums (Sharmeen *et al.*, 2021)

Type of Perfume	Fragrance/Essential Oil	Alcohol
Eau de parfum	8–15%	80–90%
Splash colognes	1–3%	80%
Eau de cologne	3–5%	70%
Eau de toilette	4–8%	80–90%

I. 4 – Métabolites secondaires des plantes médicinales et aromatiques

Les plantes synthétisent une vaste gamme de composés organiques traditionnellement classés en métabolites primaires et secondaires. Les métabolites primaires sont des composés qui ont des rôles essentiels associés à la photosynthèse, à la respiration, à la croissance et au développement.

Les métabolites secondaires jouent un rôle clé dans la protection des plantes contre les agents pathogènes, les ravageurs et les herbivores.

Ces métabolites représentent des produits à haute valeur économique. Ceux-ci sont utilisés comme produits chimiques de grande valeur tels que les médicaments, les arômes, les parfums, les insecticides, les colorants, etc. (Coteaux *et al.*, 2000 ; Dewick, 2002 ; Thirumurugan *et al.*, 2018).

Les métabolites secondaires des plantes peuvent être divisés en trois grands groupes : (i) les flavonoïdes et les composés phénoliques et polyphénoliques apparentés, (ii) les terpénoïdes et (iii) les alcaloïdes azotés et les composés soufrés (Crozier *et al.*, 2006).

I. 4. 1– Composés phénoliques

Les composés phénoliques sont caractérisés par la présence d'au moins un cycle aromatique avec un ou plusieurs groupements hydroxyles. Ils vont des simples composés aromatiques de faible poids moléculaire aux tanins volumineux et complexes et aux polyphénols dérivés.

Les composés phénoliques peuvent être divisés en deux catégories : les flavonoïdes et les non-flavonoïdes

- 1) Les flavonoïdes sont des composés polyphénoliques constitués de quinze atomes de carbone, avec deux cycles aromatiques reliés par un pont à trois carbones (Figure 1).

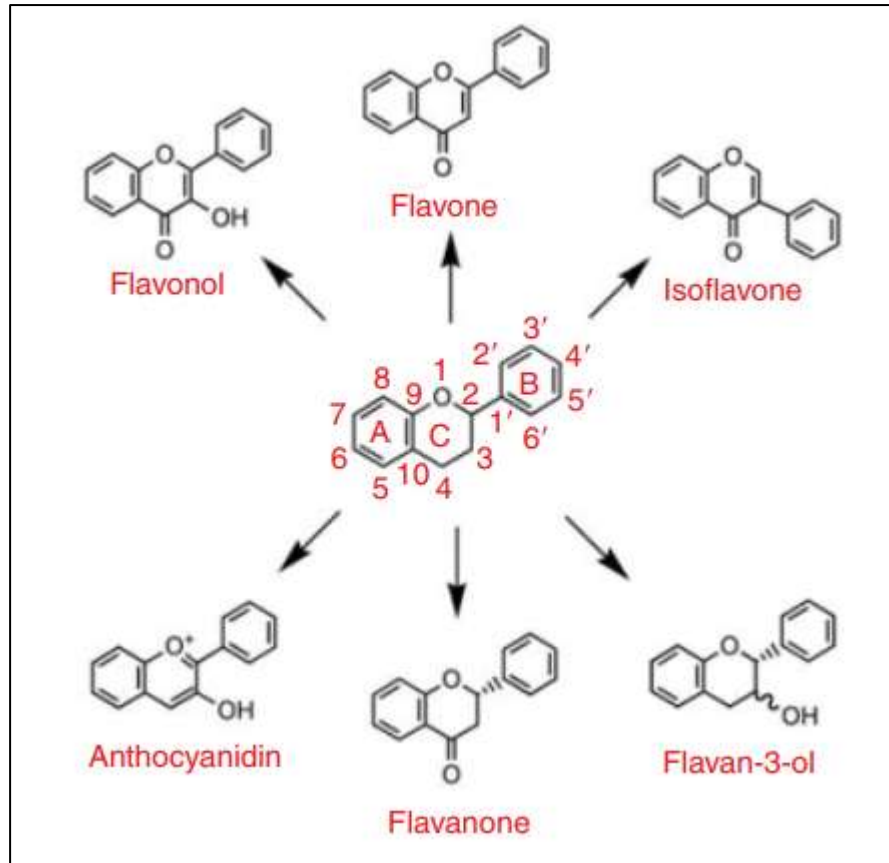


Figure 1 : Structures génériques des principaux flavonoïdes.
(Crozier *et al.*, 2006).

2) Les non-flavonoïdes principaux sont les acides phénoliques C6-C1, notamment l'acide gallique, qui est le précurseur des tanins hydrolysables, les hydroxycinnamates C6-C3 et leurs dérivés conjugués, et les stilbènes polyphénoliques C6-C2-C6.

I. 4. 2– Les terpénoïdes

Les terpènes, ou isoprénoïdes, sont l'une des classes les plus diverses de métabolites, dérivés d'unités d'isoprène à cinq carbones assemblées et modifiées de milliers de façons. Certaines de ces molécules clés sont présentées à la **figure 2**.

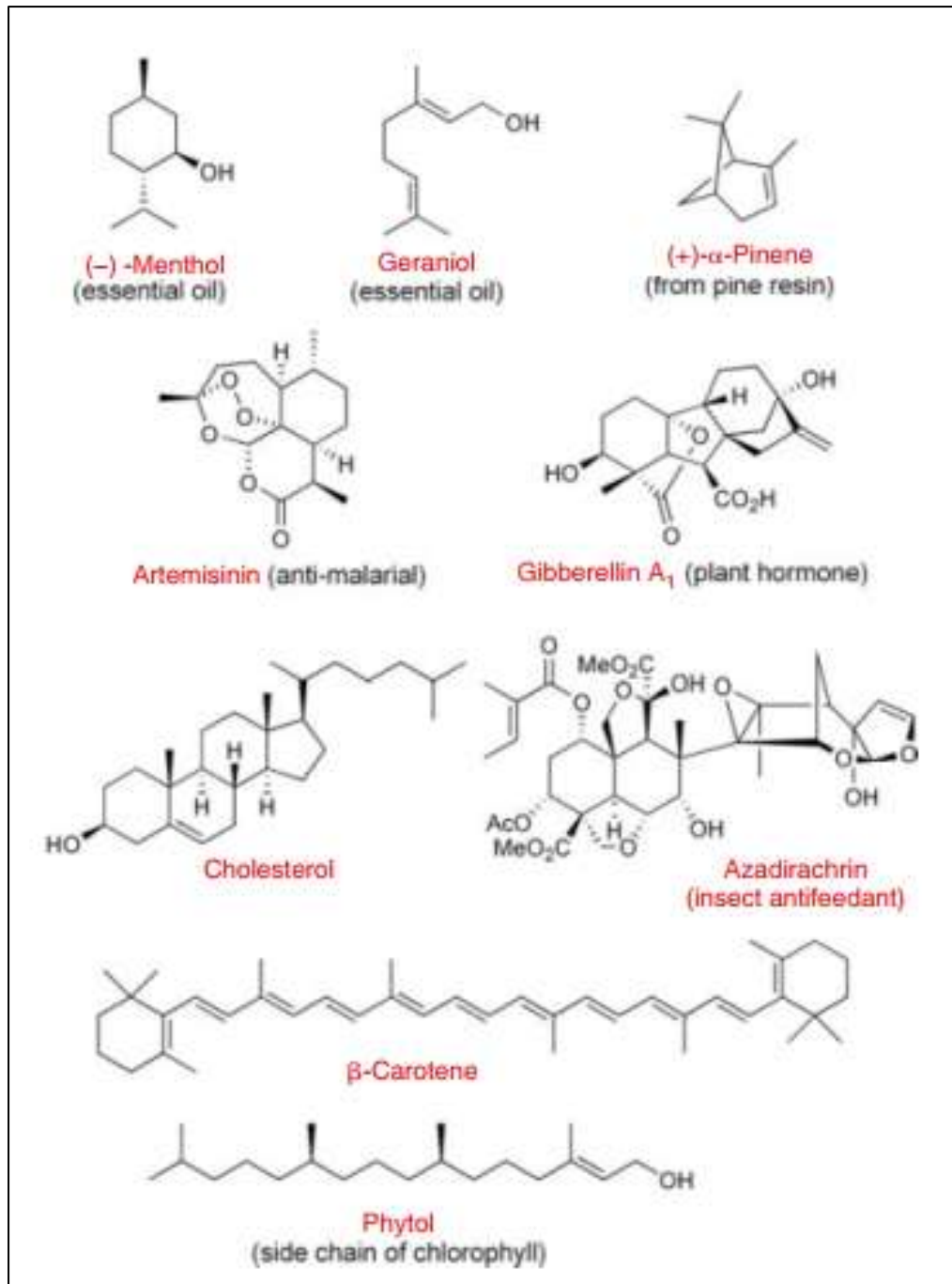


Figure 2 : Exemples de terpènes.
(Crozier *et al.*, 2006).

I. 4. 3– Les alcaloïdes

Les alcaloïdes sont un groupe diversifié de composés azotés de faible poids moléculaire, principalement dérivés d'acides aminés, présents dans environ 20 % des espèces végétales. Ils agissent comme une défense contre les herbivores et les agents pathogènes des plantes.

Les voies de biosynthèse des métabolites secondaires dans les plantes médicinales et aromatiques sont présentées à la **figure 3**.

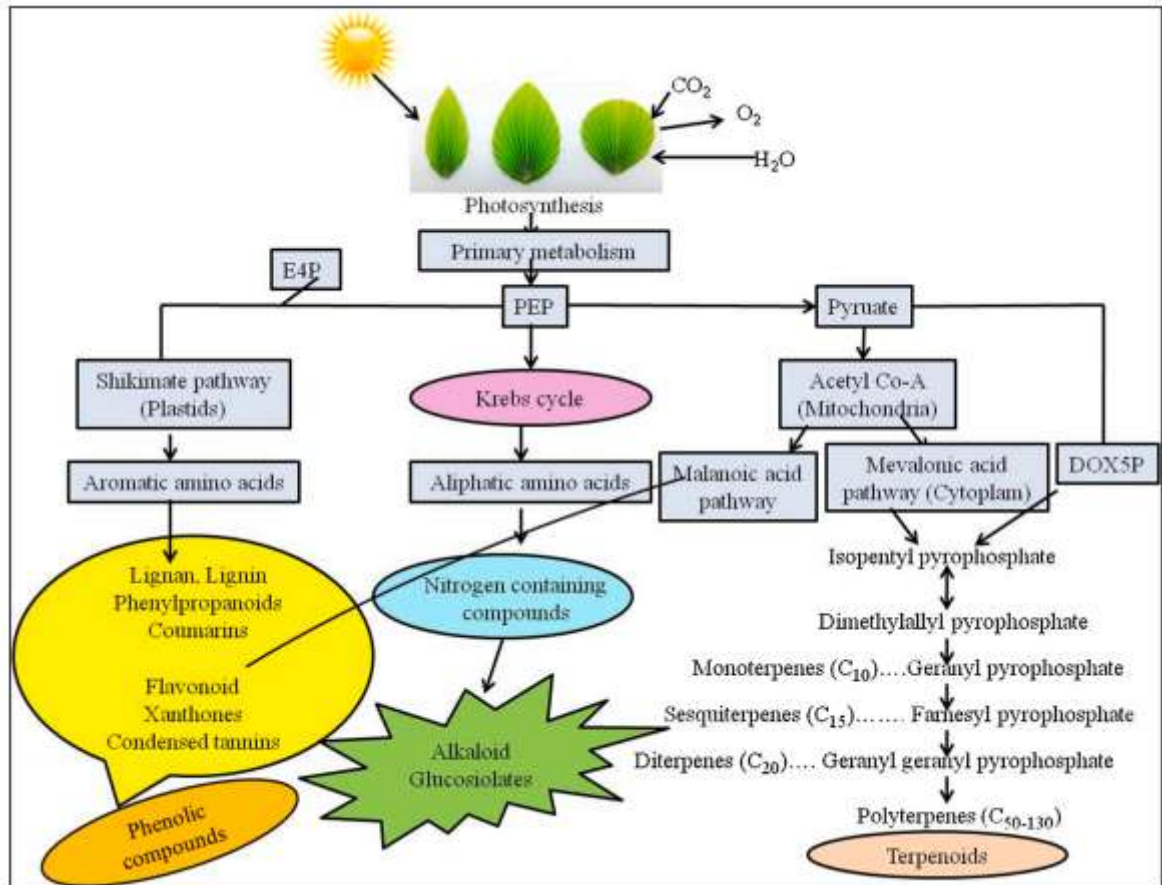


Figure 3: Biosynthèse des métabolites secondaires dans les plantes médicinales et aromatiques (Thakur et Kumar, 2021).

E4P : érythrose-4-phosphate ; **PEP** : phosphoénolpyruate ; **DOX5P** : désoxyxylulose-5-phosphate.

Les matières aromatiques sont des substances composées de molécules volatiles qui permettent la perception d'une odeur et peuvent être d'origine naturelle végétale (tableau 6) ou animale) ou d'origine synthétique

Tableau 6 : Quelques matières aromatiques d'origine végétale
(Site web N° 1 ; Girard, 2013).

Partie de la plante	Matières aromatiques
Fleurs	Jasmin, rose, violette, muguet, oranger, lavande, géraniole, citronellol ...
Feuilles	Menthe, verveine, laurier, oranger, vétiver
Fruits	Orange, citron, bergamote
Tiges	Foin, patchouli
Racines	Costus, iris
Lichens	Mousse de chêne
Arbres	Santal, ylang ylang, Cinéol, eucalyptol
Résine	Myrrhe

Chapitre II

Huiles essentielles et hydrolats

II. 1-Les huiles essentielles

II .1 .1- sources et caractéristiques :

Une huile essentielle telle que définie par l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) dans le document 9235.2 (**Erich Schmidt, 2010**) : « Tout produit obtenu à partir de matières premières végétales - distillées avec de l'eau ou de la vapeur ou de l'exocarpe d'agrumes par un procédé mécanique, c'est-à-dire - par distillation sèche".

Les huiles essentielles, également appelées huiles volatiles, sont constituées de mélanges complexes de substances bioactives de faible poids moléculaire et se distinguent des huiles fixes par leur nature très volatile. Les principaux composants de ces molécules sont les monoterpènes, les sesquiterpènes et les phénylpropanoïdes (**Màthè, 2015**).

Les huiles essentielles sont relativement fluides, ont une forte odeur et sont peu solubles dans l'eau)

Ces molécules ont des propriétés organoleptiques communes si elles sont liquides à température ambiante, volatiles et peuvent être emportées par la vapeur d'eau. .

En parfumerie, un examen olfactif avant ou après toute analyse d'huile essentielle est intéressant car si l'arôme de l'huile essentielle n'est pas satisfaisant et que les constantes physiques et chimiques ne sont pas importantes : le produit doit être rejeté.

Les tests d'odeur sont effectués à l'aide d'échantillons standard des huiles essentielles les plus fraîches et stockés dans des conditions optimales. Elles sont sensibles à l'oxydation et à la décoloration, à la mauvaise conservation, à la lumière et à la chaleur, donc doivent être stockées à l'abri de la lumière et de l'air (**Traikiaet Mansouri, 2020**).

Selon **Bajaj, (1988)**, les huiles essentielles ont également de nombreuses propriétés physiques telles qu'un arôme caractéristique et un indice de réfraction élevé. Ils sont souvent optiquement actifs et ne sont pas miscibles à l'eau, mais ont une solubilité suffisante pour conférer leur odeur caractéristique à l'eau. En fait, l'eau aromatique dépend de sa faible solubilité.

Grâce à ces propriétés aromatiques et leurs activités biologiques, ils sont utilisés dans de nombreuses industries telles que l'alimentation, la cosmétique et la médecine (**Lubbe et Verpoorte, 2011**)

Selon **Handa, 2008**, les huiles essentielles sont généralement extraites d'une ou plusieurs parties de plantes. Ces différentes parties sont :

- Fleurs (rose, jasmin, œillet, clou de girofle, mimosa, romarin, lavande) ;
- Feuilles (menthe, basilic, citronnelle) ;
- Feuilles et tiges (géranium, patchouli, verveine, cannellier) ;
- Ecorce (cannelle, cassia);
- Bois (cèdre, pin);
- Racines (angélique, valériane) ;
- Graines (fenouil, coriandre, coriandre, aneth, muscade) ;
- Fruits (bergamote, orange, citron, genévrier) ;
- Rhizomes (gingembre, calamus, curcuma) ;
- Gommés ou exsudats d'oléorésine (Baume du Pérou, Myrrhe, Benjoin).

Les huiles essentielles sont synthétisées et stockées dans diverses cellules glandulaires spécialisées. Typiquement, ces cellules ont un cytoplasme dense et de gros noyaux. Ils ont de nombreuses mitochondries et un réticulum endoplasmique bien développé (**Rhind, 2012**).

Selon la même référence, les voies de leur biosynthèse les plus importantes chez les plantes sont :

- ❖ Cycle de Calvin - la formation de sucres hexoses ;
- ❖ Voie de l'acide shikimique (voie de l'acide phénylpropionique) - formation des composés aromatiques complexes;
- ❖ Cycle de Krebs (cycle TCA, cycle de l'acide citrique) - la formation d'acides aminés ;
- ❖ Voie acétate-malonate - formation d'acides gras ;
- ❖ Voie acétate-mévalonate - formation de terpénoïdes et de stéroïdes.

L'âge et le stade de développement des plantes peuvent modifier les voies métaboliques et conduire à la biosynthèse de différents composés, entraînant une augmentation de certains (**Usano-Aleman et al., 2016**).

Ces substances, dérivent du métabolisme secondaire, jouent un rôle important dans certaines interactions plante-environnement. Cependant, les principales raisons biologiques de la production d'huiles végétales volatiles sont la défense et la survie. Certaines possibilités sont (**Rhind, 2012**):

- Prévenir les dommages aux herbivores;
- Empêcher la croissance des phytopathogènes;
- Prévention des dégâts causés par les insectes nuisibles;
- Signaux chimiques : La production d'huiles volatiles et leur rejet ultérieur dans l'environnement augmentent lorsque les plantes sont attaquées;
- La reproduction assure la survie d'une espèce : La pollinisation est la méthode par laquelle les plantes se reproduisent, reposant généralement sur des insectes ou des animaux. Les huiles volatiles sont produites dans les fleurs pour attirer les insectes pollinisateurs tels que les abeilles, les coléoptères et les papillons de nuit. Souvent, des huiles volatiles sont libérées lorsque leurs pollinisateurs naturels les détectent ;
 - L'allélopathie, une compétition entre plantes. Les plantes doivent rivaliser les unes avec les autres dans l'environnement pour des ressources telles que la lumière, les nutriments, l'eau et l'espace;
 - Réduire la transpiration. Le film d'huile volatile sur les surfaces des feuilles réduit la perte d'eau par transpiration.

II.1.2 - Techniques d'extraction des huiles essentielles

De nombreuses techniques sont utilisées pour extraire les huiles essentielles, qui peuvent être extraites des fleurs, des feuilles, des racines ou des graines de plantes.

Le processus de fabrication ou d'obtention des essences aromatiques peut parfois avoir un impact significatif sur le rendement et la qualité du distillat obtenu (**BOUKHATEM *et al.*, 2019**).

En général, la méthode choisie ne doit pas entraîner de distinction entre composés polaires et non polaires, ni induire de réactions biochimiques, de dégradation thermique, d'oxydation, de réduction, d'hydrolyse, de changement de pH ou de perte de composés volatils (**Miloudi *et al.*, 2019**).

Selon **Roohinejad *et al.*,(2018)**, l'hydrodistillation, la distillation à la vapeur et l'extraction par solvant sont les méthodes conventionnelles les plus courantes pour extraire les huiles essentielles des plantes.

Les caractéristiques, principaux avantages et inconvénients des différents procédés d'extraction des huiles essentielles et hydrolats sont présentés dans le **tableau 7**.

Tableau 7:Caractéristiques, principaux avantages et inconvénients des différents procédés d'extraction des huiles essentielles (Fructos-fernandez et Mcdonald, 2018)

Nom	Investissement	Taille de l'échantillon	Temps d'extraction	Principaux inconvénients	Principaux avantages
Hydrodistillation ou distillation à la vapeur	Faible	>1000 L	Elevé	Limité par la température	Grande échelle
Extraction par solvant	Faible	>1000 L	Elevé	Limité par la solubilité	Grande échelle
Ultrasons	Faible	600 L	Faible	Problème de séparation	Perturbation cellulaire élevée
Micro-ondes	Moyen	150L	Faible	Points chauds	Perturbation cellulaire
Chauffage ohmique	Moyen	Continue	Faible	Besoin de savoir-faire	Perturbation cellulaire élevée
Extraction par fluide supercritique	Fort	300 L	Moyen	Besoin de savoir-faire	Améliorer le transfert de masse
Champs électriques pulsés	Fort	Continue	Moyen	Opération difficile	L'électroporation de la paroi cellulaire

II. 1.2.1- Hydrodistillation

L'hydrodistillation est la méthode la plus utilisée à l'échelle du laboratoire. Dans cette méthode, le matériel végétal est maintenu en contact avec de l'eau bouillante ; la vapeur force les parois cellulaires à s'ouvrir et l'évaporation de l'huile entre les cellules végétales se produit. La vapeur est constituée d'un mélange d'huile et d'eau (Hydrosol), qui est ensuite refroidi par un condenseur, formant deux phases liquides séparables en raison de l'immiscibilité des composants volatils et de l'eau (PETERS, 2016).

La méthode consiste à immerger le matériel végétal dans un bain-marie, puis à chauffer le mélange jusqu'au point d'ébullition à pression atmosphérique (Figure 4)

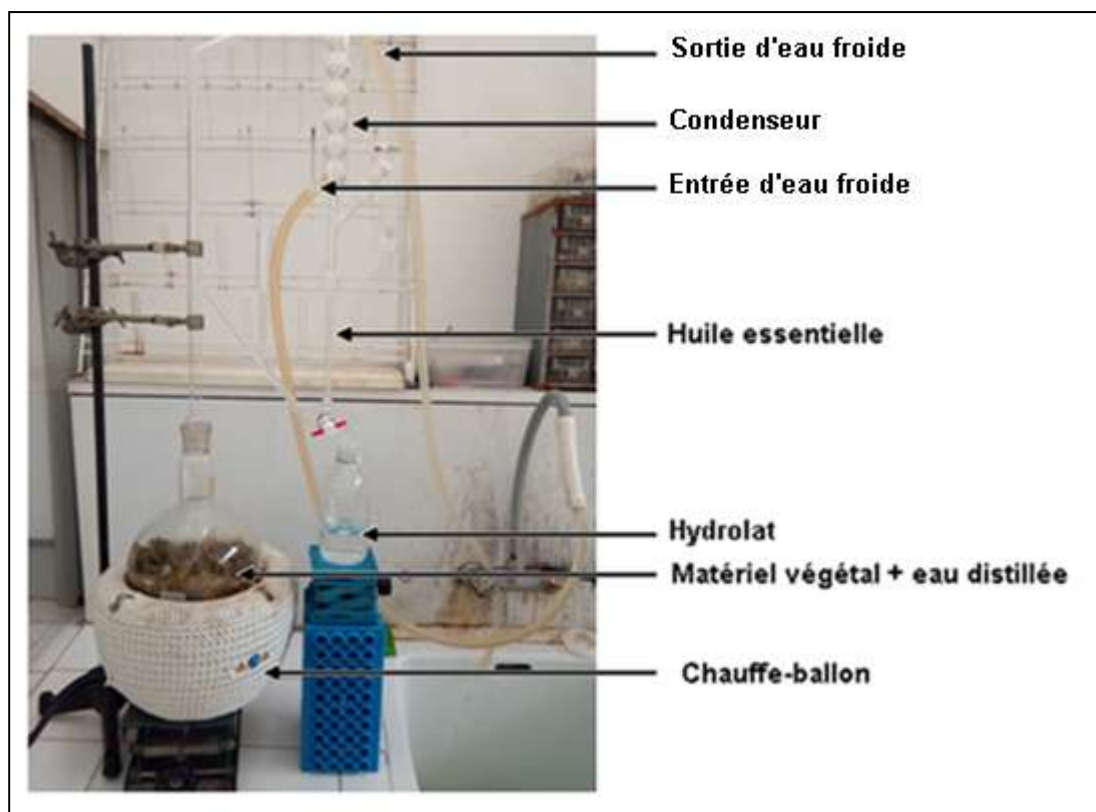


Figure 4 : Appareil d'hydrodistillation de type Clevenger.

Sous la source de chauffage, les molécules odorantes contenues dans les cellules végétales sont libérées sous forme d'un mélange azéotropique. Bien que la plupart des composants aient des points d'ébullition supérieurs à 100°C, ils sont entraînés mécaniquement par la vapeur d'eau. Le refroidissement du condensat entraîne une séparation, car le mélange d'eau et d'huile essentielle est essoré par décantation.

Le système « Clevenger » recommandé par la Pharmacopée Européenne permet de récupérer la phase aqueuse du distillat grâce au système de cohobage dans la chaudière (Fructos-fernandez et Mcdonald, 2018). Par conséquent, l'eau et les molécules volatiles sont séparées par leurs différences de densité.

Par exemple, Zaim *et al.* (2012), ont utilisé l'hydrodistillation dans un appareil de type Clevenger (Clevenger 1928) pour extraire les huiles essentielles des parties aériennes (tiges, feuilles et fleurs) d'*Artemisia herba-alba*. Ils ont constaté que l'espèce avait une teneur moyenne en huile essentielle de 1,2% de matière sèche.

La durée d'hydrodistillation est généralement comprise entre trois et six heures, selon le matériel végétal. Ce paramètre affecte le rendement des huiles essentielles et leur composition chimique.

Miloudi et al. (2019) ont comparé l'extraction des huiles essentielles de la plante *Artemisia herba-alba* par la méthode du champ électrique pulsé (PEF) avec l'extraction conventionnelle (hydrodistillation). Les résultats ont montré que le PEF avait un bon effet sur le rendement car le temps d'extraction était raccourci.

Par exemple, après traitement au PEF (3kV/cm, n=100), un rendement d'extraction de 2,05% peut être obtenu en seulement 30 minutes de distillation, soit 03 fois supérieur à la technique hydrodistillation.

L'hydrodistillation est une méthode d'extraction efficace et à haut rendement pour les plantes médicinales dans lesquelles les huiles essentielles sont difficiles à séparer, particulièrement riches en substances à point d'ébullition élevé insolubles dans l'eau et résistantes à la chaleur. Sinon, la cuisson des herbes et des épices dans l'eau pendant de longues périodes à des températures élevées peut favoriser l'hydrolyse des composés insaturés ou des esters, la polymérisation des aldéhydes ou la décomposition thermique d'autres composants sensibles à la chaleur, réduisant ainsi la qualité globale de l'huile essentielle.

Du côté positif, l'un des avantages de l'hydrodistillation est qu'aucun solvant chimique n'est impliqué, car les solvants toxiques restent dans l'huile essentielle et leur élimination par hydrodistillation ultérieure peut entraîner une perte de composés plus volatils.

II. 1.2.2 -Distillation à la vapeur

Cette méthode convient pour extraire les composants sensibles à la chaleur tels que les volatils et les purifier en appliquant de la vapeur. L'eau distillée est utilisée comme source de vapeur pour cette technique. (**Roohinejad et al., 2018**).

La façon dont le processus d'extraction fonctionne est que la matière végétale contenant les composés cibles est distillée à des températures inférieures à leur point d'ébullition, tandis qu'à la pression atmosphérique, l'application de vapeur les fera se volatiliser à des températures inférieures à 100°C (**Rojas et Buitrago, 2015**).

En général, cette technique consiste à placer la matière végétale dans un alambic, à faire passer de la vapeur d'eau à travers la matière végétale pour extraire les composés aromatiques volatils de la plante ; ces composés passent par un système de condensation et

sont recueillis dans un récipient de décantation, où ils flottent sous forme d'huile sur l'eau aromatique résultante (**figure 5**).

L'huile obtenue est ensuite placée dans des flacons en verre ambré et conservée à l'abri de la chaleur et de la lumière (**PETERS, 2016**).

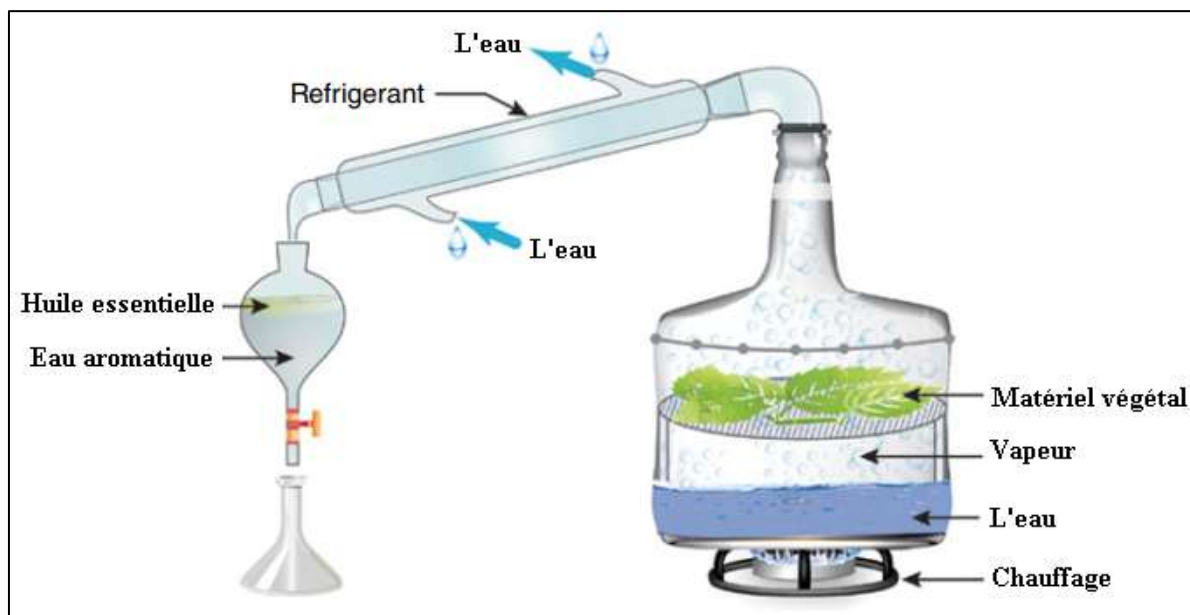


Figure 5: Représentation schématique de distillation à la vapeur
(**Roohinejad et al., 2018**)

II. 1.2.3 -Extraction par solvant

Certains types d'huiles sont très instables et ne supportent pas les températures élevées. Dans ces cas, des solvants organiques peuvent être utilisés pour l'extraction, tels que l'hexane, le benzène, le méthanol, l'éthanol, le propanol, l'acétone, le pentane et certains solvants chlorés existent.

L'extraction par solvant, également connue sous le nom d'extraction solide/liquide, consiste à dissoudre des matières végétales contenant des huiles essentielles dans un solvant, puis à soumettre le mélange liquide contenant ces huiles (et d'autres composés) à un processus de filtration suivi d'une distillation.

En raison de sa grande volatilité, les solvants les plus utilisés sont l'hexane, cyclohexane, l'éthanol, moins fréquemment le dichlorométhane et l'acétone (**BOUKHATEM et al., 2019**).

Le benzène et le chlorure de méthylène sont également couramment utilisés, mais sont interdits en raison de leur toxicité (**Roohinejad et al., 2018**).

II. 1. 2. 4-Autres méthodes d'extraction

II. 1. 2. 4. 1-L'extraction par un fluide supercritique (EFS)

L'extraction par fluide supercritique des huiles essentielles est le processus d'extraction de ces molécules en utilisant un fluide supercritique comme solvant d'extraction.

Lorsqu'un fluide est chauffé au-dessus de sa température critique et lorsqu'il est comprimé au-dessus de sa pression critique, on l'appelle un fluide supercritique.

Selon **Roohinejad et al., 2018**, le dioxyde de carbone (CO₂) est considéré comme un choix idéal pour les solvants supercritiques pour les raisons suivantes : le CO₂ a une pression critique de ≈ 73 bar et une température critique de $\approx 31^\circ\text{C}$. De plus, c'est un gaz inflammable et recyclable, disponible à faible coût et d'une grande pureté.

L'extraction au dioxyde de carbone supercritique (CO₂) produit des huiles de haute qualité car aucun solvant ne reste dans le produit final, ce qui le rend plus pur que les autres méthodes.

Dans les conditions de pression et de température supérieures aux valeurs critiques, les gaz comprimés ont une faible viscosité (par rapport aux gaz) et une densité élevée (solubilité élevée, similaire aux liquides), ce qui leur permet d'être utilisés dans des procédés d'extraction de solutés à partir de matrices solides (**PETERS, 2016**)

II. 1.2.4.2 -Extraction assistée par ultrasons

Au cours des dernières années, la technologie des ultrasons a été couramment utilisée à l'échelle du laboratoire pour accélérer le processus des extractions de métabolites secondaires (**Fructos-fernandez et Mcdonald, 2018**).

Bien que le processus de mise à l'échelle de l'extraction assistée par ultrasons (EAU) prenne plus de temps pour être largement accepté par les industries alimentaires et pharmaceutiques, la justification de l'extraction d'huile essentielle à partir de ressources naturelles aux EAU implique la génération d'ondes sonores (fréquence ultrasonique ≈ 20 kHz), la création de bulles de cavitation en solution et la génération d'une énergie suffisante pour perturber les structures contenant de l'huile pour la libérer. De plus, les EAU peuvent agir comme émulsifiant pour disperser les molécules lipophiles dans l'eau, facilitant ainsi l'isolement et la purification ultérieurs de l'huile essentielle (**Sereshti et al., 2012**).

L'efficacité de l'extraction assistée par ultrasons dépend non seulement du substrat végétal, mais aussi des composés que l'on souhaite extraire. Par conséquent, il est nécessaire d'optimiser les conditions d'extraction pour chaque composé individuellement (Roohinejad *et al.*, 2018).

Le processus d'extraction assistée par ultrasons implique plusieurs facteurs, tels que la puissance, la fréquence, le temps, la température, le type de solvant, le pH du solvant, le rapport liquide-solide et la concentration du solvant (Roohinejad *et al.*, 2018).

II. 1.2.4.3- Extraction assistée par micro-ondes

L'utilisation des micro-ondes (MW) et du chauffage diélectrique remonte à la fin des années 1970 (Figure 6). Par conséquent, le chauffage volumétrique efficace fourni par MW rend cette technique plus efficace que les autres traitements thermiques.

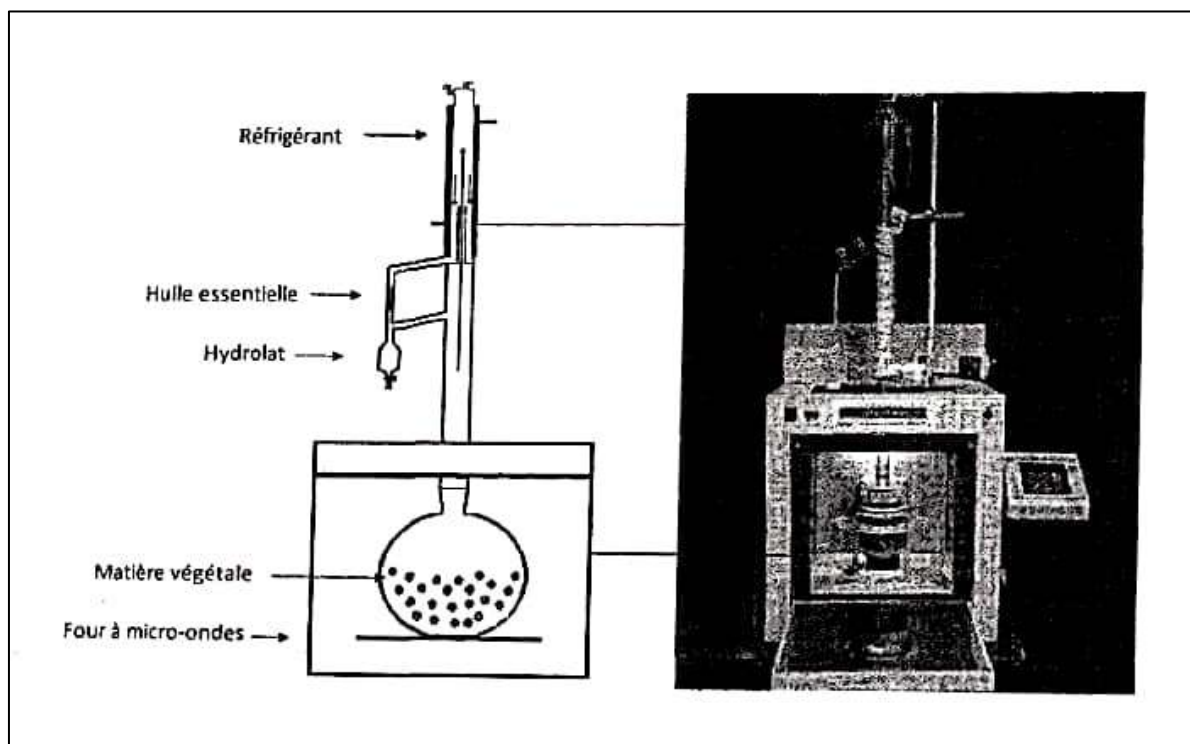


Figure 6: Représentation schématique de système d'extraction des huiles essentielles par micro-ondes (Lucchesi *et al.*, 2007).

En règle générale, les appareils MW génèrent des fréquences d'énergie électromagnétique comprises entre 0,3 et 300 GHz (Barba *et al.*, 2016).

Cette énergie est ensuite transformée en chaleur lorsque le dipôle tourne et conduit les ions, en fonction de l'effet direct sur les composés polaires qui composent le solvant d'extraction ou le substrat à traiter.

Par rapport aux méthodes d'extraction traditionnelles, la technologie MW est utilisée depuis des décennies en raison de ses nombreuses propriétés bénéfiques telles que l'obtention de taux de chauffage élevés, des temps de traitement réduits, une meilleure uniformité de chauffage, de faibles coûts de maintenance et la sécurité du travail. Cependant, la transformation des aliments pour la pasteurisation, la stérilisation, la décongélation, le séchage et l'extraction des huiles essentielles des herbes avec MW entraîne des changements subtils de saveur par rapport au chauffage conventionnel.

Parmi les méthodes d'extraction MW, les plus largement utilisées sont l'hydrodistillation sous vide MW, l'hydrodiffusion MW et la gravité, et l'extraction par micro-ondes sans solvant (Fructos-fernandez et Mcdonald, 2018).

II. 1. 2. 4. 4-Hydrodistillation assistée par ohmique

L'hydrodistillation assistée par ohmique (OAHD) (Figure 7) est un système de distillation dans lequel la source de chauffage traditionnelle est remplacée par un chauffage ohmique. Par conséquent, il se compose d'un ballon chauffé ohmiquement et d'une section de distillation (Gavahian et Farahnaky, 2018).

La matière végétale contenue dans le ballon de chauffage forme une résistance qui permet de dissiper l'énergie électrique sous forme de chaleur lorsqu'un courant électrique la traverse. Ce phénomène se traduit par une montée rapide et uniforme de la température du milieu sans affecter la qualité du matériel végétal (Roohinejad *et al.*, 2018).

Selon Gavahian et Farahnaky, 2018, cette technique présente des avantages tels que l'économie de temps et d'énergie, et attire de plus en plus l'attention en tant que méthode préférée pour extraire les huiles essentielles de diverses matières végétales. Il réduit également les dommages thermiques lors du traitement thermique des matériaux sensibles au cisaillement.

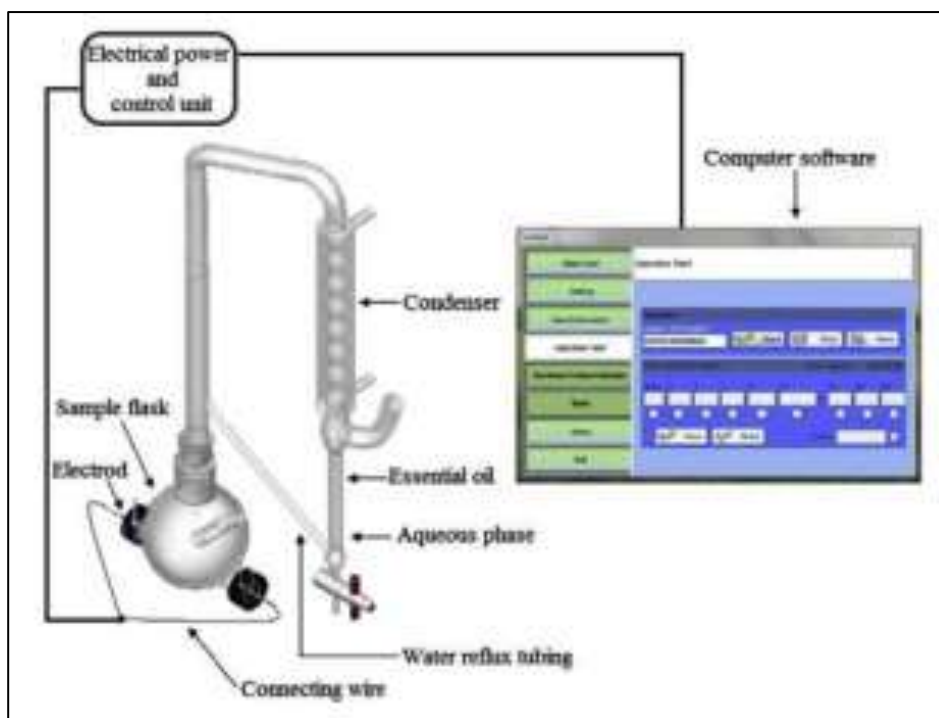


Figure 7: Composants de base d'un système OAH pour l'extraction d'huile essentielle.
(Gavahian et Farahnaky, 2018).

L'applicabilité de l'OAH a été largement étudiée pour diverses plantes aromatiques au cours de la dernière décennie, et ce processus d'extraction a réussi à isoler les huiles essentielles de plusieurs herbes.

Par exemple, **Rehman et Al-Hilphy, 2014**, ont comparé et évalué deux techniques d'extraction d'huiles essentielles à partir de feuilles d'eucalyptus, l'hydrodistillation assistée par Ohm et l'hydrodistillation (la méthode traditionnelle). Ils ont constaté que l'OAH réduisait le temps d'extraction et la consommation d'énergie par rapport à la HD. L'augmentation de la tension d'entrée OAH réduit le temps d'extraction et augmente la vitesse de chauffage et le rendement. L'eucalyptol était le principal constituant de l'huile essentielle d'eucalyptus extraits OAH et HD, et sa concentration augmentait avec l'intensité du champ électrique.

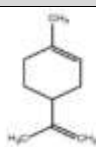
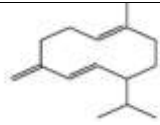

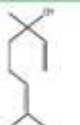

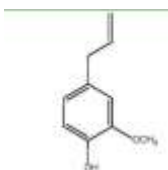
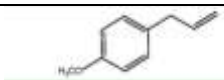
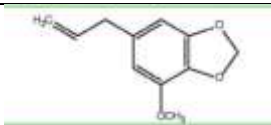
II .1.3- La composition chimique des huiles essentielles

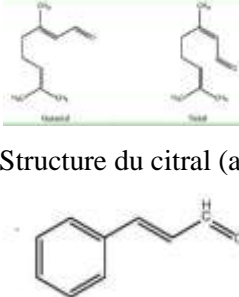
La composition chimique des huiles essentielles varie en fonction de plusieurs facteurs dont les plus importants sont : l'origine géographique, le mode de culture, le climat, la

récolte, les techniques d'extraction, etc. Cela a conduit à la grande diversité dans la composition chimique des huiles essentielles.

La plupart des huiles essentielles sont composées d'hydrocarbures, de terpènes, de lactones, de phénols, d'aldéhydes, d'acides, d'alcools, de cétones et d'esters (**tableau 8**).

Tableau 8 : Quelques familles moléculaire dans les huiles essentielles
(Coic-Marinier et Lobstein, 2013)

<i>Familles moléculaires</i>	<i>Structures</i>
Les monoterpènes	 <p>Structure du limonène</p>
Les sesquiterpènes	 <p>Structure du germacrène D</p>
Les oxydes	 <p>Structure du 1,8-cinéole</p>
Les hydroxydes	 <p>Structure du linalol.</p>  <p>Structure du viridiflorol.</p>  <p>Structure de l'eugénol</p>
Les phénols méthyl-éthers	 <p>Structure de l'estragole</p>
Les éthers-oxydes	 <p>Structure de la myristicine.</p>

Les aldéhydes	 <p>Structure du citral (aldéhydeterpénique)</p> <p>Structure du cinnamaldéhyde (aldéhyde aromatique)</p>
----------------------	--

Les oxygénés (alcools, esters, aldéhydes, cétones, lactones, phénols) sont une source majeure d'odeur. Ils sont plus stables aux effets d'oxydation et de résination que les autres ingrédients.

Les composants insaturés tels que les monoterpènes et les sesquiterpènes ont tendance à s'oxyder ou à se réabsorber en présence d'air et de lumière.

La connaissance des propriétés physiques de chaque ingrédient, telles que le point d'ébullition, la stabilité thermique et la relation vapeur-pression-température, est essentiel à leur développement technologique.

II. 1. 4 - Utilisation d'huiles essentielles

L'utilisation des huiles essentielles est extrêmement diversifiée et dépend étroitement de la source, de la qualité et de la procédure d'extraction de ces composés (Ríos, 2016).

En générale, les huiles essentielles sont utilisées dans les domaines suivants :

- 1) Produits cosmétiques.
- 2) Médecine et produits pharmaceutiques.
- 3) Dans l'industrie agroalimentaire.
- 4) Comme pesticides.

En cosmétique, les huiles essentielles sont utilisées pour conférer un arôme agréable aux produits, masquer l'odeur des principes actifs et permettre une utilisation régulière des produits en raison du plaisir qu'ils procurent.

L'aromathérapie est une branche de la phytothérapie qui utilise également les huiles essentielles pour la prévention et le soulagement de certains maux ainsi que pour la santé et l'apaisement.

De nombreux ouvrages décrivent des préparations à base de différentes huiles essentielles utilisées pour soigner de nombreux maux. Cependant, ces recettes n'ont aucune base scientifique stricte, car elles sont généralement issues de la pratique empirique.

Les huiles essentielles sont également utilisées en dentisterie, l'exemple le plus célèbre étant la Listerine : Inventée au 19^{ème} siècle comme antiseptique chirurgical puissant, elle est également utilisée en soin bucco-dentaire sous forme de bains de bouche (**BOUZABATA, 2015**).

Dans l'industrie agroalimentaire, ces molécules sont principalement utilisées pour remplacer les conservateurs chimiques ou synthétiques nocifs pour la santé. Par conséquent, en raison des effets antibactériens et antioxydants de certains ingrédients, elles peuvent améliorer et préserver le goût des aliments.

II. 2-Hydrolats

II. 2. 1-Définition

Les hydrolats sont des sous-produits de la distillation à la vapeur ou de l'hydrodistillation des plantes aromatiques utilisées pour produire des huiles essentielles (HE).

Lors de la distillation, la vapeur d'eau traverse la matière végétale et entraîne la libération de molécules volatiles (HE) qui s'évaporent puis se condensent à travers un refroidisseur.

Les huiles essentielles sont ensuite séparées de l'eau en raison de la différence de densité qui forme deux phases, la phase supérieure est l'huile essentielle et la phase inférieure est l'eau, caractérisée par une odeur spécifique caractéristique du matériel végétal utilisé.

La phase HE contenant la majeure partie des composés volatils, et la phase hydrosol composée d'eau condensée et d'une faible quantité d'HE dissoute (généralement moins de 1 g/L) qui confère les propriétés organoleptiques (**Labadie et al., 2015**).

Les hydrolats sont faciles et peu coûteux à produire et semblent moins toxiques pour la santé humaine que les huiles essentielles (**D'Amato et al., 2018**).

II. 2. 2-Production d'hydrolat

Cinq produits différents sont obtenus lors de la distillation des plantes aromatiques : les huiles essentielles, la biomasse distillée, les cendres des unités de distillation, les eaux résiduelles et l'hydrolat (**D'Amato et al., 2018**).

L'eau distillée contenant des composants d'huile essentielle dissous peut être trouvée dans la littérature sous une variété d'étiquettes, y compris : hydrosol, hydrolat, acide fluorhydrique, déchets aromatiques végétaux, eau aromatique, eau florale, eau aromatique basique. (Rajeswara Rao, 2013 ; Cité par D'Amato *et al.*, 2018).

Par exemple, si le processus d'extraction de l'huile essentielle se fait à partir des fleurs, l'hydrolat résultant est appelée « Eau florale ».

Labadie *et al.* 2015, ont montré sur la **Figure 8** les différentes étapes de production de ces hydrolats, soit par distillation à la vapeur, soit par hydrodistillation de fleurs fraîches.

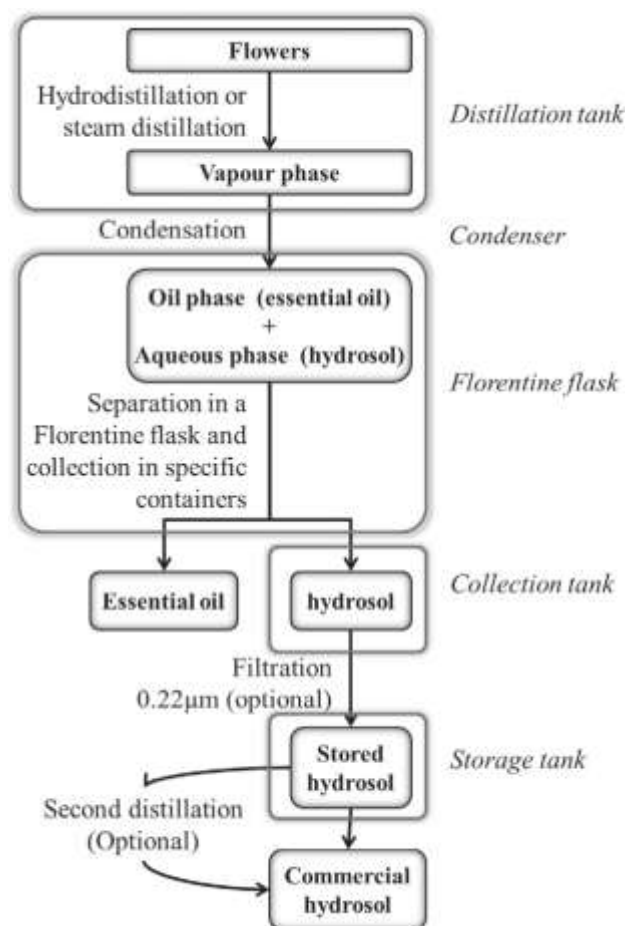


Figure 8 : Processus de production d'hydrolat (Labadie *et al.* 2015).

Après production, les hydrolats doivent être conservés dans des récipients stériles et hermétiques et dans un endroit frais et sombre (D'Amato *et al.*, 2018).

II. 2. 3-Composition chimique d'hydrolat

Les hydrolats sont des mélanges assez complexes contenant des traces d'huiles essentielles et plusieurs composants hydrosolubles. En particulier, ils sont constitués d'eau condensée lors de la distillation et de composants huileux polaires, oxydants, odorants, hydrophiles, volatils qui forment des liaisons hydrogène avec l'eau (D'Amato *et al.*, 2018).

Comme mentionné précédemment, les eaux aromatiques (hydrolats) contiennent moins de 1 g/L d'huiles essentielles dispersées, qui leur confèrent des propriétés organoleptiques (Zheljazkov et Astatkie, 2011).

Selon Shen *et al.*, (2017), la composition chimique des hydrolats obtenus à partir de noix d'arec (*Areca catechu* L.) et de noix de coco (*Cocos nucifera* L.) par hydrodistillation dans un appareil de type Clevenger est constituée d'hydrocarbures, d'alcools, de cétones, d'aldéhydes, d'esters, d'acides et autres. Ces différentes classes de composés sont responsables de l'arôme distinctif des hydrolats.

Dans le même contexte, Jakubczyk et ses collaborateurs (2021) ont étudié 17 hydrolats différents issus de 14 plantes. Ils ont constaté que la teneur totale en phénols (TPC) dans les hydrosols variait de 9,33 à 44,23 mg GAE/L, tandis que la teneur totale en flavonoïdes (TFC) variait de 1,48 à 14,82 mg rutine/L.

Les niveaux les plus élevés de ces molécules ont été observés dans les fleurs, suivies des feuilles, et les plus faibles dans les fruits (tableau 9).

Tableau 9 : La teneur en phénols et flavonoïdes dans les fleurs, les feuilles et les fruits.
(Jakubczyk *et al.*, 2021)

Partie de plante	TPC moyenne en [mg/L]	TFC moyenne en [mg/L]
Fleur	29,01	10,55
Feuilles	19,83	6,97
Fruits	14,43	5,86

Selon les informations recueillies par D'Amato *et al* en 2018, la composition chimique des hydrolats et des huiles essentielles des plantes semble toujours différente, non seulement quantitativement mais souvent aussi qualitativement. Par conséquent, cette équipe de chercheurs ont compilé un tableau (tableau 10) montrant les principaux composés de certains hydrolats courants.

Tableau 10 : Composition chimique de certains hydrolats
(D'Amato *et al.*, 2018)

Common name of hydrosol	Scientific name of plant source	Major components	Percentage
-	<i>Campomanesia vitoris</i>	tasmanone	70.50%
		flavesone	12.77%
		agglomerone	6.79%
Bay leaf	<i>Laurus nobilis</i> L.	eugenol	4.02%
		α -curcumene	3.76%
		β -selinenol	3.75%
Black cumin	<i>Nigella sativa</i> L.	cuminaldehyde	16.59%
		carvacrol	11.26%
		p-cymene	8.92%
Rosemary	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	α -terpineol	3.68%
		4-chlorobenzenesulfonamide	3.02%
		N-methyl eucalyptol	2.88%
Sage	<i>Salvia officinalis</i> L.	linalool	13.41%
		δ -cadinene	10.18%
		carvacrol	8.96%
Thyme	<i>Thymus vulgaris</i> L.	carvacrol	48.30%
		thymol	17.55%
Lavender	<i>Lavandula angustifolia</i>	linalool	26.5%
		borneol	9.0%
		cis-linalool oxide	6.6%
		trans-linalool oxide	5.2%
Lesser cat-mint	<i>Nepeta nepetella</i> subsp. <i>amethystina</i> (Poir.) Briq.	4 α , 7 α , 7 β - nepetalactone	49.21%
		4 α , 7 α , 7 α - nepetalactone	4.71%
Marigold	<i>Calendula arvensis</i>	zingiberol 1	33.1%
		E, Z-farnesol	23.7%
		zingiberenol2	21.2%
		eremoligenol	11.1%
Mediterranean thyme	<i>Thymbra capitata</i>	carvacrol	94.63%

Ndiaye *et al.*, 2017 ont étudié l'effet du temps de séchage et du temps d'extraction sur le rendement et la composition chimique des huiles essentielles et des hydrolats de trois eucalyptus sénégalais : *Eucalyptus alba*, *Eucalyptus camaldulensis* et *Eucalyptus tereticornis*.

Les compositions chimiques de tous les hydrosols obtenus dans cette étude sont présentées dans le **tableau 11**. Cette étude montre également que bien que le 1,8-cinéole soit le composant principal des hydrolats de toutes les espèces d'eucalyptus, sa teneur relative est plus élevée dans l'*Eucalyptus camaldulensis*.

Tableau 11 : Composition chimique des hydrolats de trois espèces d'eucalyptus : *E. alba*, *E. camaldulensis* et *E. tereticornis* (Ndiaye *et al.*, 2017).

Noms des composés	
5-methylfurfural	myrtenol
6-methyl-5-hepten-2-one	α -phellandrene epoxide
2.4-heptadienal	verbenone
1.8-cineole	trans-carveol
benzene acetaldehyde	cis-carveol
p-cresol	cis-p-mentha-1-(7)-8-dien-2ol
cis-linalool oxid furanoide	cuminal
linalool	carvone
fenchol	carvotanacetone
cis-p-menth-2en-1ol	Piperitone
Trans-p-mentha-2,8-dien-1-ol	peryl aldehyde
α -campholenal	phellandral
trans-pinocarveol	Thymol
cis- β -terpineol	p-cymen-7ol
camphene hydrate	carvacrol
pinocarvone	exo-2-hydroxycineole acetate
δ -terpineneol	cis-jasmone
borneol	globulol
terpinene-4ol	10-epe- γ -eudesmol
p-cymen-8ol	γ -eudesmol
α -terpineol	β -eudesmol
trans-p-mentha-1-(7)-8-dien-2ol	α -eudesmol

La teneur en 1,8-cinéole de l'huile essentielle d'*Ocimum basilicum* varie de 2 à 16 %, étant généralement inférieure à 10 % (Hiltunen and Holm, 1999).

Le linalol (16,58 %), le nérolidol (5,87 %), l'acétate de linalyle (5 %), le d-limonène (4,79 %), le -terpinéol (4,54 %) et l'acétate de néryle (4,26 %) sont les principaux composants de l'hydrolat obtenu par distillation à la vapeur des fleurs de *Citrus aurantium* L (Değirmenci& Erkurt, 2020). Les monoterpènes et les oxygénés constituaient au total 41,67% du contenu phytochimique de cet hydrolat.

Chapitre III

Activité biologique et applications des hydrolats

III.1-Activité biologique des hydrolats

Les produits phytosanitaires les plus fiables sont les épices et leurs dérivés tels que les extraits, les huiles essentielles, les hydrolats et les décoctions.

Par rapport aux huiles essentielles, il existe peu d'études sur la bioactivité des hydrolats. Bien qu'ils soient directement similaires d'un point de vue chimique (HAY, 2016).

Les hydrolats ont des activités biologiques très importantes, qui se manifestent par une activité contre les bactéries et les champignons pathogènes, ainsi qu'une activité antioxydante. Cette activité est due à la présence de composants qui les caractérisent par leurs groupes fonctionnels.

III. 1. 1-Activité antibactérienne des hydrolats

L'activité antibactérienne des extraits de plantes, y compris les hydrolats, est bien connue et utilisée depuis l'Antiquité (D'Amato *et al.*, 2018).

Selon la même référence, la capacité des hydrolats à contrôler la croissance microbienne diffère selon leur composition chimique et de type de bactéries cibles.

Les composés des hydrolats provoquent des modifications au niveau de la membrane plasmique ou affectent certains composants internes de la cellule.

La connaissance du chémotype d'un hydrolat est d'une importance fondamentale pour comprendre les mécanismes de son activité biologique et donc orienter son utilisation vers une application précise.

Par exemple, les composés phénoliques, tels que le carvacrol et le thymol qui affectent la membrane externe des bactéries par la libération de lipopolysaccharides. Par conséquent, la formation de canaux dans la membrane qui permettent le passage des ions, du matériel cellulaire, de l'ATP et des acides nucléiques. Un autre composé, l'eugénol qui pourrait s'associer aux protéines en empêchant l'action des enzymes microbiennes (D'Amato *et al.*, 2018).

D'après la même référence, certains chercheurs ont suggéré que les groupes hydroxyliques de l'eugénol pourraient se combiner avec les protéines en empêchant l'action des enzymes microbiennes; de plus, il semble que le cinnamaldéhyde peut adhérer aux protéines en empêchant l'action des acides aminés décarboxylases.

D'autres composés appelés trichetones d'origine naturelle sont probablement responsables de l'activité antimicrobienne des dérivés végétaux qui les contiennent. À cause de leur nature

hydrophobe, ils agissent en détruisant le cytoplasme membranaire et donc certains systèmes fondamentaux pour la cellule de vitalité, comme la chaîne de transport d'électrons et l'ATP synthèse, mais le mécanisme par lequel ce processus est effectué reste encore inconnu. Ces molécules sont généralement plus actives contre les bactéries Gram-positives que contre les bactéries Gram-négatives (Porter & Wilkins, 1999).

L'activité biologique des hydrolats est déterminée par différentes méthodes dont la plus importante est la méthode de diffusion ou des disques en milieu solide.

Cette méthode consiste à ensemencer en surface d'un milieu solide adéquat par inondation de la souche à tester. Puis un disque de papier filtre "Whatman N°1" imbibé d'hydrolat est déposé à la surface de cette boîte de Pétri.

Après une période d'incubation à l'étuve, la zone d'inhibition de croissance apparait autour de disque est mesurée à l'aide d'une règle graduée. Le diamètre de la zone est proportionnel à l'efficacité antibactérienne de l'extrait testé.

A titre d'exemple, les hydrolats extraits à partir d'*Areca catechu* L et *Cocos nucifera* L. ont montré une activité antimicrobienne significative contre tous les agents pathogènes testés (diamètre des zones inhibitrices > 6 mm) : *E. coli* ATCC 25922, *C. albicans* ATCC 10231, *E. coli* O157:H7 ATCC 33150 et *S. aureus* ATCC2392 (tableau 12).

Tableau 12 : Activité antibactérienne des hydrolats de différentes parties de la noix d'arec et de la noix de coco contre quatre bactéries (Shen *et al.*, 2017).

Hydrosols	Diameter of the zones of inhibition in mm (5 mm disc)			
	<i>E. coli</i> ATCC 25922	<i>C. albicans</i> ATCC 10231	<i>E. coli</i> O157:H7 ATCC 33150	<i>S. aureus</i> ATCC 2392
Control	0	0	0	0
AFH	11.2 ± 0.4 ^c	12.1 ± 0.4 ^b	10.2 ± 0.4 ^a	12.7 ± 0.7 ^b
AFAH	12.6 ± 0.8 ^b	11.6 ± 0.4 ^{bc}	9.9 ± 0.6 ^a	12.9 ± 0.6 ^b
ARH	9.8 ± 0.8 ^d	10.3 ± 0.6 ^d	8.5 ± 0.7 ^b	11.7 ± 0.4 ^{cd}
CFH	13.8 ± 0.6 ^a	14.2 ± 0.6 ^a	6.8 ± 0.9 ^c	12.3 ± 0.2 ^{bc}
CFAH	11.7 ± 0.4 ^{bc}	14.0 ± 0.6 ^a	6.9 ± 0.7 ^c	11.3 ± 0.3 ^d
CRH	12.5 ± 0.4 ^b	12.5 ± 0.8 ^b	7.4 ± 0.3 ^c	7.2 ± 0.3 ^e
Benzylnicillin	7.6 ± 0.2 ^e	10.8 ± 0.6 ^{cd}	9.4 ± 0.2 ^{ab}	32.9 ± 0.6 ^a

AFH, AFAH et ARH : hydrolats de fleur, d'axe floral et de racine d'*Areca catechu*, respectivement.

CFH, CFAH et CRH : hydrolats de fleur, d'axe floral et de racine de *Cocos nucifera*, respectivement.

Une autre méthode a également été utilisée pour tester l'activité antibactérienne des hydrolats, c'est la technique de désinfection naturelle des aliments, notamment des fruits et légumes.

Dans ce cas et comme exemple, **Tornuk *et al.* (2011)** ont étudié les effets inhibiteurs des hydrolats de thym, de cumin noir, de sauge, de romarin et de laurier contre *Salmonella typhimurium* et *Escherichia coli* O157:H7 inoculés à des pommes et des carottes fraîchement coupées (au ratio de 5,81 et 5,81 log ufc/g pour *S. typhimurium*, et 5,90 et 5,70 log ufc/g pour *E. coli* O157:H7 sur pomme et carotte, respectivement).

Dans cette étude, les échantillons de pommes et de carottes ont été lavés et coupés en morceaux (1×1 cm², environ 1 g chacun) avec un couteau stérile.

Les morceaux obtenus ont été immergés dans les solutions d'inoculum des bactéries à tester pendant 1 min puis conservées dans une enceinte de sécurité biologique pendant 1 h à 22±2 °C.

Les morceaux inoculés ont été immergés dans des flacons stériles contenant 100 mL de chaque hydrolat assainissant (thym, cumin noir, romarin, sauge et laurier) pendant 0, 20, 40 et 60 min. Les échantillons témoins ont été immergés dans de l'eau du robinet stérile.

Le dénombrement des bactéries a été effectué par la technique de dilution et par conséquent les niveaux d'inhibition ont été calculés.

En général, les hydrolats de plantes ont montré des niveaux de réduction significatifs contre les deux bactéries *S. Typhimurium* et *E. coli* O157 (**Figures 9 et 10**).

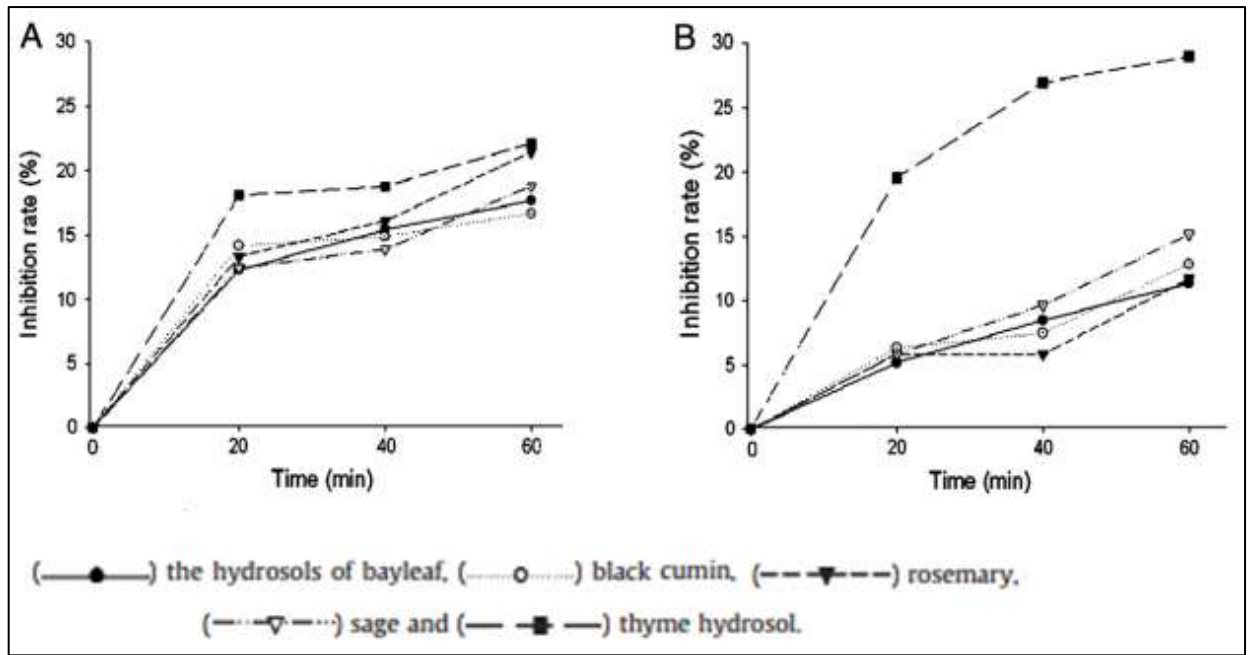


Figure 9 : Niveaux d'inhibition de la croissance de *S. Typhimurium* sur des échantillons de pomme (A) et de carotte (B) (Tornuk *et al.*, 2011)

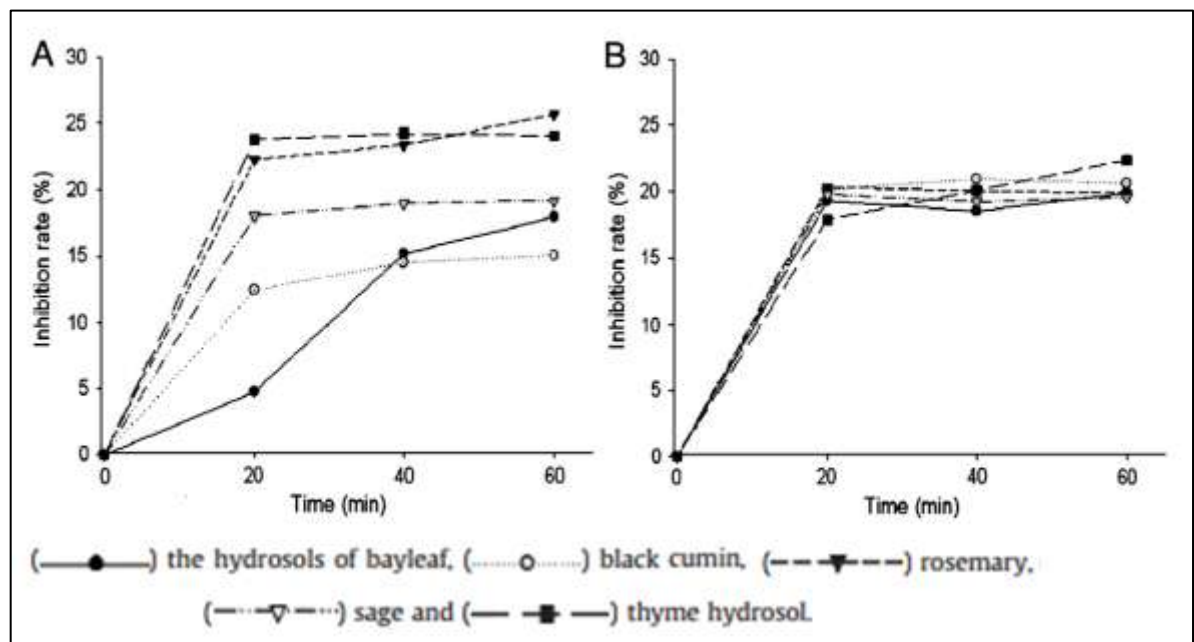


Figure 10 : Niveaux d'inhibition de la croissance d'*E. coli O157:H7* sur des échantillons de pomme (A) et de carotte (B)

(Tornuk *et al.*, 2011)

La désinfection naturelle par les hydrolats a été également testée par un autre travail réalisé par **Sagdicet son équipe (2013)** de l'Université technique Yildiz de Turquie. Dans cette étude, l'activité antibactérienne d'hydrolats obtenus à partir de trois plantes de la famille des *Lamiacées* (thym, sarriette et origan) a été évaluée contre deux souches (toxigènes et non toxigènes) d'*Escherichia coli* O157:H7 inoculées dans des tomates et des concombres fraîchement coupés.

Les résultats obtenus ont montré que le lavage à l'eau était inefficace pour éliminer les souches toxiques et non toxiques d'*Escherichia coli* O157:H7 de la surface des coupes de la tomate et du concombre. Au contraire, les hydrolats peuvent être utilisés comme solutions efficaces pour désinfecter les produits fraîchement coupés car ils inhibent complètement les souches de cette bactérie.

III. 1. 2-Activité antifongique des hydrolats

Les champignons causent d'énormes pertes dans les grandes cultures ainsi que dans les fruits et légumes frais qui sont difficiles à stocker pendant longtemps. En raison de leur forte teneur en humidité, les fruits et légumes frais sont très sensibles aux attaques de différents champignons pathogènes. (**Boyraz et Özcan, 2006**).

Pour cette raison, il y a eu un intérêt croissant à tester des composés naturels d'origines diverses, tels que les hydrolats, contre ces champignons phytopathogènes.

Parmi les études qui ont été menées dans ce domaine, l'évaluation de l'activité antifongique de l'hydrolat extrait de *Satureja hortensis* L (plante herbacée de la famille des Lamiacées) contre la croissance mycélienne d'*Alternaria mali* Roberts et de *Botrytis cinerea* People.

Selon la même référence, l'espèce *Alternaria mali* pénètre dans les pommes blessées du verger avant la récolte mais ne se propage pas davantage. L'autre genre *Botrytis* provoque les moisissures grises ou pourritures grises des fruits et légumes, tant au champ qu'en entrepôt.

Dans cette étude, les doses de 5%, 10%, 15% d'hydrolats ont été ajoutées dans des flacons erlenmeyer contenant 60 ml de milieu Czapek-Dox Agar (CDA) stérile. Ensuite, les flacons Erlenmeyer ont été agités vigoureusement et le milieu a été versé dans des boîtes de Pétri.

Des disques de cinq millimètres des champignons d'essai prélevés sur le bord avancé de cultures âgées de 7 jours ont été placés au milieu du milieu CDA contenant les dérivés.

Après l'incubation à 24 °C pendant 7 jours, la zone d'inhibition de croissance apparaît autour de disque est mesurée à l'aide d'une règle graduée. Le diamètre de la zone est proportionnel à l'efficacité antifongique de l'hydrolat testé.

Toutes les doses d'extrait ont inhibé à 100 % la croissance mycélienne des deux champignons et ont montré un effet fongicide significatif, en particulier dans le cas *Botrytis cinerea* (figures 11 et 12).

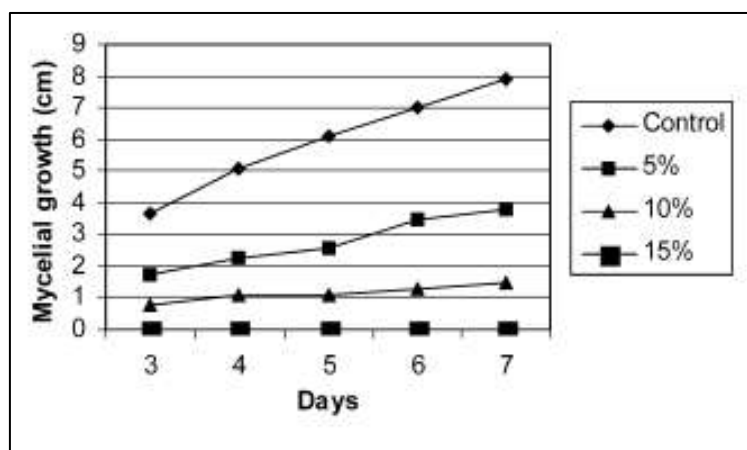


Figure 11 : Effet inhibiteur de l'hydrolat de sarriette sur *Alternaria mali*.

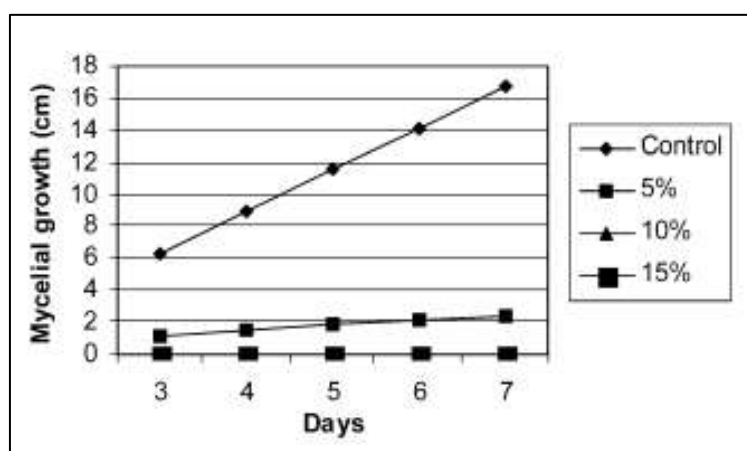


Figure 12 : Effet inhibiteur de l'hydrolat de sarriette sur *Botrytis cinerea*.

Boyras et Özcan (2005) ont étudié in vitro l'activité antifongique d'hydrolats extraits des espèces suivantes : *Ocimum basilicum*, *Cuminum cyminum*, *Echinophora tenuifolia*, *Rosmarinus officinalis* et *Satureja hortensis*.

Cette étude a porté sur certains champignons phytopathogènes (*Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum* f. sp. tulipae, *Botrytis cinerea* et *Alternaria citri*).

Le test a été réalisé sur le milieu de culture (CzapexDox Agar) contenant de 5%, 10%, 15% d'hydrolat. Ce milieu a ensuite été versé dans des boîtes de Pétri après avoir été bien agité.

Des disques de 0,5 cm de diamètre, prélevés sur des colonies de champignons, ont été placés à la surface de la gélose. Après incubation à 24–25 °C, les dosages ont été effectués en double et en utilisant des échantillons témoins.

Ils ont constaté que l'hydrolat de *Satureja hortensis* (herbe de la famille des *Lamiaceae*) était le plus actif contre la croissance mycélienne de tous les agents pathogènes, suivi de l'hydrolat de *Rosmarinus officinalis* (un arbuste de la famille des *Lamiaceae*) et de *Cuminum cyminum* (herbacée annuelle de la famille des *Apiacées*)(tableau 13).

Tableau 13 : Effets antifongiques des hydrolats sur les champignons phytopathogènes (Boyraz et Özcan, 2005)

Champignon	Jours	<i>R. officinale</i>			<i>C. cyminum</i>			<i>S. hortensis</i>		
		5%	10%	15%	5%	10%	15%	5%	10%	15%
<i>Rhizoctonia solani</i>	3	S ^b	12.1	12.0	49.01	62.74	80.39	10.00	100.00	100.00
	4	S ^b	12.1	12.0	36.48	45.94	67.56	91.89	100.00	100.00
	5	0.0	11.5	11.3	26.66	35.55	57.77	87.77	100.00	100.00
	6	0.0	10.0	10.0	20.71	28.88	42.34	80.18	100.00	100.00
	7	0.0	7.3	7.8	16.39	19.81	39.64	76.98	100.00	100.00
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. tulipae	3	S ^b	S ^b	22.44	26.53	32.65	51.61	53.06	100.00	100.00
	4	7.05	8.23	20.96	22.58	27.41	46.93	51.61	75.51	100.00
	5	5.26	6.57	19.35	20.96	22.58	38.70	48.36	72.94	100.00
	6	4.83	4.4	18.82	18.48	22.36	38.15	47.36	72.58	89.47
	7	4.07	4.07	18.42	14.11	18.82	32.94	42.35	72.36	89.41
<i>Botrytis cinerea</i>	3	0.13	32.22	43.83	49.31	68.49	78.08	86.30	100.00	100.00
	4	0.0	17.80	41.11	36.66	54.44	58.88	86.66	100.00	100.00
	5	0.0	16.11	22.22	17.75	39.25	39.25	83.17	100.00	100.00
	6	0.0	10.0	16.66	11.29	26.43	30.64	81.45	100.00	100.00
	7	0.0	7.5	10.7	8.64	11.29	27.64	78.62	100.00	100.00
<i>Alternaria citri</i>	3	S ^b	S ^b	S ^b	12.19	0.0	S ^b	37.50	100.00	100.00
	4	S ^b	S ^b	S ^b	12.00	0.0	S ^b	26.47	100.00	100.00
	5	S ^b	S ^b	S ^b	8.3	0.0	S ^b	16.19	100.00	100.00
	6	S ^b	S ^b	S ^b	5.8	0.0	S ^b	12.13	76.00	100.00
	7	S ^b	S ^b	S ^b	3.4	0.0	S ^b	5.88	70.58	100.00

Tableau 13 (suite....)

Champignon	Jours	<i>O. basilicum</i>			<i>E. tenuifolia</i>		
		5%	10%	15%	5%	10%	15%
<i>Rhizoctonia solani</i>	3	S ^b	S ^b	1.78	35.06	100.00	100.00
	4	S ^b	S ^b	2.59	32.14	100.00	100.00
	5	S ^b	S ^b	0.0	28.57	100.00	100.00
	6	S ^b	S ^b	0.0	27.77	100.00	100.00
	7	S ^b	S ^b	0.0	25.64	100.00	100.00
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. tulipae	3	5.1	5.1	5.1	9.52	55.10	100.00
	4	4.08	4.08	4.08	2.04	54.44	82.59
	5	4.70	4.70	4.70	0.00	52.77	80.00
	6	3.25	3.25	3.25	0.00	52.38	77.53
	7	3.2	3.2	3.2	0.0	48.30	75.27
<i>Botrytis cinerea</i>	3	19.76	26.74	40.69	31.39	67.44	100.00
	4	6.66	17.77	23.33	16.66	56.66	100.00
	5	4.47	11.64	18.12	15.09	46.22	100.00
	6	3.00	10.10	15.64	15.05	42.04	100.00
	7	2.62	8.37	13.22	13.27	38.47	100.00
<i>Alternaria citri</i>	3	25.00	16.66	20.45	18.46	60.86	100.00
	4	25.02	14.40	16.66	16.66	57.40	82.60
	5	25.92	13.84	16.66	15.21	53.33	79.62
	6	25.34	11.34	14.00	13.88	47.69	75.82
	7	23.07	9.72	12.30	13.87	43.84	70.76

^a pourcentage d'inhibitions 5%, 10% et 15% niveaux dans milieu de culture.

^b stimulation.

Selon **D'Amato et al., (2018)**, l'activité antifongique « in situ » de l'hydrolat de l'espèce *Thymus capitatus* L (plante buissonnante méditerranéenne de la famille des *Lamiacées*) a été évaluée contre quatre champignons phyto-pathogènes (*Aspergillus niger*, *Aspergillusoryzae*, *Penicillium italicum* et *Fusarium solani*). Ces champignons provoquent la détérioration des fruits de *Citrus sinensis* (également appelé oranger, arbuste fruitier de la famille des *Rutacées*).

Les résultats de cette étude ont révélé une activité significative contre les champignons pathogènes, avec un effet fongicide particulier sur *Penicillium italicum*, *Fusarium solani*, *Aspergillusoryzae* et *Aspergillus niger* à 0,1, 0,2, 0,2 et 0,5 g/mL, respectivement.

Les propriétés antifongiques de l'hydrolat de *Thymus capitatus* L pourraient être dues à la forte teneur en carvacrol (95,1 %).

L'analyse de l'extrait d'hydrosol n'a révélé que 14 composés oxygénés (7 monoterpènes, 3 sesquiterpènes, 3 non-terpénoïdes et 1 phénylpropane) et aucun hydrocarbure n'a été signalé.

Zatla (2017) a réalisé une autre étude « in situ » sur l'activité antifongique de deux hydrolats obtenus à partir de *Daucus carota* subsp (espèce de plantes à fleurs dicotylédones de la famille des *Apiaceae*) et *Crocus sativus* (plantes monocotylédones de la famille des *Iridaceae*).

L'objectif de cette étude était de contrôler la maladie de la moisissure grise des fraises causée par *Aspergillus niger*, *Penicillium expansum* et *Botrytis cinerea* pendant la période de stockage.

En termes de composition, l'extrait d'hydrolat de racine était dominé par des composés phénoliques (17,8 % de myristicine, 16,6 % de méthyl-iso-eugénol, 11,9 % de méthyl-eugénol et 7,9 % d'eugénol) suivis de composés oxygénés ; en revanche, l'extrait d'hydrolat de partie aérienne était caractérisé par des sesquiterpènes oxygénés (38,3 %), suivis des composés phénoliques.

L'extrait hydrosolique de racine (0,1 mL/L) a eu un fort effet inhibiteur sur la croissance de *P. expansum* (88,9 %) et de *B. cinerea* (86,5 %) et un faible effet inhibiteur sur *A. niger* (33,3 %) ; D'autre part, l'extrait hydrosolique de parties aériennes n'a eu aucun effet sur les champignons testés.

III. 1. 3-Activité antioxydante des hydrolats

Le processus d'oxydation est l'une des causes de la détérioration des aliments, c'est pourquoi les substances capables d'empêcher ce phénomène sont très recherchées dans le milieu industriel.

Aujourd'hui, les propriétés antioxydantes des extraits des plantes suscitent un grand intérêt en raison de leur application possible en tant qu'additifs naturels pour remplacer les additifs synthétiques.

D'après **Jakubczyk et al. (2021)**, le stress oxydatif est un phénomène causé par des radicaux libres ou des dérivés réactifs de l'oxygène (DRO), c'est-à-dire des atomes ou des molécules hautement réactives avec un ou plusieurs électrons non appariés dans leur enveloppe externe.

Ils sont connus pour provoquer des changements oxydatifs dans toutes les principales macromolécules cellulaires : glucides, lipides, protéines et ADN.

Les radicaux libres peuvent être générés dans des réactions endogènes de l'organisme, telles que les mitochondries, la phagocytose, la β -oxydation des acides gras à longue chaîne et la production d'ATP par des facteurs exogènes tels que la pollution de l'environnement, les stimulants (tabac, alcool, drogues), les métaux, les solvants industriels, certains aliments (par exemple les huiles et graisses alimentaires usagées).

Les dommages causés par les radicaux libres peuvent être réparés par une classe de molécules communément appelées antioxydants. Ainsi, différentes parties de la plante (feuilles,

fleurs, fruits, rhizomes, racines, tiges ou écorce) sont utilisées à cet effet sous forme d'extraits ou de mélanges.

Le 2,2-diphényl 1-picrylhydrazyle est un radical libre. Le composé est utilisé pour mesurer l'activité antioxydante de composés capables de transférer des atomes d'hydrogène. Ce composé (DPPH•+) est un cation radical coloré et stable de couleur pourpre qui présente un maximum d'absorbance à 517 nm. Les composés antioxydants capables de transférer des électrons au DPPH•+ peuvent provoquer une décoloration de la solution. La réaction est rapide et proportionnelle à la capacité antioxydante de l'échantillon.

Par exemple, **Ćavar et Maksimović, (2012)** ont utilisé ce composé pour évaluer l'activité antioxydante des hydrolats de tiges et de feuilles de *Pelargonium graveolens* L'Her.

Une partie de la solution d'échantillon (100 µl) a été mélangée avec 1 ml de $5,25 \times 10^{-5}$ M de DPPH• dans du méthanol. La diminution de l'absorbance des mélanges testés a été surveillée toutes les 1 min pendant 30 min à 516 nm à l'aide d'un spectrophotomètre PerkinElmer Lambda 25 UV/Vis.

Le méthanol a été utilisé pour la mise à zéro du spectrophotomètre ; la solution DPPH a été utilisée comme échantillon blanc et le thymol a été utilisé comme sonde positive. Tous les hydrolats ont montré une activité antioxydante significative, meilleure que celle obtenue à partir des huiles essentielles, et même dix fois supérieure au thymol (sonde positive).

Cela, d'après la même référence, peut être dû à la forte teneur en composés phénoliques de ces échantillons.

Aazza et al. (2012) ont utilisé d'autres méthodes pour évaluer l'activité antioxydante d'hydrolats produits par une entreprise marocaine à partir de huit espèces aromatiques (*Pelargonium graveolens*, *Artemisia herba-alba*, *Cupressus atlantica*, *Ocimum basilicum*, *Juniperus phoenicea*, *Pinus pinaster*, *Marrubium vulgare* et *Hyssopus officinalis*).

Ces méthodes sont :

- Substances réactives à l'acide thiobarbiturique (TBARS),
- Capacité antioxydante en équivalent Trolox (TEAC),
- Capacité de piégeage des hydroxyles et des superoxydes.

Les résultats ont montré que l'hydrolat d'*Hyssopus officinalis* s'est avéré le plus efficace en termes de TBARS et en capacité de piégeage du superoxyde. *Marrubium vulgare* était le plus efficace dans le test TEAC.

III. 1.4-Activités anti-inflammatoires des hydrolats

L'inflammation est un processus impliquant des événements cellulaires qui se produisent en réponse à une infection et à des lésions tissulaires, et est nécessaire au maintien de la santé physique en réponse à des infections bactériennes et virales (Koa *et al.* 2017).

Les anti-inflammatoires sont un groupe de médicaments destinés à traiter les réactions inflammatoires et les maladies qui en résultent, telles que la polyarthrite rhumatoïde, l'athérosclérose, le cancer, la parodontite et l'hépatite chronique.

Comme tous les médicaments, ils peuvent provoquer des effets indésirables, parfois des allergies ou des intoxications (en cas de surdosage ou d'interaction avec d'autres médicaments). Au contraire, de nombreuses molécules d'origine végétale sont utilisées depuis longtemps sans aucun effet indésirable.

A titre d'exemple, Koa *et al.* 2017 ont étudié l'effet anti-inflammatoire de la *Tetragonia tetragonoides* hydrosols (TTH) à l'aide de cellules RAW 264.7 induites par des lipopolysaccharides (LPS).

Les données de cette étude indiquent que la TTH exerce une activité anti-inflammatoire en inhibant les voies de signalisation NF- κ B et MAPK dans les cellules RAW 264.7 stimulées par le LPS.

Cellules RAW 264.7 : Cellules de type monocyte/macrophage, provenant de la lignée cellulaire transformée par le virus de la leucémie d'Abelson dérivée de souris BALB/c. Ces cellules sont décrites comme un modèle approprié de macrophages.

NF- κ B (Nuclear Factor-kappa B) : Protéine de la superfamille des facteurs de transcription impliquée dans la réponse immunitaire et la réponse au stress cellulaire.

Mitogen-activated protein kinases1 (MAPK) : Ensemble de protéines kinases nécessaires à l'induction de la mitose dans les cellules eucaryotes.

PIOCHON, (2008) a constaté que l'hydrolat obtenu à partir des feuilles de *Monarda didyma* (plante herbacée vivace de la famille des *Lamiacées*) exerce une activité anti-inflammatoire importante. De plus, aucune toxicité n'est observée selon le test parallèle à la résazurine, indicateur coloré qui présente une couleur variant selon le potentiel rédox du milieu.

III. 2-Applications des hydrolats

Auparavant, les hydrolats étaient souvent considérés comme un déchet de l'hydrodistillation, mais plus tard, ils se sont avérés d'une grande importance. Ils sont désormais très présents dans notre quotidien.

Les utilisations des hydrolats sont diverses. Elles peuvent être utilisées dans différents domaines, notamment en cosmétique, en cuisine et en aromathérapie. Le mode d'utilisation des hydrolats varie en fonction de l'effet recherché.

Les eaux florales et les hydrolats peuvent être consommés purs ou mélangés à de l'eau tiède ordinaire, et peuvent également être administrés aux nourrissons, aux enfants, aux adultes et aux personnes âgées, sous réserve des précautions de dosage et d'emploi habituellement prescrites par le fabricant ou la médecine populaire traditionnelle. De plus, ils ne provoquent aucun effet secondaire et peuvent être consommés en toute sécurité.

En général et selon (**D'Amato et al., 2018**), les hydrolats de plantes aromatiques peuvent être utilisés dans les domaines suivants :

En médecine traditionnelle

Parmi les exemples qui illustrent l'utilisation des hydrolats en médecine traditionnelle sont les suivants :

Au Maroc: L'hydrolat d'*Origanum compactum* (plante endémique du Maroc) est traditionnellement utilisé pour traiter les troubles gastro-intestinaux, mais aussi pour les problèmes cutanés et buccaux en raison de son faible niveau de toxicité/irritation.

En Iran : L'eau aromatique, diluée 1:8 ou 1:2 avec de l'eau selon ses propriétés uniques. Ces formulations sont ensuite stockées dans de petits récipients en plastique ou en verre pour la vente au détail ou en gros. Ils sont également utilisés comme médicament pour le traitement de plusieurs maladies de la cavité buccale et dans des applications topiques.

D'après **Fernandez et André (2014)** l'hydrolat d'*Achillée millefeuille*, la plante la plus couramment utilisée en médecine traditionnelle, présente des propriétés décongestionnantes, en lavage oculaire ou vaginal ou dans des cosmétiques ciblés pour les femmes ménopausées.

L'hydrolat d'*Angélique officinale* a également été utilisé en solution buvable contre les spasmes intestinaux, les problèmes de météorisme (ballonnement abdominal dû à un excès de gaz digestifs) et en cas d'engorgement hépatique. Il peut être utilisé en ingestion contre le stress ou pour soigner les troubles de la digestion.

En cosmétique

Les hydrolats peuvent être utilisés seuls ou comme ingrédients entrant dans la composition de produits cosmétiques. Elles sont très douces pour la peau et nécessitent moins de précautions d'utilisation que les huiles essentielles.

Ces extraits de plantes sont également utilisés dans les toniques pour le visage et le corps, les lotions, les lotions après-rasage et comme ingrédient dans les soins du visage thérapeutiques.

L'effet de ces hydrolats peut être de rétablir l'équilibre naturel du pH de la peau, car ils ont généralement un pH acide à neutre (**Jakubczyk et al., 2021**).

Par exemple et Selon le **site web 2**, l'Achillée millefeuille (*Achillea millefolium*, de la famille des *Astéracées*) est une plante vivace pouvant atteindre un mètre de hauteur, également appelée herbe aux coupures ou herbe aux militaires, en raison de son utilisation traditionnelle pour soigner les coupures et les problèmes cutanés.

L'hydrolat de cette plante est utilisé en cosmétique pour ses propriétés cicatrisantes, régulatrices du sébum et assainissantes.

En industrie alimentaire

Partout dans le monde, les hydrolats sont principalement utilisés comme substances aromatisantes alimentaires dans une large gamme de pâtisseries et de boissons du bassin méditerranéen et du Moyen-Orient (**Labadie et al., 2015**).

Par exemple, les hydrolats de thym, d'origan et de fleur d'oranger sont utilisés comme boissons ou comme ingrédients dans les desserts et plats salés typiques des pays méditerranéens (**D'Amato et al., 2018**).

Ces extraits sont également utilisés pour prévenir le développement de micro-organismes pathogènes dans les aliments, éliminer les biofilms, réduire l'utilisation d'antibiotiques et lutter contre la résistance aux antibiotiques. (**Jakubczyk et al., 2021**).

L'eau de rose et l'eau de lavande, l'eau de mélisse et l'eau de sauge ont été utilisés pour aromatiser les aliments frais ou pour les conserver.

En aromathérapie

De manière générale, l'utilisation d'hydrolats végétaux dans un but de prévention et de soulagement de certains troubles ainsi que de bien-être et d'apaisement. Cela peut être dû à leurs

propriétés antibactériennes, antifongiques, antiseptiques, astringentes, antalgiques, antioxydantes et anticoagulantes.

Par exemple L'hydrolat obtenu à partir de la plante Aneth (*Anethum graveolens*, de la famille des *Apiacées*) possède des propriétés calmantes et apaisantes permettant de soulager les troubles de la digestion et les douleurs qui y sont associées. Il posséderait également des propriétés diurétiques et anti-inflammatoires (Site web x).

La popularité des hydrolats peut être attribuée à sa riche composition chimique, ainsi qu'à la sécurité de son utilisation. Ils ont tendance à ne pas contenir beaucoup d'huiles essentielles typiques. Ils n'ont généralement pas une forte odeur, ce qui peut provoquer des effets secondaires tels que des maux de tête ou une dermatite de contact (**Jakubczyk et al., 2021**),

Actuellement, certaines recherches scientifiques basées sur l'utilisation traditionnelle des hydrolats développent des moyens alternatifs pour bien utiliser ces composés et sans effets secondaires indésirables.

Parmi ces applications innovantes, celle de **MutluayYayla, Izgu, Ozdemir, Erdem et Kartal (2016)** qui ont évalué l'utilisation de l'hydrolat de thé sauge-thym-menthe comme bain de bouche pour la prévention de la mucosite buccale induite par la chimiothérapie.

Les résultats ont montré que 70 % des patients du groupe traité et 40 % des patients du groupe non traité n'ont pas développé de mucosite buccale.

Une autre application médicale a été proposée par des chercheurs iraniens (**Moravej et al., 2016**); elle comprend une étude de la possibilité d'utiliser l'hydrolat de noix pour contrôler la glycémie chez les patients atteints de diabète de type 1. Un véritable contrôle de la glycémie a été démontré, mais certains effets secondaires (érythème, éruption cutanée) ont été observés et des études supplémentaires sont nécessaires avant qu'une application clinique puisse être envisagée (**tableau 14**).

Tableau 14 : Efficacité et effets secondaires de l'extrait de noix chez les patients atteints de diabète de type 1

Case No.	Average Daily BS		Average Daily Insulin Dose		Duration of Therapy, w	Side Effects
	Before Use	During Use	Before Use	During Use		
1	164	140	42	37	4	None
2	160	148	38	34	4	None
3	154	136	32	27	4	Skin rash
4	172	150	45	41	4	None
5	190	170	36	36	4	None
6	183	178	40	40	4	None
7	161	130	44	36	3	Hypoglycemic coma
8	208	194	24	24	2	Skin rash

Abbreviation: BS, blood sugar.

Conclusion

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'objectif de cette étude théorique sur l'activité biologique et les applications des hydrolats de plantes aromatiques, était : (i) rappel de l'importance des plantes aromatiques et leurs métabolites secondaires; (ii) la composition chimique des huiles essentielles et hydrolats extraits de plantes aromatiques(iii) la mise en évidence de l'activité biologique et les applications des hydrolats.

Dans la première partie, nous avons évoqué l'importance de ces plantes, il s'agit d'un groupe de plantes diverses composé d'arbres, d'arbustes et d'herbes qui sont cultivées selon les besoins pour leurs feuilles, tiges, bulbes, racines, graines, fleurs, écorce, etc. Elles représentent une source inépuisable de substances bioactives naturelles, elles ont donc de nombreuses utilisations dans divers domaines tels que la cuisine comme épices, la médecine comme médicaments, les cosmétiques, les parfums et aussi en phytothérapie, car elles possèdent des propriétés importantes et bénéfiques pour notre santé.

Concernant la composition chimique, seconde partie de cette étude, les huiles essentielles, également appelées huiles volatiles, sont constituées de mélanges complexes de substances bioactives de faible poids moléculaire et se distinguent des huiles fixes par leur caractère très volatil. Les principaux composants de ces molécules sont les monoterpènes, les sesquiterpènes et les phénylpropanoïdes.

Les hydrolats sont des sous-produits de la distillation à la vapeur ou de l'hydrodistillation des plantes aromatiques utilisées pour produire des huiles essentielles. Ce sont des mélanges assez complexes contenant des traces d'huiles essentielles (moins de 1 g/L) et plusieurs composants hydrosolubles.

En dernière partie, nous avons effectué une petite recherche bibliographique sur l'activité biologique des hydrolats ainsi que son application. Il s'avère que ces extraits ont des activités biologiques très importantes, qui se manifestent par une activité contre les bactéries et les champignons pathogènes, ainsi qu'une activité antioxydante. Cette activité est due à la présence de composants qui les caractérisent par leurs groupes fonctionnels.

Les utilisations des hydrolats sont variées. Ils peuvent être utilisés dans différents domaines, notamment les cosmétiques, la cuisine et l'aromathérapie. Le mode de son application est varié selon l'effet recherché.

Les hydrolats peuvent être consommés purs ou mélangés à de l'eau tiède normale, et peuvent également être administrés aux nourrissons, enfants, adultes et personnes âgées, sous

réserve des précautions de dosage et d'utilisation habituellement prescrites par le fabricant ou la médecine populaire traditionnelle.

Enfin, afin de compléter ce travail, il convient de réaliser des études expérimentales tels que :

- L'extraction des huiles essentielles et les hydrolats à partir des plantes aromatiques les plus utilisées, notamment par la médecine populaire traditionnelle.
- Évaluation de l'activité biologique (in vitro et in vivo) de ces extraits, particulièrement l'activité antibactérienne, l'activité antifongique et l'activité antioxydante.
- L'utilisation des hydrolatsefficaces dans le domaine industriel, comme la fabrication de savon et de parfums naturels.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

(A)

Aburjai, T., &Natsheh, F. M. (2003).Plants Used in Cosmetics. *Phytotherapy Research*, 17(9), 987–1000. <https://doi.org/10.1002/ptr.1363>

ÁkosMáthé (2017) Medicinal and Aromatic Plants of the World. *Springer Science +Business Media B.V.* Pages: 415. ISBN 978-94-024-1120-1 (eBook).

Ameh, O. E., Achika, J. I., Bello, N. M., &Owolaja, A. J. (2021). Extraction and Formulation of Perfume from *Cymbopogon citratus* (Lemongrass). *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 25(8), 1461–1463. <https://doi.org/10.4314/jasem.v25i8.27>

(B)

Bajaj, Y. P. S. (1988). Cryopreservation and the retention of biosynthetic potential in cell cultures of medicinal and alkaloid-producing plants. *In: «Biotechnology in Agriculture and Forestry; Medicinal and Aromatic Plants I», Bajaj YPS (edit).* Vol 4. Berlin: Springer- Verlag.

Borges F. (2014)Sécurité sanitaire des aliments. ENSAIA, Université de Lorraine : 55 pages.

Boukhatem, N., Said, H., Saidi, F., Yahia, H., &Benomier, K. (2010). Extraction, composition et valorisation de l'eau aromatique de géranium rosat rosat (*Pelargonium graveolens*) dans la dermopharmacie. *Nature etTechnologie*, 59(1), 1–6.

BouzabataA . (2015) Contribution à l'étude d'une plante médicinale et aromatique *Myrtus communis*L. Thèse doctorat, Université Badji-Mokhtar, Annaba.

Boyraz, N., &Özcan, M. (2005). Antifungal effect of some spice hydrosols. *Fitoterapia*, 76(7–8), 661–665. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2005.08.016>

(C)

Ćavar, S., &Maksimović, M. (2012). Antioxidant activity of essential oil and aqueous extract of *Pelargonium graveolens* L'Her. *Food Control*, 23(1), 263–267. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.07.031>

- Chandra, H., Kumari, P., Bontempi, E., & Yadav, S. (2020).** Medicinal plants: Treasure trove for green synthesis of metallic nanoparticles and their biomedical applications. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 24(January), 101518. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101518>
- Constantine, M., Cellulaire, B., Fili, M., Sp, S. B., Abdelmoula, D., Oussama, T., Rachid, K., Constantine, M., Chawki, B., Nour, B., & Universit, M. C. A. (2020).** Etude de la composition chimique et évaluation des activités biologiques des huiles essentielles et d'extraits de quatre plantes médicinales.
- Couic-Marinier, F., & Lobstein, A. (2013).** Composition chimique des huiles essentielles. In «Actualités Pharmaceutiques », Vol. 52, Issue 525, pp. 22–25. <https://doi.org/10.1016/j.actpha.2013.02.006>
- Croteau, R., Kutchan, T.M. and Lewis, N.G. (2000)** Natural products (secondary metabolites). In « Biochemistry and Molecular Biology of Plant ». B.B. Buchanan, W. Gruissem and R.L. Jones (eds), *American Society of Plant Physiologists*, Rockville, MD, pp. 1250–1318.
- Crozier, A., Clifford, M.N. and Ashihara, H. (2006)** Plante secondary metabolites Occurrence, Structure and Role in the Human Diet. Blackwell Publishing Ltd, 9600 Garsington Road, Oxford OX4 2DQ, UK, 1-21.
- (D)**
- D'Amato, S., Serio, A., López, C. C., & Paparella, A. (2018).** Hydrosols: Biological activity and potential as antimicrobials for food applications. *Food Control*, 86, 126–137. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.10.030>
- Değirmenci, H., & Erkurt, H. (2020).** Relationship between volatile components, antimicrobial and antioxidant properties of the essential oil, hydrosol and extracts of *Citrus aurantium* L. flowers. *Journal of Infection and Public Health*, 13(1), 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2019.06.017>
- Dewick, P.M. (2002)** *Medicinal Natural Products: A Biosynthetic Approach*, 2nd edn., John Wiley and Sons, Chichester. 7-29.

Duarte, M. C. T., & Rai, M. (2015). Therapeutic Medicinal Plants. In « Therapeutic Medicinal Plants From Lab to the Market». Edited By Marta C.T. Duarte, Mahendra Rai. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b19773>

Donovan, J. L., Manach, C., Faulks, R. M., & Kroon, P. A. (2007). Absorption and Metabolism of Dietary Plant Secondary Metabolites. In *Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet*. <https://doi.org/10.1002/9780470988558.ch8>

(E)

El Meskaoui A. et al. (2008). Plantes médicinales et aromatiques marocaines: opportunités et défis. *Revue AFN Maroc*, 2–3, 74–87.

Erich Schmidt (2010) Production of Essential Oils In «Handbook of essential oils: science, technology, and applications» edited by K.H.C. Baser, G. Buchbauer. Taylor & Francis, Boca Raton: 83-1119

Eun-Yi Koa, 1, Su-Hyeon Choa, b, 1, Kyungpil Kangc, Gibeom Kimc, J.-H. L., & You-Jin Jeonb, Daekyung Kima, Ginnae Ahnd, K.-N. K. (2017). Anti-inflammatory activity of hydrosols from *Tetragoniatetragonoides* in LPS-induced RAW 264.7 cells. *EXCLI Journal*, 16, 521–530.

(F)

Faccio, G. (2020). Plant Complexity and Cosmetic Innovation. *Inscience*, 23(8), 101358. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101358>

FERNANDEZ X., ANDRÉ C., CASALE A. (2014) Hydrolats et eaux florales Vertus et applications. *Vuibert*, 48-158.

Foued, A. A. (2018) Les plantes aromatiques et les antioxydants. Mémoire de master. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Université des Frères Mentouri Constantine.

Frutos-fernandez, M. J., & McDonald, S. (2018). Essential Oils in Food Processing. In «Essential Oils in Food Processing: Chemistry, Safety and Applications». Edited by Seyed Mohammad Bagher Hashemi; Amin Mousavi Khaneghah et Anderson de Souza Sant'Ana. John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119149392>

(G)

Gavahian, M., & Farahnaky, A. (2018). Ohmic-assisted hydrodistillation technology: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 72(September 2017), 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.014>

Girard, C. (2013). Les parfums dans les produits cosmétiques. Thèse de Pharmacie, Université de Lorraine, Nancy, 98 p.

Guenther, 1952,

Gustavo Haralampidou da Costa Vieira, Barbara Barbosa Dias and Denise Caren Ozório Leonel (2016) Essential oils: properties, applications, extraction methods, and perspectives. In «Essential oils historical significance, chemical composition and medicinal uses and benefits». PETERS, M. Nova Science Publishers, Inc. New York P: 215. ISBN: 978-1-63484-351-5

(H)

Handa, S.S., S.P.S. Khanuja, G. Longo and D.D. Rakesh (2008) Extraction Technologies for Medicinal and Aromatic Plants. *International Centre for Science and High Technology, Trieste*: Page 40.

HAY, M. Y.-O. M. (2016). La Complexité Des Simples - Caractérisations Chimique Et Biologique De Combinaisons Hydrolats-Huiles Essentielles Et Huiles Essentielles-Huiles Essentielles Pour L'Objectivation D'Effets Conservateurs De Produits *Phytotherapeutiques*. 196.

Hiltunen Raimo and Holm. (1999). Basil - The Genus *Ocimum*. (Medicinal and Aromatic Plants - Industrial Profiles; Vol. 10). Harwood Academic Publishers.

(I)

Imre MATHÈ (2017). Chapter 3: Chemical Diversity of Medicinal Plants. In «*Medicinal and Aromatic Plants of the World – Africa*». **Kasilo, O. M. J., Kofi-Tsekpo, M., & Gachathi, F.** pp: 35-61. https://doi.org/10.1007/978-94-024-1120-1_4

(J)

Jakubczyk, K., Tuchowska, A., & Janda-Milczarek, K. (2021). Plant hydrolates – Antioxidant properties, chemical composition and potential applications.

Biomedicine and Pharmacotherapy, 142(August), 112033.

<https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112033>

(K)

Kumar, A. (2020). Phytochemistry, pharmacological activities and uses of traditional medicinal plant *Kaempferiagalanga L.* – An overview. *Journal of Ethnopharmacology*, 253(October 2019), 112667. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112667>

(L)

Labadie, C., Ginies, C., Guinebretiere, M. H., Renard, C. M. G. C., Cerutti, C., & Carlin, F. (2015). Hydrosols of orange blossom (*Citrus aurantium*), and rose flower (*Rosa damascena* and *Rosa centifolia*) support the growth of a heterogeneous spoilage microbiota. *Food Research International*, 76, 576–586. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.014>

Lubbe, A., & Verpoorte, R. (2011). Cultivation of medicinal and aromatic plants for specialty industrial materials. *Industrial Crops and Products*, 34(1), 785–801. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.01.019>

Lucchesi, M. E., Smadja, J., Bradshaw, S., Louw, W., & Chemat, F. (2007). Solvent free microwave extraction of *Elletaria cardamomum L.*: A multivariate study of a new technique for the extraction of essential oil. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 1079–1086. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.029>

L'Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2007). Food safety and food borne illness. *Fact Sheet N°237*. 4 pages.

(M)

Màthè A (2015). Medicinal and Aromatic Plants of the World – Africa. Springer Science + Business Media. https://doi.org/10.1007/978-94-024-1120-1_4

Miloudi, K., Tilmatine, A., Benmimoun, Y., Hamimed, A., Taibi, A., & Bellebna, Y. (2019). Intensification of Essential Oil Extraction of *Artemisia herba alba* Using Pulsed Electric Field. *Proceedings of 2018 3rd International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb*, CISTEM 2018, February 2019. <https://doi.org/10.1109/CISTEM.2018.8613580>

Moravej, H., Salehi, A., Razavi, Z., Moein, M. R., Etemadfard, H., Karami, F., & Ghahremani, F. (2016). Chemical composition and the effect of walnut hydrosol in glycemic control of type 1 diabetic patients. *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, 14(1). <https://doi.org/10.5812/ijem.34726>

(N)

Ndiaye, E. H. B., Gueye, M. T., Ndiaye, I., Diop, S. M., DIOP, M. B., Fauconnier, M.-L., & Lognay, G. (2017). Chemical composition of essential oils and hydrosols of three Eucalyptus species from Senegal: Eucalyptus alba Renv, Eucalyptus camaldulensis Dehnh and Eucalyptus tereticornis Hook. *American Journal of Essential Oils and Natural Products*, 5(1), 1–7.

(P)

PETERS, M. (2016). Essential oils historical significance, chemical composition and medicinal uses and benefits. *Nova Science Publishers, Inc.* New York: 215. ISBN: 978-1-63484-351-5

Piochon m.(2008) étude des huiles essentielles d'espèces végétales de la flore laurentienne: composition chimique, activités pharmacologiques et hémisynthèse. Thèse de magister, universités Québec, Canada.

Porter, N.G., Wilkins, A.L., (1999) Chemical, physical and antimicrobial properties of essential oils of *Leptospermum scoparium* and *Kunzeaericoides*. *Phytochemistry* 50,407–415.

(R)

Reddy, P. P. (2014). Aromatic Plants. *Biointensive Integrated Pest Management in Horticultural Ecosystems, October 2014*, 213–217. https://doi.org/10.1007/978-81-322-1844-9_16

Rehman, A., & Al-Hilphy, S. (2014). A practical study for new design of essential oils extraction apparatus using ohmic heating. *International Journal of Agricultural Sciences*, 4(12), 351–366.
<https://www.researchgate.net/publication/270275570>

Rhind, J. P. (2012). Essential Oils. By Singing Dragon an imprint of Jessica Kingsley Publishers. UK. P: 321. ISBN 978 1 848 19089 4

Ríos J. (2016) Essential Oils: What They Are and How the Terms Are Used and Defined. *In* «Essential oils in food preservation, flavor and safety». Edited by Preedy, Victor R. Elsevier: 3-9.

Rojas, J., & Buitrago, A. (2015) Essential oils and their products as antimicrobial agents: Progress and prospects. *In*: «Therapeutic Medicinal Plants». Duarte, M.C.T., Rai, M. (eds.), Boca Raton, FL: CRC Press, 253–278.

RoohinejadShahin; Mohamed Koubaa; Francisco J. Barba; Sze Ying Leong; Anissa Khelfa; Ralf Greiner and Farid Chemat (2018) Extraction Methods of Essential Oils From Herbs and Spices. *In* «Essential Oils in Food Processing». Edited by Seyed Mohammad Bagher Hashemi; Amin Mousavi Khaneghah and Anderson de Souza Sant'Ana. John Wiley & Sons Ltd. pp: 21-55.

(S)

Sereshti, H., Rohanifar, A., Bakhtiari, S., & Samadi, S. (2012). Bifunctional ultrasound assisted extraction and determination of *Elettaria cardamomum* Maton essential oil. *Journal of Chromatography A*, 1238, 46–53.
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.03.061>

Sharmeen, J. B., Mahomoodally, F. M., Zengin, G., & Maggi, F. (2021). Essential oils as natural sources of fragrance compounds for cosmetics and cosmeceuticals. *Molecules*, 26(3). <https://doi.org/10.3390/molecules26030666>

Shen, X., Chen, W., Zheng, Y., Lei, X., Tang, M., Wang, H., & Song, F. (2017). Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of hydrosols from different parts of *Areca catechu* L. and *Cocos nucifera* L. *Industrial Crops and Products*, 96, 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.053>

Smail Aazza, B. L. and M. G. M. (2012). Antioxidant Activity of Eight Hydrosols from Morocco. *Asian Journal of Plant Sciences*, Vol 11 (3): 137-142.

(T)

Thakur, M., & Kumar, R. (2021). Microclimatic buffering on medicinal and aromatic plants: A review. *Industrial Crops and Products*, 160(6), 113144.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113144>.

Thirumurugan, D., Cholarajan, A., Raja, S. S. S., & Vijayakumar, R. (2018). An Introductory Chapter: Secondary Metabolites. *Secondary Metabolites - Sources and Applications, October*, 2–22. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79766>

Tornuk, F., Cankurt, H., Ozturk, I., Sagdic, O., Bayram, O., & Yetim, H. (2011). Efficacy of various plant hydrosols as natural food sanitizers in reducing *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* Typhimurium on fresh cut carrots and apples. *International Journal of Food Microbiology*, 148(1), 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.04.022>

TRAIKIA Ahlem et MANSOURI Maroua (2020) Etude des caractéristiques physiques et chimiques des huiles essentielles du clou de girofle et de l'eucalyptus. Mémoire de Master. Faculté des Mathématiques et de l'Informatique et des Sciences de la Matière. UNIVERSITE 08 MAI 1945 GUELMA.

(U)

Usano-Alemany Jaime; Jesús Palá-Paúl and David Herráiz-Peñalver (2016) Phenological changes in the biosynthesis and chemical composition of the essential oils. In «Essential oils historical significance, chemical composition and medicinal uses and benefits». **PETERS, M. (edit).** *Nova Science Publishers, Inc.* New York P: 215. ISBN: 978-1-63484-351-5

(Z)

Zaim, A., El Ghadraoui, L., & Farah, A. (2012). Effets des huiles essentielles d'*Artemisia herba-alba* sur la survie des criquets adultes d'*Euchorthippus albolineatus* (Lucas, 1849). *Bulltin de l'institut Dcientifique, Rabat, Section Science de La Vie*, 34(2), 127–133.

Zheljazkov, V. D., & Astatkie, T. (2011). Effect of plant species and benomyl on lead concentration and removal from lead-enriched soil. *Horticultural Science*, 46(12), 1604-1607

Sites Internet

1. https://sbssa.spip.ac-rouen.fr/IMG/pdf/les_produits_parfumants_prof.pdf (consulter le 09-03-2022).
2. <https://www.furet.com/media/pdf/feuillestage/9/7/8/2/3/1/1/4/9782311400038.pdf> (consulter le 20/05/2022).

Résumé

RESUME

Ce travail s'est centré sur l'activité biologique et les applications des hydrolats de plantes aromatiques.

Les plantes aromatiques représentent une source inépuisable de substances bioactives naturelles, elles ont donc de nombreuses utilisations dans divers domaines tels que la cuisine comme épices, la médecine comme médicaments, les cosmétiques, les parfums et aussi en phytothérapie.

Les principaux composants des huiles essentielles de ces plantes sont les monoterpènes, les sesquiterpènes et les phénylpropanoïdes. Les hydrolats sont des mélanges assez complexes contenant des traces d'huiles essentielles (moins de 1 g/L) et plusieurs composants hydrosolubles.

D'après la bibliographie, il s'avère que ces extraits ont des activités biologiques très importantes, qui se manifestent par une activité contre les bactéries et les champignons pathogènes, ainsi qu'une activité antioxydante. Cette activité est due à la présence de composants qui les caractérisent par leurs groupes fonctionnels.

Il s'avère également que les utilisations des hydrolats sont variées. Ils peuvent être utilisés dans différents domaines, notamment les cosmétiques, la cuisine et l'aromathérapie. Le mode de son application est varié selon l'effet recherché.

En conclusion et en se basant sur les données de cette étude, il convient de réaliser des études expérimentales sur l'utilisation des hydrolats dans l'industrie, en particulier dans la fabrication de savon et de parfums naturels.

Mots clés : Plantes aromatiques, huiles essentielles, hydrolats, activité biologique.

ABSTRACT

This work focused on the biological activity and applications of aromatic plant hydrolates.

Aromatic plants represent an inexhaustible source of natural bioactive substances, so they have many uses in various fields such as cooking as spices, medicine as drugs, cosmetics, perfumes and also in phytotherapy.

The main components of essential oils of aromatic plants are monoterpenes, sesquiterpenes and phenylpropanoids. The hydrolates are rather complex mixtures containing traces of essential oils (less than 1 g/L) and several water-soluble components.

According to the bibliography, it turns out that these extracts have very important biological activities, which are manifested by an activity against bacteria and pathogenic fungi, as well as an antioxidant activity. This activity is due to the presence of components that characterize them by their functional groups.

It also turns out that the uses of hydrolates are varied. They can be used in different areas, including cosmetics, cooking and aromatherapy. The mode of application is varied according to the desired effect.

In conclusion and based on the data of this study, it is appropriate to conduct experimental studies on the use of hydrolates in industry, especially in the manufacture of soap and natural perfumes.

Key words: Aromatic plants, essential oils, hydrolates, biological activity.

ملخص

ركز هذا العمل على النشاط البيولوجي وتطبيقات الهيدرولات النباتية العطرية. النباتات العطرية تمثل مصدرًا لا ينضب للمواد الطبيعية النشطة بيولوجيًا ، لذلك لها استخدامات عديدة في مختلف المجالات مثل الطبخ ،التوابل ،الأدوية متمثلة في العقاقير ، مستحضرات التجميل ، العطور وأيضًا في طب الأعشاب.

المكونات الرئيسية للزيوت الأساسية للنباتات العطرية هي les monoterpenes و les sesquiterpenes ، les phénylpropanoïdes . الهيدرولات عبارة عن مخاليط معقدة إلى حد ما تحتوي على آثار من الزيوت الأساسية (أقل من 1 جم / لتر) والعديد من المكونات القابلة للذوبان في الماء.

وفقا للبيولوجيا ، اتضح أن هذه المستخلصات لها أنشطة بيولوجية مهمة جدًا ، والتي تتجلى في نشاط ضد البكتيريا المسببة للأمراض والفطريات ، وكذلك النشاط المضاد للأكسدة. يرجع هذا النشاط إلى وجود المكونات التي تميزها من خلال مجموعاتها الوظيفية.

كما اتضح أن استخدامات الهيدرولات متنوعة. يمكن استخدامها في مجالات مختلفة ، بما في ذلك مستحضرات التجميل والطهي والعلاج بالروائح. يتنوع وضع تطبيقه وفقًا للتأثير المطلوب.

في الختام واستناداً إلى بيانات هذه الدراسة ، من الضروري إجراء دراسات تجريبية حول استخدام هيدرولات في الصناعة ، ولا سيما في صناعة الصابون والعطور الطبيعية.

الكلمات المفتاحية: نباتات عطرية ، زيوت عطرية ، هيدرولات ، نشاط بيولوجي.

Année universitaire : 2021-2022

Présenté par : HADJADJ ROMAILA
NOURI AYA

Étude théorique de l'activité biologique et application des hydrolats de plantes aromatiques

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Biochimie

Résumé

Ce travail s'est centré sur l'activité biologique et les applications des hydrolats de plantes aromatiques.

Les plantes aromatiques représentent une source inépuisable de substances bioactives naturelles, elles ont donc de nombreuses utilisations dans divers domaines tels que la cuisine comme épices, la médecine comme médicaments, les cosmétiques, les parfums et aussi en phytothérapie.

Les principaux composants des huiles essentielles des plantes aromatiques sont les monoterpènes, les sesquiterpènes et les phénylpropanoïdes. Les hydrolats sont des mélanges assez complexes contenant des traces d'huiles essentielles (moins de 1 g/L) et plusieurs composants hydrosolubles.

D'après la bibliographie, il s'avère que ces extraits ont des activités biologiques très importantes, qui se manifestent par une activité contre les bactéries et les champignons pathogènes, ainsi qu'une activité antioxydante. Cette activité est due à la présence de composants qui les caractérisent par leurs groupes fonctionnels.

Il s'avère également que les utilisations des hydrolats sont variées. Ils peuvent être utilisés dans différents domaines, notamment les cosmétiques, la cuisine et l'aromathérapie. Le mode de son application est varié selon l'effet recherché.

En conclusion et en se basant sur les données de cette étude, il convient de réaliser des études expérimentales sur l'utilisation des hydrolats dans l'industrie, en particulier dans la fabrication de savon et de parfums naturels.

Mots-clés : Plantes aromatiques, huiles essentielles, hydrolats, activité biologique.

Laboratoires de recherche :

Laboratoire de(Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Encadreur : BOUSEBA Bachir. (MC-B - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur 1 : CHIBANI Salih. (MC-A - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur 2 : BAZRI Kamel-eddine (MC-A - Université Frères Mentouri, Constantine 1).