

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. M. OULHADJ - Bouira
Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie des Procédés
Laboratoire de Génie des Procédés



Mémoire

Présenté par

OUKIL Mohammed Fouad
BOUKEFFA Moussa

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie Chimique

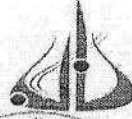
**Extraction par hydrodistillation des huiles
essentielles de deux plantes médicinales
locales**

Soutenu le 01/07/2023

Devant le jury :

Mme EL HANAFI N.	MCB	U. AMO - Bouira	Président
Mme AIT ALI S.	MCB	U. AMO - Bouira	Examineur
M. SAHNOUNE M.	MCB	U. AMO - Bouira	Examineur
M. ABDERRAHIM A.	MCB	U. AMO - Bouira	Encadrant

Année Universitaire : 2022/2023



التصريح الشرفي الخاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية



انا الممضي اسفله،

السيد(ة) نوكتة موسى.....الصفة: طالب (ماستر / دكتوراه)

الحامل(ة) لبطاقة التعريف الوطنية: 403093204.....والصادرة بتاريخ 2021/10/01

المسجل(ة) بكلية / معهد العلوم والتربية قسم هندسة الطرائق

تخصص: هندسة كيميائية

والمكلف(ة) بإنجاز اعمال بحث(مذكرة، التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، اطروحة دكتوراه).

عنوانها: Extraction par hydro distillation des huiles essentielles d'une plante medicinale locale

أصرح بشرفي اني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية الاخلاقيات المهنية والنزاهة الاكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

توقيع المعني (ة)

التاريخ: 2023/06/26

26/06/2023 البويرة

هيئة مراقبة السرقة العلمية:

% 19

النسبة:





التصريح الشرفي الخاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية



انا الممضي اسفله،

السيد(ة) أ.و. كليل محمد غزادالصفة: طالب (ماستر / دكتوراه)
الحامل(ة) لبطاقة التعريف الوطنية: 108299211والصادرة بتاريخ 2016/04/05

المسجل(ة) بكلية / معهد العلوم والعلوم التطبيقية قسم هندسة الميكانيكا
تخصص: هندسة كيميائية

والمكلف(ة) بإنجاز اعمال بحث (مذكرة، التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، اطروحة دكتوراه).
عنوانها: Extraction par l'hydrodistillation des huiles essentielles d'une plante medicinale locale

أصرح بشرفي اني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية الاخلاقيات المهنية والنزاهة الاكاديمية المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

توقيع المعني (ة)

التاريخ: 2016/06/26

26/06/2016 البويرة في

هيئة مراقبة السرقة العلمية:



% 19

النسبة:

Remerciements

Nous souhaitons exprimer notre gratitude à Allah, le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la volonté, la santé et la patience nécessaires pour mener à bien ce mémoire

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers notre encadrant **M. ABDERRAHIM A.** qui nous a aidés avec ses conseils, orientations et suivi tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous souhaitons exprimer nos chaleureux remerciements à **Mme EL HANAFI N.** présidente du jury, pour son engagement envers notre travail en acceptant de présider le jury de soutenance.

Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude envers les membres du jury (**Mme AIT ALI S.** et **M. SAHNOUNE M.**) pour avoir gentiment accepté d'examiner ce mémoire et de le compléter avec leurs suggestions.

Nous souhaitons adresser nos sincères remerciements à toute l'équipe du Laboratoire du département Génie des Procédés pour leur inestimable soutien et leurs orientations précieuses.

Nous voulons exprimer notre reconnaissance envers toutes les personnes qui ont joué un rôle, qu'il soit direct ou indirect, dans la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Nous dédions ce mémoire de fin d'études à nos familles et à nos amis chers, qui nous ont soutenus et encouragés tout au long de notre parcours d'études.

Nous le dédions également à nos professeurs, qui nous ont transmis leur savoir et nous ont guidés tout au long de ce voyage académique.

Il nous est difficile de trouver les mots pour exprimer toute notre gratitude envers vous tous.

Ce mémoire représente les efforts continus que nous avons déployés pour réaliser cette réussite.

Nous vous remercions pour tout votre soutien et vos encouragements, et nous espérons que cette réalisation marquera le début d'un avenir radieux et couronné de succès.

SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale 1

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Généralités sur les plantes médicinales 3

I.1.1 *Historique* 3

I.1.2 Définition 3

I.1.3 Phytothérapie 4

I.1.4 Plante aromatique 4

I.1.5 Aromathérapie 5

I.1.6 Origines des plantes médicinales 5

I.1.6.1 *Plantes spontanées* 5

I.1.6.2 *Plantes cultivées* 5

I.1.7 Modes d'utilisation des plantes médicinales 5

I.1.8 Éléments actifs des plantes médicinales 6

I.1.8.1 Phénols 6

I.1.8.2 Huiles essentielles 7

I.1.8.3 Tanins 7

I.1.8.4 Flavonoïdes 8

I.1.9 Toxicité des plantes médicinales 8

I.1.10 Séchage et conservation des plantes médicinales 9

I.2 Huiles essentielles 10

I.2.1 Définition de l'huile essentielle 10

I.2.2 Bref historique 10

I.2.3 Structure chimique des huiles essentielles 11

I.2.4 Répartition et fonction des huiles essentielles dans les plantes médicinales 12

I.2.5 Domaines d'utilisations 13

I.2.6 Méthodes d'obtention des huiles essentielles 14

I.2.6.1 Méthodes traditionnelles 14

I.2.6.2 Méthodes innovantes 16

I.2.7 Méthodes d'analyse des huiles essentielles	18
I.2.7.1. Identification de la composition chimique par GC/MS	18
I.2.8 Activités biologiques des huiles essentielles	19
I.2.8.1 Activité antibactérienne.....	19
I.2.8.2 Activité cicatrisante.....	20
I.2.8.3 Activité Antioxydante	20
I.2.9 Toxicité des huiles essentielles	23
I.2.10 Conservation des huiles essentielles	24
I.3 Plantes étudiés	25
I.3.1 <i>Globularia alypum</i>	25
I.3.1.1 Description.....	25
I.3.1.2 Usage traditionnelle	25
I.3.1.2.1 Usage mondial	25
I.3.1.2.2 Utilisation traditionnelle locale.....	26
I.3.1.3 Travaux antérieurs sur l'huile essentielle de <i>Globularia alypum</i>	26
I.3.2. <i>Ruta montana</i>	27
I.3.2.1 Description.....	27
I.3.2.2 Usage traditionnel	27
I.3.2.3 Travaux antérieurs sur l'huile essentielle de <i>Ruta montana</i>	28

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

II.1 Préparation des échantillons végétaux	30
II.2 Extraction de l'huile essentielle	31
II.2.1 Protocole expérimental	32
II.2.1.1 Procédure	32
II.2.2 Taux d'humidité	33
II.2.3. Détermination du rendement d'extraction.....	34
II.3 Évaluation de l'activité Antioxydant	35
II.3.1 Test de piégeage du radical libre DPPH.....	35
II.3.1.1 Principe.....	36
II.3.1.2 Protocole expérimental	36
II.3.1.3 Calcul de l'activité antioxydante	37

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1 Taux d'humidité et le rendement d'extraction.....	38
III.1.1 Résultats obtenus	38
III.1.2 Discussions des résultats	38
III.2 Évaluation de l'activité antioxydant	40
III.2.1 Résultats obtenus	40
III.2.2 Discussions des résultats	43
Conclusion générale.....	45
Références bibliographiques	46
Résumé	

Liste des figures

Figure I. 1 : Structure chimique de quelques composés phénoliques.....	7
Figure I. 2 : Structure chimique des tanins.....	8
Figure I. 3 : Hydro- distillation	14
Figure I. 4 : Entraînement à la vapeur	15
Figure I. 5 : Photos à gauche d'une pelatrice et à droite d'une centrifugeuse séparatrice de l'essence de <i>Citrus</i>	16
Figure I. 6 : Dispositif d'extraction assistée par micro-ondes	17
Figure I. 7 : Mécanismes d'action des antioxydants	23
Figure I. 8 : <i>Ruta montana</i>	27
Figure II. 1 : Carte montrant les régions de récolte de différents échantillons végétaux	30
Figure II. 2 : Plante <i>Globularia alypum</i> (plante fraîche et sèche et broyée)	31
Figure II. 3 : <i>Globularia alypum</i> (plante broyée est conservée)	31
Figure II. 4 : Montage d'hydro distillation.....	32
Figure II. 5 : La décantation.....	33
Figure II. 6 : L'huile essentielle	33
Figure II. 7 : Solution de DPPH	35
Figure II. 8 : Réaction de l'huile essentielle avec le DPPH	37
Figure III. 1 : Variation du pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de l'huile essentielle de <i>Globularia alypum</i>	41
Figure III. 2 : Variation du pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de l'huile essentielle de <i>Ruta montana</i>	41
Figure III. 3 : Variation du pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de l'acide ascorbique	42

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Travaux antérieurs sur l'huile essentielle de <i>Globularia alypum</i>	26
Tableau I. 2 : Travaux antérieurs sur l'huile essentielle de <i>Ruta montana</i>	28
Tableau II. 1 : Différentes informations sur la collecte des échantillons végétaux	30
Tableau II. 2 : Différentes concentrations utilisées dans cette étude.....	36
Tableau III. 1 : Des informations sur la collecte des échantillons végétaux.....	38
Tableau III. 2 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH pour différentes concentrations de l'huile essentielle de <i>Globularia alypum</i>	40
Tableau III. 3 : Pourcentages d'inhibition du radical libre DPPH pour différentes concentrations de l'huile essentielle de <i>Ruta montana</i>	40
Tableau III. 4 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH pour différentes concentrations de l'acide ascorbique	41
Tableau III. 5 : IC50 des extraits végétaux	43

Liste des abréviations

- ❖ **ADN** : Acide DésoxyriboNucléique
- ❖ **DPPH** : 2,2'-diphényl-1-picrylhydrazyl
- ❖ **IC50** : Concentration inhibitrice médiane
- ❖ **GC/MS** : chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse.
- ❖ **OMS** : Organisation mondiale de la santé
- ❖ **UV** : ultra-violet



INTRODUCTION GENERALE



Introduction générale

L'extraction des huiles essentielles à partir de plantes médicinales locales est un processus ancestral qui remonte à des milliers d'années. Cette méthode traditionnelle, connue sous le nom d'hydro-distillation, est largement utilisée dans l'industrie des parfums, de la médecine alternative et de la cosmétique [1].

L'hydro-distillation consiste à extraire les composés volatils et aromatiques des plantes en les faisant passer à travers un processus de distillation à la vapeur d'eau. Cette technique repose sur les propriétés chimiques des huiles essentielles, qui sont composées de molécules légères et volatiles qui peuvent être libérées par la chaleur et la vapeur [1].

Pour réaliser une hydro-distillation, on utilise généralement un alambic, un appareil spécialement conçu pour ce processus. Les parties de la plante contenant les huiles essentielles, telles que les fleurs, les feuilles ou les tiges, sont placées dans une cuve d'eau. La chaleur est ensuite appliquée pour faire bouillir l'eau, produisant ainsi de la vapeur. La vapeur passe à travers la plante, en entraînant les molécules d'huile essentielle avec elle. La vapeur chargée d'huiles essentielles est ensuite refroidie et condensée, ce qui permet de séparer l'eau et l'huile. L'huile essentielle obtenue est alors récupérée [2].

L'hydro-distillation offre de nombreux avantages par rapport à d'autres méthodes d'extraction. Elle permet d'obtenir des huiles essentielles de haute qualité, préservant ainsi les composés aromatiques et thérapeutiques des plantes. De plus, cette méthode est relativement simple et peu coûteuse, ce qui la rend accessible aux producteurs locaux et aux communautés rurales [3].

L'extraction d'huiles essentielles à partir de plantes médicinales locales présente également un intérêt sur le plan environnemental. En utilisant des plantes locales, on réduit la dépendance aux ressources étrangères et on favorise la préservation de la biodiversité locale. De plus, l'hydro-distillation est un processus durable, car il utilise principalement de l'eau comme solvant, contrairement à d'autres méthodes qui utilisent des solvants chimiques potentiellement nocifs [4].

L'objectif de cette étude est d'extraire l'huile essentielle de la plante *Globularia alypum.*, et *Ruta montana* par hydrodistillation des différentes régions de Bouira, puis d'évaluer

l'activité antioxydante des huiles essentielles extraites. Le plan de rédaction de ce mémoire est le suivant :

Introduction : présentation générale du sujet et des objectifs de l'étude.

Chapitre 1 : rappel bibliographique sur les plantes médicinales, les huiles essentielles, les activités biologiques, les plantes médicinales étudiées et les Travaux antérieurs réalisés dans ce domaine.

Chapitre 2 : description des méthodes et des techniques utilisées pour réaliser ce travail, notamment l'extraction de l'huile essentielle de *Globularia alypum.* et *Ruta montana* et l'évaluation de leurs activité antiradicalaire contre le DPPH.

Chapitre 3 : présentation des résultats obtenus et leurs discussions.

Conclusion : résumé des principaux résultats obtenus et quelques perspectives pour de futures recherches.



**CHAPITRE I.
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**



I.1 Généralités sur les plantes médicinales

I.1.1 Historique

L'histoire de la médecine traditionnelle remonte aux plus anciennes civilisations. En effet, dès son origine, l'homme a cherché à calmer ses maux et à réduire ses souffrances. Pour cela, il a utilisé les produits immédiatement à sa portée. Le règne végétal lui fournissant en grande partie son alimentation fut son premier champ d'expériences. Peu à peu, il a appris à discerner les propriétés des plantes, leurs vertus, leur toxicité. Toutes les civilisations antiques : mésopotamienne, égyptienne, chinoise, indienne, précolombienne avaient une panoplie de remèdes végétaux. Ainsi, se constitua au fil du temps une pharmacopée traditionnelle. L'usage pratique fut la seule voie de connaissances acquises au cours des siècles, sans réelle approche théorique ni compréhension du mode d'action des plantes, constituant les données empiriques de la tradition. - Moins 3.000 ans avant J.C. : Le premier recueil connu de formules végétales (décoctions, suspensions, et onguents) gravées en caractères cunéiformes sur des tablettes d'argile, découvert à Nippur en 1948, date de l'époque Sumérienne d'il y a quelque 5000 ans. Il recense jusqu'à 250 espèces de plantes. - Moins 2.700 ans avant J.C. : Presque à la même époque, mais à plusieurs milliers de kilomètres de là en Chine, à l'époque légendaire des premiers grands empereurs, naissait le Pen-Tsao, fameux manuscrit dans lequel sont cités également de très nombreuses plantes, manuscrit qui fut remis en forme par Lee-Chee-Chen au 16ème siècle. - Moins 2.000 ans avant J.C. : Découverte en 1973, dans les ruines d'Elba (près d'Alep en Syrie), de milliers de tablettes qui abondent en renseignements sur la médecine mésopotamienne et les échanges de ces thérapeutiques végétales avec les peuples voisins [1].

I.1.2 Définition

Plusieurs définitions ont été fournies pour les plantes aromatiques et médicinales, et la variété de ces plantes est vaste et flexible, englobant la plupart des plantes spontanées ainsi que de nombreuses espèces arboricoles et herbacées cultivées. Selon Peyron, ces plantes diverses peuvent avoir des utilisations variées, telles que des propriétés aromatiques, médicinales, cosmétiques ou parfumées, soit individuellement soit en combinaison [5]. Elles sont utilisées sous différentes formes, telles que leur état naturel, transformées (déshydratées, surgelées) ou élaborées (extraits, huiles essentielles, oléorésines, isolats). De plus, elles peuvent être distinguées en fonction des organes récoltés [2].

Afin d'éviter toute divergence dans la compréhension de certains termes clés, ce chapitre adopte les définitions fournies par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Selon l'OMS, une plante médicinale est une plante qui contient, dans un ou plusieurs de ses organes, des substances pouvant être utilisées à des fins thérapeutiques ou qui sont des précurseurs de la chimio-pharmaceutique héli-synthèse. Cette définition permet de faire la distinction entre les plantes médicinales dont les propriétés thérapeutiques ou en tant que précurseurs de certaines molécules ont été scientifiquement établies, et d'autres plantes utilisées dans la médecine traditionnelle [3].

I.1.3 Phytothérapie

La phytothérapie, qui tire son origine du grec "Phyton" signifiant plante et "Therapein" signifiant soigné, est une pratique médicale qui consiste à utiliser les plantes pour traiter les maladies. Elle vise à prendre en charge à la fois le terrain du patient et les symptômes de sa maladie. Dans cette approche, le patient est considéré dans sa globalité afin de comprendre l'origine de ses symptômes et de prévenir leur apparition. En phytothérapie, seules les plantes ayant prouvé leurs vertus médicinales sont considérées. Les parties de la plante les plus concentrées en principes actifs sont choisies, qu'il s'agisse de la plante entière, des feuilles, de la tige, des rameaux, des sommités fleuries, de l'écorce, des racines, des fruits ou des fleurs, utilisées fraîches ou séchées. Différents modes de préparation sont privilégiés en fonction de la partie de la plante utilisée, de la nature hydrophile ou lipophile du principe actif, ainsi que du type de patient qui recevra le traitement. Par exemple, un jeune enfant ne sera pas traité avec une teinture mère ayant un degré élevé d'alcool [5].

I.1.4 Plante aromatique

Une plante aromatique est une plante qui produit des substances odorantes, généralement concentrées dans ses feuilles, fleurs, tiges, racines ou fruits. Ces substances, appelées composés aromatiques, sont responsables de l'odeur caractéristique de la plante. Les plantes aromatiques sont souvent utilisées dans l'industrie alimentaire, la parfumerie, la cosmétique et la médecine pour leurs propriétés aromatiques, gustatives, thérapeutiques ou cosmétiques [6].

1.1.5 Aromathérapie

L'aromathérapie est une forme de médecine complémentaire qui utilise les huiles essentielles, extraites de plantes aromatiques, dans le but de favoriser la santé et le bien-être. Les huiles essentielles sont utilisées de différentes manières, telles que l'inhalation, l'application topique ou l'ingestion, en fonction des besoins spécifiques du patient [7].

1.1.6 Origines des plantes médicinales

1.1.6.1 Plantes spontanées

Les plantes médicinales spontanées font référence aux plantes qui poussent naturellement dans leur environnement d'origine sans intervention humaine directe. Elles se développent de manière sauvage et sont souvent adaptées aux conditions climatiques et environnementales spécifiques de leur habitat naturel [8].

1.1.6.2 Plantes cultivées

Les plantes médicinales cultivées sont celles qui sont intentionnellement cultivées par l'homme pour des fins médicinales. Elles sont souvent cultivées dans des jardins, des champs ou des serres, et sont soumises à des pratiques agricoles spécifiques pour optimiser leur croissance et leur qualité [9].

1.1.7 Modes d'utilisation des plantes médicinales

Les plantes médicinales peuvent être utilisées de différentes manières pour leurs propriétés curatives. Voici quelques-uns des modes d'utilisation courants :

- **Infusions et décoctions :** Les parties de la plante, comme les feuilles, les fleurs ou les racines, sont infusées ou bouillies dans de l'eau chaude pour extraire les composés actifs. Ces préparations sont ensuite consommées sous forme de tisanes ou de boissons [10].
- **Teintures :** Les plantes sont macérées dans de l'alcool ou dans un mélange d'alcool et d'eau pour extraire les principes actifs. Les teintures sont souvent prises sous forme de gouttes diluées dans de l'eau.
- **Cataplasmes :** Les parties de la plante sont broyées ou cuites, puis appliquées directement sur la peau pour traiter des affections locales, telles que les inflammations, les éruptions cutanées ou les douleurs musculaires.

- **Huiles essentielles** : Les huiles volatiles extraites des plantes par distillation sont utilisées pour leurs propriétés aromatiques et thérapeutiques. Elles peuvent être utilisées en inhalation, en diffusion dans l'air ambiant ou diluées dans une huile végétale pour des massages ou des applications topiques.
- **Compresse**s : Des extraits de plantes sont dilués dans de l'eau ou une solution saline, puis appliqués sur un tissu propre qui est ensuite placé sur la zone affectée du corps. Les compresses sont souvent utilisées pour soulager les douleurs, les gonflements ou les irritations [11].
- **Poudres** : Les plantes séchées sont réduites en poudre fine, puis utilisées par voie orale ou appliquées localement. Les poudres de plantes peuvent être encapsulées, mélangées à des aliments ou ajoutées à des préparations telles que des pommades ou des pâtes.
- **Extraits liquides** : Les extraits liquides concentrés, tels que les extraits hydroalcooliques ou les glycérides, sont obtenus à partir de plantes et utilisés pour des applications spécifiques. Ils peuvent être pris directement par voie orale ou ajoutés à des préparations médicinales.

I.1.8 Eléments actifs des plantes médicinales

Les effets curatifs de certaines plantes sont bien connus. Il est indispensable de connaître la composition des plantes pour comprendre comment elles agissent sur l'organisme.

I.1.8.1 Phénols

Il existe une très grande variété de phénols, de composés simples comme l'acide salicylique, molécule donnant par synthèse l'aspirine, à des substances plus complexes comme les composés phénoliques auxquels sont rattachés les glucosides. Les phénols sont anti-inflammatoires et antiseptiques. On suppose que les plantes, en les produisant, cherchent à se prémunir contre les infections et les insectes phytophages. Les acides phénoliques, comme l'acide rosmarinique, sont fortement anti-inflammatoires et antioxydants et peuvent avoir des propriétés antivirales [12].

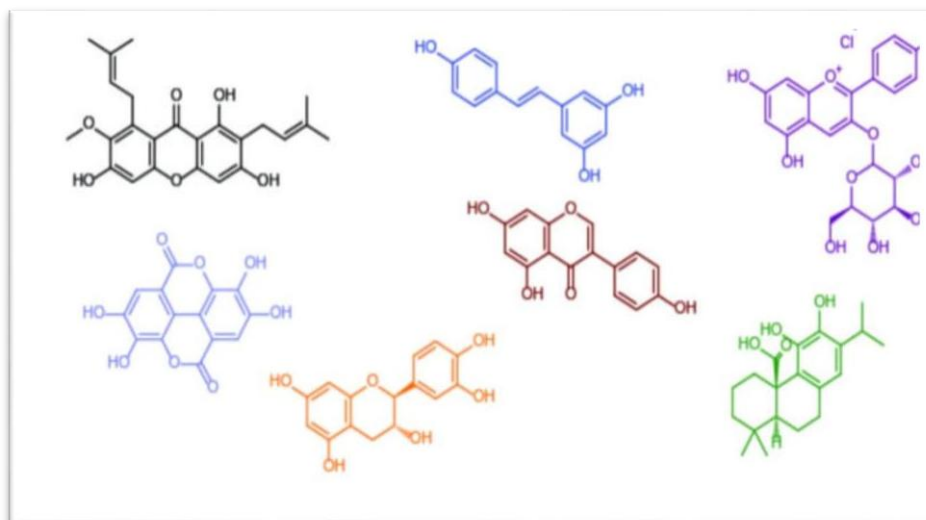


Figure I. 1 : Structure chimique de quelques composés phénoliques [12].

I.1.8.2 Huiles essentielles

Les huiles essentielles extraites des plantes par distillation comptent parmi les plus importants principes actifs des plantes. Elles sont largement employées en parfumerie. Les huiles essentielles contenues telles quelles dans les plantes sont des composés oxygénés, parfois d'origine trépanoïdes et possédant un noyau aromatique. Les huiles essentielles ont de multiples propriétés. Les huiles essentielles sont à différencier des huiles fixes ou des huiles obtenues par l'hydrolyse des glucosides [12].

I.1.8.3 Tanins

Toutes les plantes contiennent des tanins à un degré plus ou moins élevé. Ceux-ci donnent un goût amer à l'écorce ou aux feuilles et les rendent impropres à la consommation pour les insectes ou le bétail. Les tanins sont des composants polyphénoliques qui contractent les tissus en liant les protéines et en les précipitant, d'où leur emploi pour « tanner » les peaux. Ils permettent de stopper les hémorragies et de lutter contre les infections. Les plantes riches en tanins sont utilisées pour retendre les tissus souples, comme dans le cas des veines variqueuses, pour drainer les sécrétions excessives, comme dans la diarrhée, et pour réparer les tissus endommagés par un eczéma ou une brûlure [12].

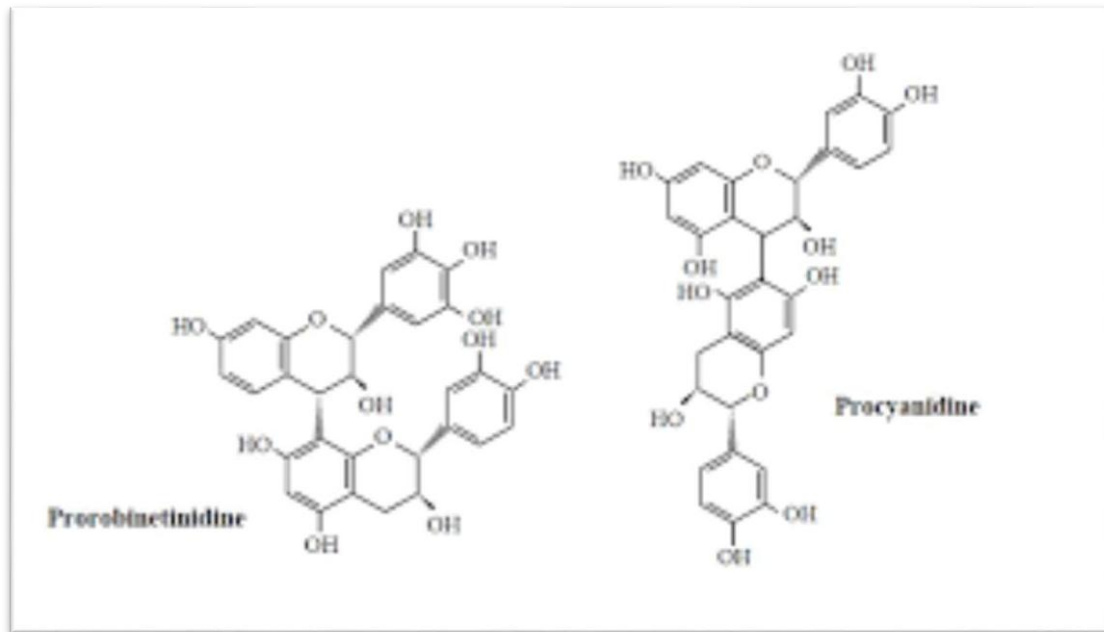


Figure I. 2 : Structure chimique des tanins [12].

I.1.8.4 Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des pigments polyphénoliques présents dans la plupart des plantes. Ils jouent un rôle essentiel dans la coloration des fleurs et des fruits, les teintant de jaune ou de blanc. En plus de leur action colorante, les flavonoïdes possèdent un large champ d'application et offrent de nombreuses vertus médicinales. En tant qu'antioxydants, ils sont particulièrement efficaces pour favoriser une bonne circulation sanguine. Certains flavonoïdes possèdent également des propriétés anti-inflammatoires et antivirales, et sont capables de protéger le foie. [12].

I.1.9 Toxicité des plantes médicinales

Les plantes médicinales peuvent avoir des propriétés thérapeutiques, mais certaines d'entre elles peuvent également présenter des risques de toxicité. Il est essentiel de prendre des précautions et de comprendre les effets potentiels avant d'utiliser des plantes médicinales [13].

- **Variabilité des réactions individuelles :** Les plantes médicinales peuvent avoir des effets différents d'une personne à l'autre. Certains individus peuvent être plus sensibles aux effets toxiques des plantes, en raison de leur état de santé, de leur âge, de leur poids ou de leur sensibilité individuelle. Il est donc important de tenir compte de ces facteurs lors de l'utilisation de plantes médicinales [14].

- **Dosage inapproprié** : L'utilisation de doses excessives de plantes médicinales peut entraîner des effets indésirables, voire toxiques. Il est crucial de respecter les doses recommandées et de suivre les instructions appropriées, que ce soit pour les infusions, les teintures, les extraits ou tout autre mode d'utilisation [15].
- **Contamination** : Les plantes médicinales peuvent être contaminées par des pesticides, des métaux lourds ou d'autres substances nocives. Il est donc important de s'approvisionner en plantes auprès de sources fiables et de qualité, telles que des herboristeries réputées ou des producteurs certifiés [16].

I.1.10 Séchage et conservation des plantes médicinales

Le séchage et la conservation appropriés des plantes médicinales sont essentiels pour préserver leur qualité, leur efficacité et leur durée de conservation [17].

- **Récolte** : La récolte des plantes médicinales doit être effectuée au bon moment, généralement lorsque les principes actifs sont à leur concentration maximale. Les plantes doivent être cueillies par temps sec, de préférence le matin après que la rosée se soit évaporée, afin de minimiser l'humidité.
- **Préparation** : Avant de procéder au séchage, il est important de retirer les parties endommagées, les insectes ou les impuretés présentes sur les plantes. Les racines et les parties aériennes peuvent être lavées délicatement si nécessaire, mais assurez-vous de bien les sécher par la suite [18].
- **Séchage** : Le séchage doit être réalisé dans un endroit bien ventilé, à l'abri de la lumière directe du soleil et de l'humidité excessive. Les méthodes de séchage couramment utilisées comprennent le séchage à l'air libre, le séchage en grappes suspendues à l'envers ou le séchage sur des claies. Les températures de séchage recommandées varient en fonction des plantes, mais généralement, elles se situent entre 35°C et 45°C.
- **Stockage** : Une fois les plantes complètement séchées, elles doivent être stockées dans des récipients en verre, en céramique ou en bois, de préférence dans un endroit frais, sec et sombre. Les récipients doivent être hermétiques pour prévenir l'humidité et la contamination. Étiquetez clairement chaque récipient avec le nom de la plante et la date de récolte [19].

I.2 Huiles essentielles

Les huiles essentielles extraites des plantes par distillation comptent parmi les plus importants principes actifs des plantes.

I.2.1 Définition de l'huile essentielle

Une huile essentielle est un extrait pur et naturel provenant de plantes aromatiques. Elle contient l'essence de la plante, c'est-à-dire son parfum. Les huiles essentielles sont composées de substances odorantes, volatiles, ayant une consistance huileuse et une forte concentration en principes actifs. Pour obtenir quelques millilitres d'huile essentielle, il faut utiliser une grande quantité de plantes fraîches [20]. Il est impossible de définir une huile essentielle sans mentionner la méthode d'extraction.

Selon la pharmacopée européenne, une huile essentielle est un produit odorant, généralement composé de manière complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale définie botaniquement. Elle peut être obtenue par entraînement à la vapeur d'eau, distillation sèche ou par un procédé mécanique approprié sans chauffage. L'huile essentielle est généralement séparée de la phase aqueuse par un procédé physique qui n'altère pas significativement sa composition.

D'après Hurabielle, les huiles essentielles sont des produits généralement odorants obtenus soit par entraînement à la vapeur d'eau de végétaux ou de parties de végétaux, soit par expression du péricarpe frais de certains agrumes. Cette définition exclut les essences obtenues par d'autres méthodes d'extraction [21].

I.2.2 Bref historique

Les premières preuves de fabrication et d'utilisation des huiles essentielles datent de l'an 3000 avant J.C. [22]. Les huiles essentielles semblent donc avoir accompagné la civilisation humaine depuis ses premières genèses. Les égyptiens puis les grecs et les romains ont employé diverses matières premières végétales ainsi que les produits qui en découlent, notamment les huiles essentielles. Ces utilisations concernaient différents domaines : parfumerie, médecine, rites religieux, coutumes païennes... etc. L'étape byzantine de la civilisation a permis l'instauration des bases de la distillation et, avec l'ère arabe de la civilisation, l'huile essentielle devient un des principaux produits de commercialisation internationale. Ainsi, vers l'an mille,

Avicenne, médecin et scientifique persan, a défini précisément le procédé d'entraînement à la vapeur. L'Iran et la Syrie deviennent les principaux centres de production de divers types d'extraits aromatiques. Par la suite, les huiles essentielles ont bénéficié des avancées scientifiques, au niveau des techniques d'obtention et de l'analyse de leur composition chimique. Parallèlement, leur utilisation a aussi tiré profit de l'avènement de l'aromathérapie. René Maurice Gattefosse a créé, en 1928, le terme de l'aromathérapie et il a mené de nombreux travaux concernant les huiles essentielles, notamment leurs propriétés ; ces résultats seront à l'origine de nombreuses autres recherches [23].

I.2.3 Structure chimique des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont composées d'une grande variété de molécules organiques volatiles qui leur confèrent leurs propriétés aromatiques et thérapeutiques. Ces molécules appartiennent principalement à différentes classes chimiques [24].

- **Terpènes** : Les terpènes constituent la classe chimique la plus abondante dans les huiles essentielles. Ils sont dérivés de l'isoprène et comprennent des sous-classes telles que les monoterpènes (ex. : limonène, alpha-pinène), les sesquiterpènes (ex. : beta-caryophyllène, humulène) et les diterpènes (ex. : carnosol, taxol) [24].
- **Phénols** : Les phénols sont des composés aromatiques qui possèdent un groupe hydroxyle (-OH) attaché à un cycle aromatique. Ils sont souvent antiseptiques et ont des propriétés antimicrobiennes. Par exemple, le thymol et l'eugénol sont des phénols couramment présents dans les huiles essentielles.
- **Esters** : Les esters sont formés par la réaction entre un acide et un alcool. Ils ont généralement une odeur agréable et fruitée. Certains esters couramment trouvés dans les huiles essentielles comprennent l'acétate de linalyle, l'acétate de bornyle et l'acétate de géranyle.
- **Alcools** : Les alcools sont des composés contenant un groupe hydroxyle (-OH). Ils peuvent être monoterpéniques, comme l'alpha-terpinéol, ou sesquiterpéniques, comme le farnésol. Certains alcools, tels que le linalol et le géraniol, ont des propriétés apaisantes et antiseptiques.
- **Cétones** : Les cétones sont caractérisées par la présence d'un groupe carbonyle (C=O) lié à deux groupes alkyles. L'acétone est un exemple de cétone courante, bien que dans les huiles essentielles, les cétones les plus fréquentes comprennent le camphre, la menthone et la carvone.

- **Aldéhydes** : Les aldéhydes sont des composés contenant un groupe carbonyle (C=O) lié à un groupe alkyle ou aryle. Certains aldéhydes couramment présents dans les huiles essentielles sont le citral, le citronellal et le benzaldéhyde.

I.2.4 Réparation et fonction des huiles essentielles dans les plantes médicinales

Pendant longtemps, les constituants volatils présents dans les plantes, autrement dit les huiles essentielles, ont été considérés comme des métabolites secondaires dont le rôle était encore mal défini. Bien qu'il existe plusieurs théories à ce sujet, il semble que la composition complexe des huiles essentielles permette des messages complexes et sélectifs, rendant illusoire l'attribution d'un rôle spécifique à chaque constituant.

Selon Verschaffelt, les essences jouent un rôle de défense contre les prédateurs en modulant leurs comportements alimentaires vis-à-vis des plantes [25]. Les constituants des huiles essentielles, selon Lutz, agissent comme des modulateurs des réactions d'oxydation intramoléculaire, protégeant ainsi la plante des agents atmosphériques. Certains de ces composés peuvent également servir de source d'énergie en cas de diminution de l'assimilation chlorophyllienne. Bouquet soutient que certains de ces produits sont des composés intermédiaires du métabolisme et se trouvent à l'état libre à certaines périodes en relation avec l'activité végétale de la plante [26].

Les travaux de Nicholas ont montré que les mono- et sesquiterpènes peuvent jouer un rôle important dans les interactions entre les plantes et leur environnement [27]. Par exemple, le 1,8-cinéole et le camphre inhibent la germination des organes infectés ou la croissance des agents pathogènes qui en découlent. Erman met en évidence le rôle incontestable des huiles essentielles dans la pollinisation et la dispersion des diaspores grâce à leur pouvoir attractif sur les insectes pollinisateurs, une relation d'une grande importance écologique et physiologique [28]. Selon Bruneton, la volatilité et l'odeur marquée des essences en font des éléments de communication chimique [29].

Enfin, une mise au point de Croteau suggère que les huiles volatiles jouent en réalité un rôle de mobilisation de l'énergie lumineuse et de régulation thermique au profit de la plante. Elles régulent la transpiration diurne en absorbant les rayons ultraviolets grâce à leurs constituants insaturés. Ainsi, la présence et la concentration des huiles essentielles dans les plantes seraient liées à la photochimie [30].

En résumé, les constituants volatils des plantes, tels que les huiles essentielles, peuvent jouer plusieurs rôles, tels que la défense contre les prédateurs, la régulation des réactions d'oxydation, l'intermédiaire du métabolisme, l'inhibition de la germination des organes infectés, la pollinisation, la dispersion des diaspores, la communication chimique, la mobilisation de l'énergie lumineuse et la régulation thermique.

I.2.5 Domaines d'utilisations

Les huiles essentielles sont utilisées dans une variété de domaines en raison de leurs propriétés aromatiques et thérapeutiques [31].

- **Aromathérapie** : Les huiles essentielles sont largement utilisées en aromathérapie pour favoriser le bien-être émotionnel et physique. Elles peuvent être utilisées dans des diffuseurs, des bains aromatiques, des massages ou des inhalations pour apaiser, revitaliser, stimuler ou relaxer.
- **Soins de la peau** : Les huiles essentielles sont utilisées dans les produits de soins de la peau tels que les crèmes, les lotions, les savons et les produits de beauté. Certaines huiles essentielles ont des propriétés antiseptiques, anti-inflammatoires et cicatrisantes qui peuvent être bénéfiques pour traiter les affections cutanées [32].
- **Parfumerie** : Les huiles essentielles sont utilisées dans l'industrie de la parfumerie pour créer des parfums naturels. Elles apportent des notes aromatiques spécifiques et peuvent être mélangées pour obtenir des compositions uniques et agréables [33].
- **Produits ménagers** : Les huiles essentielles sont utilisées comme alternatives naturelles aux produits chimiques dans les produits de nettoyage ménagers tels que les désinfectants, les sprays d'ambiance et les détergents. Elles peuvent apporter des propriétés antibactériennes, antifongiques et antivirales [33].
- **Soins capillaires** : Les huiles essentielles sont utilisées dans les produits de soins capillaires tels que les shampooings, les après-shampooings et les huiles capillaires. Elles peuvent aider à revitaliser les cheveux, à traiter les affections du cuir chevelu et à ajouter une fragrance agréable [33].
- **Soins dentaires** : Certaines huiles essentielles, comme l'huile de menthe poivrée, sont utilisées dans les produits de soins dentaires tels que les dentifrices, les bains de bouche et les huiles de bain de bouche. Elles peuvent aider à rafraîchir l'haleine, à réduire les inflammations des gencives et à promouvoir une bonne santé bucco-dentaire [32].

I.2.6 Méthodes d'obtention des huiles essentielles

I.2.6.1 Méthodes traditionnelles

i. Hydro-distillation

La méthode d'hydrodistillation est généralement la plus fréquemment utilisée, représentant environ 80% des cas, en raison de son coût économique [34]. Elle implique l'immersion directe du matériau végétal à traiter, qu'il soit intact ou éventuellement broyé, dans un alambic rempli d'eau qui est ensuite porté à ébullition. Les vapeurs mélangées sont condensées sur une surface froide et l'huile essentielle est séparée grâce à sa différence de densité [35].

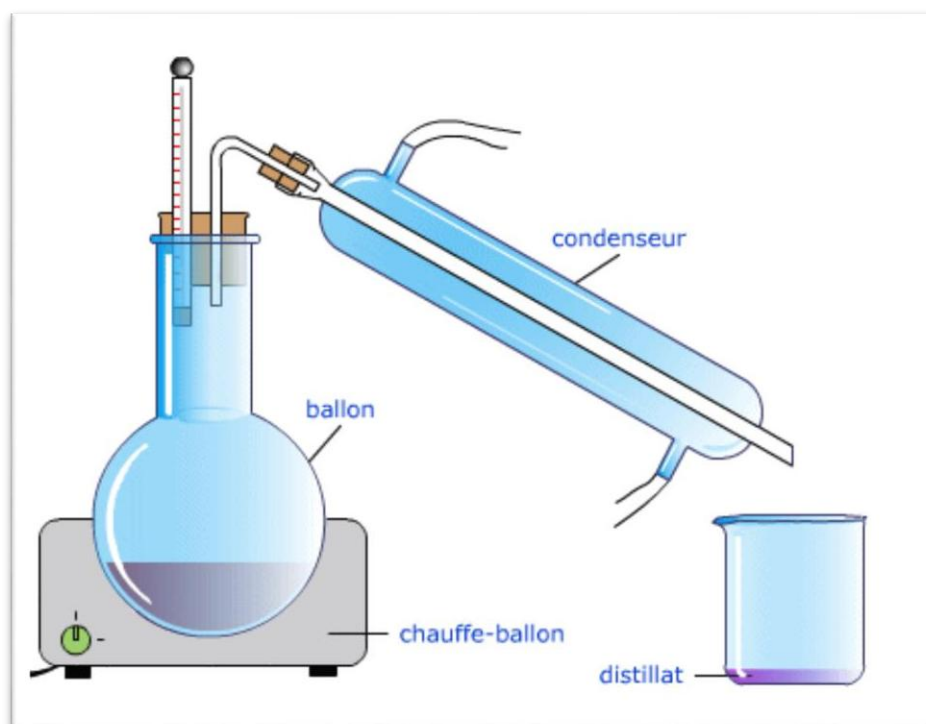


Figure I. 3 : Hydro-distillation [35].

ii. Entraînement à la vapeur

L'utilisation de la vapeur d'eau pure est le procédé qui offre les meilleures garanties en termes de qualité [36]. Dans cette méthode, la plante n'est pas en contact avec l'eau : la vapeur d'eau est injectée à travers la masse végétale disposée sur des plaques perforées [35]. La vapeur d'eau fait éclater les cellules contenant l'huile essentielle. Les molécules aromatiques sont capturées par la vapeur chargée de composés volatils. À la sortie de la chambre de distillation,

la vapeur s'est combinée avec l'huile essentielle. La condensation et le refroidissement se produisent dans un serpentin. À la sortie du serpentin, un récipient recueille la vapeur refroidie, qui redevient de l'eau, ainsi que l'huile essentielle. La différence de densité entre les deux liquides facilite leur séparation, étant donné que l'huile essentielle est généralement plus légère que l'eau, à quelques exceptions près [36]. L'absence de contact direct entre l'eau et la matière végétale, ainsi qu'entre l'eau et les molécules aromatiques, évite certains phénomènes d'hydrolyse ou de dégradation pouvant altérer la qualité de l'huile [37].

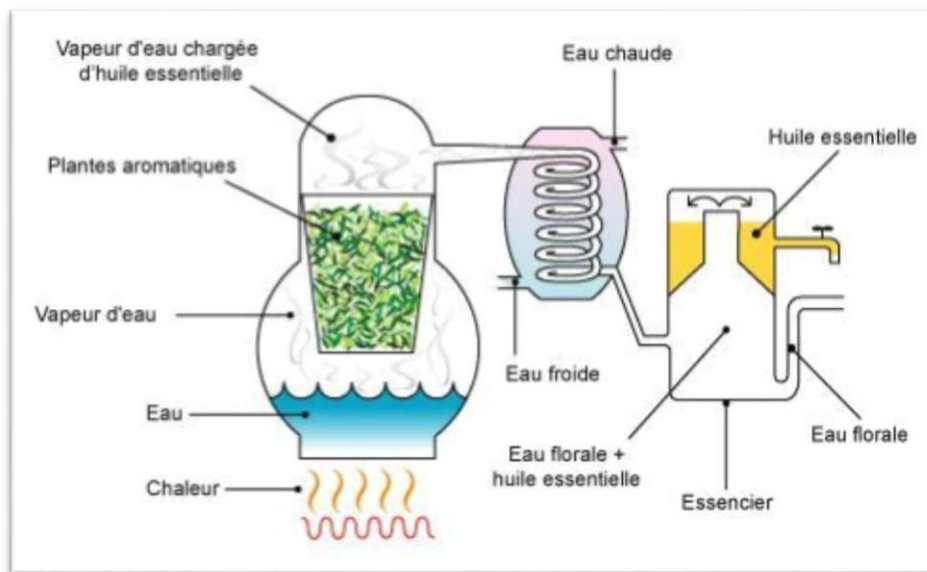


Figure I. 4 : Entraînement à la vapeur [37].

iii. Expression à froid

Cette méthode d'extraction est spécifiquement utilisée pour les fruits de la famille botanique des Rutacées, tels que le citron, l'orange, la bergamote, la mandarine, et autres. C'est une méthode simple qui implique la rupture mécanique par abrasion des poches contenant l'huile essentielle situées dans l'écorce ou le péricarpe du fruit, afin de recueillir leur contenu [37]. L'huile essentielle est ensuite séparée du jus de fruit par un processus de décantation à froid utilisant des techniques mécaniques.

De nos jours, l'extraction mécanique reste le procédé le plus simple et le seul qui ne modifie pas le produit obtenu. Par conséquent, l'huile essentielle recueillie est appelée "essence".

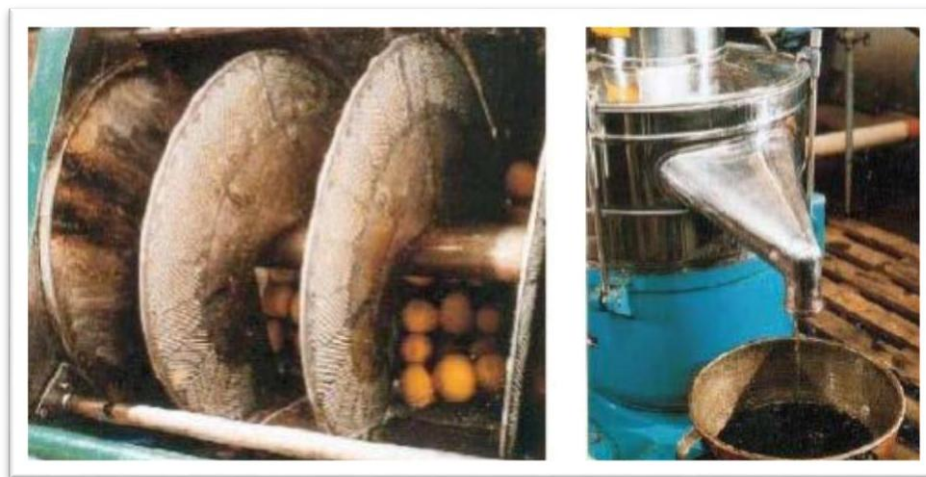


Figure I. 5 : Photos à gauche d'une pelatrice et à droite d'une centrifugeuse séparatrice de l'essence de Citrus [38]

Le produit obtenu ne subissant pas de modifications, les essences obtenues par extraction mécanique possèdent une activité thérapeutique nettement supérieure à celle des huiles essentielles produites par d'autres procédés. En effet, contrairement aux huiles essentielles uniquement constituées de molécules volatiles, les essences, quant à elles, renferment des composés non volatiles comme des flavonoïdes ou encore des stéroïdes [39].

I.2.6.2 Méthodes innovantes

i. Hydro-distillation assisté par ultrasons

L'extraction des huiles essentielles par hydrodistillation assistée par ultrasons est une méthode qui combine les avantages de l'hydrodistillation et de l'utilisation d'ultrasons pour améliorer l'efficacité et la qualité de l'extraction. Cette technique consiste à soumettre le matériel végétal à une exposition simultanée à des ultrasons et à la vapeur d'eau pendant le processus d'hydrodistillation.

L'application des ultrasons pendant l'hydrodistillation présente plusieurs avantages. Les ondes ultrasonores agissent sur le matériau végétal en provoquant la rupture des parois cellulaires, ce qui permet une libération plus rapide et efficace des molécules aromatiques contenues dans les cellules. Cela entraîne une augmentation de la vitesse d'extraction et une amélioration des rendements en huiles essentielles [38].

De plus, les ultrasons agissent également en favorisant la diffusion de la vapeur d'eau à travers le matériau végétal, ce qui facilite l'extraction des composés volatils. Cela permet d'obtenir des temps d'extraction plus courts et des profils aromatiques plus complets.

L'utilisation des ultrasons dans le processus d'hydrodistillation peut également réduire la consommation d'eau et d'énergie, ce qui en fait une méthode plus économique et respectueuse de l'environnement [38].

ii. Extraction assistée par micro-ondes

Cette méthode implique de placer le matériau végétal dans un réacteur micro-ondes sans ajouter d'eau ou de solvant organique. Les parties du végétal qui contiennent le plus d'eau, comme les vacuoles, absorbent les ondes micro-ondes et les transforment en chaleur, ce qui entraîne une augmentation rapide et soudaine de la température à l'intérieur de ces structures. Cela provoque l'éclatement de ces structures sous la pression dans l'extracteur, libérant ainsi les molécules odorantes. Ensuite, les vapeurs d'eau entraînent les huiles essentielles. Un système de refroidissement situé à l'extérieur du four à micro-ondes permet la condensation continue du distillat, composé d'eau et d'huile essentielle, et le retour de l'excès d'eau dans le ballon pour maintenir l'humidité nécessaire au matériau végétal.

Pour les plantes aromatiques, il a été constaté que seulement 30 minutes d'extraction par cette méthode permettent d'obtenir des rendements en huiles essentielles identiques à ceux obtenus après 6 heures d'hydrodistillation [40].

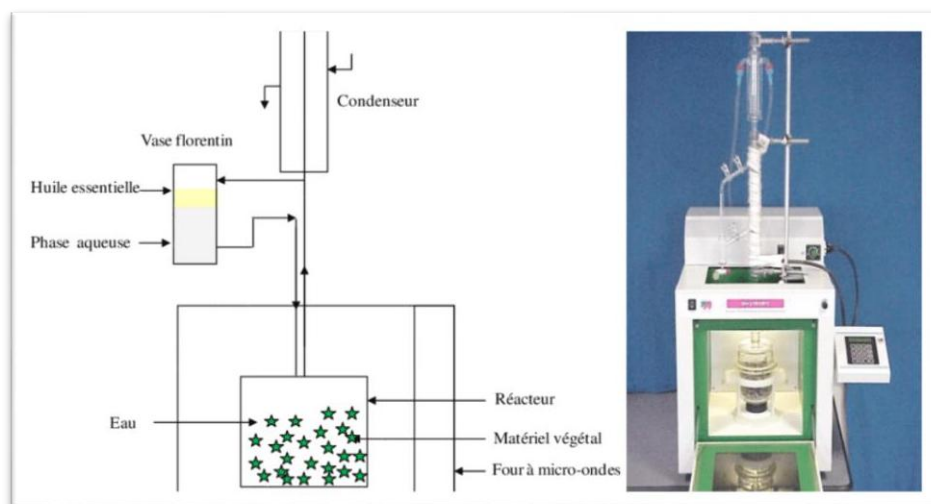


Figure I. 6 : Dispositif d'extraction assistée par micro-ondes [41]

iii. Extraction par fluides supercritiques

Les fluides supercritiques peuvent être définis comme toute substance se trouvant dans des conditions de température et de pression supérieures à sa température critique et sa pression critique. Ils possèdent certaines propriétés physico-chimiques typiques des gaz, et d'autres proches de celles des liquides. Les propriétés du dioxyde de carbone en font le fluide le plus utilisé car remplissent toutes les conditions nécessaires à une utilisation en extraction en phase supercritique. Le CO₂ est inerte, non toxique et accessible à un prix raisonnable pour un degré de pureté élevé. De plus, il est gazeux à température ambiante, ce qui facilite la récupération de l'extrait final en ne laissant aucun résidu toxique. Le dioxyde de carbone est liquéfié par refroidissement et comprimé à la pression d'extraction choisie. Il est ensuite injecté dans l'extracteur contenant le matériel végétal, puis le liquide se détend pour se convertir à l'état gazeux pour être conduit vers un séparateur où il sera séparé en extrait et en solvant [40].

I.2.7 Méthodes d'analyse des huiles essentielles

L'analyse de la composition chimique des huiles essentielles est essentielle pour déterminer leur profil d'ingrédients actifs et pour assurer leur qualité et leur authenticité. La méthode la plus couramment utilisée pour l'identification de la composition chimique des huiles essentielles est la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC/MS).

I.2.7.1. Identification de la composition chimique par GC/MS

La chromatographie en phase gazeuse (GC) permet de séparer les différents composés présents dans l'huile essentielle en fonction de leurs propriétés physico-chimiques, tels que leur volatilité et leur affinité avec la phase stationnaire. Les composés séparés sont ensuite introduits dans le spectromètre de masse (MS), qui les identifie en mesurant leur spectre de masse.

Le GC/MS permet d'obtenir des informations précises sur les composés présents dans l'huile essentielle, tels que leur nom, leur structure chimique, leur concentration et leur proportion relative. Cela permet d'identifier les composés caractéristiques de l'huile essentielle et de détecter d'éventuelles variations ou contaminations.

L'identification des composés par GC/MS se fait en comparant les spectres de masse obtenus avec une base de données comprenant les spectres de masse des composés connus. Les composés sont ainsi identifiés en fonction de leur spectre de masse caractéristique.

Il convient de noter que la qualité de l'analyse par GC/MS dépend de plusieurs facteurs, tels que la qualité de l'échantillon, les conditions d'analyse, la calibration de l'instrument et l'expertise de l'opérateur. Il est donc important de veiller à utiliser des méthodes d'analyses fiables et de s'assurer de la compétence du laboratoire effectuant l'analyse [42].

I.2.8 Activités biologiques des huiles essentielles

Le rôle physiologique des huiles dans le fonctionnement des végétaux demeure encore inconnu. Cependant, la présence d'une diversité moléculaire de métabolites au sein de ces huiles leur confère des fonctions et des propriétés biologiques variées [43]. L'activité biologique d'une huile essentielle est liée à sa composition chimique et aux effets synergiques potentiels entre ses différents composants. Sa valeur réside dans l'ensemble de ses constituants et non seulement dans ses composés majoritaires [44].

I.2.8.1 Activité antibactérienne

Le mode d'action de ces agents sur les bactéries, peuvent être bactériostatique, lorsque la substance inhibe la multiplication des bactéries ou bactéricides lorsque la substance détruit totalement les bactéries [45].

L'activité antimicrobienne des huiles essentielles est principalement liée à leur composition chimique, en particulier de leurs composés volatils majeurs. Jusqu'à présent, il n'existe pas d'étude pouvant nous donner une idée claire et précise sur le mode d'action des huiles essentielles. Etant donné la complexité de leur composition chimique, tout laisse à penser que ce mode d'action est assez complexe et difficile à cerner du point de vue moléculaire. Il est très probable que chacun des constituants des huiles essentielles ait son propre mécanisme d'action [46].

D'une manière générale, l'action des huiles essentielles se déroule en trois phases :

- Attaque de la paroi bactérienne par l'huile essentielle, provoquant une augmentation de la perméabilité puis la perte des constituants cellulaires.

- Acidification de l'intérieur de la cellule, bloquant la production de l'énergie cellulaire et la synthèse des composants de structure.
- Destruction du matériel génétique, conduisant à la mort de la bactérie [46].

I.2.8.2 Activité cicatrisante

Les huiles essentielles ont démontré des propriétés bénéfiques pour la cicatrisation des plaies et des lésions cutanées. Leur activité cicatrisante peut être attribuée à plusieurs facteurs. Tout d'abord, de nombreuses huiles essentielles ont des propriétés anti-inflammatoires, ce qui réduit l'inflammation et favorise ainsi le processus de cicatrisation. De plus, certaines huiles essentielles ont des propriétés antiseptiques et antibactériennes, ce qui aide à prévenir les infections et favorise un environnement propice à la guérison.

Les huiles essentielles contiennent également des composés actifs tels que des monoterpènes, des sesquiterpènes et des phénols, qui peuvent stimuler la régénération cellulaire et favoriser la formation de nouveaux tissus. Ces composés peuvent également contribuer à la production de collagène, une protéine essentielle à la structure et à la résistance de la peau. Certains constituants des huiles essentielles peuvent également améliorer la microcirculation sanguine dans la région touchée, ce qui facilite l'apport de nutriments et d'oxygène aux cellules en cours de régénération.

Il est important de noter que chaque huile essentielle a des propriétés spécifiques et que leur efficacité peut varier en fonction de la nature et de la gravité de la blessure. Il est recommandé de consulter un professionnel de la santé ou un aromathérapeute qualifié pour obtenir des conseils sur l'utilisation appropriée des huiles essentielles dans le cadre de la cicatrisation des plaies [46].

I.2.8.3 Activité Antioxydante

i. Définition

Le pouvoir antioxydant des huiles est utilisé comme substitut dans la conservation des aliments. Les antioxydants présents dans ces huiles, en particulier les phénols et les polyphénols, jouent un rôle essentiel dans la prévention de l'oxydation des aliments. L'oxydation est un processus naturel qui se produit lorsque les composés alimentaires entrent en contact avec l'oxygène de l'air, ce qui peut entraîner la détérioration des aliments, la perte

de nutriments et la formation de substances potentiellement nocives. En utilisant des huiles ayant un pouvoir antioxydant élevé, on peut prolonger la durée de conservation des aliments en réduisant les réactions d'oxydation [46].

Par ailleurs, la biologie des radicaux libres suscite un intérêt croissant. Les radicaux libres sont des molécules instables qui peuvent endommager les cellules et les tissus du corps. Ils sont produits lors de processus métaboliques normaux et peuvent également être générés par des facteurs externes tels que l'exposition aux rayons UV, la pollution, le stress et certains agents toxiques. L'accumulation excessive de radicaux libres peut contribuer au développement de diverses pathologies chroniques liées au vieillissement, telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires, les maladies inflammatoires et la dégradation du système immunitaire. Par conséquent, la recherche sur les radicaux libres et les antioxydants vise à mieux comprendre leur impact sur la santé et à développer des stratégies pour réduire les effets néfastes des radicaux libres en favorisant un équilibre redox favorable dans l'organisme [46].

ii. Stress oxydatif

Le stress oxydatif est un état physiologique résultant d'un déséquilibre entre la production excessive de radicaux libres réactifs et la capacité insuffisante du système antioxydant endogène à les neutraliser. Les radicaux libres, tels que les espèces réactives de l'oxygène, sont des molécules instables et hautement réactives, capables d'endommager les lipides, les protéines et l'ADN des cellules. Ce déséquilibre peut être causé par divers facteurs, tels que le stress, l'exposition aux agents toxiques, l'inflammation chronique, les rayonnements ionisants, le tabagisme, une alimentation déséquilibrée et le vieillissement. Le stress oxydatif est associé à un large éventail de maladies et de troubles, notamment les maladies cardiovasculaires, le cancer, les maladies neurodégénératives, le diabète, les maladies inflammatoires et le vieillissement prématuré. Les mécanismes du stress oxydatif et son rôle dans la pathogenèse des maladies font l'objet de nombreuses études et recherches en sciences biomédicales [47].

iii. Radicaux libres

Les radicaux libres sont des espèces chimiques qui possèdent un ou plusieurs électrons célibataires dans leur couche électronique externe. En raison de cet électron célibataire, les radicaux libres sont hautement réactifs et instables, cherchant à réagir avec d'autres molécules

afin de récupérer un électron apparié et atteindre une configuration électronique stable. Cette réactivité les rend capables d'endommager les molécules biologiques, y compris les lipides, les protéines et l'ADN.

Les radicaux libres peuvent être classés en plusieurs catégories, notamment :

- **Radicaux libres d'oxygène** : Ce sont les radicaux libres les plus couramment rencontrés. Ils incluent le radical superoxyde ($O_2^{\bullet-}$), le radical hydroxyle ($\bullet OH$) et le radical peroxyde ($ROO\bullet$).
- **Radicaux libres d'azote** : Les radicaux libres d'azote sont principalement représentés par le radical nitrique ($\bullet NO$) et le radical peroxyde d'azote ($ONOO\bullet$).
- **Radicaux libres dérivés des métaux** : Certains métaux, tels que le fer (Fe) et le cuivre (Cu), peuvent générer des radicaux libres lorsqu'ils interagissent avec des espèces réactives de l'oxygène.
- **Radicaux libres dérivés d'autres molécules** : Il existe également des radicaux libres dérivés d'autres molécules organiques, tels que le radical alkyle ($R\bullet$) et le radical alkoxyde ($RO\bullet$) [48].

iv. Mécanisme de fonctionnement des antioxydants

Les antioxydants sont des substances qui peuvent neutraliser les radicaux libres et réduire les dommages causés par le stress oxydatif dans l'organisme. Ils agissent en donnant un électron à un radical libre, stabilisant ainsi sa structure et l'empêchant de réagir de manière dommageable avec d'autres molécules. Les antioxydants peuvent fonctionner de différentes manières pour protéger les cellules et les tissus contre les dommages oxydatifs.

- **Don de l'électron** : Les antioxydants peuvent donner un électron à un radical libre, neutralisant ainsi sa réactivité. Ils peuvent également former des liaisons stables avec les radicaux libres pour les désactiver.
- **Piégeage des radicaux libres** : Certains antioxydants ont la capacité de piéger les radicaux libres, les rendant moins réactifs et limitant leur capacité à causer des dommages.
- **Inhibition de la peroxydation lipidique** : Les antioxydants peuvent prévenir la peroxydation lipidique, un processus dans lequel les radicaux libres endommagent les lipides dans les membranes cellulaires. Ils agissent en stabilisant les radicaux libres

réactifs et en empêchant la propagation de la réaction en chaîne de peroxydation lipidique.

- **Régénération d'autres antioxydants** : Certains antioxydants peuvent régénérer d'autres antioxydants endogènes, tels que la vitamine E et le glutathion, qui ont été épuisés lors de la neutralisation des radicaux libres.
- **Chélation des métaux** : Certains antioxydants ont la capacité de se lier aux métaux de transition, tels que le fer et le cuivre, qui peuvent générer des radicaux libres lorsqu'ils sont présents en excès [49].

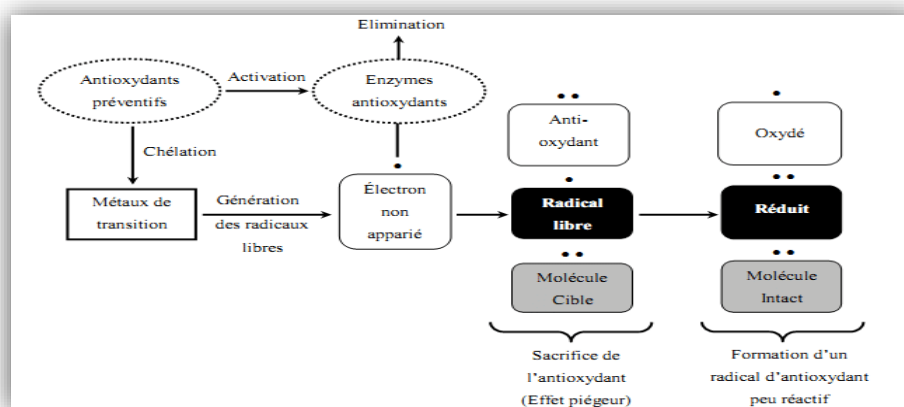


Figure I. 7 : Mécanismes d'action des antioxydants [49].

I.2.9 Toxicité des huiles essentielles

D'après les études scientifiques, il a été observé que les huiles essentielles peuvent présenter une certaine toxicité. Cependant, il est important de noter que cette toxicité varie en fonction de la voie d'exposition et de la dose administrée [50].

En ce qui concerne l'absorption par voie orale, les huiles essentielles ne semblent être toxiques que lorsqu'elles sont utilisées en grandes quantités et en dehors des recommandations d'utilisation classiques. En ce qui concerne l'application topique, les huiles essentielles ne seront toxiques que si des concentrations élevées sont utilisées [50].

Selon Englebin, les huiles essentielles sont des substances extrêmement puissantes et actives, car elles concentrent les propriétés du végétal aromatique. Par conséquent, il est essentiel de ne jamais dépasser les doses recommandées, quel que soit le mode d'absorption, car toute substance peut être potentiellement toxique à des doses élevées ou répétées. De plus,

il est important de noter qu'une utilisation prolongée peut entraîner une inversion des effets bénéfiques et/ou l'apparition d'effets secondaires indésirables [51].

I.2.10 Conservation des huiles essentielles

La conservation des huiles essentielles est un aspect important à prendre en compte pour préserver leur qualité et leur efficacité à long terme. Voici quelques points clés à considérer pour assurer une conservation optimale des huiles essentielles :

- **Stockage dans des flacons en verre teinté** : Les huiles essentielles doivent être conservées dans des flacons en verre teinté de couleur foncée, tels que l'ambre ou le bleu cobalt. Cela protège les huiles essentielles de la lumière directe du soleil, qui peut altérer leur composition chimique.
- **Étanchéité des flacons** : Il est essentiel de s'assurer que les flacons sont correctement scellés et étanches. Cela empêche l'oxydation et la détérioration des huiles essentielles par l'air et l'humidité.
- **Stockage dans un endroit frais et sombre** : Les huiles essentielles doivent être conservées dans un endroit frais, à l'abri de la chaleur excessive. La chaleur peut accélérer la dégradation des composés volatils des huiles essentielles. De plus, il est préférable de les garder à l'abri de la lumière directe du soleil.
- **Éloignement des sources de chaleur et de l'humidité** : Les huiles essentielles doivent être conservées à l'écart des sources de chaleur telles que les radiateurs, les appareils électriques ou les fenêtres exposées au soleil. De plus, elles doivent être protégées de l'humidité, car celle-ci peut altérer la qualité des huiles essentielles.
- **Étiquetage et date de péremption** : Il est recommandé d'étiqueter chaque flacon d'huile essentielle avec le nom de l'huile, la date d'achat et la date de péremption prévue. Bien que les huiles essentielles ne se gâtent pas comme les aliments, leur qualité peut se détériorer avec le temps, il est donc bon de connaître leur durée de conservation [51].

I.3 Plantes étudiées

I.3.1 *Globularia alypum*

I.3.1.1 Description

Globularia alypum est une plante vivace. Elle est très abondante dans le pourtour du bassin méditerranéen, surtout à son ouest où elle forme d'importants buissons très ramifiés, principalement dans les lieux rocaillieux, broussailleux et secs. Communément appelé Tasselgha ou Ain larneb au Maghreb [52].

La classification de *Globularia alypum* est :

- **Règne** : Plantae
- **Sous-règne** : Tracheobionta
- **Division** : Magnoliophyta
- **Classe** : Magnoliopsida
- **Sous-classe** : Asteridae
- **Ordre** : Scrophulariales
- **Famille** : Globulariaceae
- **Genre** : *Globularia*
- **Espèce** : *Globularia alypum* L. [53].

I.3.1.2 Usage traditionnelle

I.3.1.2.1 Usage mondial

La *Globularia alypum* est une plante médicinale connue et utilisée depuis longtemps dans le domaine de la médecine. Elle est utilisée principalement comme diurétique et purgatif. Dans les régions méditerranéennes, elle est largement utilisée pour traiter les problèmes de transit intestinal. La décoction des parties aériennes ou des feuilles de la plante est particulièrement reconnue pour son effet laxatif. Il convient de mentionner que la *Globularia alypum* a été parfois utilisée comme substitut du Séné, d'où son nom de "Séné de Provence", ce qui a également conduit à des cas de falsification.

Dans la région méditerranéenne, la *Globularia alypum* est reconnue pour ses diverses utilisations dans la médecine traditionnelle indigène [54]. Elle est utilisée traditionnellement

pour ses propriétés cicatrisantes, antimycosiques, diurétiques, astringentes et antiseptiques. De plus, des études ont suggéré son potentiel effet anti-hypertensif et hypoglycémiant [52].

I.3.1.2.2 Utilisation traditionnelle locale

Globularia est également utilisée pour le traitement des maladies cardiovasculaires et rénales comme l'a démontré un sondage récent qui montre qu'elle est l'une des plantes les plus adoptées à des fins médicales en Algérie [52]. L'infusion de 30g de plante entière est efficace contre les vertiges, fièvre, douleurs gastriques et faiblesses générales (2 tasses par jour).

I.3.1.3 Travaux antérieurs sur l'huile essentielle de *Globularia alypum*

Les Travaux antérieurs sur l'huile essentielle de *Globularia alypum* sont regroupés dans le Tableaux I.1.

Tableau I. 1 : Travaux antérieurs sur l'huile essentielle de *Globularia alypum*

Auteurs [référence]	Région (pays)	Rendement (%)	IC50	Composants majoritaire (%)
Amri et al. [55]	Ain defla (Algérie)	2.10% ±0.09	0.059	Eugenol (18.57) α-Terpinene (10.45) Acetophenone (8.68) 1-Octen-3-ol (5.46) Phenacylidenediacetate (4.61)
Ramdani et al. [56]	Sétif (Algérie)	0.08	-	acide hexadécanoïque 14.64 phytol isomer (9.90) 1-octen-3-ol (10.32) (Z,Z)-6.9-cis-3,4-époxy-nonadécadi (8.27)
	Khenchla (Algérie)	0.06	-	acide hexadécanoïque (29.52) acide-8-octadécenoïque (6.01) phytol isomer (5.43) acide bis-1,2-Benzénedicarboxylique (6.09)

I.3.2. *Ruta montana*

I.3.2.1 Description

Ruta montana est une espèce arbrisseau de la famille des rutacées, est appelé "fidjel" d'origine méditerranéenne, mesurant entre 20-40cm, il préfère les sols les rocheux bien drainés et résiste au temps sec.

En raison de son goût amer et de sa forte odeur, cette plante a une longue histoire d'utilisation dans différentes médecines traditionnelles. Elle a été utilisée, par exemple, comme remède contre l'empoisonnement et l'épilepsie.

Les feuilles renferment une huile essentielle ainsi que divers ingrédients actifs, tels que des vitamines, des acides phénoliques, des terpènes, des lignines et d'autres substances métabolites secondaires précieuses qui présentent une activité antioxydante.



Figure I. 8 : *Ruta montana* [57].

Ruta montana appelée communément rue des montages est un arbrisseau se la famille des rutaceae, du genre *Ruta*. C'est une plante méditerranéenne semi arbustive, de 40 cm à un mètre de haut environ, très ramifiée et ligneuse à la base [57].

I.3.2.2 Usage traditionnel

Les parties aériennes de la plante sont utilisées comme emménagogue, antispasmodique, rubéfiant et comme poudre écharrotique. Elle est utilisée également contre les affections

respiratoires sévères, les gastralgies, les troubles intestinaux, les spasmes, les œdèmes, l'épilepsie et les troubles nerveux [58].

L'infusion est employée en collyre contre les ulcérations de la cornée, en gouttes auriculaires pour les otites et les bourdonnements d'oreilles, en gouttes nasales pour traiter l'ozène ainsi que les fièvres et les vomissements du nourrisson et de l'enfant.

La décoction dans l'huile soulage, en friction, les rhumatismes, les courbatures et pour combattre toutes les douleurs articulaires, le remède de choix est une pâte préparée à partir des feuilles pilées, destinée à enduire tout le corps [57].

L'essence de *Ruta montana* était très appréciée dans l'industrie des parfums synthétiques [59].

- **Les doses Infusion** : 4 g de feuilles pour 1 kg d'eau.
- **Décoction** : 30 à 60 g pour 1 kg d'eau.
- **Poudre** : 2 g à 9 g par jour.
- **Teinture** : 10 à 30 g.
- **Huile de rue** : 1 à 10 gouttes.

C'est un médicament très dangereux et qui doit être administré avec la plus grande prudence [60].

I.3.2.3 Travaux antérieurs sur l'huile essentielle de *Ruta montana*

Les Travaux antérieurs sur l'huile essentielle de *Ruta montana* sont regroupés dans le tableau I.2

Tableau I. 2 : Travaux antérieurs sur l'huile essentielle de *Ruta montana*

Auteurs [référence]	Région (pays)	Rendement	Ic50	Composants majoritaire (%)
	Djelfa (Algérie)	1,45	50,2 ± 3,3	2-undécanone (27,2 à 81,7 %)

Mohammedi et al. [61]	Tizi ousou (Algérie)	0,38	-	2-nonanone (1,9 à 39,5 %)
	Msila (Algérie)	-	49,6 ± 2,7	l'acétate de 2-nonanyle (tr - 24,8 %)
Mahammedi et al. [62]	Bouira (Algérie)	0,94	-	undecan-2-one (44.9 %) nonan-2-one (6.9- 17.4%), decan-2one (4.9- 6.8%) undecanol (2.9- 4.2%)
Khadhri et al. [63]	Tunisie	0,66 %	-	2-undécane 1-nonène 2-nonanone
Rhafouri et al [64]	Boulemane (maroc)	1,60 ± 0,08 %	548,5 ± 27,4	2-undécane (82,62 %), 2-undécaneol (2,87%) l'acétate de 2-undécaneol (2,13 %).
Chorfi [65]	Oum El Bouaghi (Algérie).	0.24%	1,881	



CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES



II.1 Préparation des échantillons végétaux

- Les échantillons végétaux ont été récoltés de différents régions de Bouira comme indiqué dans le tableau II.1 et la figure II.1

Tableau II. 1 : différentes informations sur la collecte des échantillons végétaux.

Nom commun de la plante	Nom scientifique de la plante	Lieu de collecte	Date de collecte	Partie utilisée	Coordonnées GPS	Altitude
Taslgha	<i>Globulaire alypum</i>	Belket	13 Mars 2023	Les feuilles	36° 16'30.31''N 3° 52'23.48''E	695 m
		Oued Ghmara	14 Avril 2023		36° 52'54.38''N 3° 55'38.54''E	515 m
Faidjel	<i>Ruta montana</i>	Lakhdaria	15 Avril 2023		36° 32'58.08''N 3° 33'26.44''E	465 m
		Kadiria	17 Avril 2023		36° 25'58.05''N 3° 25'48.88''E	681 m
		Oued Ghmara	14 Mai 2023		36° 52'54.38''N 3° 55'38.54''E	515 m

- Après la récolte des échantillons végétaux, les feuilles ont été séchées à l’ombre et à l’abri de l’humidité.



Figure II. 1 : Carte montrant les régions de récolte de différents échantillons végétaux [66].



Figure II. 2 : Plante Globularia alypum (plante fraîche et sèche)

- Les échantillons végétaux ont été broyés avec un moulin électrique et conservés à l'abri de l'humidité et à température ambiante.

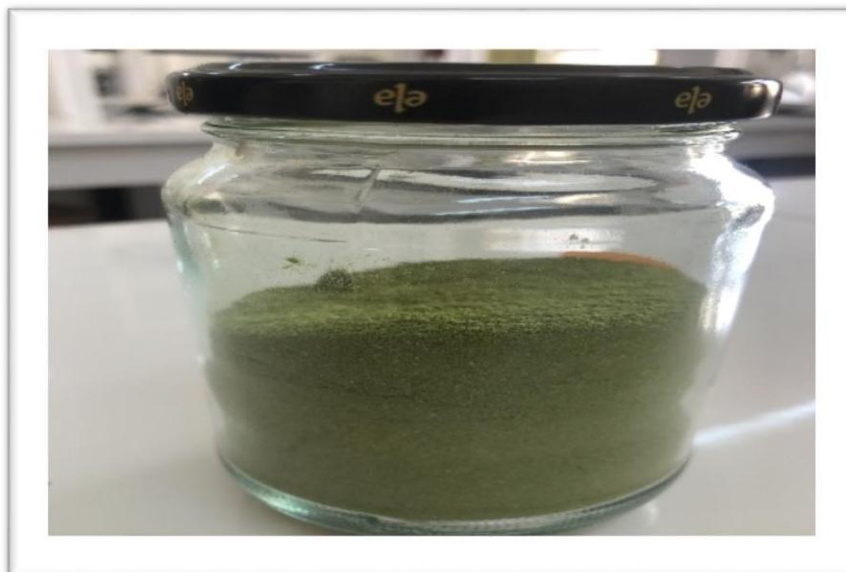


Figure II. 3 : Globularia alypum (plante broyée et conservée)

II.2 Extraction de l'huile essentielle

L'extraction de l'huile essentielle de la plante *Globularia alypum* et *Ruta montana* a été réalisée au niveau du Laboratoire de génie des procédés par hydro distillation.

II.2.1 Protocole expérimental

II.2.1.1 Procédure

La méthode de distillation des huiles essentielles implique les étapes suivantes : d'abord, 80 g de la plante préparée sont placés dans le ballon de distillation, puis de l'eau est ajoutée jusqu'aux 2/3 de sa capacité. Ensuite, l'eau est chauffée jusqu'à ébullition, ce qui permet à la vapeur d'eau d'entraîner les huiles essentielles de la plante. Les huiles essentielles se vaporisent avec la vapeur d'eau et sont ensuite condensées dans le réfrigérant. Pendant le processus de distillation, une erlenmeyer est positionnée sous le réfrigérant afin de recueillir le mélange d'eau et d'huile essentielle condensées.



Figure II. 4 : Montage d'hydro distillation

Pour séparer les huiles essentielles, une extraction liquide a été effectuée en ajoutant 30 ml de dichlorométhane au mélange. Après agitation, le mélange est laissé en repos pendant un certain temps jusqu'à ce que les phases se forment. Ensuite, la phase organique est récupérée dans un bécher et laissée à l'air libre pour permettre l'évaporation du solvant.



Figure II. 5 : La décantation

- L'huile essentielle a été transféré dans un flacon en verre, après l'évaporation du solvant.



Figure II. 6 : L'huile essentielle

II.2.2 Taux d'humidité

Le taux d'humidité, dans le contexte de l'extraction d'huiles essentielles, fait référence à la quantité d'eau présente dans la matière végétale utilisée pour extraire l'huile essentielle. Il indique le pourcentage d'eau par rapport au poids total de la matière végétale [67].

Le taux d'humidité est déterminée en mesurant la variation de poids d'un échantillon avant et après son séchage dans une étuve à une température de 102 ± 2 °C pendant une durée 25 minutes.

Relation II.1

$$\text{TH}(\%) = \left[\frac{m_1 - (m_2 - m_0)}{m_1} \right] \times 100$$

m₀ : Masse du cristalliseur vide en grammes ;

m₁ : Masse de la prise d'essai en grammes ;

m₂ : Masse du cristalliseur contenant l'échantillon séchée en grammes

Procédure

Pour sécher l'échantillon, commencez par préchauffer l'étuve à une température de 104 °C. Ensuite, utilisez une balance analytique pour peser le cristalliseur vide et enregistrez la masse initiale (m₀). Prélevez ensuite une prise d'essai de 10 g de l'échantillon (m₁) et placez-le dans l'étuve pendant 25 minutes. Une fois la période de séchage terminée, retirez le cristalliseur de l'étuve en portant des gants de protection et laissez-le refroidir à température ambiante pendant quelques minutes. Ensuite, pesez le cristalliseur contenant l'échantillon séché et enregistrez la masse finale (m₂).

II.2.3. Détermination du rendement d'extraction

Le rendement de l'huile essentielle se réfère à la quantité d'huile essentielle obtenue à partir d'une matière végétale donnée, exprimée généralement en pourcentage. Il représente la quantité d'huile essentielle obtenue par rapport à la quantité totale de matière première utilisée.

Le rendement de l'huile essentielle est calculé par la relation suivante :

Relation II.2

$$R(\%) = \frac{m_{he}}{m_{mvs}} \times 100$$

Relation II.3

$$m_{mvs} = m_{mvf} \cdot (1 - \text{TH})$$

Où :

R(%) : Rendement en huile essentielle (%) ;

m_{he} : Masse de l'huile essentielle (g) ;

m_{mvs} : Masse de la matière végétale sèche (g) ;

m_{mvf} : Masse de la matière végétale fraîche (g) ;

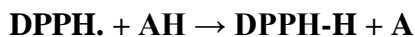
TH : Taux d'humidité [47].

II.3 Évaluation de l'activité Antioxydant

II.3.1 Test de piégeage du radical libre DPPH

II.3.1.1 Principe

On mesure l'activité antioxydant en évaluant la dégradation du DPPH (2,2'-diphényl-1-picrylhydrazyl), un radical synthétique qui présente une coloration violette intense. Lorsque les antioxydants entrent en contact avec ce radical, ils le saturent au niveau de sa couche électronique, ce qui entraîne la disparition de sa coloration. Cette décoloration est utilisée pour évaluer la capacité de l'extrait de la plante à piéger ce radical, qui peut être détectée à l'aide d'un spectrophotomètre-UV-visible à 517 nm [68]



(violette)

(incolore)

II.3.1.2 Protocole expérimental

i. Procédure :

✚ Préparation de la solution de DPPH

Une masse de 04 mg de DPPH est dissous dans 100 ml d'éthanol pour obtenir une concentration de 0.04 mg/ml. La solution de DPPH est stockée à l'abri de la lumière.



Figure II. 7 : Solution de DPPH [originale]

✚ Préparation des échantillons d'huiles essentielles

De chaque extrait, une solution mère a été préparée en mélangeant une quantité de l'huile essentielle avec une quantité de l'éthanol, puis à partir de ces solutions mères, une série de solutions diluées a été préparé pour obtenir différentes concentrations. Le tableau suivant regroupe les différentes concentrations utilisées dans cette étude

Tableau II. 2 : différentes concentrations utilisées dans cette étude.

La plante	La région	Concentration de la solution mère (mg/ml)	Concentration des solutions diluées (mg/ml)
<i>Globularia alypum</i>	Belkat (Mesdour)	24	12-06-03-1.5-0,75
	Oued ghmara (El Hachimia)		
<i>Ruta montana</i>	Kadiria	32	16-08-04-02-01
	Lakhdaria		
	Oued ghmara (El Hachimia)		

✚ Préparation de l'acide ascorbique

Une masse de 12,5 mg de l'acide ascorbique a été dissoute dans 50 ml Pour obtenir une solution mère de concentration 0.25 mg/ml. à partir de cette solution, une série des solutions diluées a été préparées. Pour obtenir différents concentrations (0.125 0.0625 0.0313 - 0.0156- 0.0078 mg/ml)

✚ Réaction de l'huile essentielle avec le DPPH

Une quantité de 200µl de chaque solution diluée est mélangée avec une quantité de 800 µl de la solution de DPPH, ensuite ces mélanges sont incubés à l'obscurité pendant 30 min et à température ambiante. La lecture d'absorbance de chaque mélange est effectué par un spectrophotomètre UV-visible à 517 nm.

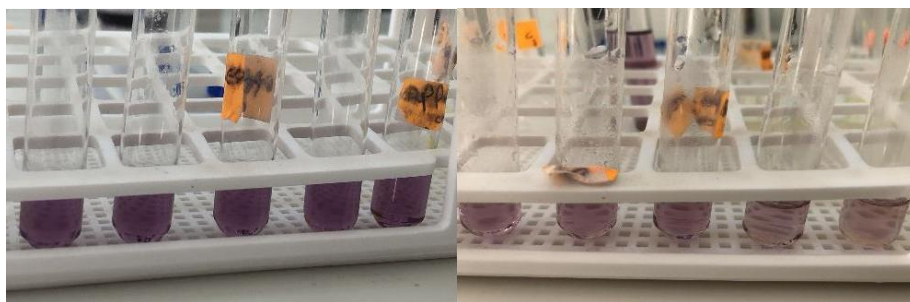


Figure II. 8 : Réaction de l'huile essentielle avec le DPPH [originale]

✚ Réaction de l'acide ascorbique avec le DPPH

Nous avons suivi la même procédure expérimentale utilisée avec les échantillons des huiles essentielles

II.3.1.3 Calcul de l'activité antioxydante

Pour évaluer l'activité Antioxydant nous avons besoin de calculer le pourcentage d'inhibition et l'IC50

i. Calcul du pourcentage d'inhibition :

Le calcul du pourcentage d'inhibition du DPPH (I %) est réalisé en utilisant la formule suivante :

Relation II.4

$$I(\%) = \frac{(A_{\text{blanc}} - A_{\text{éch}})}{A_{\text{blanc}}} \times 100$$

Où :

A_{blanc} : valeur d'absorbance mesurée pour le blanc ;

$A_{\text{éch}}$: valeur d'absorbance pour chaque échantillon ;

ii. Calcul de L'IC50

L'IC50 représente donc la concentration d'huile essentielle nécessaire pour neutraliser 50 % du radical libre DPPH, ce qui indique son activité antioxydant. Une plus faible valeur d'IC50 indique une plus grande activité antioxydant de l'huile essentielle.

On détermine l'IC50 en effectuant une régression linéaire graphique des pourcentages d'inhibition de DPPH° par rapport aux différentes concentrations de l'huile essentielle testée [62].



**CHAPITRE III.
RESULTATS ET DISCUSSIONS**



III.1 Taux d'humidité et le rendement d'extraction

III.1.1 Résultats obtenus

Lors de cette étude les rendements de chaque extrait ont été calculés à partir de la relation II.2, Après avoir déterminé le taux d'humidité de chaque extrait en utilisant la relation. Les résultats obtenus sont regroupés dans le Tableau III.1.

Tableau III. 1 : Des informations sur la collecte des échantillons végétaux.

Nom scientifique de la plante	Lieu de collecte	Le taux d'humidité	Rendement en huile essentielle (%)
<i>Globularia alypum</i>	Belkat (Mesdour)	0.064	0.042±0.003
	Oued ghmara (El Hachimia)	0.059	0.047±0.003
<i>Ruta montana</i>	Oued ghmara (El Hachimia)	0.061	0.56±0.05
	Kadiria	0.083	0.47±0.033
	Lakhdaria	0.076	0.69±0.021

III.1.2 Discussions des résultats

Nous avons observé des rendements globalement faibles pour *Globularia alypum* dans les deux régions étudiées, sans différence entre elles l'échantillon collectée de Belkat (Mesdour) a donné un rendement de 0,042±0.003 et l'échantillon collectée de Oued ghmara (El Hachimia) a donné un rendement de 0.047±0.003. Cela peut indiquer que cette plante est moins réactive aux conditions de croissance spécifiques de ces régions ou que sa composition chimique est intrinsèquement différente de celle de *Ruta montana*. Les extraits de *Ruta montana* ont montré des rendements variables dans les différentes régions étudiées. L'échantillon provenant de kadiria a produit un rendement de 0.47±0.033 l'échantillon provenant de Oued ghmara (El Hachimia) a donné un rendement de 0.56±0.05 tandis que l'échantillon provenant de lakhdaria a enregistré un rendement plus élevé de 0.69±0.021. Cette augmentation progressive des rendements suggère l'existence de facteurs favorables dans la troisième région (lakhdaria), tels que des conditions de croissance optimales ou une variation génétique qui stimule la production de composés bioactif.

Différentes équipes de recherche, notamment Mahammedi et al. [62], Khadhri et al. [63], Rhafouri et al. [64], et Chorfi [65], ont mené des études sur l'extraction de l'huile essentielle de la plante *Ruta montana* dans diverses régions et en utilisant différentes méthodes. Ces études ont abouti à des rendements variés, avec des valeurs de 0,94, 0,66, 1,6 et 0,24. Parallèlement, des recherches ont été réalisées sur l'extraction de l'huile essentielle de la plante *Globularia alypum* par Amri et al. [55] et Ramdani et al. [56], également dans différentes régions et en utilisant différentes méthodes. Les rendements obtenus dans ces études étaient de 2,1, 0,08 et 0,06 respectivement.

En comparant les rendements de l'extraction de l'huile essentielle de *Ruta montana* obtenus dans notre étude avec ceux des travaux antérieurs, nous constatons que le rendement de l'échantillon collecté à Lakhdaria est inférieur à celui obtenu par Mahammedi et al. [62] ainsi que par Rhafouri et al. [64], mais il est supérieur à celui obtenu par Chorfi [65]. De plus, il est légèrement supérieur au rendement obtenu par Khadhri et al. [63].

En ce qui concerne les rendements des échantillons provenant de Kadiria et d'Oued ghmara (El Hachimia), ils sont inférieurs aux rendements obtenus par Mahammedi et al. [62], Khadhri et al. [63] et Rhafouri et al. [64], mais ils sont supérieurs au rendement obtenu par Chorfi [65].

Cependant, les rendements de l'huile essentielle de la plante *Globularia alypum* obtenus dans notre étude, dans les régions de Belkat (Mesdour) et Oued ghmara (El Hachimia), sont inférieurs à ceux obtenus par Amri et al. [55] et Ramdani et al. [56].

Les rendements des huiles essentielles peuvent varier en raison de plusieurs facteurs tels que l'altitude, la saison, le climat, la partie de la plante utilisée pour l'extraction, la méthode d'extraction et l'état de la plante. Ces facteurs peuvent influencer la composition chimique des plantes et la quantité d'huile essentielle produite. Ainsi, les différences de rendement entre différentes sources ou régions de production d'huiles essentielles peuvent s'expliquer par ces variations.

III.2 Évaluation de l'activité antioxydant

III.2.1 Résultats obtenus

Dans cette étude l'activité antioxydant a été évalué par le test de DPPH en calculant l'IC50 Les pourcentage d'inhibition ont été calculés à partir de la relation II.4, afin de tracer la courbe du Pourcentage d'inhibition en fonction de la concentration.

Les résultats obtenus sont montrés dans les tableaux et les figures suivantes :

Tableau III. 2 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH pour différentes concentrations de l'huile essentielle de *Globularia alypum*

Concentration en mg/ml	% d'inhibition de l'échantillon provenant de Belkat (Mesdour)	% d'inhibition de l'échantillon provenant de Oued ghmara (El Hachimia)
12	56.36	58.76
06	48.11	50.63
03	39.33	46.69
1.5	36.87	41.42
0.75	36.17	40.15

Tableau III. 3 : Pourcentages d'inhibition du radical libre DPPH pour différentes concentrations de l'huile essentielle de *Ruta montana*

Concentration	% d'inhibition de l'échantillon provenant de kadiria	% d'inhibition de l'échantillon provenant de oued ghmara (El Hachimia)	% d'inhibition de l'échantillon provenant de lakhdaria
16	52.55	63.99	66.28
08	43.13	48.26	52.97
04	38.12	39.42	46.76
02	37.88	39.17	44.86
01	37.26	38.85	44.53

Tableau III. 4 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH pour différentes concentrations de l'acide ascorbique.

Concentration en mg/ml	% d'inhibition
0.125	93.33
0.0625	69.01
0.0313	62.16
0.0156	53.64
0.0078	47.15

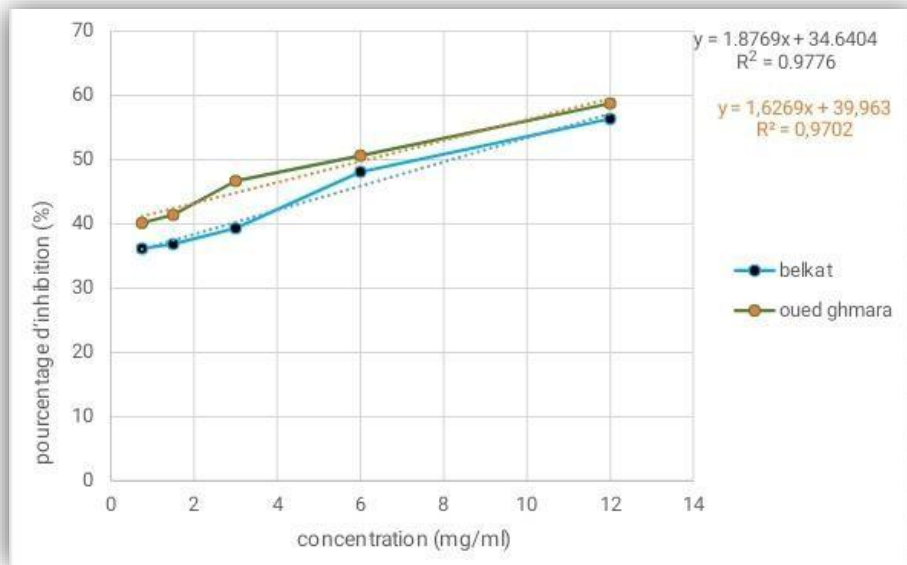


Figure III. 1 : Variation du pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de l'huile essentielle de Globularia alypum.

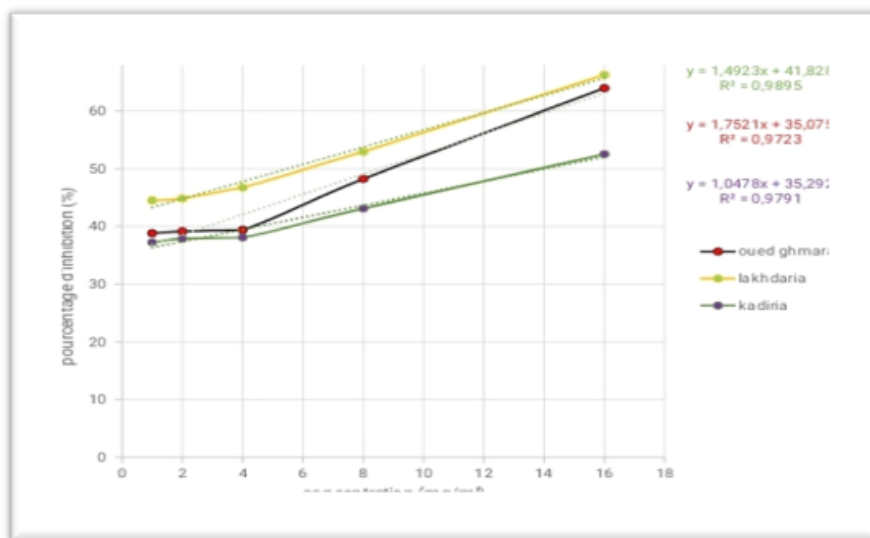


Figure III. 2 : Variation du pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de l'huile essentielle de Ruta montana.

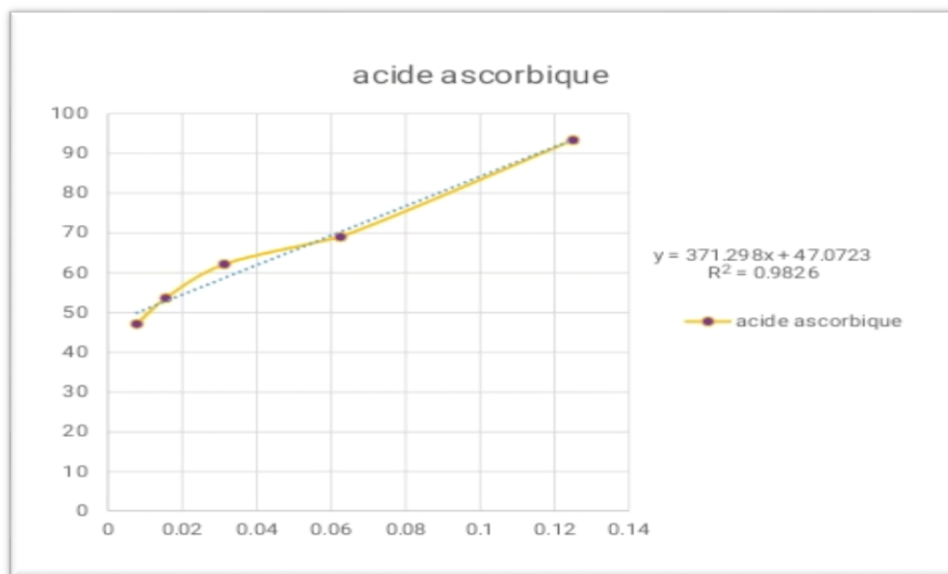


Figure III. 3 : Variation du pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH en fonction des différentes concentrations de l'acide ascorbique

Les valeurs de l'IC50 ont été calculés à partir les courbes d'inhibition en fonction de la concentration et les résultats obtenus sont montrés dans le tableau

Tableau III. 5 : IC50 des extraits végétaux

	Gloubularia collectée de Belkat (Mesdour)	Gloubularia collectée d'Oued ghmara (El Hachimia)	Ruta montana collectée d'oued ghmara (El Hachimia)	Ruta montana collectée de lakhdaria	Ruta montana collectée de kadiria	Acide ascorbique
IC50	8.18	6.17	8.52	5.47	14.04	0.0079

III.2.2 Discussions des résultats

Les résultats de notre étude montrent des variations intéressantes dans les valeurs IC50 des huiles essentielles de la *Ruta montana* et de *Globularia alypum* dans différentes régions. Les huiles essentielles de la *Ruta montana* ont montré une activité antioxydante, avec des valeurs d'IC50 allant de 5.47 à 14.04 selon la région. Cela suggère que les extraits de cette plante pourraient être bénéfiques pour leur potentiel antioxydant dans ces régions spécifiques.

D'autre part, les huiles essentielles de *Globularia alypum* ont également montré une activité antioxydante. Les valeurs d'IC50 pour *Globularia alypum* étaient de 8,18 et 6,17 pour les deux régions étudiées Belkat (Mesdour) et Oued ghmara (El Hachimia). Cela indique que cette plante peut également contenir des composés antioxydants, bien que les valeurs soient différentes d'une région leur efficacité puisse varier selon les régions. Il convient de noter que l'activité antioxydante de l'échantillon provenant d'Oued ghmara (El Hachimia) s'est avérée supérieure à celle de Belkat (Mesdour).

L'huile essentielle de *Ruta montana* a montré une activité antioxydante prometteuse, avec un IC50 de $50,2 \pm 3,3$ selon Mohammed et al. [61], et de $54,85 \pm 2,74$ selon Rhafouri et al. [64]. Chorfi [65] a également obtenu un IC50 de 1,881 pour cette huile essentielle. Par ailleurs, l'huile essentielle de *Globularia*, étudiée par Amri et al. [55], a révélé une forte activité antioxydante, avec un IC50 de 0,056.

L'activité Antioxydante de l'huile essentielle de *Ruta montana* effectuée dans notre étude dans les trois régions est supérieure à l'activité Antioxydante effectuée par Mohammed et al. [61] et l'activité Antioxydante effectuée par Rhafouri et al. [64]. Mais elle est inférieure à l'activité Antioxydante effectuée par Chorfi [65]. En ce qui concerne l'activité Antioxydante de l'huile essentielle de *globularia alypum* effectuée dans notre étude dans les deux régions, elle est faible par rapport à l'activité Antioxydante évaluée par Amri et al. [55].

Ces résultats suggèrent que les deux plantes pourraient être une source prometteuse d'antioxydants dans les régions étudiées. Cependant, il convient de noter que d'autres facteurs, tels que les méthodes d'extraction, les conditions de culture et les variations géographiques, peuvent également influencer les résultats. Par conséquent, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour approfondir notre compréhension de la composition chimique et des

mécanismes d'action des extraits de *Ruta montana* et de *Globularia alypum* dans différentes régions.

Il est intéressant de souligner que l'acide ascorbique, utilisé comme contrôle positif dans notre étude, a montré une activité antioxydant extrêmement élevée, avec un IC50 de 0,0079. Cela confirme que l'acide ascorbique est un puissant antioxydant bien établi.



CONCLUSION GENERALE



Conclusion générale

Cette étude a permis de caractériser les propriétés d'extraction par Hydro-distillation et l'activité antioxydant de deux plantes médicinales, la *Globularia alypum* et la *Ruta montana*, dans différentes régions de bouira-algérie. Les résultats ont révélé des variations dans les rendements d'extraction et l'activité antioxydant des extraits en fonction des régions étudiées.

Pour la *Ruta montana*, les échantillons provenant de kadiria, oued ghmara (El Hachimia) et lakhdaria ont présenté des rendements d'extraction croissants, avec des valeurs de $0,47\pm 0,033$, $0,56\pm 0,05$ et $0,69\pm 0,021$ respectivement. Cependant, en ce qui concerne l'activité antioxydant mesurée par l'IC50, l'échantillon provenant de lakhdaria a démontré une activité plus élevée avec une valeur de 5,47 tandis que l'échantillon provenant de oued ghmara (El Hachimia) a montré une activité légèrement inférieure avec un IC50 de 8,52 suivi de l'échantillon provenant de kadiria avec un IC50 de 14,04.

Pour la *Globularia alypum*, les deux régions étudiées ont montré des rendements d'extraction relativement faibles. l'échantillon collectée de Belkat (Mesdour) a donné un rendement de $0,042\pm 0,003$ et l'échantillon collectée de Oued ghmara (El Hachimia) a donné un rendement de $0,047\pm 0,003$ Cependant, en termes d'activité antioxydant, la première région (Belkat (Mesdour)) a présenté un IC50 de 8,1, tandis que la deuxième région (Oued ghmara (El Hachimia)) a montré une activité légèrement plus élevée avec un IC50 de 6,37.

Ces résultats mettent en évidence l'importance de considérer les variations géographiques et environnementales lors de l'évaluation des propriétés des plantes médicinales. Ils soulignent également la nécessité de poursuivre les recherches pour mieux comprendre les mécanismes d'action des extraits, identifier les composés actifs responsables de l'activité antioxydant et explorer d'autres propriétés potentiellement bénéfiques de ces plantes.

Cette étude fournit une base pour de futures investigations visant à exploiter le potentiel des extraits de la *Ruta montana* et de *Globularia alypum* en tant que sources naturelles d'antioxydants et à mieux comprendre leur utilisation potentielle dans divers domaines, tels que la santé et la cosmétique. Des études supplémentaires sont nécessaires pour approfondir notre compréhension et maximiser les avantages de ces plantes.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES



Références bibliographiques

1. Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils - A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446-475.
2. Bouayed, J., & Bohn, T. (2010). Exogenous antioxidants—Double-edged swords in cellular redox state: Health beneficial effects at physiologic doses versus deleterious effects at high doses. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 3(4), 228-237.
3. Setzer, W. N. (2009). Essential oils and anxiolytic aromatherapy. *Natural Product Communications*, 4(9), 1305-1316.
4. Burdock, G. A. (Ed.). (2010). *Fenaroli's Handbook of Flavor Ingredients* (6th ed.). CRC Press.
5. Peyron L. (2000) : Aspect international du marché des PAM. Communication à la journée de réflexion sur les plantes aromatiques et médicinales, Casablanca, 16 Novembre 2000 ; *Annales de la recherche forestière au Maroc*, N spécial (Actes de la Journée), pp 3- 14.
6. Simon, J.E., Chadwick, A.F., & Craker, L.E. (1984). *Herbs: An Indexed Bibliography, 1971-1980. The Scientific Literature on Selected Herbs, and Aromatic and Medicinal Plants of the Temperate Zone*. Archon Books.
7. Tisserand, R., & Young, R. (2014). *Essential Oil Safety: A Guide for Health Care Professionals*. Churchill Livingstone.
8. Williamson, E. M. (2003). *Major herbs of Ayurveda*. Elsevier Health Sciences.
9. Gruenwald, J., Brendler, T., & Jaenicke, C. (Eds.). (2004). *PDR for herbal medicines*. Thomson PDR
10. World Health Organization (WHO). (2009). WHO guidelines on good agricultural and collection practices (GACP) for medicinal plants. Retrieved from <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44189>
11. Williamson, E. M. (Ed.). (2003). *Potter's Herbal Cyclopaedia: The Authoritative Reference Work on Plants with a Known Medical Use*. C.W. Daniel.
12. European Medicines Agency (EMA). (2011). *Community Herbal Monographs*. Retrieved from

from

https://www.ema.europa.eu/en/medicines/field_ema_web_categories%253Aname_field/Human/herbal-medicines.

13. Calixto, J. B. (2000). Efficacy, safety, quality control, marketing and regulatory guidelines for herbal medicines (phytotherapeutic agents). *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 33(2), 179-189.
14. Teschke, R., & Wolff, A. (2011). Fetal hepatotoxicity of herbal products including black cohosh: A review. *Birth Defects Research Part B: Developmental and Reproductive Toxicology*, 92(5), 382-396.
15. Hänsel, R., & Keller, K. (Eds.). (2007). *Rationale Phytotherapie: Ratgeber für Ärzte und Apotheker [Rational Phytotherapy: A Physician's and Pharmacist's Guide]*. Springer-Verlag.
16. LiverTox: Clinical and Research Information on Drug-Induced Liver Injury. (n.d.). National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK548741>
17. World Health Organization (WHO). (1998). *Quality control methods for medicinal plant materials*. Geneva: WHO. Retrieved from <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41923>
18. British Herbal Medicine Association (BHMA). (2006). *British Herbal Pharmacopoeia*. Exeter: BHMA.
19. Council of Europe. (2009). *European Pharmacopoeia*. Strasbourg: Council of Europe.
20. Nogaret-Ehrhart. 208 : Nogaret-Ehrhart A-S. *La phytothérapie : se soigner par les plantes*. Ed. Eyrolles, Paris 2008.
21. Hurabielle. (1981) ; Paris M., Hurabielle M. *Abrégé de matière médicale. Pharmacognosie, Tome I, édition Masson*.
22. Baser K.H.C. and Buchbauer G., 2010. *Handbook of essential oils: Science, Technology, and Applications*. Ed. Taylor and Francis Group, LLC. United States of America. 994p.
23. Besombes C., (2008). *Contribution à l'étude des phénomènes d'extraction hydrothermomécanique d'herbes aromatiques. Applications généralisées*. Thèse de doctorat. Université de La Rochelle, 289p.

24. Bruneton J. (1999). *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales*. Deuxième édition, Lavoisier, Paris. 915p
25. Verschaffelt. Verschaffelt, K. gl. Ak., Amsterdam, Gertz, Jahr, Wis (1915). *Botanica*. 56, pp 536
26. Bouquet A., (1972). *Plantes médicinales du Congo-Brazzaville : Uvariopsis, Pauridiantha, Diospyros*. ORSTOM.Paris.
27. Nicholas, Nicholas H. J., (1973). *Phytochemistry . Organic metabolites*, Vol. 2, Yonkers, New York.
28. Erman, 1985: Erman W. F., (1985). *Chemistry of monoterpenes, part B*, Marcel Dekker, New York. *European Journal of Pharmacology*. 1991; 201:35-39
29. Croteau, 1986: Croteau F., (1986). *Biochemistry of monoterpenes and sesquiterpenes of the Essential Herbs: spices and medicinal plants; Recent advances in botany horticulture and pharmacology*. Vol. 1, Craken, Simon, Oryx Press, Phoenix.
30. Lawless, J. (2013). *The Encyclopedia of Essential Oils: The Complete Guide to the Use of Aromatic Oils in Aromatherapy, Herbalism, Health, and Well-being* (2nd ed.). Conari Press.
31. Tisserand, R., & Young, R. (2014). *Essential Oil Safety: A Guide for Health Care Professionals* (2nd ed.). Churchill Livingstone.
32. Lis-Balchin, M. (2006). *Aromatherapy Science: A Guide for Healthcare Professionals*. Pharmaceutical Press.
33. Buckle, J. (2015). *Clinical Aromatherapy: Essential Oils in Practice* (3rd ed.). Churchill Livingstone.
34. Kaloustian.J, hadji-minaglo .F, *La connaissance des huiles essentielles : qualité et aromathérapie*, livre, Edition Springer, Paris, 2012.
35. Fekih.N (2015), *Propriétés chimiques et biologiques des huiles essentielles de trois espèces du genre Pinus poussant en Algérie [thèse]*. Tlemcen : Université Abou Bekr Belkaid..
36. Chouiteh .O (2012), *Composition chimique et activité antibactérienne des huiles essentielles des feuilles de Glycyrrhiza glabra [thèse]* Oran : Université d'Oran,

37. Elhaib. A (2011), Valorisation de terpènes naturels issus de plantes marocaines par transformations catalytiques, Thèse du doctorat, Université de Toulouse,
38. BOUSBIA N. (2011). Extraction des huiles essentielles riches en antioxydants à partir de produits naturels et de coproduits agroalimentaires, Thèse, Ecole nationale Supérieure agronomique, Algérie.
39. Lacoste. S (2014), Ma bible de la phytothérapie, magazine, Edition : Quotidien Malin.
40. Grunwald. J, Janicke. C.(2006).Guide de la phytothérapie, livre, 2ème. Edition MARABOUT. Italie.
41. Boutamani.M. (2013).Etude de la variation du rendement et de la composition chimique du Curcuma longa et Myristica fragrans en fonction du temps et de la technique utilisée. Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, Alger.
42. Gruenwald, J., Brendler, T., & Jaenicke, C. (Eds.). (2007). PDR for Herbal Medicines (4th ed.). Thomson PDR.
43. Daouda Toure, (2015). etudes chimique et biologique des huiles essentielles de quatre plantes aromatiques medicinales de côte d'ivoire. Chimie organique. Université Felix Houphoet Boigny, Côte d'Ivoire. Français
44. Lahlou, M. (2004), Methods to study the phytochemistry and bioactivity of essential oils. Phytotherapy Research,. 18(6): p. 435-448.
45. M Lis-Balchin et S.G.Deans. (1996). Bioactivity of selected plant essential oils against *Listeria monocytogenes*. École des sciences appliquées, South Bank University, Londres. Journal.
46. Goudjil Mohamed Bilal.(2016). Composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydante de trois plantes aromatiques. these du doctorat.universite kasdi merbah ouargla.
47. Sies, H. (2017). Oxidative Stress: Eustress and Distress in Redox Homeostasis. Oxidative Medicine and Cellular Longevity.
48. Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (2015). Free Radicals in Biology and Medicine. Oxford University Press.

49. Ziane, N. (2018). Contribution à l'étude de l'activité hypoglycémiant des extraits de pistacia atlantica desf de la réserve nationale d'El-Mergueb M'sila-Algérie (Doctoral dissertation).
50. Degryse A. Delpla I Voinier M. (2008). Risque et bénéfices possibles des huiles essentielles Ingénieure du Génie Sanitaire. Atelier santé environnement.
51. Englebin M (2011), Essences et huiles essentielles : précaution d'emplois et conseils d'utilisation, centre de formation en aromathérapie,
52. - Jouad H., Maghrani M., and Eddouks M. (2002). Hypoglycaemic effect of Rubus fruticosus L and Globularia alypum L in normal and streptozotocin-induced diabetic rats. *J Ethnopharmacol.* 81: 6-351.
53. Quezel P and Santa S. (1963). *New Flora of Algeria and Southern Desert Regions.* Editions of the National Center for Scientific Research: Paris, France. 2:783
54. Sezik E., Tabat M., Yesilada E., Honda G., and ikeshiro Y. (1991). Traditional medicine in Turkey. *Ethnopharmacol.* 35: 191-196
55. Amri, H., Hamadouche, M., Alsaфра, Z., Eppe, G., & Abed, D. E. (2018). Chemical composition and antioxidant activity of Globularia alypum l. leaves essential oil from Ain-Defla (Algeria). *Chemistry & Chemical Technology*, 12(2), 213-220.
56. Ramdani, M., Lograda, T., Ounoughi, A., Chalard, P., Figueredo, G., Laidoudi, H., & ELKolli, M. (2014). Chemical composition, antimicrobial activity and chromosome number of Globularia alipum from Algeria. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci*, 3, 306-318.
57. Hammiche V, Azzouz M. (2013) Les rues : ethnobotanique, Phytopharmacologie et toxicité
58. Forment, M., & Roques, H. (1941). Répertoire des plantes médicinales et aromatiques d'Algérie. OFALAC, 59.
59. Denoël, A. (1958). Matière médicale végétale: (Pharmacognosie). Presses Universitaires de Liège.
60. Thielens, A. (1862). Flore médicale Belge, p 255-256.
61. Mohammedi, H., Mecherara-Idjeri, S., & Hassani, A. (2020). Variability in essential

- oil composition, antioxidant and antimicrobial activities of *Ruta montana* L. collected from different geographical regions in Algeria. *Journal of essential oil research*, 32(1), 88-101.
- 62.** Hichem, M., & Fouad ,M., (2015). Etude de la composition chimique des huiles essentielles de *Ruta montana* L. extraites par hydro distillation, micro-ondes et entraînement à la vapeur.
- 63.** Khadhri, A., Bouali, I., Belkhir, S., Mokni, R. E., Smiti, S., Almeida, C., ... & Araújo, M. E. M. (2014). Chemical variability of two essential oils of Tunisian Rue: *Ruta montana* and *Ruta chalepensis*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 17(3), 445- 451.
- 64.** Rhafouri, R., Mahjoubi, M., El Hilali, F., Mouradi, A., Eto, B., & Zair, T. Antioxidant and Antimicrobial Activity of Essential Oils and Phenolic Extracts from the Aerial Parts of *Ruta montana* L. of the Middle Atlas Mountains-Morocco.
- 65.** Amina Chorfi, Mohamed Sid, Samira Malki (2022). Etude de l'activité antioxydante des huiles essentielles de trois plantes aromatiques médicinales d'Algérie (*Artemisia herba alba*, *Ruta montana* et *Mentha rotundifolia* Université de Larbi Ben M'hidi-Oum El Bouaghi,
- 66.** خريطة ولاية بويرة . بلدية الحجره زرقاء ولاية بويرة." Facebook, 18 october 2023, https://www.facebook.com/mahdimaca038/posts/988422011353030/?locale=ar_AR
- 67.** I.Baser, K. H. C., & Buchbauer, G. (Eds.). (2010). *Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications*. CRC Press.
- 68.** Riadh, K. (2011). *Halophytes et Biomolécules. Protocole expérimental*.
- 69.** Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30.



RESUME



Résumé

Cette étude a examiné les huiles essentielles de la *Ruta montana* et de *Globularia alypum* provenant de différentes régions, en évaluant leur rendement et leur activité antioxydant. Les résultats ont montré des variations entre les régions et les plantes étudiées. La plante de *Ruta montana* a démontré des rendements variables selon les régions, suggérant une possible dépendance aux facteurs géographiques et environnementaux. Les extraits de cette plante ont également montré une activité antioxydant, bien que les valeurs aient différé d'une région à l'autre. En revanche, les extraits de *Globularia alypum* ont présenté des rendements plus faibles et une activité antioxydant relativement inférieure par rapport à la *Ruta montana*.

ملخص

هذه الدراسة سمحت لنا بوصف خصائص الاستخلاص بالتقطير و تقييم الفعالية المضادة لأكسدة لتوعين من النباتات الطبية و هما *Ruta montana* و *Globularia alypum* في مناطق مختلفة من ولاية بويرة الجزائر. حيث بينت النتائج اختلافات واضحة في مردود الاستخلاص و الفعالية المضادة للأكسدة لمختلف المستخلصات النباتية بدلالة المناطق المدروسة. تبين ان نبات *Ruta montana* اعطى نتائج متفاوتة حسب المناطق, مما يشير الى احتمالية اعتماده على العوامل الجغرافية و البيئية. كما أظهرت مستخلصات هذا النبات نشاطا مضادا للأكسدة على رغم من اختلاف القيم من منطقة الى أخرى. بينما بينت مستخلصات *Globularia alypum* نتائج ضعيفة في المردود مقارنة بنبات *Ruta montana* و نتائج متفاوتة في الفعالية المضادة للأكسدة حسب المناطق

abstract

This study examined extracts of *Ruta montana* and *Globularia alypum* from different regions, evaluating their yield and antioxidant activity. The results showed variations between the regions and the studied plants. The *Ruta montana* plant demonstrated varying yields depending on the regions, suggesting a possible dependence on geographic and environmental factors. Extracts from this plant also showed antioxidant activity, although the values differed from one region to another. On the other hand, extracts of *Globularia alypum* exhibited lower yields and relatively inferior antioxidant activity compared to *Ruta montana*.