



UNIVERSITÉ
Abdelhamid Ibn Badis
MOSTAGANEM



UNIVERSITÉ
Abdelhamid Ibn Badis
MOSTAGANEM

République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
Faculté Des Sciences de La Nature et de La Vie
Département de Biologie

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCE BIOLOGIQUE

Spécialité : Pharmaco-toxicologie

Par

**LATROUS MERIEM
&
AMER HANANE**

Thème :

**Effet du Séchage de quelques Plantes Médicinales de la
famille des Lamiacées sur le Rendement en Huile
Essentielle et l'Activité Antibactérienne**

Soutenu le 18/ JUNI/2023

devant le jury composé de :

Président	BELARBI. A	MCA	Université de Mostaganem
Encadreur	KRIBI. S	MCB	Université de Mostaganem
Examineur	BAHLOUL. H	MCB	Université de Mostaganem

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

*Louange à Dieu tout puissant, qui m'a permis de voir ce jour tant
Attendu.*

Au terme de ce travail, Je tiens à exprimer ma profonde gratitude :

A notre chère encadrante Dr. KRIBI. S

*Les mots ne suffisent certainement pas pour exprimer le grand honneur et
l'immense plaisir que nous avons travaillé sous votre direction pour vous
témoigner nos profondes reconnaissances.*

*De l'avoir confié ce travail, pour tout ce que vous m'avez appris, pour le
précieux temps que vous avez consacré à diriger chacune des étapes de ce
travail. Nous avons toujours admiré votre rigueur scientifique, votre dynamisme
et votre disponibilité. Nous garderons toujours en mémoire votre gentillesse et
votre modestie.*

A notre présidente du jury Dr BELARBI. A

*Je vous remercie infiniment, pour l'honneur que vous me faites en acceptant de
juger et présider le jury de ce mémoire.*

A notre examinatrice Dr BAHLOUL. H

*Nous sommes très émues par la spontanéité avec laquelle vous avez accepté de
juger notre Travail.*

*Mes remerciements s'adressent aussi aux membres du laboratoire département
de science de la nature et de la vie « **Fatima** », « **Hafida** » et un grand merci à
« **Sadia** » pour son soutien et encouragement.*

*Enfin, Merci chers parents. Sans eux, nous ne serions pas où nous en
sommes aujourd'hui.*

Dédicaces

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail:

*A ma raison de vivre, mon cher père : **Latrous Mohamed***

Pour son soutien, son affection et la confiance qu'il m'a accordé.

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir ma chère mère :

***Kherif Zahra**, pour sa tendresse et son amour.*

*A vous mes chères sœurs « **Imen, Saida, Alaa** » et mon frère qui me manque « **Zinou** », qui m'avez toujours soutenue et encouragé durant ces années d'études et merci à ma chère copine « **Rym** », qui est toujours là pour moi.*

MERIEM

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le Symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à
ma mère Khadija

A mon père Laid, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.

*A mes sœurs et mes frères qui ont toujours été présents pour moi ;
Toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin
dans la réalisation de ce travail.*

Hanane

Résumé

L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence du procédé de séchage sur le rendement en huile essentielle obtenue par entraînement à la vapeur d'eau et l'activité antibactérienne de deux espèces végétales appartenant à la famille des lamiacées (*Salvia officinalis* L et *Rosmarinus officinalis* L) sur deux souches bactériennes (*Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*). Pour cela, nous avons choisi d'expérimenter trois procédés de séchage à savoir, le séchage au soleil, à l'ombre et au micro-onde.. Le pourcentage de l'humidité végétale évaporée jusqu'au stade du poids constant le plus élevé a été enregistré au type de séchage au soleil à 71.3 % chez la Sauge et 72.10 % chez Le romarin à l'ombre. Le séchage au soleil et à l'ombre pour le romarin est plus long que celui de la sauge avec un poids constant de séchage au 8ème jour et au 13ème jour respectivement. En termes de rendement en HE le séchage à l'ombre favorise une extraction des huiles essentielles pour les deux espèces testées. Le séchage au micro-onde a donné un rendement le plus élevé en HE pour la sauge et le romarin (1.08 % et 1.01 % respectivement). L'extrait brut du romarin séché au soleil et au micro-onde a donné une activité antibactérienne importante contre *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*. L'ensemble des résultats révèlent que la bactérie *E. coli* est plus sensible aux extraits de l'HE des plantes testées par rapport à *P. aeruginosa*

Mots clés : Séchage ; Huile essentielle ; rendement en HE ; Activité antimicrobienne

Abstract

The objective of this work is to study the influence of the drying process on the essential oil yield obtained by water vapour training and the antibacterial activity of two plant species belonging to the lamiaceae family (*Salvia officinalis* L and *Rosmarinus officinalis* L) on two bacterial strains (*Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*) For this, we have chosen to experiment with three drying processes, namely, sun drying, shade drying and microwave drying. The percentage of evaporated vegetable moisture up to the highest constant weight stage was recorded at the type of sun drying at 71.3% in sage and 72.10% in rosemary in shade. Sun and shade drying for rosemary is longer than sage with a constant drying weight on the 8th and 13th days respectively. In terms of yield in HE the shade drying favors an extraction of essential oils for both species tested. Microwave drying gave the highest HE yield for sage and rosemary (1.08% and 1.01% respectively). The raw extract of rosemary dried in the sun and in the microwave gave an important antibacterial activity against *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*. Overall results show that *E. coli* is more sensitive to CH extracts of the tested plants compared to *P. aeruginosa*

Keywords: Drying ; Essential oil ; HE yield ; Antimicrobial activity

الملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير عملية التجفيف على محصول الزيت الأساسي الذي يتم الحصول عليه عن طريق التدريب على بخار الماء والنشاط المضاد للبكتيريا لنوعين من النباتات ينتمون إلى عائلة الشفوية (*Salvia officinalis* L و *Rosmarinus officinalis* L) على سلالتين بكتيريتين (الإشريكية القولونية والزائفة الزنجارية) لهذا السبب، اخترنا تجربة ثلاث عمليات تجفيف، وهي تجفيف الشمس وتجفيف الظل وتجفيف الميكروويف. تم تسجيل النسبة المئوية لرتوبة الخضار المبخرة حتى أعلى مرحلة وزن ثابتة عند نوع تجفيف الشمس عند 71.3% في المريمية و 72.10% في إكليل الجبل في الظل. يكون تجفيف الشمس والظل لإكليل الجبل أطول من المريمية مع وزن تجفيف مستمر في اليومين الثامن والثالث عشر على التوالي. من حيث محصول الزيت الأساسي، يعزز تجفيف الظل استخراج الزيوت الأساسية لكلا النوعين المختبرين. أعطى التجفيف بالموجات الدقيقة أعلى عائد في الزيت الأساسي للمريمية وإكليل الجبل (1.08% و 1.01% على التوالي). أعطى المستخلص الخام من إكليل الجبل المجفف في الشمس وفي الميكروويف نشاطاً مهماً مضاداً للبكتيريا ضد الإشريكية القولونية والزائفة الزنجارية. تظهر النتائج الإجمالية أن الإشريكية القولونية أكثر حساسية لمستخلصات الزيت الأساسي للنباتات التي تم اختبارها مقارنة بـ الزائفة الزنجارية

الكلمات المفتاحية: التجفيف؛ الزيت الأساسي؛ مردود الزيوت الأساسية؛ النشاط المضاد

للميكروبات.

Liste des Abréviations

ATCC : American Type Culture Collection)

BN : bouillon nutritive.

°C : Degré Celsius.

Cm : Centimètre

DMSO : Diméthylsulfoxyde

g : gramme.

G+ : bactéries à Gram-positif.

G- : bactéries à Gram-négatif.

GEN : Gentamicine

GN : gélose nutritive

HE : huiles essentielles.

Kg : kilogrammes.

ml : millilitre

mm : Millimètre.

OMS : organisation mondiale de la santé.

P : *Pseudomonas aeruginosa*

PH : Potentiel en Hydrogène..

Ps : poids sec à l'étape constante de séchage.

R : le ratio (poids frais/ poids sec à l'étape constante de séchage.

S : Sauge officinale

Tj : temps en jours.

% : Pourcentage

Liste des figures

N°	Titres des Figures	Pages
01	Description de l'usage du cumin et de l'aneth	14
02	Les éléments de séchoir direct	18
03	Fonctionnement de séchoir indirect	19
04	Quelques bases sur la structure des bactéries	21
05	Présentation des différents composants de bactéries G+ et G-	23
06	Représentation schématique de la paroi des bactéries à Gram-positif et des bactéries à Gram-négatif	23
07	Plante <i>Rosmarinus officinalis</i> L	25
08	Morphologie des fleurs de R.	25
09	Morphologie du fruit de romarin	26
10	Aspect de la plante <i>Salvia officinalis</i>	31
11	Feuilles de <i>Salvia. officinalis</i>	31
12	Fleurs de <i>Salvia officinalis</i>	31
13	Graines de <i>Salvia officinalis</i>	31
14	Photos prise de l'université des plantes utilisées.	39
15	Quelques caractéristiques sur les souches bactériennes utilisées	40
16	Extracteur de l'huile essentielle par entraînement à la vapeur d'eau	42
17	L'huile essentielle récupérée dans graduée	42
18	Echantillon en tube à une burette essai pour conservation	42
19	% de la teneur en eau évaporée de la sauge à différentes méthodes de séchage	47
20	% de la teneur en eau évaporée du romarin à différentes méthodes de séchage	48
21	Cinétique de séchage des deux plantes séchées au soleil en fonction du temps (Jours)	49
22	Cinétique de séchage des deux plantes séchées à l'ombre en fonction du temps (Jours)	49
23	Cinétique de séchages des deux plantes séchées au micro-onde en fonction du temps (min)	49
24	Effet du séchage sur la couleur de la sauge	51

25	Effet du séchage sur la couleur du romarin	52
26	le % du rendement en huile essentielle de la sauge	52
27	% de rendement en huile essentielle du romarin	53
28	L'effet de l'huile essentielle (HE) de la sauge séchée au soleil sur <i>E. coli</i>	56
29	L'effet de l'huile essentielle (HE) du romarin séché au soleil sur <i>E. coli</i>	56
30	L'effet de l'huile essentielle (HE) de la sauge séchée au micro-onde sur <i>E. coli</i>	56
31	L'effet de l'huile essentielle (HE) du romarin séché au micro-onde sur <i>E. coli</i>	56
32	L'effet de l'huile essentielle (HE) de la sauge séchée à l'ombre sur <i>E. coli</i>	57
33	L'effet de l'huile essentielle (HE) du romarin séché à l'ombre sur <i>E. coli</i>	57
34	L'effet de l'huile essentielle (HE) de la sauge séchée au soleil sur <i>P.aeruginosa</i>	57
35	L'effet de l'huile essentielle (HE) du romarin séché au soleil sur <i>P.aeruginosa</i>	57
36	L'effet de l'huile essentielle (HE) de la sauge séchée à l'ombre sur <i>P.aeruginosa</i>	58
37	L'effet de l'huile essentielle (HE) du romarin séché à l'ombre sur <i>P.aeruginosa</i>	58
38	L'effet de l'huile essentielle de la sauge séchée au micro-onde sur <i>P.aeruginosa</i>	58
39	L'effet de l'huile essentielle du romarin séché au micro-onde sur <i>P.aeruginosa</i>	58

Liste des Tableaux

N°	Titres des Tableaux	Pages
01	Classification botanique de <i>Rosmarinus officinalis</i> L. (Quezel et Santa, 1963).	26
02	Les noms communs de <i>Rosmarinus officinalis</i> L.	27
03	Composants principaux de l'huile essentielle de <i>Rosmarinus officinalis</i> (Wollinger <i>et al.</i> , 2016).	28
04	Classification botanique de la sauge (Cronquist, 1968).	32
05	Composition de l'huile essentielle de <i>Salvia officinalis</i> (Wolter, 2007).	33
06	Quelques caractéristiques des espèces : <i>Salvia officinalis</i> L et <i>Rosmarinus officinalis</i> L	39
07	Le matériel de laboratoire utilisé	40
08	Les valeurs du poids sec et le ratio au temps constant de séchage de la sauge et le romarin	48
09	Moyenne des diamètres des zones d'inhibition de croissance de <i>Escherichia coli</i> et <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (Traitement à l'HE de <i>Salvia officinalis</i> L)	55
10	Moyenne des diamètres des zones d'inhibition de croissance de <i>Escherichia coli</i> et <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (Traitement à l'HE du <i>Rosmarinus officinalis</i> L)	55
11	Pourcentage (%) moyen de sensibilité bactérienne après traitement à l'HE de la sauge vis-à-vis des types de séchage	59
12	Pourcentage (%) moyen de sensibilité bactérienne après traitement à l'HE du romarin vis-à-vis des types de séchage	60

Remerciement	
Les dédicaces	
Résumé	
Liste des abréviations	
Listes des Figures	
Liste des Tableaux	

Table des Matières

Introduction.....	1
-------------------	---

Partie théorique. Synthèse bibliographique

1. Plantes médicinales et phytothérapie

1. 1. Généralité.....	4
1. 2. Histoire des plantes médicinales.....	4
1. 3. Définition des plantes médicinales.....	5
1. 4. Les composants chimiques des plantes médicinales.....	6
1. 4. 1. Définition du principe actif.....	6
1. 4. 2. Les composés du métabolisme primaire.....	6
1. 4. 3. Les composés du métabolisme secondaire.....	7
1. 5. La phytothérapie.....	10
1. 5. 1. Principe de la phytothérapie.....	11
1. 5. 2. Intérêt de la phytothérapie.....	11
1. 5. 3. La phytothérapie dans la civilisation indienne et sumérienne.....	12
1. 5. 4. La phytothérapie dans la civilisation égyptienne.....	12
1. 5. 5. La phytothérapie dans la civilisation chinoise et indienne.....	12
1. 5. 6. La phytothérapie dans la civilisation grecque et romaine.....	13
1. 5. 7. La phytothérapie dans la civilisation arabo-musulmane.....	13
1. 6. Généralités sur le séchage des plantes aromatiques et médicinales.....	14
1. 6. 1. Définition du séchage.....	14
1. 6. 2. Séchage des plantes aromatiques et médicinales (PAM).....	15
1. 6. 3. Influence du séchage sur la qualité des plantes médicinales.....	15
1. 6. 4. Différents procédés de séchage.....	16
a. Séchage solaire sous serre.....	17

b. Séchage par ébullition.....	17
c. Séchage sous vide par micro-onde et haute fréquence.....	17
d. Séchage par lyophilisation.....	17
e. Séchage solaire.....	17
1.7. Plantes sources de danger.....	19

2. Antibio-résistance

2. 1. Microorganisme et pathologie.....	20
2. 2. Définition de l'antibiotique.....	20
2. 3. Critères de classification des antibiotiques.....	20
2. 4. La résistance aux antibiotiques.....	21
2. 5. Définition de la bactérie.....	21
2. 6. Structure des bactéries.....	22
A) Bactéries à Gram positif.....	22
B) Bactéries à Gram négatif.....	22

3. Présentation des espèces végétales : le romarin (*rosmarinus officinalis* L) et la sauge (*Salvia officinalis* L)

3. 1. L'importance de la famille Lamiacée.....	24
3. 2. Présentation du romarin (<i>Rosmarinus officinalis</i> L.).....	24
3. 2. 1. Description botanique.....	24
3. 2. 2. Classification systématique.....	26
3. 2. 3. Noms vernaculaire.....	26
3. 2. 4. Répartition géographique.....	27
3. 2. 5. Composition phytochimique.....	27
3. 2. 6. L'huile essentielle de romarin.....	27
3. 2.7. Usages du romarin.....	28
A. Usages traditionnels.....	28
B. Usages modernes.....	28
3. 3. Présentation de la sauge (<i>Salvia officinalis</i> L).....	29
3.3.1. Définition.....	29
3. 3. 2. Dérivation du nom.....	30

3. 3. 3. Noms vernaculaire.....	30
3. 3. 4. Description botanique.....	30
3. 3. 5. Classification.....	32
3. 3. 6. Répartition géographique.....	32
3. 3. 7. Composés chimiques.....	32
A. Composés phénoliques.....	32
B. Terpènes.....	32
C. Huiles essentielles.....	33
3. 3. 8. Principaux usages traditionnelle de la sauge.....	33
A. Usages pharmaceutiques.....	33
B. Usages cosmétologiques.....	34
C. Usages alimentaires.....	34
3. 3. 9. La toxicologie.....	34

Partie expérimentale

Chapitre 1. Matériels et méthodes

1. 1. Généralités.....	38
1. 2. Objectif.....	38
1. 3. Matériels biologique.....	38
1. 4. Matériels de laboratoire.....	40
1. 5. Méthodes.....	41
1. 5. 1. Séchage des plantes.....	41
1. 5. 2. Extraction de l'huile essentielle.....	41
1. 5. 3. Activité antibactérienne de l'extrait végétal.....	43
1. 5. 3. 1. Préparation des disques.....	43
1. 5. 3. 2. Préparation de la gélose nutritive (GN).....	43
1. 5. 3. 3. Préparation de BN (bouillon nutritif).....	43
1. 5. 3. 4. Activation de la souche.....	44
1. 5. 3. 5. Préparation de l'inoculum.....	44
1. 5. 4. Le test antimicrobien de l'huile essentielle de la sauge et le romarin.....	44
1. 5. 4. 1. Le principe de la méthode de diffusion sur milieu gélosé.....	44
1. 5. 4. 2. Les étapes de l'antibiogramme.....	44
1. 5. 4. 3. Lecture des résultats.....	45

Chapitre 2. Résultats et interprétation

2. Résultats, interprétations et discussions.....	47
2.1. Introduction.....	47
2. 2. Le procédé de séchage.....	47
2. 3. L'effet de séchage sur la couleur.....	51
2. 4. L'Effet du séchage sur le rendement des huiles essentielles.....	52
2. 5. L'effet du séchage sur l'activité antibactérienne.....	54
Conclusion.....	63
Références bibliographiques.....	66

Introduction

Introduction

La montée de l'antibio-résistance est principalement due à la prescription immodérée et souvent inappropriée d'antibiotiques. Administrés à titre curatif ou préventif, les antibiotiques favorisent l'élimination des bactéries sensibles et la sélection des plus résistantes (Madec, 2013 ; El Amri et *al.*, 2014). Pour lutter donc contre ce phénomène de résistance, les antimicrobiens d'origine végétale ont suscité une attention particulière car depuis plusieurs années, les plantes ont été considérées comme étant un réservoir de métabolites secondaires diversifiés qui possèdent un large éventail d'activités biologiques, ces derniers ont été utilisés en particulier dans la conservation des aliments, produits pharmaceutiques, médicaments alternatifs et thérapies naturelles (Imelouane et *al.*, 2009)

De profondes modifications des métabolites secondaires peuvent intervenir lors de l'exploitation des végétaux depuis leur collecte jusqu'à leur transformation industrielle. Le mode de récolte, les conditions de transport, de séchage et de stockage peuvent générer des dégradations enzymatiques. Après la cueillette, les plantes sont soit utilisées fraîches, mais souvent elles passent à la dessiccation ; le séchage des plantes a pour intérêts d'alléger le produit et de permettre sa conservation par diminution de l'activité de l'eau. Mais en revanche, le séchage modifie le produit dans sa forme, sa texture et sa composition ce qui est souvent considéré comme un inconvénient (Hanna, 2002 ., Moghrani et *al.*, 2009).

Le séchage est une opération caractérisée par les transferts couplés de chaleur, de masse et de quantité de mouvement (Djerroud, 2010., Gevaudan, 1989). Il s'agit d'une séparation thermique, où il faut fournir l'énergie de vaporisation de l'eau pour qu'elle quitte le produit. Habituellement, pour conserver les plantes aromatiques et médicinales, le séchage traditionnel est la méthode la plus commune et fondamentale, il permet la conservation des qualités médicinales de manière simple et naturelle. Mais ce type de séchage présente des inconvénients comme la contamination de la matière végétale par des moisissures et un temps de séchage relativement long.

C'est dans ce cadre que nous avons entrepris une étude expérimentale sur trois types de procédés de séchage : le séchage au soleil, à l'ombre et au micro-ondes,

L'objectif de ce travail est d'étudier l'impact du procédé de séchage des deux espèces végétales appartenant à la famille des Lamiacées, à savoir la Sauge (*Salvia officinalis* L) et le Romarin (*Rosmarinus officinalis* L) sur l'activité antibactérienne des deux souches

bactériennes , *Escherichia coli* et *Pseudomonas Pseudo aeruginosa* . L'extraction des huiles essentielles a été effectuée par entraînement à la vapeur d'eau et le rendement en huile essentielle ainsi que la cinétique de séchage a été évaluée

A travers cette étude, nous présentons :

- ✓ En première partie de synthèse bibliographique, des généralités portant sur les plantes médicinales et phytothérapie dont le séchage et conservation ont été développés, des généralités sur l'Antibio-résistance ainsi que la présentation des espèces végétales, la sauge et le romarin

- ✓ En deuxième partie expérimentale nous décrivons dans le chapitre 1 , l'approche méthodologique appliquée pour le procédé de séchage, pour la technique d'extraction des huiles essentielles, et pour l'activité antimicrobienne

- ✓ Le chapitre 2 de la partie expérimentale est consacré à la présentation de l'ensemble des résultats obtenus avec leurs interprétations et discussions.

Partie Théorique

Synthèse bibliographique



1. Plantes médicinales et phytothérapie

1. 1. Généralité

Depuis des milliers d'années, l'homme a utilisé les plantes trouvées dans la nature pour traiter et soigner des maladies (Sanogo, 2006). L'utilisation des plantes en phytothérapie est très ancienne et connaît actuellement une région d'intérêt auprès du public, selon l'organisation mondiale de la santé (O.M.S.,2003) environ 65- 80% de la population mondiale a recours au médecine traditionnelle pour satisfaire ses besoins en soins de santé primaire, en raison de la pauvreté et du manque d'accès à la médecine moderne (Rokia et *al* , 2006).

Les plantes médicinales sont importantes pour la recherche pharmacologique et l'élaboration des médicaments, non seulement lorsque les constitutions des plantes sont utilisés directement comme agent thérapeutique, mais aussi comme matière première pour la synthèse des médicaments ou comme modèle pour les composés pharmaco-logiquement actifs (Ameenah, 2006).

Les plantes médicinales constituent un patrimoine précieux pour l'humanité et plus particulièrement pour la majorité des communautés démunies des pays en voie de développement qui en dépendent pour assurer leurs soins de santé primaires et leurs substances, elles utilisent la plupart des espèces végétales, tant ligneuses qu'herbacées comme médicaments, une croyance bien répondue est que toute plante soigne. Plus de 80 % des populations africaine ont recours à la médecine et à la pharmacopée traditionnelle pour faire face aux problèmes de santé, le continent africain regroupe des plantes médicinales très diversifiées. En effet sur les 300.000 espèces végétales recensées sur la planète, plus de 200.000 espèces vivent dans les pays tropicaux d'Afrique et ont des vertus médicinales. Les plantes médicinales demeurent encore une source de soins médicaux dans les pays en voie de développement en l'absence d'un système médicinale moderne (Salhi et *al*, 2010).

1. 2. Histoire des plantes médicinales

L'homme a toujours utilisé les plantes à des fins thérapeutiques. L'emploi de ces plantes est très valorisé dans toutes les traditions médicales, il y a deux cents ans encore les moyens thérapeutiques naturels étaient les seuls remèdes dont disposait l'humanité. Leur utilisation et leurs effets ont donc été minutieusement étudiés, documentés et développés. (Grünwald et Jänicke, 2006)

Les soins par les plantes, aussi appelées phytothérapie, est une science millénaire très ancienne basée sur un savoir empirique qui s'est transmis et enrichi au fil d'innombrables générations. Il

est très difficile d'établir avec précision l'origine de la première utilisation des plantes par les humains comme thérapie car toutes les cultures les ont utilisées à un moment de leur histoire comme source de traitement ; La phytothérapie a été pendant des siècles, utilisées par les chamans, les druides et les prêtres dans leurs pratiques mystiques et c'est au fil des siècles que l'homme a su exploiter les vertus thérapeutiques des plantes (Iserin et al, 2001).

1. 3. Définition des plantes médicinales

Une plante médicinale est une plante dont les organes : les feuilles l'écorce ou fruits etc. possèdent des vertus curatives et parfois toxiques selon son dosage. Il existe une définition officielle des plantes médicinales, c'est ceux qui ont une inscription à la pharmacopée. Selon le code de la santé publique la pharmacopée les considère comme médicaments, leur vente est le monopole des pharmaciens et des herboristes. De ce fait on appelle une plante médicinale toute plante ayant des propriétés thérapeutiques. Actuellement ; la thérapeutique a beaucoup évolué et a utilisé la plante comme matière première pour la production des médicaments (Chevallier, 2001). En d'autres termes nous pouvons dire qu'une plante médicinale est une plante dont un des organes par exemple la feuille ou l'écorce, possède des vertus curatives lorsqu'il est utilisé à un certain dosage et d'une manière précise. Au Moyen Âge, on parlait de "simples" (Kunkele et Lobmeyer, 2007).

On peut distinguer deux types de plantes médicinales : En premier lieu se trouve l'allopathie dans laquelle les plantes ont une action importante et immédiate. Beaucoup des plantes utilisées dans ce mode de traitement peuvent s'avérer toxiques. En effet deux tiers des médicaments sur le marché sont d'origine naturelle, principalement végétale (Zahalka, 2005). Puis on différencie les plantes dépourvues d'effet iatrogène mais ayant une activité faible. Elles sont utilisées en l'état ou dans des fractions réalisant le totum de la plante, soit la totalité des constituants. La plante, organisme vivant, marque son identité par des spécificités morphologiques, à l'origine de la classification botanique et biochimiques, liées à des voies de biosynthèses inédites, représentant l'intérêt de l'usage des plantes médicinales. Les plantes médicinales appartiennent à la Pharmacopée française qui les répertorie dans ses différentes éditions, et dont la liste, révisée en 2000, est publiée dans la Xème édition. Edition officielle, elle reprend les plantes de l'ancienne liste rédigée en 1979 et déjà publiée dans la IXème édition en janvier 1993 (Zahalka, 2005)

Le médicament à base de plantes est un "complexe" de molécules, issu d'une ou plusieurs espèces végétales. De nombreuses formes galéniques sont aujourd'hui proposées, certaines plus innovantes que d'autres, laissant l'infusion originelle plus ou moins désuète. Pourtant ces

changements de forme peuvent parfois cacher des modifications quant à l'action sur le métabolisme ou la biodisponibilité des principes actifs (Boussouf et al , 2020) .

1. 4. Les composants chimiques des plantes médicinales

1.4. 1. Définition du principe actif

C'est une molécule présentant un intérêt thérapeutique curatif ou préventif pour l'Homme ou l'animal. Le principe actif est contenu dans une drogue végétale ou une préparation à base de drogue végétale utilisée seule ou avec des excipients pour la préparation des médicaments. Une drogue végétale en l'état ou sous forme de préparation est considérée comme un principe actif dans sa totalité, que ses composants ayant un effet thérapeutique soient connus ou non (Pelt, 1980).

1.4. 2. Les composés du métabolisme primaire

Les premiers produits de photosynthèse sont des substances de bas poids moléculaires tels : les sucres ; les acides gras et les acides aminés.

❖ Les lipides

Sont des substances naturelles, constituées d'esters, d'un alcool ou d'un polyol et d'acides gras. Ce sont des substances hydrophobes et parfois amphiphiles, solubles dans les solvants organiques polaires et apolaires et sont non volatils. Ils rentrent dans les constituants de structures cellulaires tels : les glycolipides, les phospholipides membranaires, ils savent aussi être des éléments de revêtement comme les cires ou les cutines, toutefois aussi des substances de réserves, sources d'énergies (Bruneton, 1999).

❖ Les glucides

Ce sont des composés universels du monde vivant, chez les végétaux parfois appelés hydrates de Carbone (ce sont des composés organiques carbonylés poly hydroxylés). Ils représentent pour les végétaux : Un moyen de stockage de l'énergie solaire, ils forment le groupe le plus important, sous forme de polymères (amidon) ; Des éléments de soutien, ils participent à la structure du végétal (cellulose...) ; constituants de métabolites (les enzymes, acides nucléiques ...) ; Des précurseurs des autres métabolites (Bruneton, 1999).

❖ Les protéines

Constituées principalement d'acides aminés, elles jouent un rôle fonctionnel (les enzymes) et un rôle dans la structure du végétal. Le rôle diététique des protéines végétales est loin d'être négligeable mais également leur utilisation en pharmacie aussi bien dans le domaine médicale ou industriel (chimique ou agroalimentaire) (Bruneton, 1993).

1. 4. 3. Les composés du métabolisme secondaire

En dehors des principes issus du métabolisme de base comme les glucides, les lipides, les protides et qui sont retrouvées de façon universelle chez tous les êtres vivants, d'autres principes sont retrouvés également et qui sont spécifiques d'une famille de plantes et parfois d'une seule plante. Ceci permet de dire que les plantes sont de véritables usines chimiques et dont les propriétés thérapeutiques sont liées à l'un des constituants ou parfois ou souvent à l'association de ceux-ci

❖ Les alcaloïdes

Initialement définis comme des substances naturelles azotées à réaction basique fréquente issus d'acides aminés. D'origine naturelle et de distribution restreinte, les alcaloïdes ont une structure complexe : leur atome d'azote est inclus dans un système hétérocyclique et ils possèdent une activité pharmacologique significative, pour certains auteurs, ils sont issus du seul règne végétal. En général, ils portent le nom du végétal qui les contient (Kunkele et Lobmeyer, 2007). Tous les alcaloïdes ont une action physiologique intense, médicamenteuse ou toxique. Très actifs, les alcaloïdes ont donné naissance à de nombreux médicament (Ali-Delille, 2013). Ils existent à l'état de sels et l'on peut ajouter qu'ils sont bio-synthétiquement formés à partir d'un acide aminé. Ces éléments caractérisent ce que l'on peut appeler les alcaloïdes vrais. Le plus souvent, Les pseudo-alcaloïdes présentent toutes les caractéristiques des alcaloïdes vrais mais ne sont pas des dérivés des acides aminés.

Les alcaloïdes possèdent des effets thérapeutiques variés : Action dépressive (morphine, scopolamine...) ou stimulante (caféine, strychnine) sur le système nerveux centrale ; Action sympathomimétique (éphédrine) ou sympatholytique (yohimbine, certains alcaloïdes de l'ergot de seigle), parasymphatomimétique (physostigmine, pilocarpine), anti cholinergique (atropine, hyoscyamine) ou ganglioplégique (nicotine, spartéine) sur le système nerveux autonome ; Action anti tumorale (vinblastine, ellipticine) ; Action curarisante, anesthésique locale (cocaïne) ; Action antifibrillante (quinidine) ; antipaludique (quinine) et amibicide (émétine). Ce qui conduit à une large utilisation des plantes à alcaloïdes dans différents traitements soit sous forme de préparations galéniques ou comme matières premières pour les extractions industrielles, mais un usage qui reste délicat suite à leurs puissants effets (Bruneton, 1999)

❖ Les tanins

C'est un terme provient d'une pratique ancienne qui utilisait des extraits de plantes pour tanner les peaux d'animaux (Hopkins, 2003). Ce sont des composés phénoliques hydrosolubles ayant une masse moléculaire comprise entre 500 et 3000 qui présentent avec les réactions classiques

des phénols, la propriété de précipiter les alcaloïdes, la gélatine et d'autres protéines. Il existe deux catégories : les tanins condensés (proanthocyanidols) et les tanins hydrosolubles (tanins galliques et ellagiques) qui diffèrent par leur structure chimique et l'origine biogénique. Cette substance possède en outre des propriétés antiseptiques mais également antibiotiques, astringentes, anti-diarrhéiques, anti-inflammatoires, hémostatiques et Vasoconstrictrices (diminution du calibre des vaisseaux sanguins). Les plantes contenant du tanin sont par exemple le chêne (Kunkele et Lobmeyer, 2007).

La majorité des propriétés biologiques des tanins sont liées au pouvoir de former des complexes avec les macromolécules particulièrement avec les protéines (enzymes digestives et autres, protéines fongiques ou virales). Il en est de même des problèmes qu'ils peuvent poser dans l'industrie agroalimentaire (trouble dans les bières), ou en agriculture (valeur nutritive des fourrages, formation des acides humiques).

Par voie externe, ils imperméabilisent les couches externes de la peau et des muqueuses protégeant ainsi les couches sous-jacentes ; elles ont un effet vasoconstricteur sur les petits vaisseaux superficiels également. Les tanins favorisent la régénération des tissus en cas de blessure superficielle ou de brûlures.

❖ Les flavonoïdes

Ils sont à l'origine de la coloration des feuilles, fleur, fruit ainsi que d'autres parties végétales. Les trois groupes principaux existants sont les flavanols, flavonones et flavones (Kunkele et Lobmeyer, 2007). Les flavonoïdes sont des antibactériennes (Wichtl et Anton, 2003). Les propriétés des flavonoïdes sont aujourd'hui largement étudiées dans le domaine médical : activité antivirale, anti tumorale, anti inflammatoire, anti allergique et anticancéreuse (Bessas et al, 2008), antioxydants d'où leur usage pour le maintien d'une bonne circulation, veinotrope et protecteurs capillaires, hepatoprotecteurs et antithrombiques

Les flavonoïdes lato sensu sont des pigments presque universels des végétaux. Quasiment toujours hydrosolubles, ils sont responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles, tel les flavonoïdes jaunes (chalcones, aures, flavonols), les anthocyanosides rouges, bleus ou violets. Les flavonoïdes sont également présents dans la cuticule foliaire et dans les cellules épidermiques des feuilles, assurant ainsi la protection des tissus contre les effets nocifs du rayonnement ultraviolet (Bruneton, 1999). Retrouvés généralement dans les plantes vasculaires où ils peuvent se localiser différentes parties de la plante telle les racines, tiges, feuilles, fleurs et les fruits (Laurant-Berthoud, 2013). Plus de 4 000 des flavonoïdes, ont une origine biosynthétique commune et de ce fait, possèdent le même élément structural de base, à savoir l'enchaînement 2-phénylchromane. Ils peuvent être regroupés en une douzaine de classes

selon le degré d'oxydation du noyau pyranique central, lequel peut être ouvert et re-cyclisé en un motif furanique (Bruneton, 1999). Se répartissant en plusieurs classes de molécules, les plus importantes sont les flavonols, les flavanones, les dihydroflavonols, les isoflavones, les isoflavanones, les anthocyanes et les chalcones

❖ Les phénols

Sont des petites molécules constituées d'un noyau benzénique et au moins d'un groupe hydroxyle, ils sont solubles dans les solvants polaires, leur biosynthèse dérive de l'acide benzoïque et de l'acide cinnamique (Wichtl et Anton, 2003). Les phénols possèdent des activités anti-inflammatoires, antiseptiques et analgésiques (Iserin et *al*, 2001).

❖ Les huiles essentielles

Les huiles essentielles sont définies ainsi à la pharmacopée européenne (2008) « Produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale botaniquement définie, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par distillation sèche, soit par un procédé mécanique approprié sans chauffage. Ce sont des molécules à noyau aromatique, à caractère volatil offrant à la plante une odeur caractéristique. On trouve ces molécules dans les organes sécréteurs. Les huiles essentielles jouent un rôle de protection des plantes contre un excès de lumière et attirent les insectes pollinisateurs ; elles sont utilisées pour soigner des maladies inflammatoires telles que les allergies, eczéma, et soulagent les problèmes intestinaux), elles sont largement utilisées par l'homme dans ses pratiques pour se parfumer, aromatiser la nourriture et pour se soigner. Elles possèdent de nombreuses propriétés biologiques utilisées comme antiseptiques et antimicrobiens dans diverses infections (Iserin et *al*, 2001) .

❖ Les terpènes

Les terpènes présentent un vaste groupe de produits naturels largement répandu dans le règne végétal et animal, renfermant des molécules très volatiles. Les terpènes ont une structure de base non aromatique renfermant uniquement du carbone, De l'oxygène ainsi que de l'hydrogène. Les terpènes et stéroïdes ont une structure de base non aromatique, ils ont aussi un point commun essentiel formés par l'assemblage d'un nombre entier d'unités pentacarbonnées ramifiées dérivées du 2-méthylbutadiène (Bruneton, 1999)

❖ Les saponosides

Appelés aussi saponines, vient du latin « sapo » qui signifie savon et « oside » qui signifie sucre, ce sont des substances glycosidiques végétales, ayant la particularité de se mousser en présence de l'eau et ce par leur effet tensioactif (par diminution de la tension superficielle entre les particules d'eau). Les saponines constituent un vaste groupe d'hétérosides très fréquents chez

les végétaux. Ils sont caractérisés par leurs propriétés tensio-actives, ils se dissolvent dans l'eau en formant des solutions moussantes. C'est d'ailleurs sur leur tensioactivité qu'est fondée l'utilisation multiséculaire de certaines drogues qui en refferment : la saponaire (*Saponaria officinalis* L.), saponis (le savon), pendant longtemps, constitué dans nos régions un détergent ménager d'usage courant tout comme l'ont été, sous les tropiques, les fruits de divers « savons indiens » (sapa + India ->Sapindus) : *S. sapanaria* L., *S. marginatus* Willd. La plupart des saponosides possèdent des propriétés hémolytiques et sont toxiques à l'égard des animaux à sang froid, principalement les poissons ; Leur propriété hémolytique leur permet d'interagir avec les stérols de la membrane érythrocytaire, cette interaction induit une augmentation de la perméabilité membranaire et un mouvement des ions le sodium et l'eau entrent, le potassium fuit, la membrane éclate, permettant ainsi la fuite de l'hémoglobine. Mais aussi assurent la défense du végétal contre l'attaque microbienne ou fongique (Bruneton, 1999).

1. 5. La phytothérapie

Le terme phytothérapie provient du grec, il est composé de deux mots : « phyto » signifiant plante et « thérapie » signifiant traitement. L'association des deux mots signifie donc traitement par les plantes (Baba, 2000). La phytothérapie est la science des plantes médicinales ou la médication par les plantes, c'est l'une des sources de traitement des maladies qui demeurent basé sur l'observation ou l'analyse vient confirmer ce qu'on observe depuis déjà des millénaires (Provost, 1991). La phytothérapie ne doit pas évoquer l'exotisme car plus de 50% des médicaments dans toutes les nations occidentales sont à base des plantes.

On distingue deux types de phytothérapies :

❖ La phytothérapie traditionnelle

C'est une thérapie de substitution qui a pour but de traiter les symptômes d'une affection. Ses origines peuvent parfois être très anciennes et elle se base sur l'utilisation de plantes selon les vertus découvertes empiriquement Elles concernent notamment les pathologies saisonnières depuis les troubles psychosomatiques légers jusqu'aux symptômes hépatobiliaires, en passant par les atteintes digestives ou dermatologiques (Rédaction, 2007).

Les indications qui s'y rapportent sont de première intention, propres au conseil pharmaceutique Elles concernent notamment les pathologies saisonnières depuis les troubles psychosomatiques légers jusqu'aux symptômes hépatobiliaires, en passant par les atteintes digestives ou dermatologiques. On peut citer pour exemple les graines de Chardon marie (*Silybum marianum* L.) qui sont utilisées pour traiter les troubles fonctionnels digestifs attribués à une origine hépatique. En effet cette drogue se distingue par ses propriétés hépato protectrice

et régénératrice de la cellule hépatique associées à une action cholérétique. Pline l'Ancien lui-même recommandait de prendre le jus de la plante mélangé à du miel pour "éliminer les excès de bile" (Ouis, 2015).

❖ La phytothérapie clinique

Une médecine de terrain dans laquelle le malade passe avant la maladie. Une approche globale du patient et de son environnement est nécessaire pour déterminer le traitement, ainsi qu'un examen clinique complet. Cette fois-ci les indications sont liées à une thérapeutique de complémentarité. Elles viennent compléter ou renforcer l'efficacité d'un traitement allopathique classique pour des pathologies. On va principalement agir sur les effets secondaires (Moreau, 2003).

La recherche en phytothérapie est une réalité active dans de nombreux pays, elle connaît depuis quelques années un regain de faveur non pas, dans l'opinion qui malgré les progrès en chimiothérapie lui est toujours resté fidèle pour une grande partie

L'OMS préconise formellement un renouvellement d'intérêt pour les plantes médicinales et des remèdes traditionnels en proposant aux pays concernés une aide afin de promouvoir des programmes de santé mieux adaptés aux réalités socio-économique (Valnet, 1983).

1. 5. 1. Principe de la phytothérapie

La phytothérapie repose sur l'utilisation de plantes médicinales à des fins thérapeutiques. En médecine classique, les fabricants pharmaceutiques extraient le principe actif des plantes pour en faire des médicaments. La logique de traitement est également différente entre la médecine classique et la phytothérapie. La médecine moderne est substitutive, c'est-à-dire que les médicaments classiques régularisent les fonctions de l'organisme et le soulagent du besoin de s'auto guérir. En phytothérapie, les plantes sont également utilisées comme des médicaments pour réguler les fonctions du corps. Selon les phytothérapeutes, une maladie ne survient pas par hasard. Elle est la conséquence d'un déséquilibre interne à l'organisme qui doit en permanence s'adapter à son environnement. La phytothérapie s'attache à analyser les systèmes constitutifs de l'organisme : systèmes neuroendocrinien, hormonal, immunitaire, système de drainage... (Devoyer, 2012).

1. 5. 2. Intérêt de la phytothérapie

La phytothérapie se pratique sous différentes formes et uniquement dans le cas de maladies « bénignes ». Bien sûr, bon nombre de symptômes nécessitent des antibiotiques ou autres

traitements lourds. Dans d'autres cas, se soigner par les plantes représente une alternative reconnue par la médecine et dénuée de tout effet toxique pour l'organisme (Berlencourt, 2013).

1. 5. 3. La phytothérapie dans la civilisation indienne et sumérienne

Le premier texte connu sur la médecine par les plantes est gravé sur une tablette d'argile, rédigé par les Sumériens en caractères cunéiformes 3000 ans av. J-C. Ils utilisaient des plantes tel le myrte, le chanvre, le thym, le saule en décoctions filtrées. Le Papyrus Ebers, du XVI^e siècle av. JC est le premier recueil connu consacré aux plantes médicinales (Adenot, 2009). L'Inde est citée à de nombreuses reprises comme étant le berceau de l'utilisation des plantes à des fins thérapeutiques. L'Ayurveda de son nom signifiant « le savoir (veda) sur la longévité (âjur) a fait mention utiliser incluant l'utilisation de préparations à base de plantes dénommées Rasayanas. La médecine ayurvédique demeure une forme de médecine traditionnelle encore utilisée en Inde (Pfeifer, 2008).

1. 5. 4. La phytothérapie dans la civilisation égyptienne

La phytothérapie s'est aussi développée en Egypte pharaonique et s'est étendue au-delà de ses frontières. Le papyrus Ebers, datant de 1500 ans avant J-C, en est une source importante Il regroupe plusieurs centaines de drogues d'après les hiéroglyphes, près de 100 pages traitant des maladies et leurs remèdes par les végétaux. De loin le plus volumineux connu de l'Égypte ancienne avec « 110 pages », il fait référence à de plus anciens documents citant des dizaines de plantes accompagnées d'un mode d'utilisation (Bruel, 2015).

En Egypte, vers 2700 avant Jésus Christ, les plantes aromatiques étaient vendues à prix d'or. Les Egyptiens fabriquaient des produits aromatiques comme huiles, eaux parfumées, produit de beauté, mais aussi des préparations destinées à l'embaumement des momies. Les rempiles recelaient de véritables laboratoires de parfums et de nombreuses recettes sont parvenues jusqu'à nous sous forme de hiéroglyphes. Mais beaucoup d'entre elles reste énigmatiques jusqu'à ce jour et font l'objet beaucoup de sujets de recherches (Bruneton, 1999).

1. 5. 5. La phytothérapie dans la civilisation chinoise et indienne

D'après l'historique des plantes médicinales, la Chine fut le berceau de la phytothérapie. L'empereur Chen-Nong (2800 avant Jésus Christ) consigne sa connaissance des plante médicinales dans un livre, le Pen Ts'ao qui regroupe plus de cent plantes. Ce livre fera autorité jusqu'au 16^e siècle ou il est revu et corrigé par un médecin et pharmacologue Li Che Tehen qui recense alors 1000 plantes médicinales. En Chine, la médecine traditionnelle repose sur une riche tradition ancestrale tirant ses origines de nombreux empereurs tels que Shennong, Xiao

Zong... etc., La pharmacopée chinoise regroupe 15000 formules concernant 20000 plantes, La médecine traditionnelle chinoise reste omniprésente et en coexistence avec la médecine occidentale, conventionnelle et fait partie du système de santé chinois et représente 40 % des soins administrés (Zeghlache et Zid elkhir, 2021). En Inde, L'Ayurveda, le livre sacré écrit par Bahamas révèle les secrets de la langue vie grâce aux plantes aromatiques aux usages thérapeutique et culinaire. Trente siècles avant notre, célèbre médecin connaissait déjà l'Art de l'usage des plantes aromatiques pour la santé et la diététique (Chevallier et Crouzet-Segarra, 2004)

1. 5. 6. La phytothérapie dans la civilisation grecque et romaine

Chez les grecs et les romains, sont retrouvées également des traces d'utilisation de plantes 500 ans avant J-C, les écrits d'Hippocrate montrent que la phytothérapie faisait partie intégrante à la médecine grecque et introduisit les bases de la médecine scientifique en donnant ainsi des explications scientifiques et rationnelles aux maladies plutôt que des explications magiques. D'autres personnages ont aussi marqué cette période : Aristote, Théophraste... etc., Les romains (Pline l'Ancien, Galien... etc.) reprirent les méthodes grecques utilisées et les complétèrent. Mais l'ouvrage le plus marquant reste celui de Discorde : *Materia Medica* (matière médicale) et qui fut le premier herbier rédigé en Europe et traduit en plusieurs langues, et qui demeura une source très importante et très consultée par les médecins de l'époque (Chabrier, 2010). Ils consommaient beaucoup d'épices et de plantes aromatiques, des ouvrages comme *Histoire Naturelle universelle* (Pline L'Ancien à et *DE Materia Medica* où sont recensées 519 espèces de plantes (Dioscoride médecin 1er siècle après Jésus Christ), cet ouvrage fait autorité pendant plus de 1000 ans. Les romains usaient quotidiennement de bains aromatiques, lotions, onguents, crèmes parfumées. En Amérique, les Aztèques, les Mayas, les Incas et les habitants de la forêt tropicale avaient une parfaite connaissance des plantes médicinales et aussi des drogues et plantes toxiques (Bruneton, 1999).

1. 5. 7. La phytothérapie dans la civilisation arabo-musulmane

Après les chutes des empires romains et perses, les musulmans héritèrent des connaissances accumulées dans l'extrême orient et dans la méditerranée, parce que comme pour les grecs, l'extension de l'islam par les arabes dans un grand espace allant de l'Inde à l'Europe, durant cette période que beaucoup de livres ont été traduits du grec, du latin et du perse. Parmi les musulmans qui ont largement opéré ces traductions, qui sont en nombre de 230 manuscrits. Nous citons Abou Bakr Mohamed Ibn Zakaria El Razi (865-925), connu sous le nom de Razès

et parmi ses écrits, il y a le livre El Haoui (Les contenances) qui fut un récapitulatif de toutes les connaissances depuis Hippocrate ; Après Razès, le plus célèbre des médecins musulmans est Avicenne de son vrai nom Abu Ali Ibn Sina (980-1037), qui dès l'âge de 17 ans, s'adonna à la médecine et il écrivit son célèbre livre intitulé El Kanoun fi Tib, traduit partout dans le monde et utilisé comme référence jusqu'à nos jours .

Concernant les arabes et les musulmans en particulier ; ils ont développé la médecine d'une façon très surprenante. Rappelons : Djaber Ibn Hayan et Abu bakrArazi ou Rhazes (865-925), persan d'origine, fut l'un des grands médecins de son temps. Cet érudit, qui fut directeur d'un hôpital de Bagdad au Xe siècle, a laissé une cinquantaine d'ouvrages, dont une véritable encyclopédie en 23 volumes ; il fut suivi par IBN SINA (980, 1037) qui avait décrit plusieurs traités à ce sujet, le plus célèbre s'intitule Canon de la médecine (les lois de la médecine) » , Puis Ibn Albaytar (1197-1248) qui rédigea, en Orient, le très complet Somme des Simples (livre qui contenait une liste de 1400 préparations et plantes médicinales) (Bellakhdar, 1997 ; Merouane, 2013).



Figure 1:Description de l'usage du cumin et de l'aneth "La matière médicale de Dioscoride "copie en arabe de 1334(<https://fr.wikipedia.org/wiki/Phytoth%C3%A9rapie>)

1. 6. Généralités sur le séchage des plantes aromatiques et médicinales

1. 6. 1. Définition du séchage

« On entend par séchage le procédé mis en œuvre pour éliminer un liquide (très souvent de l'eau), d'un matériau quelconque à l'aide d'un apport de chaleur. Dans une large acception du terme, on peut considérer comme méthodes de séchage celles où l'eau, sans changement d'état, est extraite par des moyens mécaniques (pressage, centrifugation,...). Ces méthodes sont

désignées par «déshydratation mécanique». Toutefois, il est d'usage de réserver le terme de séchage aux procédés thermiques qui seront seuls exposés ici » (Kechaou, 1989).

1. 6. 2. Séchage des plantes aromatiques et médicinales (PAM)

L'usage des plantes aromatiques et médicinales est considérable. D'abord comme aromatisants dans les produits alimentaires ; ensuite ce sont les propriétés médicinales, thérapeutiques et anti-inflammatoires qui justifient leur utilisation dans le domaine médical (Bellakhdar, 1997). On note également leurs activités anti-oxydantes. Si elle n'est pas séchée aussitôt après récolte, une plante fraîche s'altère rapidement. En effet, un chargement de plantes fraîches récoltées, en été par exemple, peut s'altérer en quelques heures (Archimed et Solagro, 1989). Une plante peut perdre la totalité de ses huiles essentielles (HE) si son séchage est trop lent ou lorsque la température de séchage est trop élevée. La perte en (HE) est due à leur caractère volatile. Une augmentation de température l'accélère dans la plupart des cas.

1. 6. 3. Influence du séchage sur la qualité des plantes médicinales

Les plantes aromatiques contiennent principalement des pigments chlorophylliens connus par la couleur verte qu'ils donnent aux plantes. Ces pigments s'altèrent rapidement lors du séchage par entraînement. Cette altération contribue à la formation de produits bruns appelés : phéophytines. Il existe toutefois aussi des pigments caroténoïdes qui sont masqués comme le fl-carotène, la lutéine et les xanthophylles a et b. Les principales études réalisées à ce propos, ont porté essentiellement sur le persil, la menthe poivrée, le coriandre et le basilic (Lebert et *al.* 1992). Ces plantes subissent dans la quasi-totalité des cas soit un séchage naturel par énergie solaire directe soit par entraînement d'air chaud. Les autres techniques comme le séchage par micro-ondes restent peu utilisés. Les différents prétraitements appliqués au laboratoire ou dans l'industrie sont : la sulfitation, le blanchiment et la congélation avant séchage. Les conditions de séchage, telles que la température, l'humidité et la vitesse de l'air doivent permettre d'atteindre le plus rapidement possible la teneur en eau critique pour que le produit devienne sélectif par sa perméabilité. Plus le temps nécessaire à former la couche imperméable en surface est grand, plus la perte en arômes sera importante. Lors du séchage, peuvent apparaître des modifications biochimiques du contenu cellulaire. Ces modifications sont principalement de type oxydation et hydrolyse.

(Vernon, 1978) a mis en évidence sur des lots de persil séché, que le séchage effectué à 50-60 °C entraîne des pertes en huiles essentielles de 50%. Cependant, la composition globale de cette huile n'est pas altérée. Les pertes en huiles essentielles dues au stockage de la verveine séchée

ont été rapportées par (Archimed & Solagro. 1989). Ceci explique l'importance de limiter les pertes par un conditionnement approprié du produit et par une commercialisation rapide. L'effet de la nature de l'emballage a été également noté sur la teneur en huile essentielle. (Boutnine. 1992) a observé que la conservation de la couleur de la sauge, lors du séchage par l'air chaud, est d'autant plus importante que la température de séchage est basse (Moller et al. 1989) ont rapporté que le séchage solaire préserve davantage la couleur des plantes aromatiques et médicinales et conserve l'état du produit ainsi que les composants volatils, comparativement au séchage industriel. (Zrira. 1992) a trouvé que le rendement en HE des feuilles d'Eucalyptus séchées naturellement à l'ombre pendant une semaine, est supérieur à celui des feuilles fraîches de 49 %. Le rendement en HE est ici défini comme étant le volume (en ml) d'huile essentielle extraite pour 100 g de matière sèche.

L'étude effectuée par (Zrira, 1992) montre que le rendement en huiles essentielles des feuilles d'*Eucalyptus camaldulensus* du Maroc, séchées naturellement à l'ombre pendant 16 jours est supérieur à celui des feuilles fraîches de 53 %. Enfin, dans une étude de Kouhila et al. (2001) ont montré que lors du séchage d'une plante médicinale, chacune d'elles possède un comportement cinétique qui lui est propre. En effet, ils ont observé qu'il est plus difficile de sécher la sauge officinale dont la feuille est épaisse que la verveine.

1. 6. 4. Différents procédés de séchage

Le séchage traditionnel se fait sur claies dans des locaux aérés (grange) c'est un système peu rationnel, seulement envisageable pour les petites productions ou pour des récoltes en nature (séchage lent, 15 jours. Les plantes perdent leurs éclats et les feuilles se recroquevillent). Le séchage professionnel s'opère en caisson ventilé avec l'air chauffé. Dans les grandes productions méditerranéennes où d'Europe de l'est, la chaleur est produite par combustion du mazout ou du gaz, ce qui est avantageux mais sans risque de pollution sur le produit séché. Pour garantir un produit fini biologique haut de gamme, on a opté depuis une quinzaine d'années pour le séchage électrique avec déshumidificateur utilisant une pompe à chaleur (PHC).

Ce type de séchoir a fait ses preuves tant sur la qualité du produit fini que sur la rapidité (séchage 3 à 5 jours). Néanmoins, il demeure très coûteux à l'installation et au fonctionnement. Les problèmes de la qualité du produit final et surtout de l'augmentation du prix de l'énergie, ont entraîné depuis une dizaine d'années un regain d'intérêt pour le séchage solaire, aussi bien en agriculture que dans l'industrie alimentaire. L'étude de ce système solaire devra alors

prendre en compte le fait que cette source d'énergie à caractère intermittent, offre un potentiel énergétique limité.

Les normes européennes de séchage liées à la conservation des produits agricoles sont non conformes au climat Algérien, qui dispose en général de ressources solaires importantes. L'une des multiples façons de valoriser ce gisement est la production de la chaleur à basse température, suffisante pour le séchage.

a. Séchage solaire sous serre

Il consiste à sécher le produit par la chaleur résultant de l'emprisonnement de l'air par l'effet de serre. Cette méthode nous permet de profiter bien de l'énergie solaire dans le domaine de séchage mais elle présente un grand problème qui se manifeste dans la condensation de vapeur d'eau due à sa surchauffe pendant les jours les plus ensoleillés et la diminution de la température pendant la nuit.

b. Séchage par ébullition

L'ébullition du produit s'effectue lorsque sa pression est très abaissée par rapport à la pression qui l'entoure alors il se produit une réaction de vaporisation instantanée d'où la déshydratation d'eau contenue dans le produit.

c. Séchage sous vide par micro-onde et haute fréquence

L'évaporation de l'eau est créée par l'abaissement de la pression de vapeur. Le transfert de chaleur est effectué quant à lui soit par conduction, soit par rayonnement à chaque type de rayonnement correspondant une caractéristique particulière du champ électrique, leur rendement est plus ou moins adopté à certains types des produits.

d. Séchage par lyophilisation

Il s'applique essentiellement à des produits biologiquement instables ou altérables à l'état frais, le produit est rapidement congelé et placé dans une enceinte à basse pression pour éviter sa liquéfaction (Transformation directe de l'état solide à l'état gazeux).

e. Séchage solaire

❖ Séchage solaire conventionnel (naturel)

Le séchage naturel est obtenu en exposant directement le produit au rayonnement solaire. Le produit est exposé sur un sol ou sur des nattes et exposé à l'air libre.

❖ Le séchage solaire artificiel

Le séchage solaire artificiel est réalisé dans une enceinte avec circulation naturelle ou forcée

d'air chaud. On distingue deux types de séchoirs.

❖ Le séchage direct

Le séchoir solaire direct est conçu de façon à laisser pénétrer le rayonnement solaire directement dans l'armoire de séchage. Le produit à sécher est exposé directement au rayon solaire. En pratique, ces séchoirs sont formés par un coffre isolé latéralement, la surface latérale intérieure peut être couverte par des miroirs, le haut est couvert par une vitre, la ventilation naturelle est assurée par un courant d'air : l'air froid pénètre par des trous placés à la base de séchoir, (chauffé par l'effet de serre) l'air passe par le produit à sécher et sort par des trous situés en haut du séchoir. Mais dans ce type de capteur le produit est exposé directement au rayonnement solaire donc il peut être détérioré par la température élevée et le risque de ré humidification la nuit à cause de la température relativement basse ainsi que les pertes importantes (produit exposé au rougisse). La figure (2) ci-dessous montre les éléments de ce séchoir (Ayadi, 2015)

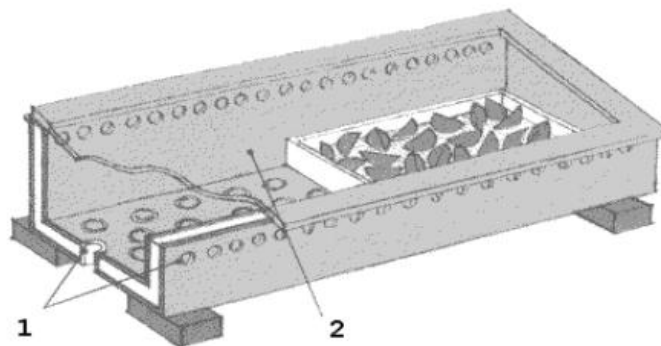


Figure 2 : Les éléments de séchoir direct (Ayadi, 2015)

1- trous d'aération (pour qu'il n'y ait pas de condensation) ; trous bas pour l'entrée d'air froid et trou haut pour la sortie d'air chaud

2- Plaque de verre ou de plastique transparent

❖ Le séchage indirect

Le séchoir indirect consiste à la production de fluide chaud qui est assurée par le capteur plan à air. En effet, le rayonnement solaire à percevoir traverse la couverture transparente échauffe l'absorbeur qui émet dans l'infrarouge puisque le verre est opaque à ce types de rayonnement, la chaleur ainsi rayonnée se trouve piégée d'où l'échauffement de fluide. En sortant de capteur le fluide est conduit vers le séchoir en passant à travers le produit à sécher (Ayadi, 2015). Selon la figure (3) ci-dessous, on peut comprendre mieux le fonctionnement de séchoir :

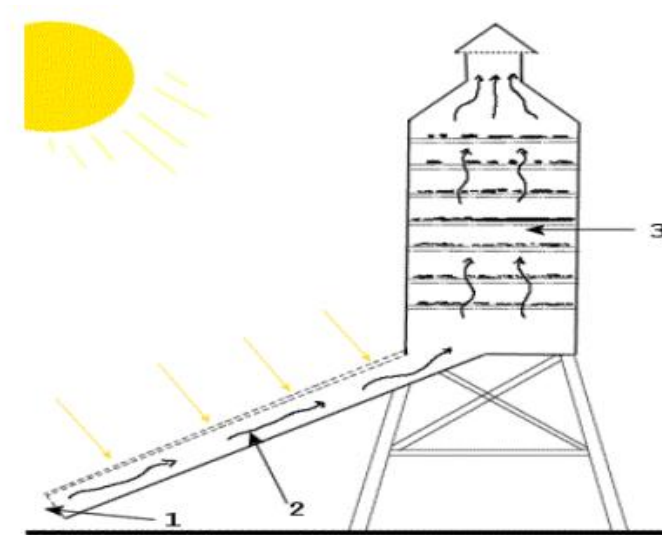


Figure 3 : Fonctionnement de séchoir indirect (Ayadi, 2015)

1- Entrée d'air 2- Echauffement d'air 3- Passage de l'air à travers le produit à sécher

1.7. Plantes sources de danger

Si les plantes sont faciles à utiliser, certaines d'entre elles provoquent également des effets secondaires. Comme tous les médicaments, les plantes médicinales doivent être employées avec précaution. Il est recommandé de n'utiliser une plante que sur les conseils d'un spécialiste ; mal dosé, l'éphédra (*Ephedra sinica*) est très toxique et la consoude (*Symphytum officinale*), une plante qui a connu, jadis, son heure de gloire, peut avoir des effets fatals dans certaines circonstances toutefois, lorsqu'un traitement à base des plantes est suivi correctement, les risques d'effets secondaires sont fort limités (Iserin, 2001).

2. Antibio-résistance

2. 1. Microorganisme et pathologie

L'organisme humain, constamment exposé à une multitude de microbes (Bactéries virus, parasites champignons) possède un système complexe de défense qui lui permet de rencontrer ou d'héberger ces microbes sans leur permettre d'envahir ses tissus. Cependant, dans certaine condition, l'infection peut entraîner une maladie infectieuse grave (Rahayour, 2002). Les maladies infectieuses causées par les bactéries et les champignons affectent des millions de personne dans le monde entier, et causent de lourdes pertes à l'économie. Aux Etat Unis seuls, ces pertes sont d'environ 20 billions de dollars par an. De nombreux programmes été conduits pour et développer de nombreux agents antimicrobiens d'origine biologique. Ainsi 27 antibiotiques et 12 antifongiques étaient en développement en 1998 contre les infections bactériennes et fongiques Ceci illustre l'effort sérieux exercé pour la lutte contre les maladies infectieuses (Rahayour, 2002).

2. 2. Définition de l'antibiotique

Un antibiotique, d'après le Dictionnaire de Biologie de Jacques Berthet . Est "une substance ayant la capacité de tuer les bactéries (effet bactéricide) ou d'inhiber leur multiplication (effet bactériostatique).

En 1957 Turpin et Velu ont défini un antibiotique comme étant tout composé chimique, élaboré par un organisme vivant ou produit par synthèse, à coefficient chimio thérapeutique élevé dont l'activité thérapeutique se manifeste à très faible dose d'une manière spécifique, par l'inhibition de certains processus vitaux, à l'égard des virus, des microorganismes ou même de certains êtres pluricellulaires (Guezlane et *al.*,2016).

a) Formes d'administration des antibiotiques

- **Voie orale** : comprimés, sachets, gélules, sirop
- **Voie injectable** : intraveineuse, intramusculaire
- **Voie locale** : collyre, pommade, poudre ... ect

2. 3. Critères de classification des antibiotiques

La classification des antibiotiques peut se faire selon :

* **L'origine** : élaboré par un organisme (naturel) ou produit par synthèse (synthétique ou semi synthétique).

* **Le mode d'action** : paroi, membrane cytoplasmique, synthèse des protéines, synthèse des acides nucléiques.

* **Le spectre d'activité** : liste des espèces sur lesquelles les antibiotiques sont actifs (spectre étroit et large).

* **La nature chimique** : très variable, elle est basée souvent sur une structure de base (ex: cycle bêta-lactame) sur laquelle il y a ensuite hémi synthèse.

La classification selon la nature chimique permet de classer les antibiotiques en familles (bêta-lactamines, aminosides, tétracyclines ...etc).

2. 4. La résistance aux antibiotiques

La résistance aux antibiotiques est un phénomène aussi ancien que l'apparition des antibiotiques. Les antibiotiques sont au départ des substances naturelles générées par des champignons mais aussi par certaines bactéries pour se défendre contre les autres bactéries (Podie, 1999)

2. 5. Définition de la bactérie

Les bactéries sont les premières formes de vie; elles ont une capacité d'adaptation énorme et l'on en trouve plusieurs millions d'espèces sur terre (seuls quelques milliers d'entre elles seulement donnent des maladies) (Drouet E, 2012).

Ils sont généralement unicellulaires et leurs cellules sont des cellules de type procaryote, la figure (4) montre quelques bases sur la structure des bactéries. La plupart des microbes sont sans danger et beaucoup sont bénéfiques, voire indispensables (« flore » microbienne) (Drouet , 2012).

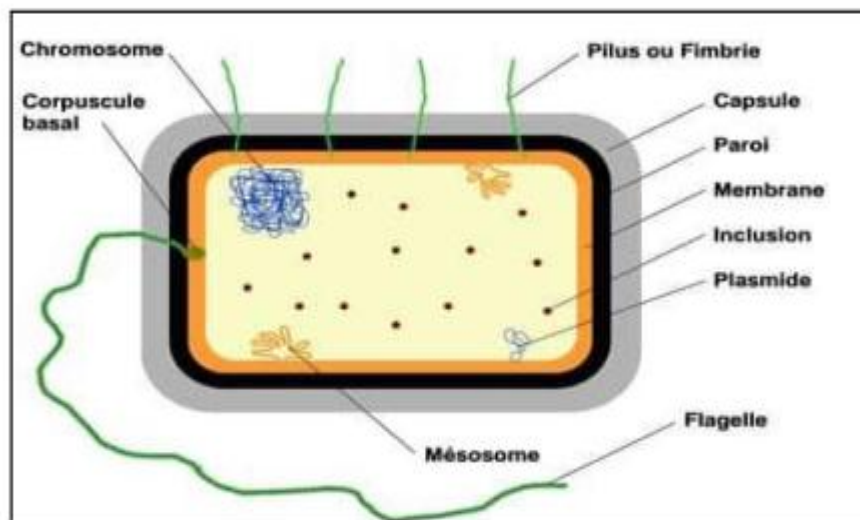


Figure 4 : Quelques bases sur la structure des bactéries (Drouet, 2012)

2. 6. Structure des bactéries

Une bactérie, c'est un micro-organisme (organisme de très petite taille) unicellulaire (formé d'une seule cellule). En fait, une bactérie est une entité complète, entourée d'une paroi cellulaire complexe, et possédant à l'intérieur de cette paroi, dans son cytoplasme, toute la machinerie nécessaire à son autonomie structurale et fonctionnelle. Les bactéries sont des organismes procaryotes, c'est-à-dire qu'ils ne contiennent pas de noyau. Le matériel génétique n'est pas séparé du reste du cytoplasme. Ce dernier contient également des ribosomes nécessaires à la fabrication des protéines suite à l'interprétation du message contenu dans le code génétique, ainsi que divers organites responsables du maintien des fonctions métaboliques de base indispensables à la survie cellulaire (Véronique, 2003).

A) Bactéries à Gram positif

Chez ces bactéries, la paroi cellulaire est constituée principalement de peptidoglycane. C'est la couche principale. L'épaisseur de cette couche est beaucoup plus importante que pour les bactéries à Gram négatif. Dans la paroi cellulaire des bactéries à Gram positif, des acides téichoïques « teichoicacid » sont imbriqués dans le peptidoglycane (Bathily, 2002) (Figure 5 et 6)

B) Bactéries à Gram négatif

Chez les bactéries à Gram négatif, la paroi cellulaire est constituée de trois couches. Les deux premières couches, les plus externes, sont composées de phospholipides et de protéines. Elles forment la membrane externe («outer membrane »). Sous cette membrane se trouve la troisième couche de la paroi, constituée d'un mince feuillet de peptidoglycane, qui ressemble beaucoup au peptidoglycane de la bactérie à Gram positif, sauf que la nature de son lien peptidique n'est pas le même. La membrane externe se distingue de la membrane cytoplasmique par sa composition, en ce sens qu'elle contient des lipopolysaccharides et des lipoprotéines. La membrane externe agit comme un tamis moléculaire, laissant circuler les molécules de poids moléculaire inférieur à 1200 daltons. C'est à travers les porines (« porin »), sorte de canaux protéiques, que ces molécules peuvent circuler (Jehl et *al.*, 2003). (Figure 5 et 6)

Gram positive	Gram négative
Très peu de lipides (1 à 2 %)	Lipides en grande quantité (10 à 20 %, Membrane externe)
Acides teïchoïques et lipoteïchoïques	Il n y a pas d'acides teïchoïques ou lipoteïchoïques
4 Acides aminés majeurs : Ala (D et L) D-Glu, L-Lys, acide diaminopomélique (DAP)	Mêmes acides aminés Beaucoup moins de DAP et de L-Lys
Osamines N-acétyl glucosamine (NAG) et Acide N-acétyl muramique (ANAM)	

Figure 5 : Présentation des différents composants de bactéries G+ et G- (Drouet , 2012)

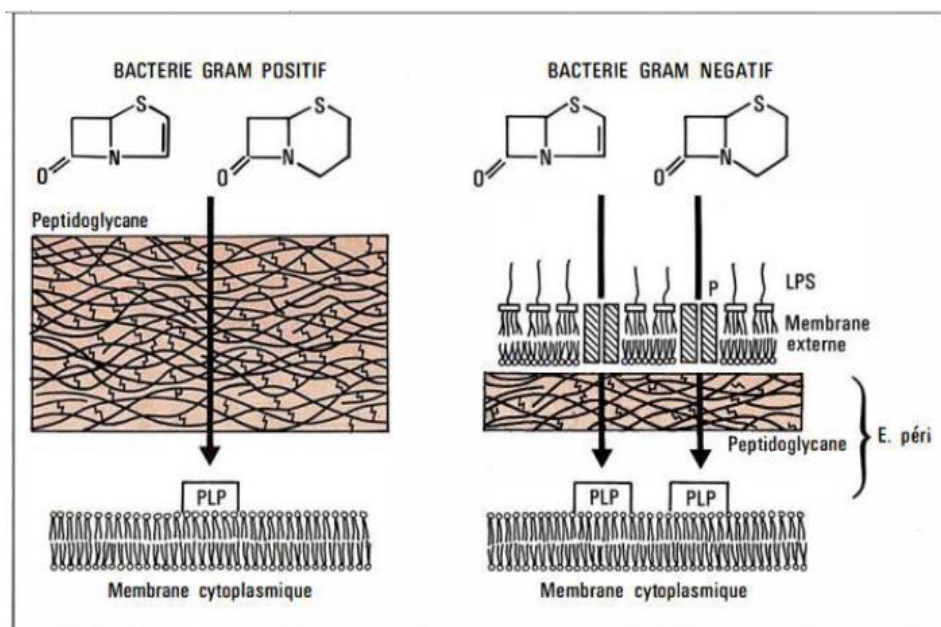


Figure 6 : Représentation schématique de la paroi des bactéries à Gram-positif et des bactéries à Gram-négatif (Médecine Science ,1987).

3. Présentation des espèces végétales : le romarin (*rosmarinus officinalis* L) et la sauge (*Salvia officinalis* L)

3. 1. L'importance de la famille Lamiacée

La famille des Lamiacées est l'une des familles de plantes à fleurs les plus grandes et les plus distinguées, comprenant environ 236 genres et 6900-7200 espèces répertoriées sur tous les continents. Le nom de famille d'origine est *Labiatae*, car les fleurs ont généralement des pétales fusionnés dans lèvre supérieure et inférieure, bien que la plupart des botanistes utilisent actuellement le nom Lamiacées (Raja, 2012). A cette famille, appartiennent une innombrable quantité de plantes odorantes et aromatiques, riches en huiles essentielles. Elles sont originaires du bassin méditerranéen, mais se trouvent dans les jardins particuliers et jardins botaniques dans toute l'Europe. Leur tige est quadrangulaire. Les fleurs sont groupées à l'aisselle des feuilles en inflorescences plus ou moins allongées ou en inflorescences plus ou moins denses (Künkele et Lohmeyer, 2007). Les lamiacées sont bien connues pour leurs huiles essentielles biologiquement actives, communes à de nombreux membres de la famille, ses herbes ornementales et culinaires telles que le basilic, la lavande, la menthe, le romarin, la sauge et le thym (Naghbi *et al.*, 2005). Plusieurs études rapportent la présence d'une grande variété de composés tels que les terpènes, les flavonoïdes et les composés phénoliques dans les plantes de cette famille. La famille Lamiacée comprend des espèces de plantes contenant de grandes quantités d'acides phénoliques, comme l'acide rosmarinique, qui ont des propriétés antibactériennes, antivirales, antioxydantes et anti inflammatoire (Naghbi *et al.*, 2005).

3. 2. Présentation du romarin (*Rosmarinus officinalis* L.)

3. 2. 1. Description botanique

Rosmarinus officinalis, communément appelé romarin appartient à la famille des Lamiacées. C'est une plante très connue dans les pays occidentaux, très cultivée dans les régions méditerranéennes (Wollinger *et al.*, 2016). C'est un arbrisseau touffu, rameux, toujours vert, d'environ 1 mètre de hauteur à tiges ligneuses (Bellakhdar, 2006) (Figure 7). Toute la plante dégage une odeur aromatique rappelant à la fois le camphre et l'encens (Debuigne et Couplan,

2009



Figure7 : plante *Rosmarinus officinalis* L

*** Feuille**

Les feuilles sont coriaces, persistantes, bords, vertes et ponctuées dessus, blanches tomenteuses à la face inférieure (Rameau *et al* 2008) (Figure 8). Elles pouvant atteindre 3cm de long et 4mm de large. Elles sont striées en raison d'une nervure médiane enfoncée

***Fleur**

Les fleurs sont réunies au sommet des rameaux, bleues pâles à blanchâtres pratiquement sessiles, disposées en petites grappes axillaires et terminales. Elles sont bractées tomenteuses lancéolées (Rameau *et al.*, 2008). (figure 8)

Zermane (2010), note que la floraison commence dès le mois de Février (ou janvier parfois) et se poursuit jusqu'au avril-mai. Ces inflorescences spiciformes portent en toute saison des fleurs subsessiles. Le calice gamosépale, bilabié en forme de cloche, possède 3 lobes. La corolle gamopétale est longuement tubuleuse avec une lèvre supérieure en forme de casque à deux (2) lobes et une lèvre inférieure à trois (3) lobes. Deux étamines saillantes dépassent largement la corolle et deux autres sont réduites à des crochets (Figure 8)



Figure 8 : morphologie des fleurs de *R. Officinalis* (Debuigne et Couplan, 2009).

***Fruit**

Le fruit est un tétrakène brun foncé, lisse et globuleux de 2 à 3 mm de long (Teuscher et *al.*, 2005). Chaque akène renferme un embryon sans albumen (Figure 9)



Figure 9 : Morphologie du fruit de romarin (Debuigne et Couplan, 2009).

***Racine**

Il possède un système racinaire dense et profond ce qui lui permet de puiser l'eau en profondeur pendant les épisodes de sécheresse (Zwicke et *al.*, 2015)

3.2.2. Classification systématique

La classification botanique du romarin est comme suit (tableau I) (Quezel et Santa, 1963) :

Tableau I : Classification botanique de *Rosmarinus officinalis* L. (Quezel et Santa, 1963).

Règne	Plantes
Embranchement	Spermaphytes
Classe	Dicotylédones
Ordre	Lamiales (Labiales)
Famille	Lamiaceae
Genre	<i>Rosmarinus</i>
Espèce	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.

3. 2. 3. Noms vernaculaire

Le romarin possède plusieurs appellations citées dans le tableau (2) en dessous.

Tableau 2 : Les noms communs de *Rosmarinus officinalis* L.

Berbère	Azir, iazirou ou yiazir (Bellakhdar, 2006).
Arabe	Iklil el jabal (Ducros, 1930).
Français	Herbe aux couronnes, romarin des troubadours, rose marine, encensier (Anton et Lobstein, 2005 .
Anglais	Rosemary (El Rhaffari, 2008).

3. 2. 4. Répartition géographique

R. Officinalis est une plante spontanée de tout le bassin méditerranéen et plus particulièrement du littoral qui demande un sol calcaire, de faible altitude, ensoleillé et modérément sec. De par ces exigences, elle est indigène des pays méditerranéens tels que, l'Italie, l'Espagne, la Tunisie, le Maroc, l'Ex-Yougoslavie, l'Albanie, l'Egypte, le Palestine, la Grèce, le Chypre et jusqu'en Asie mineure, au Portugal, au nord-ouest de l'Espagne (Greuter *et al.*, 1986). En Algérie le romarin s'étale sur une superficie excédant 100 000 hectares (Bensebia *et al.*, 2009).

3. 2. 5. Composition phytochimique

La composition du romarin est variable entre les extraits et l'huile essentielle. Concernant les extraits, les composés phytochimiques principalement présents dans *R. officinalis* sont : l'acide rosmarinique, le camphre, l'acide caféique, l'acide ursolique, l'acide bétulinique, l'acide carnosique et le carnosol (Ulbricht *et al.*, 2010 ; Begum *et al.*, 2013). Par conséquent, le romarin est principalement composé d'huiles essentielles, de di et triterpènes et de composés phénoliques (Aumeeruddy-Elalfi *et al.*, 2016)

3. 2. 6. L'huile essentielle de romarin

L'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* est généralement obtenue par distillation à la vapeur d'eau des feuilles (jusqu'à 2.5%). Elle est incolore ou légèrement jaune (Wollinger *et al.*, 2016). Les principaux constituants de cette huile sont le camphre, le 1.8-cinéole, l' α -pinène, le bornéol, le camphène et l'acétate de bornyle dans les proportions varient selon le stade végétatif et les conditions bioclimatiques (Tableau 3) (Wollinger *et al.*, 2016).

Tableau 3 : Composants principaux de l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* (Wollinger *et al.*, 2016).

Composés	Pourcentage (%) dans l'HE extraite des feuilles de la plante
1.8-cinéole	(15-30)
Camphre	(10-25)
α -pinène	(10-25)
Borneol	(3-20)
Camphène	(5-10)
Acétate de bornyle	(1-5)

3. 2.7. Usages du romarin

A. Usages traditionnels

En médecine traditionnelle, le romarin est utilisé comme cholérétique, diurétique et dans le traitement symptomatique de troubles digestifs tels que : ballonnement épigastrique, lenteur à la digestion et flatulence (Wichtl *et al.*, 2003). Ses huiles essentielles ont été utilisées pour la préparation des produits cosmétiques de haute qualité. Le romarin, en usage local, a deux indications : il est traditionnellement utilisé en cas de rhume, de nez bouché et en bain de bouche pour l'hygiène buccale (Bruneton, 2009).

B. Usages modernes

* Usages agroalimentaires

Les feuilles et les extraits de *Rosmarinus officinalis* servent d'antioxydant et de conservateur dans les charcuteries, les viandes et les produits alimentaires riches en graisses (Anton et Lobstein, 2005)..

* Usages culinaires

Le romarin, grâce à ses propriétés apéritives et digestives, est aussi utilisé en tant qu'épice. En effet, son parfum résineux rappelant le pin, sa saveur un peu amère mais très aromatique sont très appréciés. S'il est employé en grande quantité, son goût puissant peut dissimuler celui des autres ingrédients (Faucon, 2012).

*** Usages phytosanitaires**

Le romarin synthétise des polyphénols et des terpènes toxiques pour un grand nombre d'insectes. Son HE est répulsive et antiappétente pour les insectes phytophages (Regnault Roger et *al.*, 2008). Les lamiacées dont l'encensier ont le plus grand effet protecteur sur les graines des légumineuses à la fois en inhibant la reproduction de l'insecte et en provoquant sa mort.

*** Usages cosmétiques**

Selon Martini (2011), le romarin entre dans la composition de parfums surtout masculins, les eaux de Cologne, ainsi que dans la formulation des pommades dermiques. Grâce à la capacité de stimulation des terminaisons nerveuses cutanées, l'encensier est employé comme tonique dans des bains moussants, et comme liniment pour muscles fatigués à une dose de 1 à 2%. Il a des propriétés dermo-purifiantes qui permettent son utilisation dans la préparation de déodorants, lotions et shampooing

*** Usages thérapeutiques**

Les scientifiques semblent être particulièrement intéressés par trois acides présents dans le romarin : l'acide carnosique, l'acide caféique et l'acide rosmarinique. Tous ces composés ont des effets antioxydants (Al Sereiti *et al.*, 1999). L'acide carnosique favorise la perte de poids (Iberra et *al.*, 2011). L'acide caféique présent dans la plupart des plantes peut contribuer à la prévention des maladies cardiovasculaires (Olthof *et al.*, 2001). L'acide rosmarinique est capable d'augmenter la prostaglandine E2, et de réduire la production de leucotriène B4 ; une molécule de signalisation grasse ; et inhibe le système du complément (Al Sereiti *et al.*, 1999). Ces trois constituants discutés, sont également capables d'inhiber la peroxydation lipidique qui peut alors traiter l'hépatotoxicité, l'athérosclérose et les maladies inflammatoires. Ils empêchent aussi la formation de l'adduit carcinogène-ADN qui donne au romarin ses propriétés anticancérigènes (Al Sereiti et *al.*, 1999)

3. 3. Présentation de la sauge (*Salvia officinalis* L)**3. 3. 1. Définition**

La sauge officinale (*Salvia officinalis* L), appartenant à la famille des labiées (Lamiacées) est formée de petits arbustes aux fines feuilles du ventueuses, à l'odeur camphrée caractéristique. C'est une plante aromatique et médicinale assez largement utilisée soit à l'état naturel, soit sous forme d'extrait ou d'huile essentielle. A côté d'une utilisation artisanale (alimentation familiale et médecine populaire), cette plante et surtout ses huiles essentielles sont utilisées par les

industries de la parfumerie et de la cosmétologie, par l'industrie alimentaire et enfin par l'industrie pharmaceutique (Fellah et *al.*, 2006).

3. 3. 2. Dérivation du nom

Le nom du genre *Salvia* vient du latin *salvare*, qui signifie : sauver et guérir (Khireddine, 2013). Ceci est dû aux propriétés curatives de la plante, ce qui était autrefois célébré comme herbe médicinale. Ce nom a été corrompu populairement : Sauja et Sauge (la forme française), en vieil anglais : Sawge, qui est devenu le nom actuel de Sauge (Grieve, 1984).

3. 3. 3. Noms vernaculaire

Noms Communs : Herbe sacrée, thé de Grèce, herbe sage (Fabre et *al.*, 1992).

✓ Nom scientifique : *Salvia Officinalis*

✓ Nom français : Calamenthe vulgare

✓ Nom vernaculaire : Sâلمييا, Mirameya

✓ Nom français : Sauge

✓ Nom anglais : Garden sage (Ghourri, 2013)

✓ Nom arabe : الميرمية

3. 3. 4. Description botanique

Cette plante vivace à tige ligneuse à la base, forme un buisson (Figure 10), qui dépasse parfois 80 cm, rameaux vert-blanchâtre, feuilles assez grandes, épaisses, vert-blanchâtres et opposées : fleurs bleu-violacé clair en épis terminaux lâches, disposées par trois à six en verticilles espacés. Calice campanulé à cinq dents longues et corolle bilabée supérieure en casque et lèvre inférieure trilobée avec des fruits en forme de tétrakènes (Hans, 2007).

* Racines

Les racines de la sauge sont brunâtres et fibreuses, ils sont de type collationné dur et robuste.

* Tiges

Les tiges mesurent de 20 à 30 centimètres, elles sont très rameuses. Les tiges sont de section carrée (en raison de la présence de faisceaux de collenchyme endroits dans les quatre sommets).

* Feuilles

Les feuilles, opposées, elliptiques, inférieures pétiolées, rugueuses, à bord dentelé, réticulées, molles, à dessus blanchâtre qui persistent à l'hiver, grâce au revêtement de poils laineux qui les protège, d'une couleur vert grisâtre (Figure 11) et une odeur caractéristique de fraîcheur. Taille de la feuille : 1 cm de largeur et 2 à 3 cm (Bruneton, 2009).

*** Fleurs**

Les fleurs sont hermaphrodite, zygomorphes, tétracyclique (avec les quatre verticilles fondamentaux angiospermes : calice- corolle - Androcée - gynécée) et pentamères (Chaque spire a cinq éléments). Les fleurs bleu-roses lilas visibles du mois de Mai au mois d' Août, sont grandes, groupées à la base des feuilles supérieures l'ensemble forme de grands épis, la longueur des fleurs est de 17 à 30 mm (Figure 12) (Bruneton, 2009).

*** Graines**

Les graines, brunes foncées, ne fournissent pas d'endospermes et elles sont très petites (Figure 13) (dans une gramme il y a plus de 200) (Motta, 1960).



Figure 10 : Aspect de la plante *Salvia officinalis*
(Maatoug, 1990)



Figure 11 : Feuilles de *Salvia officinalis*.
(Bruneton, 2009).



Figure 12 : Fleurs de *Salvia officinalis*
(Bruneton, 2009).



Figure 13 : Graines de *salvia officinalis*
(Motta, 1960).

3.3. 5. Classification

La classification botanique de la sauge est selon le tableau (4) ci-dessous :

Tableau 04 : Classification botanique de la sauge (Cronquist, 1968).

Règne	Plantae (végétal).
Embranchement	Cormophyte
Division	Magnoliophyta.
Classe	Magnoliopsida.
Sous - classe	Asteridae.
Ordre	Lamiales.
Famille	Lamiacées.
Genre	Salvia
Espèce	<i>Salvia officinalis</i> L

3. 3. 6. Répartition géographique

Cette plante vivace est originaire des régions méditerranéennes orientales. Elle préfère les terrains chauds et calcaires. Elle croît de manière spontanée et en culture le long de tout le bassin méditerranéen, depuis de l'Espagne jusqu' en Turquie, et dans le nord de l'Afrique. C'est une espèce Euro-méditerranéenne, assez cultivée en Algérie (Khireddine, 2013). Les espèces de *salvia officinalis* sont un groupe diversifié d'espèces cosmopolites qui présentent un large éventail de variations (Pistelli, 2006). Cette espèce se trouve dans trois grandes régions du monde : 530 espèces endémiques en Amérique centrale et du Sud, 250 espèces endémiques en Asie centrale et dans les régions méditerranéennes, 30 espèces endémiques en Afrique et 90 espèces endémiques en Asie de l'Est (Walker et al., 2004).

3. 3. 7. Composés chimiques

A. Composés phénoliques

Les feuilles de *Salvia officinalis* renferment également de nombreux composés polyphénoliques qui sont les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tanins, qui sont les meilleurs antioxydants (Gérard et François, 2008-2009).

B. Terpènes

La feuille de salvia renferme aussi de nombreux triterpènes (C30) dérivés de l'ursane (l'acide ursolique est majoritaire) et de l'oléane (acide oléanolique et dérivés hydroxylés en C - 2).

Ainsi que des diterpènes(C20) (carnosol , rosmanol , épirosmanol , acide carnos (ol) ique , carnosate de méthyle , acide carnosique - 12 - méthyléther - y - lactone , rosmadial) (Botinau, 2010).

C. Huiles essentielles

L'huile essentielle de *Salvia officinale* (8-25 ml / kg) est caractérisée par la présence de camphre, de cinéole et d' α - et β - thuyones, des cétones monoterpéniques bicycliques. α - et β - thuyones peuvent représenter jusqu'à 60 % de l'huile essentielle, l' α - thuyone étant presque toujours largement prépondérante. La composition de l'huile essentielle varie en fonction de nombreux facteurs. Le profil de l'HE de Sauge officinale est le suivant : α - thuyone : 18-43 % , β thuyone : 3-8,5 % , camphre : 4,5-24,5 % , cinéole : 5,5-13 % , humulène : 0-12 % , α pinène : 1-6,5 % , camphène : 1,5-7 % , limonène : 0,5-3 % , linalol libre et estérifié : 1 % au maximum , acétate de bornyle : 2,5 % au maximum (Botinau, 2010). La composition chimique de l'huile essentielle de la sauge est déterminée par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GCMS), comme indiqué dans le tableau (5)

Tableau 05 : Composition de l'huile essentielle de *Salvia officinalis* (Wolter, 2007).

Hydrocarbures terpéniques		Cétones	
Myrcène	0,3 à 3%	Camphre	4,1 à 27,5%
Limonène	trace à 7,6%	α -thuyone	1,5 à 44,2%
Humulène	Trace à 18,9%	β -thuyone	1 à 36,7%
α -pinène	1,7 à 13,1 %	Ester	
β - pinène	0,5 à 17,9 %	Acétate de bornyl	0,1 à 3,5%
Camphène	1,1 à 10,3%	Alcools	
β -caryophyllène	trace à 9,4 %	Linalol	trace à 1,8%
p-cymène	trace à 1,1 %	Bornéol	0,7 à 6,2%
		Viridiflorol	0 à 9,9 %
		Autres	
		1,8-cinéole	0,7 à 20,8%

3. 3. 8. Principaux usages traditionnelles de la sauge

A. Usages pharmaceutiques

Les sauges ont été employées comme des plantes à propriétés Médicinales salutaires pendant des milléniums (Radulescu et *al.*, 2004). La sauge était un composant fréquent des mélanges de

tisanes, recommandés pour les patients tuberculeux (Duling et al., 2007). L'huile essentielle de la sauge est encore utilisée en condiments d'assaisonnement, viandes traitées et liqueurs. Outre ces utilisations, les feuilles de la sauge (*S. officinalis*), montrent une gamme des activités biologiques ; antibactérienne, antifongique, antivirale et astringente (Djerroumi et Nacef, 2013).

B. Usages cosmétologiques

Les espèces *Salvia* ont un grand intérêt en cosmétologie, dont les extraits de *S. officinalis* et *S. lavandulaefolia* sont largement introduits dans les produits de beauté et les parfums. La sauge est peut-être utilisée comme compresse ou infusion ou même dans les préparations des masques de visage et leurs crèmes sont souvent appliquées sur des blessures froides près de bouches (Radulescu et al., 2004).

C. Usages alimentaires

Au Mexique et en Amérique latine, les graines de quelques espèces de sauge sont intensivement employées par les Américains indigènes comme source de nourriture et aussi pour préparer ses boissons. La découverte des antioxydants a augmenté l'usage des extraits de sauge officinale connue par son activité antioxydant élevée. La Sauge officinale est riche en huiles essentielles que l'on extrait par distillation, vu ses propriétés importantes, elle est l'une des plantes les plus utilisées (Radulescu et al., 2004).

3. 3. 9. La toxicologie

Généralement, il n'y a pas de rapports sur les effets secondaires négatifs associés à *Salvia officinalis* L. Malgré leur utilisation pendant de nombreux siècles. L'utilisation normale de la sauge est très sûre ; cependant, il pourrait y avoir un effet négatif sur l'utilisation de *S. officinalis* en quantité excessive, ce qui peut être causé par le contenu élevé de la thuyone (Hamidpour et Shahlari, 2014).

L'huile essentielle (HE) de *Salvia officinalis* peut contenir jusqu'à 50% de thuyone qui peut se révéler épiléptisante et neurotoxique. Néanmoins, aucune toxicité aigüe ou chronique n'a été signalée après emploi aux doses usuelles des feuilles de sauge et de son huile essentielle (jusqu'à 15 gouttes par jour). Cependant, la thuyone provoque non seulement un effet local irritant, mais également des effets centraux psycho mimétiques, après sa résorption. Une consommation chronique de thuyone peut ainsi conduire à des troubles irréversibles du système nerveux central, à des perturbations des fonctions hépatiques, rénal et cardiaques. Dans la mesure où la quantité de drogue employée à des fins culinaires reste faible, pour les

consommateurs. Une toxicité aigüe après administration d'une forte dose d'HE (2 g et plus). Ainsi, la consommation régulière de sauge, même sous forme de tisane ne paraît pas recommandée (Teuscher et *al.*, 2005).

Partie expérimentale

Chapitre I. Matériels et méthodes



1. 1. Généralités

Les plantes médicinales représentent une source inépuisable de remèdes traditionnels et efficaces grâce à leurs différents principes actifs notamment les huiles essentielles et doivent être conservées en bon état. Le séchage est la méthode la plus courante de conservation des plantes médicinales, et un bon séchage empêche la croissance des bactéries et des moisissures. Le séchage au soleil et le séchage à l'ombre sont des méthodes utilisées dans les pays au climat chaud et sec pour les drogues peu fragiles. Le séchage à l'air chaud est la méthode la plus populaire car la plante sèche rapidement

1. 2. Objectif

L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence du procédé de séchage des deux espèces végétales appartenant à la famille des Lamiacées, à savoir la Sauge (*Salvia officinalis* L) et le Romarin (*Rosmarinus officinalis* L) sur l'activité antibactérienne des deux bactéries, *Escherichia coli* et *Pseudomonas*. Comme première étape nous avons calculé le rendement en huile essentielle des deux plantes obtenue par entraînement à la vapeur d'eau, pour chaque type de séchage. Pour cela, nous avons choisi d'expérimenter trois (3) procédés de séchage : séchage au soleil ; séchage à l'ombre et séchage au micro-onde

Ce travail a permis d'optimiser entre le meilleur rendement en huile essentiel, la vitesse de séchage, et l'activité antimicrobienne.

Notre étude a été menée au niveau du laboratoire de Biochimie n°01 pour réaliser la partie extraction des huiles essentielles et le laboratoire de microbiologie n°01 pour effectuer l'activité antibactérienne. Ce sont des laboratoires pédagogiques situés à la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Mostaganem.

1. 3. Matériels biologique

* Matériels végétales

Le choix a porté sur la sauge et le romarin parce que c'est des plantes qui poussent abondamment en climat méditerranéens et elles sont très utilisées en phytothérapies par la population algérienne. Quelques caractéristiques de ces espèces végétales (figure 14) utilisées sont résumées dans le tableau (6)

Tableau 6 : Quelques caractéristiques des espèces : *Salvia officinalis* L et *Rosmarinus officinalis* L

Plante	Nom latin	Famille	Partie utilisé	Utilité pharmaceutique
Romarin	<i>Rosmarinus officinalis</i>	Lamiacées	Les feuilles	soulager les digestions difficiles et les maux de ventre, stimuler la production de bile, aider à la cicatrisation des plaies et traiter les douleurs articulaires et musculaires.
Sauge officinale	<i>Salvia officinalis</i>	Lamiacées	Les feuilles, fleurs	calmer la toux des fumeurs et soulage les maux de gorge. Puissant antiseptique, elle constitue un excellent remède naturel pour traiter les gingivites et la pharyngite. Les feuilles-de-sauge facilitent la digestion gastrique.



Figures 14 : Photos prise de l'université des plantes utilisées.

A : La sauge

B : le romarin

* Les souches bactériennes

Les deux (02) espèces bactériennes (figure 15) utilisées dans notre étude sont des souches de référence de type ATCC et qui sont disponibles au sein de laboratoire de microbiologie. Ces espèces bactériennes ont été choisi parce qu'elles représentent les espèces à Gram négatif les plus communes et responsables d'infections aigue ou chronique. Quelques caractéristiques ont été présentées dans la figure (15)


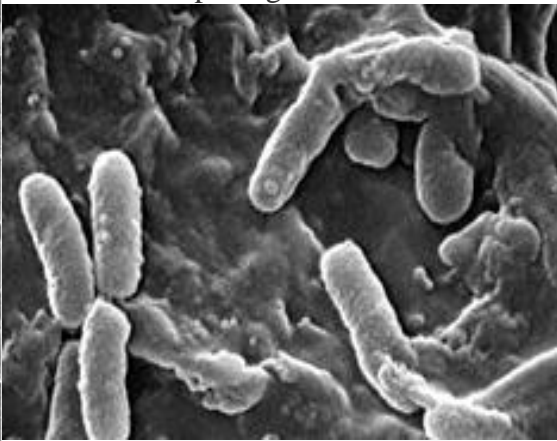
Classification selon LP SN <i>Escherichia coli</i> (T. Escherich, 1885)		Classification selon LP SN <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (Schroeter, 1872) Migula, 1900	
Règne	Bacteria	Règne	Bacteria
Embranchement	Pseudomonadota	Division	Pseudomonadota
Classe	Gammaproteobacteria	Classe	Gammaproteobacteria
Ordre	Enterobacterales	Ordre	Pseudomonadales
Famille	Enterobacteriaceae	Famille	Pseudomonadaceae
Genre	<i>Escherichia</i>	Genre	<i>Pseudomonas</i>
Caractéristique Bacille à coloration de Gram négative, oxydase négative, mesurant de 2 à 4 µm de long et d'un diamètre d'environ 0,6 µm.		Caractéristique Regroupe des bactéries mobiles aérobies Gram négatif, de 2 à 4 µm de longueur, en forme de bâtonnets renflés, avec un flagelle polaire qui joue un rôle important dans la pathogénicité.	
			
<i>Escherichia coli</i> Grossissement × 15 000.		<i>Pseudomonas aeruginosa</i> au microscope électronique à balayage	

Figure 15 : Quelques caractéristiques sur les souches bactériennes utilisées

1. 4. Matériels de laboratoire

Le matériel de laboratoire utilisé pour notre manipulation est recensé dans le tableau (7)

Tableau 7. Le matériel de laboratoire utilisé

Les réactifs	Verreries et appareils
Extrait de viande, extrait de levure peptone, chlorure de sodium, agar, DMSO, eau distillée, antibiotique.	Une balance électrique, un bain marie, pH mètre, des flacons et des tubes, centrifugeuse , verre de montre , boite de pétrie ,bec benzène , les disques vierges , autoclave , pipette , ampoule , étuve de 35° ,agitateur ,plaque chauffante , cocotte-minute .

1. 5. Méthodes

1. 5. 1. Séchage des plantes

Après la récolte, les espèces végétales utilisées ont été secouées pour enlever les particules du sol, pesées pour avoir le poids frais initial ensuite ont été mises à sécher selon les trois procédés de séchage choisis à savoir, le séchage à l'ombre, au soleil et au micro-ondes.

* **séchage au soleil** : les plantes ont été étalées dans un support en bois exposées face au soleil et le soir elles ont été transférées dans une pièce aérée pour éviter l'humidité climatique pendant la nuit

* **séchage à l'ombre** : les plantes ont été étalées dans un support en bois gardées dans une pièce aérée, le support est soulevé du sol environ 2 mètres de hauteur

* Séchage aux micro-ondes

Le moyen le plus rapide de faire sécher les végétaux est le four à micro-ondes. Toutefois, il est bon de faire des essais préalables pour déterminer exactement le temps de séchage.

Nous avons espacé les végétaux sur une assiette spécial micro-onde, passer les végétaux 6 minute à la micro-onde dans une moyenne puissance puis vérifier le séchage.

Durant le temps de séchage les plantes ont été pesées jusqu'au poids constant. Ce dernier est considéré comme un poids ou la plante perd totalement son humidité.

Les valeurs de la pesé des plantes par rapport au temps de séchages nous a servie d'évaluer la cinétique de séchage des deux espèces végétales vis-à-vis du procédé appliqué de séchage. Plusieurs paramètres en relation avec le procédé de séchage ont été calculés à savoir, le poids frais, le poids sec le pourcentage de l'humidité végétale ainsi que le ratio qui correspond à la réduction de l'échantillon végétal sous l'effet du séchage. Ce paramètre a été calculé selon la méthode de Dufresne (2008) et qui est le rapport entre le poids frais et le poids sec **[Pf / Ps]**

1. 5. 2. Extraction de l'huile essentielle

La majorité des huiles essentielles est obtenue par entrainement à la vapeur d'eau (Figure 16), sans détartrant chimique et sous basse pression. Le procédé consiste à faire traverser une cuve remplie de plantes aromatiques par la vapeur d'eau.



Figure 16 : Extracteur de l'huile essentielle par entrainement à la vapeur d'eau
(Photo prise au niveau de laboratoire de biochimie 1)

Volume intérieur = 1.5 L

Poids de vide = 700g -1000g,

Température =100 C°

Temps = 120 min

Après 2 h d'extraction l'huile essentielle a été récupérée dans une burette graduée (Figure 17) attachée à l'instrument de séchage ensuite le volume de l'extrait est versé dans un tube à essai (Figure 18). Après la pesée, l'échantillon est conservé à l'abri de la lumière au réfrigérateur jusqu'au moment de l'utilisation



Figure 17 : l'huile essentielle récupérée dans une burette graduée



Figure 18 : Echantillon en tube à essai pour conservation

Le poids de l'huile essentielle a été calculé par une méthode très simple c'est de convertir le volume de l'extrait dans le tube de récupération en poids sur la balance. Les valeurs de la pesée sont nécessaires pour calculer le rendement de l'extrait des végétaux vis à vis du procédé de séchage

Le Calcul du rendement en huile essentielle est défini comme étant le rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue après l'extraction et la masse de la matière végétale utilisée (AFNOR, 2000). Le rendement (R) est exprimé en pourcentage, et il est donné par la formule suivante :

$$R = \frac{Ph}{Pp} \times 100$$

Où Ph : poids de l'huile essentielle en g
Pp : poids de la plante en g

1. 5. 3. Activité antibactérienne de l'extrait végétal

1. 5. 3.1. Préparation des disques

Les disques de 5 mm de diamètre ont été préparés à base de papiers filtre, stérilisés à 120°C pendant une durée de 20 mn. Ces disques ont été conservés dans une boîte stérile jusqu'à leur utilisation

1. 5. 3. 2. Préparation de la gélose nutritive (GN)

Pour 1L d'eau distillée, dans une fiole nous avons ajouté à ce dernier les produits suivants après avoir pesé leur masse par une balance électronique :

- 1g d'extrait de viande.
- 2.5 g d'extrait de levure.
- 5g peptone.
- 5g chlorure de sodium.
- 5g Agar agar bactériologique

Le mélange sans Agar est agité électriquement, le Ph est mesuré pour s'assurer qu'il est compris entre 6.8 et 7.8 et à la suite de cette opération 5 g d'agar sont ajoutés. La préparation obtenue est mise dans des flacons en verre qui sont introduits dans l'autoclave pour une stérilisation d'une durée de 30 min.

1. 5. 3. 3. Préparation de BN (bouillon nutritif)

Nous avons réalisé les mêmes produits de la gélose nutritive sans ajouter de l'agar. La solution obtenue est agitée ensuite remplie dans des flacons en verre. Ces flacons ont été mis dans l'autoclave pour une stérilisation pendant 1 heure

1. 5. 3. 4. Activation de la souche

A l'aide d'une anse en platine stérile, la souche bactérienne est ensemencée dans 10 ml de bouillon nutritif à partir du milieu de conservation. Après 3 h d'incubation à 37C°, 1ml de la solution est ensemencé sur gélose nutritive puis incubé pendant 24 h à 37C° afin d'obtenir une culture jeune et de colonies isolées qui vont servir à la préparation de l'inoculum (Ait-Chabane, 2018)

1. 5. 3. 5. Préparation de l'inoculum

Préparer 1tube contenant 5ml de bouillon nutritif qui est ensemencé avec la bactérie

-Laisser incubé 3 à 5 h à 37C° pour obtenir une pré-culture

- Prélever 1ml de bouillon de pré-culture

1. 5. 4. Le test antimicrobien de l'huile essentielle de la sauge et le romarin

1. 5. 4. 1. Le principe de la méthode de diffusion sur milieu gélosé

La méthode de diffusion est très utilisée en microbiologie (antibiogramme et anti-fongigramme), repose sur la diffusion du composé antimicrobien en milieu solide. Cela consiste à mettre la substance inhibitrice dans un disque imbibé ou un puits tracé sur la gélose inoculée par la souche cible au préalable. La substance inhibitrice diffuse dans le milieu en provoquant un gradient de concentration décroissant autour du disque. Ainsi, la bactérie se développera si la concentration en antibiotique est inférieure à la concentration minimale inhibitrice, ce qui se matérialisera par l'apparition d'une zone circulaire d'inhibition de la croissance bactérienne autour du disque, et, en fonction du diamètre d'inhibition, la souche du microorganisme sera qualifiée de sensible, d'intermédiaire ou de résistante (Nicolas & Daniel, 1998)

1. 5. 4. 2. Les étapes de l'antibiogramme

La préparation de l'antibiogramme consiste à :

- Ensemencer la gélose nutritive déjà préparée par 1ml de suspension bactérienne et étaler le volume du centre vers les bords puis laisser sécher 3 à 5mn.

- Déposer les disques imbibés de diverses substances (Antibiotique - l'huile essentielle des espèces végétales à différentes dilutions (brut, 50 % et 75%) avec le DMSO. Il est à noter que les dilutions ont été préparées selon la formule $C1 V1 = C2 V2$ et que l'antibiogramme a concerné l'ensemble des extraits de plantes soumises aux différentes conditions de séchage à savoir, au soleil, à l'ombre et au microondes

La préparation est incubée de 16 à 18h à 35C°

1. 5. 4. 3. Lecture des résultats

La lecture des résultats s'est faite par la mesure, à l'aide d'une règle graduée, du diamètre de la zone d'inhibition formée autour du disque, en prenant la moyenne des trois essais effectués. Le % de sensibilité est évalué selon la formule suivante :

$$\% \text{ Pourcentage de sensibilité} = \frac{\text{Diamètre d'inhibition de l'extrait végétale (mm)}}{\text{Diamètre de l'antibiotique (mm)}}$$

Chapitre 2. Résultats Interprétations



Discussions

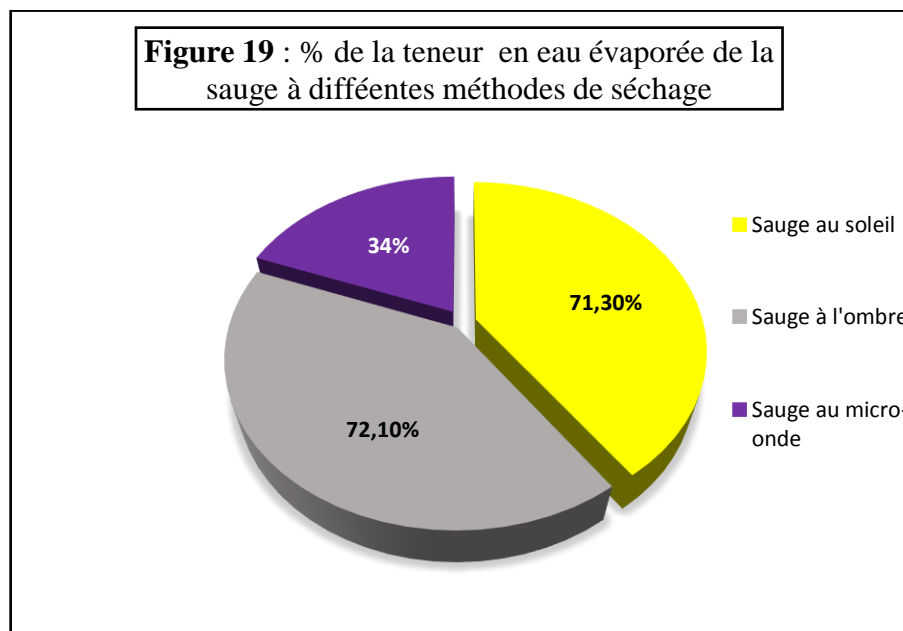
2. Résultats, interprétations et discussions

2.1. Introduction

La plupart des plantes médicinales et aromatique sont largement consommés dans leur forme séchée même pendant la période où l'offre en produit frais est élevée. Cela en raison de vertus intrinsèques reconnues ou d'utilisation spécifique. Ces plantes séchées sont généralement utilisés dans l'industrie agroalimentaire et pharmaceutique. Le séchage consiste à diminuer l'activité de l'eau des produits séchés jusqu'à une valeur assurant leur conservation. La fraction d'eau éliminée par la plante est calculée à base de la différence entre le poids frais initial au moment de la récolte et le poids sec à une de stabilité de la pesé en utilisant une balance de précision.

2. 2. Le procédé de séchage

La teneur en eau végétale évaporée jusqu'au poids constant des plantes (sauge et romarin) correspond à la quantité d'eau évaporée. Elle est représentée sous forme de pourcentage dans les figures (19 et 20). Les valeurs du poids sec et la réduction végétale sont résumés dans le tableau (8)



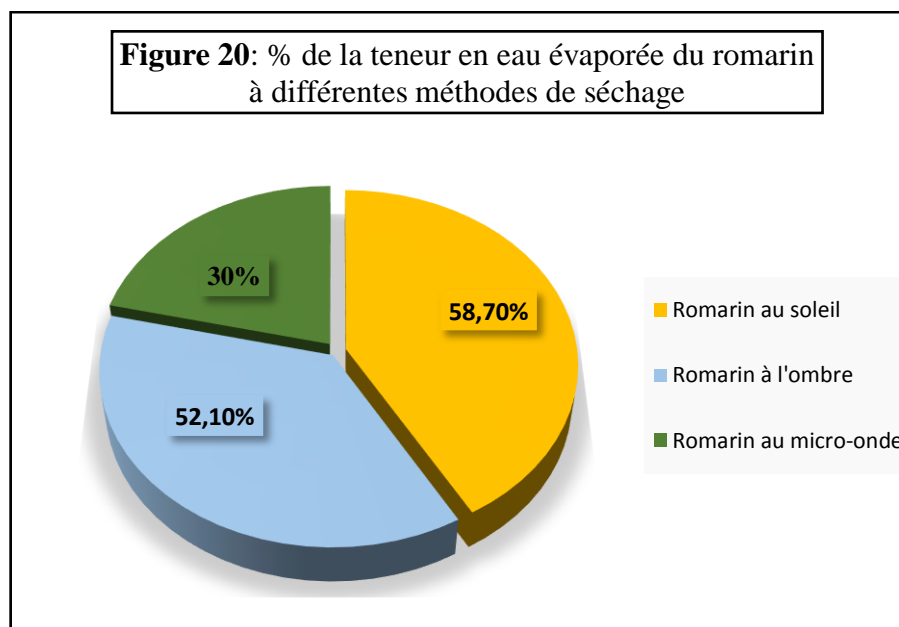


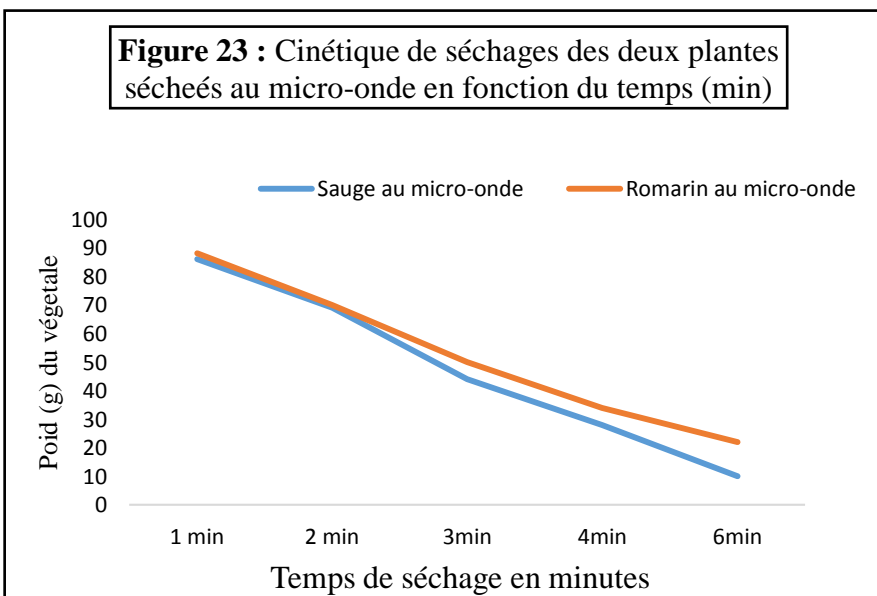
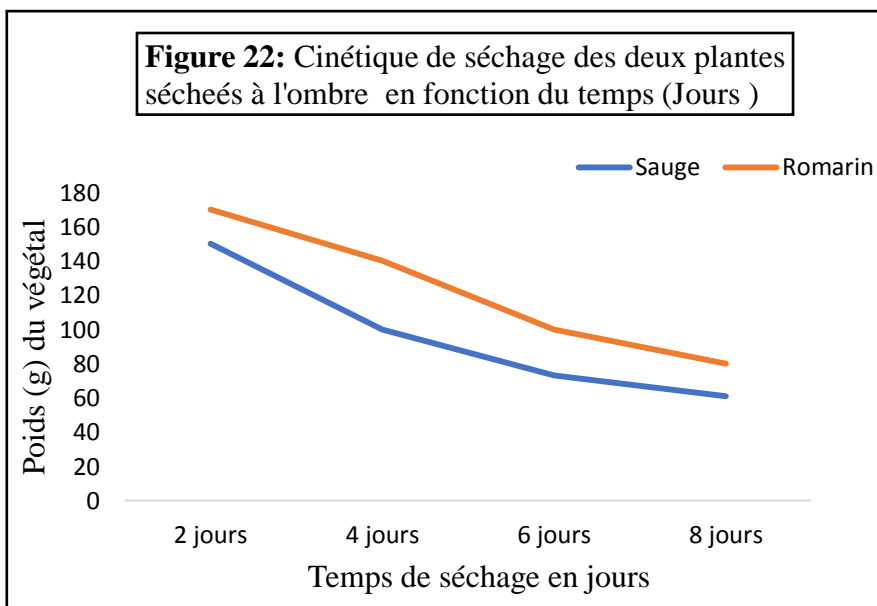
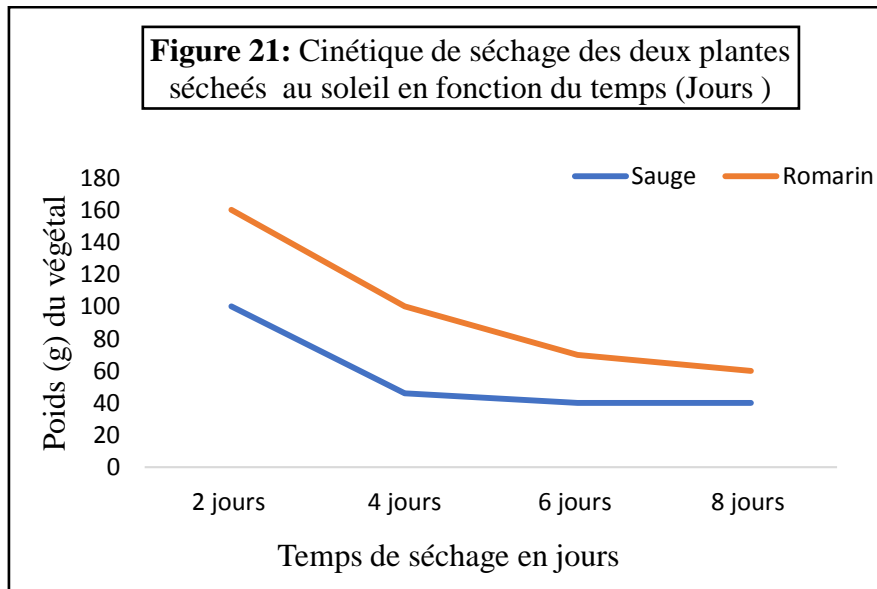
Tableau 8 : Les valeurs du poids sec et le ratio au temps constant de séchage de la sauge et le romarin

Plantes Type de séchage	<i>Salvia officinalis</i>			<i>Rosmarinus officinalis</i>		
	Ps	Tj	R	Ps	Tj	R
Au soleil	287g	6	3.48	412.8g	8	2.42
A l'ombre	278.6 g	10	3.58	478.3g	13	2.09
Au micro-onde	660g	6 mn	1.51	700g	6 mn	1.42

Ps : Poids sec à l'étape constante de séchage

Tj : Temps en jours

R : Le ratio (poids frais /poids sec à l'étape constante de séchage)



D'après les résultats obtenus (Figure 19 et 20) et (Tableau 8) nous avons noté que le poids sec varie d'une espèce à l'autre bien que les deux espèces appartenant à la même famille des lamiacées. Cette différence a touché même le type de séchage appliqué dans notre étude, car la spécificité de l'espèce elle-même tels que les caractères génétiques, anatomiques et physiologiques jouent un rôle primordial dans le comportement environnemental des végétaux. Le pourcentage de l'humidité végétale évaporée jusqu'au stade du poids constant le plus élevé a été enregistré au type de séchage au soleil (71.3 % chez *Salvia officinalis* et 58.7 % chez *Rosmarinus officinalis*) suivie du séchage à l'ombre (72.10 % chez la sauge et 52.1 % chez le romarin) suivie du séchage au micro-onde (34 % sauge et 30 % romarin). Cela confirme que l'humidité résiduelle n'est pas la même pour l'ensemble des espèces végétales et elle nécessite une énergie plus élevée pour qu'elle soit évaporé. Boudhrioua et *al.*, (2008) avancent un protocole expérimental. Selon ces auteurs une fois le séchage au soleil et à l'ombre soit terminé, les échantillons sont mis dans une étuve à partir de 105°C pendant 24 h afin d'ôter toute trace d'humidité restante dans la plante.

Au poids constant de séchage le pourcentage de l'humidité évaporée figure (19, 20) est plus important au séchage à l'ombre chez la sauge par contre ce paramètre est plus important au séchage au soleil chez le romarin et donc le ratio est plus élevé chez la sauge à l'ombre au poids constant de séchage par rapport au romarin, il est de 3.58 contre 2.09 à la même condition de séchage. Pour le procédé de séchage au soleil ce ratio est de 3.48 et 2.42 chez *salvia* et *rosmarinus* respectivement (Tableau 8). Concernant le séchage au micro-onde, la réduction végétale reste la moins importante (1.51 : sauge et 1.42 : romarin) (Tableau 8). Il fallait peut être augmenter le temps de séchage ou l'intensité dépassant le moyen. D'une manière générale le ratio est la masse du produit frais récolté pour obtenir 1kg de produit sec (Dufresne 2008). Pour conclure, nous constatons que quelque soit le type de séchage l'humidité résiduelle liée au phénomène statique des végétaux est plus importante chez le romarin que chez la sauge. Selon l'énorme française de la pharmacopée le romarin nécessite une température entre 30 et 40°C pour un bon séchage en plein air (Dufresne, 2008)

Le séchage est une opération caractérisée par les transferts couplés de chaleur, de masse et de quantité de mouvement (Gevaudan, 1989 ; Djerroud 2010). Il s'agit d'une séparation thermique, où il faut fournir l'énergie de vaporisation de l'eau pour qu'elle quitte le produit

La cinétique du séchage a été calculée à la base de la prise de poids des échantillons de plantes tests de 200g en fonction du temps de séchage et l'évolution du poids végétal tend à diminuer du poids frais jusqu'au poids sec constant (figure 21, 22, 23). Les courbes obtenues

sont identiques, d'allure et de forme. Pour le séchage au soleil et à l'ombre ces courbes sont constituées de deux phases : Une phase de diminution rapide de l'humidité de la matière végétale correspondant à l'évaporation superficielle de l'eau. et une deuxième phase entre le 4ème et le 6ème jour de séchage, où la teneur en eau diminue lentement jusqu'à atteindre l'humidité d'équilibre qui tend vers zéro, à ce moment, le séchage est achevé. Même processus phasique a été observé par Ouafi et al (2015) chez quelque espèce des lamiacée. Une seule phase décroissante de cinétique de séchage enregistrée pour le procédé de séchage au micro-onde

Le poids sec constant a été enregistré au 6ème jour au soleil et 10ème jours à l'ombre pour *Salvia officinalis* et au 8ème jour au soleil et 13ème jour à l'ombre pour *Rosmarinus officinalis*.

Nous avons remarqué que le séchage au soleil et à l'ombre pour le romarin est plus long que celui de la sauge. Cela est lié peut être aux conditions climatiques, aux structures anatomiques des organes végétatifs et histologiques de plante

2. 3. L'effet de séchage sur la couleur

L'effet de la couleur de la sauge et du romarin est présenté dans les figures (24) et (25)

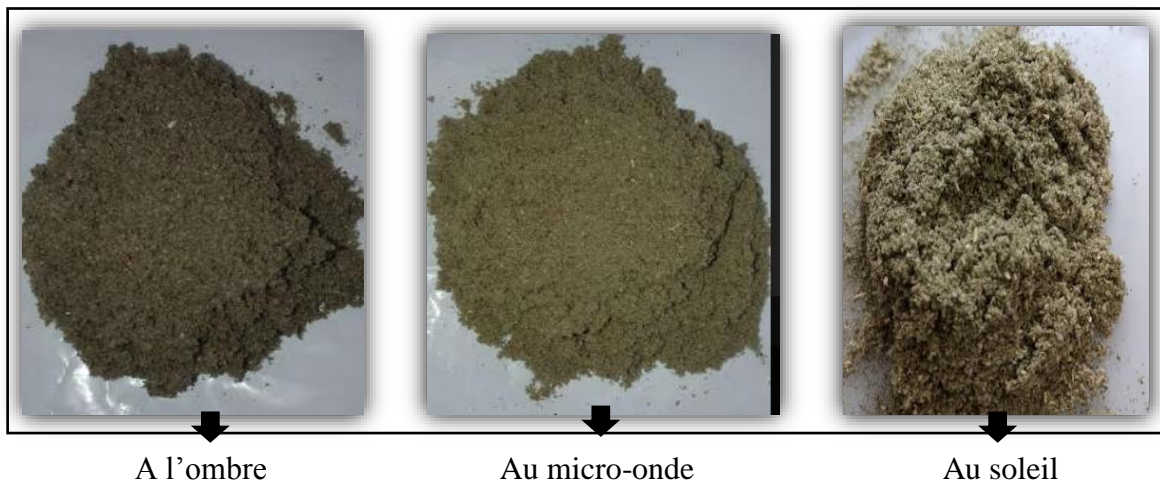


Figure 24 : Effet du séchage sur la couleur de la sauge

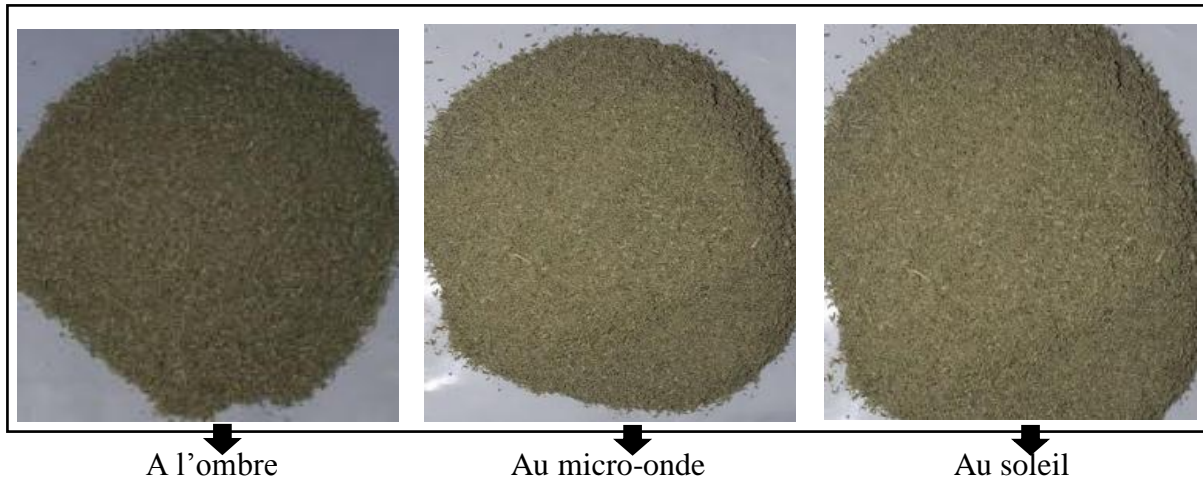


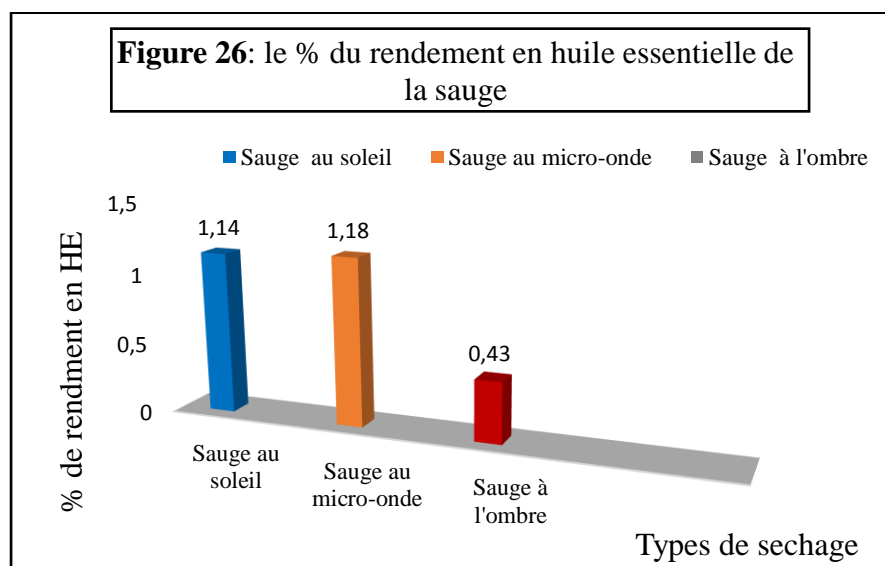
Figure 25 : Effet du séchage sur la couleur du romarin

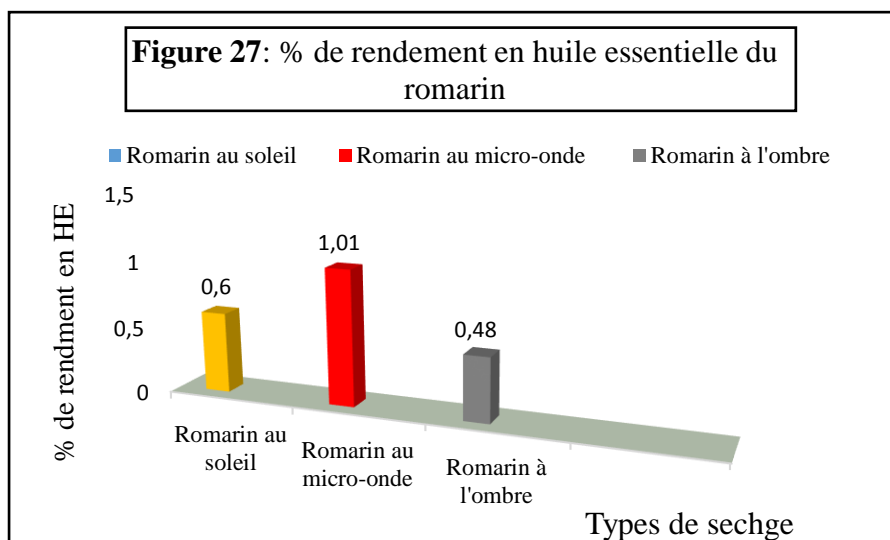
Des différences de couleur sont observées. Les deux plantes produisent des couleurs plus foncées (ombre et séchage intérieur), tandis que le séchage au soleil, ces espèces produisent des couleurs plus claires. Ainsi, les températures élevées affectent la couleur et même l'odeur.

Le séchage des plantes a pour intérêts d'alléger le produit et de permettre sa conservation par diminution de l'activité de l'eau. Mais en revanche, le séchage modifie le produit dans sa forme, sa texture et sa composition ce qui est souvent considéré comme un inconvénient (Hanna, 2002 ; Moghrani , 2009)

2. 4. L'Effet du séchage sur le rendement des huiles essentielles

Les échantillons des plantes on subit un séchage au soleil, à l'ombre et au micro-onde. Les huiles essentielles de la partie aérienne de la sauge et le romarin ont été extraites par entrainement à la vapeur. Les résultats de rendement des huiles essentielles sous les différents procédés de séchage sont réunis dans les figures (26 et 27)





Les résultats, montrent que le séchage à l'ombre favorise une extraction des huiles essentielles pour les deux espèces testées dont les pourcentages moyens de rendement sont de l'ordre de 0.43% pour la sauge et 0.48% pour le romarin. Cependant les pourcentages les plus élevés ont été enregistrés pour le séchage au micro-onde pour les *S. officinalis* et *R. officinalis* avec des pourcentages moyens de rendement en huile essentielle de 1.08 % et 1.01 % respectivement. Concernant le séchage au soleil, le pourcentage de rendement en HE est plus marqué chez la sauge que le romarin (1.14 % contre 0.6 %). Cette diversité de rendement est en relation avec les conditions de séchage, notons que ces conditions de séchage dans notre étude étaient purement traditionnelles et aucun facteur climatique n'a été contrôlé. Pour ce qui est l'effet de séchage au micro-onde bien que le séchage des plantes était moins important mais le rendement en HE était meilleur. Cela est peut être en relation avec le type d'énergie et son impact sur l'évaporation de l'eau végétale donc plusieurs paramètres (espèce végétale, climat ,énergie) sont combinés pour assurer le rôle de séchage et surtout pour améliorer le rendement des substances bioactives

Une huile essentielle est un liquide concentré en substances organiques, de nature hydrophobe, volatile et odorante qu'on obtient par extraction mécanique, distillation à la vapeur d'eau ou distillation à sec des plantes aromatiques (AFNOR, 2000). De profondes modifications de l'huile essentielle peuvent intervenir lors de l'exploitation des végétaux depuis leur collecte jusqu'à leur transformation industrielle. Le mode de récolte, les conditions de transport, de séchage et de stockage peuvent générer des dégradations enzymatiques. En effet plusieurs auteurs s'accordent sur ces causes de modification. Nous citons Olle et Bender, (2010) ; Zaouali et al., (2010) ; Ojeda-Sana et al., (2013).

Le % de rendement en HE des parties aériennes du romarin séchées au soleil et à l'ombre est plus élevé que celui obtenu chez la même espèce récoltée dans les conditions naturelle (0.31% par hydro-distillation) (Hamdani, 2017). Plusieurs travaux ont été rapportés sur le rendement des huiles essentielles extraites des lamiacées récoltées dans les climats aride et semi-aride à savoir, le romarin 1.6%, la lavande 0.16 (Menaceur, 2011). Ouafi (2015) a étudié l'effet de d'autres procédés de séchage sur le rendement en HE de plusieurs espèces de menthe. selon cet auteur l'amélioration de l'efficacité de séchage solaire du prototype de séchage (Exemple : ombre avec circulation d'air, air activé par ventilation assisté d'une résistance chauffante ect..) peut améliorer le rendement en HE. Plusieurs espèces des lamiacées sont dressées dans une liste des normes de la Pharmacopée Française concernant la teneur en HE des parties aériennes, après séchage dans des conditions naturelles, nous citons la sauge (2%), le romarin (1.5) et le thyme (1.2%) (Ouafi, 2015)

Le niveau du rendement optimal dépend de l'espèce végétale concernée et des conditions de séchage mises en œuvre (séchage naturel à l'ombre ou direct au soleil). Cette règle a été confirmée pour l'Eucalyptus (Zrira et *al*, 1992), pour la Verveine (Bélanger et *al*, 1994) pour la Lavandes (Raiss et *al* 1998), et pour le Romarin (El Amrani, 1999).

2. 5. L'effet du séchage sur l'activité antibactérienne

L'activité antibactérienne des HE des parties aériennes de la sauge et le romarin a été testée sur deux souches bactériennes (*Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*). Trois dilutions au DMSO (Brut, 50% et 75%) ont été testées. Le test antimicrobien a été appliqué pour chaque type de séchage (au soleil, à l'ombre et au micro-onde). Les résultats à base de trois répétitions sur les zones d'inhibition de croissance bactérienne sont figurés dans les tableau (9 et 10) et dans les figures (du 28 jusqu'au..... 39).

Tableau 09 : Moyenne des diamètres des zones d'inhibition de croissance de *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa* (Traitement à l'HE de *Salvia officinalis* L)

Extrait (H E)		Zone d'inhibition	
		<i>E. Coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>
Sauge	Extrait (HE) brut	10 mm	10 mm
	Extrait (HE) 50%	8 mm	7 mm
	Extrait (HE) 75 %	6 mm	7 mm
Séchage à l'ombre	Extrait (HE) brute	10 mm	8 mm
	Extrait (HE) 50%	9 mm	7 mm
	Extrait (HE) 75%	6 mm	7 mm
Séchage au micro-onde	Extrait (HE) brute	12 mm	9 mm
	Extrait (HE) 50 %	6 mm	7 mm
	Extrait (HE) 75 %	6 mm	6 mm

Tableau10 : Moyenne des diamètres des zones d'inhibition de croissance de *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa* (Traitement à l'HE du *Rosmarinus officinalis* L)

Extrait (H E)		Zone d'inhibition	
		<i>E. Coli</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Romarin	Extrait (HE) brute	13 mm	10 mm
	Extrait (HE) 50%	10 mm	7 mm
	Extrait (HE) 75%	6 mm	7 mm
Séchage au soleil	Extrait (HE) brute	10 mm	8 mm
	Extrait (HE) 50%	9 mm	7 mm
	Extrait (HE) 75%	6 mm	7 mm
Séchage à l'ombre	Extrait (HE) brute	12 mm	10 mm
	Extrait (HE) 50%	9 mm	6 mm
	Extrait (HE) 75%	6 mm	6 mm
Séchage au micro-onde	Extrait (HE) brute	12 mm	10 mm
	Extrait (HE) 50%	9 mm	6 mm
	Extrait (HE) 75%	6 mm	6 mm
Antibiotique	Gentamicine (GEN)	30mm	31mm

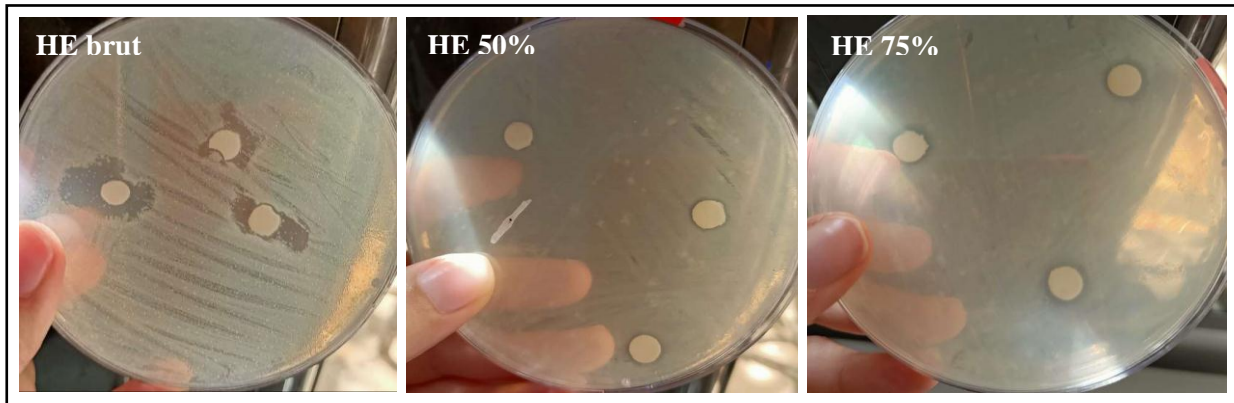


Figure 28 : L'effet de l'huile essentielle (HE) de la sauge séchée au soleil sur *E. coli*



Figure 29 : L'effet de l'huile essentielle (HE) du romarin séché au soleil sur *E. coli*



Figure 30 : L'effet de l'huile essentielle (HE) de la sauge séchée au micro-onde sur *E. coli*

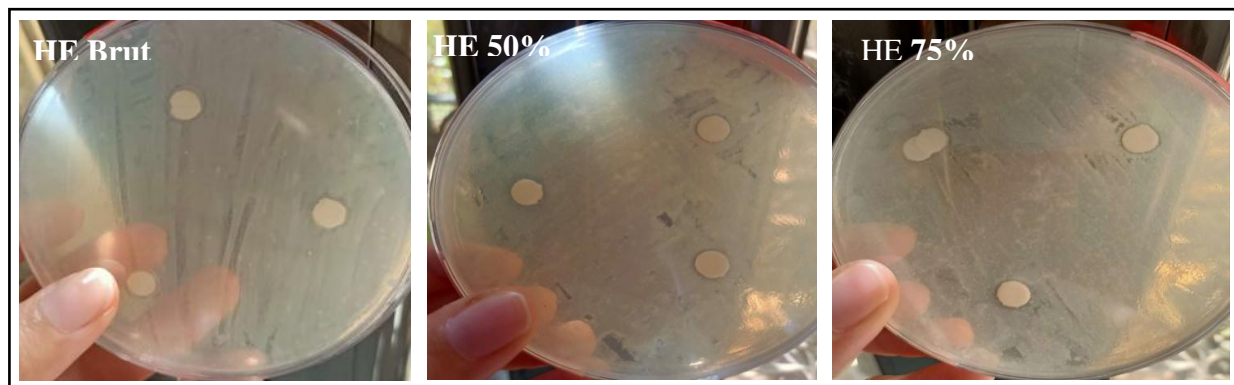


Figure 31 : L'effet de l'huile essentielle (HE) du romarin séché au micro-onde sur *E. coli*

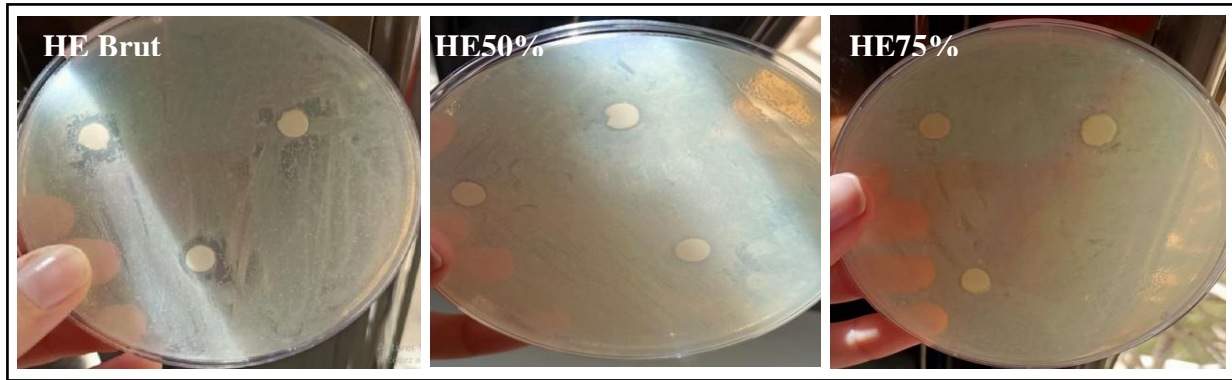


Figure 32 : L'effet de l'huile essentielle (HE) de la sauge séchée à l'ombre sur *E. coli*

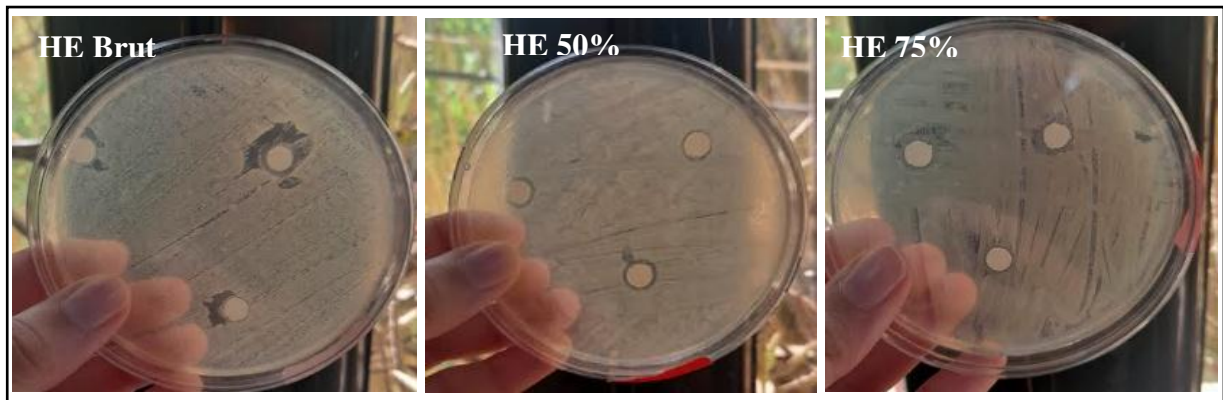


Figure 33 : L'effet de l'huile essentielle (HE) du romarin séché à l'ombre sur *E. coli*

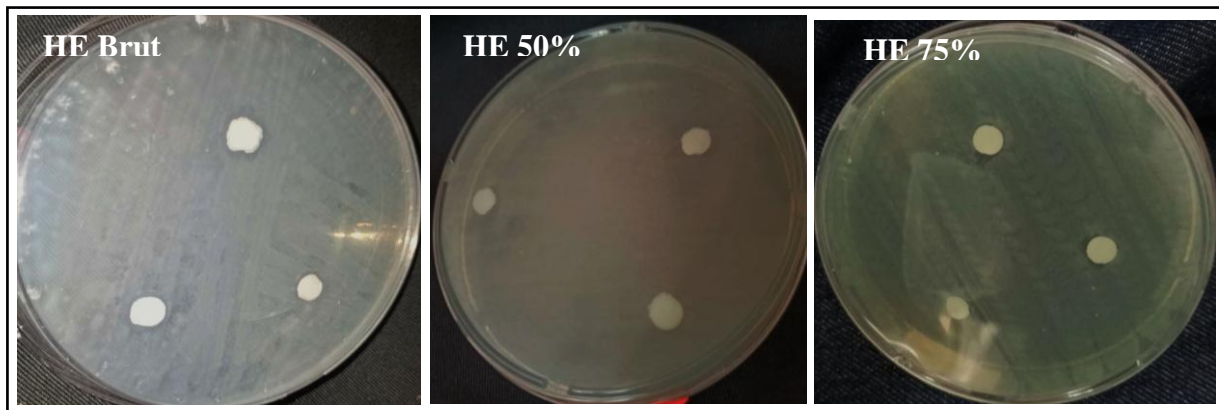


Figure 34 : L'effet de l'huile essentielle (HE) de la sauge séchée au soleil sur *P.aeruginosa*

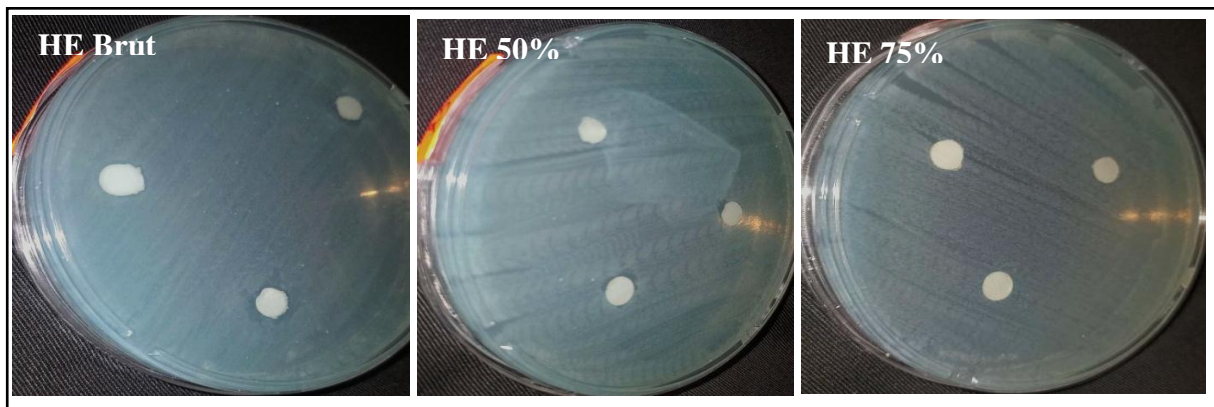


Figure 35 : L'effet de l'huile essentielle (HE) du romarin séché au soleil sur *P.aeruginosa*

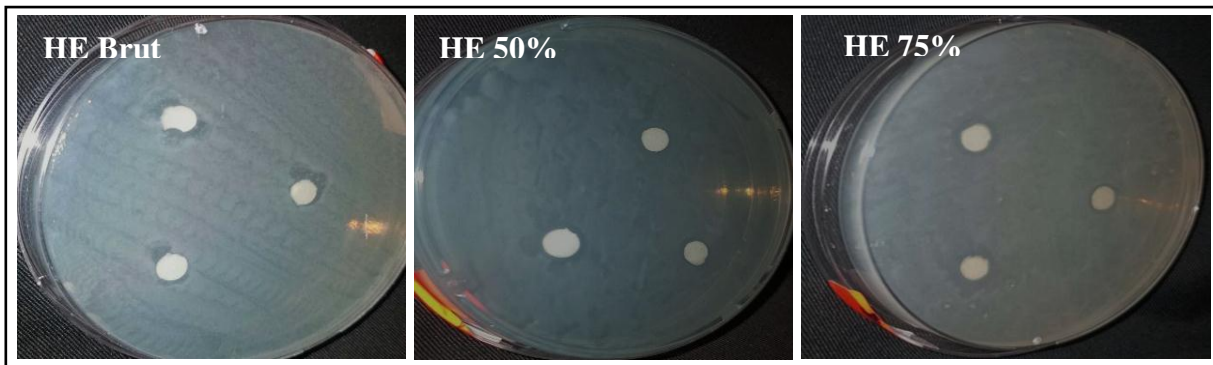


Figure 36 : L'effet de l'huile essentielle (HE) de la sauge séchée à l'ombre sur *P.aeruginosa*

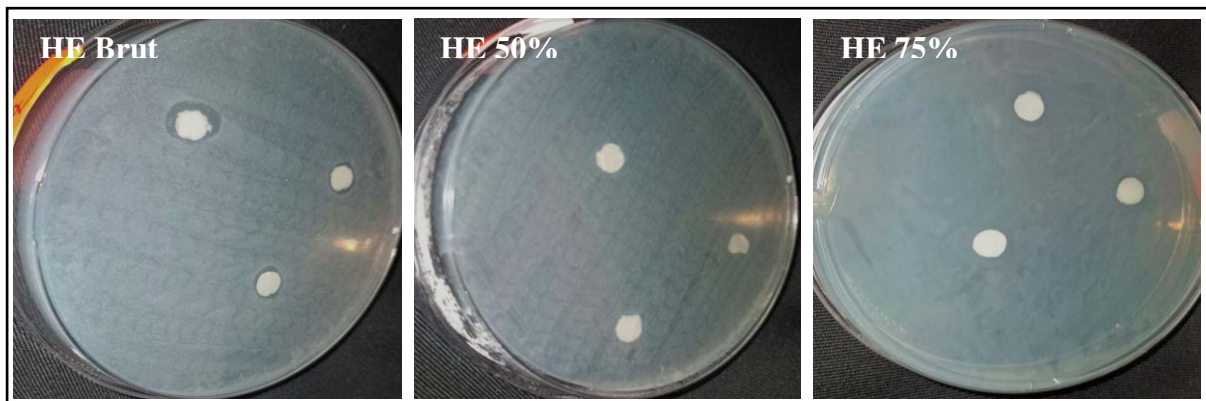


Figure 37 : L'effet de l'huile essentielle (HE) du romarin séché à l'ombre sur *P.aeruginosa*

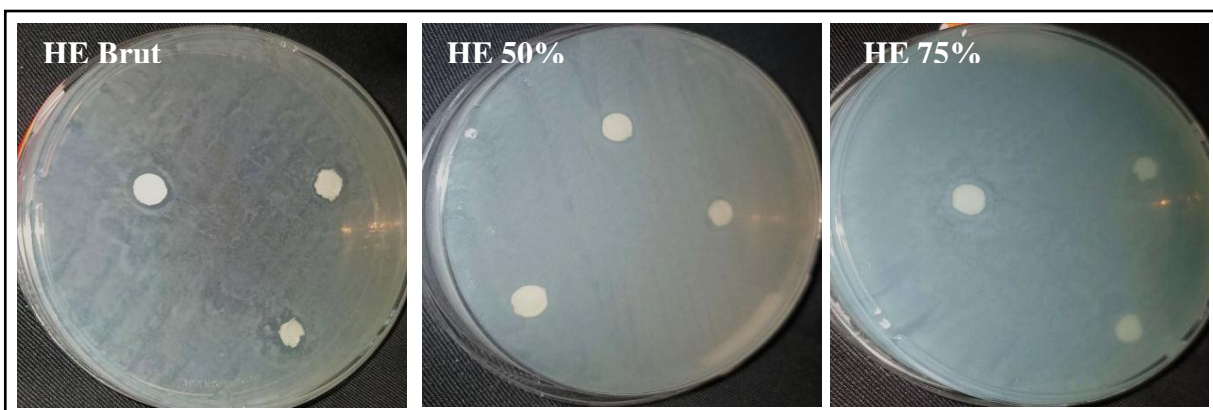


Figure 38 : L'effet de l'huile essentielle de la sauge séchée au micro-onde sur *P.aeruginosa*

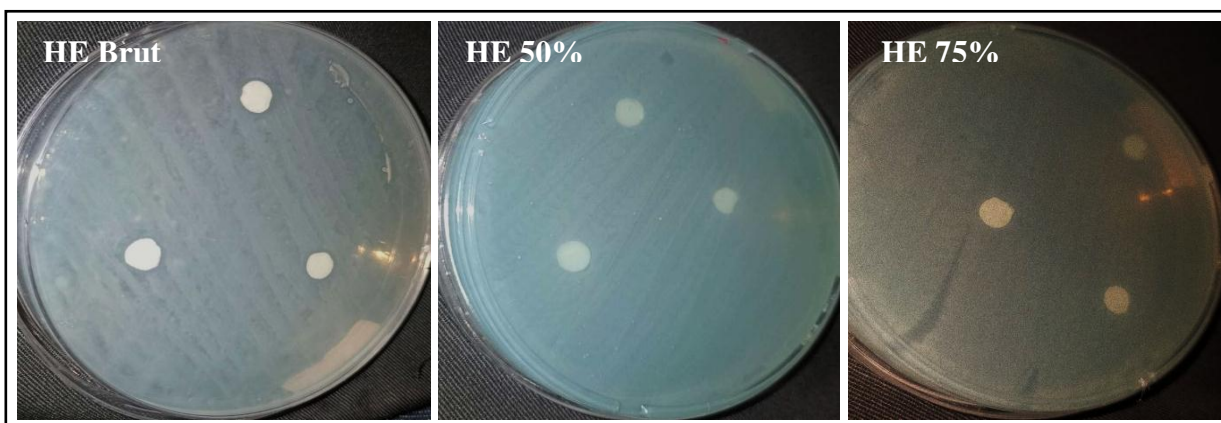


Figure 39 : L'effet de l'huile essentielle du romarin séché au micro-onde sur *P.aeruginosa*

Les valeurs des diamètres d'inhibition de croissance bactérienne varient selon le type de séchage, les dilutions de l'extrait de l'huile essentielle et l'espèce bactérienne. Nous avons enregistré des zones d'inhibitions remarquables pour l'extrait brut du romarin séché au soleil et au micro-onde, avec des valeurs de 13mm et 12mm respectivement contre *E. coli* ; 12 mm pour l'HE brut au soleil contre *Pseudomonas* ainsi que pour l'extrait brut de la sauge séchée au micro-onde avec la valeur de 12mm contre *E. Coli*. Pour la dilution de 50% d'extrait en HE , l'activité antibactérienne des deux plantes testées est modérée quel que soit le procédé de séchage. Les valeurs des diamètres d'inhibition sont comprises entre 6mm et 10mm qui est la valeur maximale notée pour le diamètre d'inhibition de croissance de *E. coli* traité par l'HE du romarin séché au soleil. Concernant les dilutions de 75% l'activité antibactérienne des deux espèces de lamiacée est moins importante avec la valeur maximale de diamètre d'inhibition de 7mm (activité antimicrobienne de la sauge et le romarin séché au soleil et à l'ombre contre *Pseudomonas aeruginosa*).

❖ Le pourcentage de sensibilité bactérienne

Afin de calculer le pourcentage de sensibilité bactérienne de *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa* traitées par l'HE de la sauge et le romarin une gamme d'antibiotique a été testée et notre choix a porté sur la gentamicine qui a donné le diamètre d'inhibition de croissance bactérienne le plus élevé (30mm *E. coli* et 31mm *P. aeruginosa*. Les tableaux (11 et 12) récapitulent l'ensemble des résultats du pourcentage de la sensibilité bactérienne

Tableau 11 : Pourcentage (%) moyen de sensibilité bactérienne après traitement à l'HE de la sauge vis-à-vis des types de séchage

		% moyen de sensibilité		
		<i>E. Coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>	
Sauge	Extrait (HE)			
	Séchage au soleil	Extrait (HE) brut	33.33	32.25
		Extrait (HE) 50%	26.66	22.58
		Extrait (HE) 75 %	20	22.58
	Séchage à l'ombre	Extrait (HE) brute	33.33	25.80
		Extrait (HE) 50%	30	22.58
		Extrait (HE) 75%	20	22.58
	Séchage au micro-onde	Extrait (HE) brute	40	29.03
		Extrait (HE) 50 %	25	22.58
Extrait (HE) 75 %		20	20	

Tableau 12 : Pourcentage (%) moyen de sensibilité bactérienne après traitement à l'HE du romarin vis-à-vis des types de séchage

Romarin		Extrait (HE)	
		E. Coli	P. aeruginosa
Séchage au soleil	Extrait (HE) brute	43.3	32.25
	Extrait (HE) 50%	33.3	22.5
	Extrait (HE) 75%	20	22.5
Séchage à l'ombre	Extrait (HE) brute	33.3	25.8
	Extrait (HE) 50%	30	22.5
	Extrait (HE) 75%	20	22.5
Séchage au micro-onde	Extrait (HE) brute	40	32.25
	Extrait (HE) 50%	30	19.35
	Extrait (HE) 75%	20	19.35

Les résultats de l'activité antibactérienne des HE des parties aériennes, ont révélé une sensibilité plus élevée pour *E. coli* traitée par l'extrait brut du romarin séché au soleil (43%) suivi du séchage au micro-onde (40%). Cette sensibilité bactérienne importante a été aussi notée chez *E. coli* traitée par l'HE de la sauge dont les pourcentage de sensibilité bactérienne est de 40% (séchage au micro-onde) suivie de 33, 33% séchage au soleil et à l'ombre. Il ressort que les huiles essentielles de *Salvia officinalis* L séchée dans les conditions naturelles sont très efficaces contre les bactéries testées et plus particulièrement à la concentration. Les meilleurs résultats sont constatés envers des souches d'*Escherichia coli* (Benkherara et al, 2011). Ces résultats meilleurs et cet effet positif contre les bactéries ont été signalés par de nombreux travaux notamment ceux réalisés sur les huiles essentielles de quelques lamiacées (l'Origan et le Thym) qui ont provoqué des propriétés bactéricides les plus élevées sur *Escherichia coli* sous des températures variables de séchage (Burt, 2003). Dans ce même contexte, les huiles essentielles d'Origan en particulier le Thymol et l'Eugénol ont provoqué la lyse cellulaire des bactéries associée à une rapide mortalité sur *Escherichia coli*. Une autre investigation réalisée sur l'activité des huiles essentielles isolées de plantes de la famille des lamiacées a signalé un pouvoir inhibiteur sur des bactéries Gram (+) et Gram (-) entre autre l'inhibition du développement de la souche *Escherichia coli* (Ohno et al, 2003). Nous citons encore des recherches publiées sur les huiles essentielles obtenues à partir de la famille des lamiacées

.....

séchées dans un environnement naturel : *Lavandula latifolia* et *Lavandula angustifolia*, *Rosmarinus officinalis*, *Origanum vulgare*, *Thymus vulgaris* et *Thymus zygis* où elles présentent la meilleure activité antibactérienne vis-à-vis des souches d'*Escherichia coli* (Kaloustian, et al 2008). De même, les huiles essentielles isolées d'une Lamiacée *Ocimum gratissimum* ont provoqué une forte inhibition de la croissance de la souche *Escherichia coli* ATCC 25922 (Oussou et al, 2008).

L'activité biologique des principes actifs entre autre celle des huiles essentielles est liée à leur Chémotype c'est-à-dire la ou les molécules biologiquement actives et majoritairement présentes, leur composition ou les groupes fonctionnels des composés majoritaires (alcool, phénols, composés terpéniques et cétoniques) et à leurs effets synergiques car une huile essentielle contient souvent 50 à 100 molécules biochimiques différentes. L'huile essentielle peut être modifiée profondément quantitativement et qualitativement lors de l'exploitation des végétaux depuis leur collecte jusqu'à leur transformation industrielle. Cela est en relation avec plusieurs paramètres à savoir, biogéoclimatiques, conditions de séchage et stockage et sans écarter les paramètres propre à l'espèce végétale.

Conclusion

Conclusion

Vu l'émergence de la résistance microbienne aux antibiotiques des alternatives doivent être mises en place pour remédier à ce problème, du fait des activités biologiques importantes des extraits à base de plantes, ces derniers constituent un très bon moyen de lutte contre cette résistance. La plupart des plantes médicinales et aromatiques sont largement consommés dans leur forme séchée même pendant la période où l'offre en produit frais est élevée. Cela en raison de vertus intrinsèques reconnues ou d'utilisation spécifique. Ces plantes séchées sont généralement utilisées dans l'industrie agroalimentaire et pharmaceutique. Le séchage des plantes est l'une des méthodes utilisées pour conserver les PAM par diminution de leur teneur en eau jusqu'à des valeurs résiduelles où le développement de tout micro-organisme est inhibé. Notre étude a pour objectif d'évaluer l'impact du séchage sur le rendement en huile essentielle (HE) des parties aériennes de deux lamiacées (*Salvia officinalis* L et *Rosmarinus officinalis* L) ainsi que sur l'activité antimicrobienne sur deux souches pathogènes à gram négatif (*Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*). Pour cela, trois procédés de séchage ont été expérimentés à savoir, le séchage au soleil, à l'ombre et au micro-onde.

En termes de conclusion sur les résultats de la partie de séchage des espèces végétales testées, plusieurs paramètres en relation ont été évalués :

✓ Le pourcentage de l'humidité végétale évaporée jusqu'au stade du poids constant le plus élevé a été enregistré au type de séchage au soleil (71.3 % chez *Salvia officinalis* L) et à l'ombre pour *Rosmarinus officinalis* L) (72.10 %)

✓ le pourcentage de rendement en huile essentielle (HE) dans les conditions de séchage au soleil est plus élevé chez la sauge que chez le romarin (1.14 % contre 0.6 %). Nous avons noté une excellente extraction en huile essentielle pour les deux espèces végétales séchées au micro-onde (1.08 %, sauge et 1.01 %, romarin)

✓ le séchage au soleil et à l'ombre pour le romarin est plus long que celui de la sauge (poids sec constant au 8^{ème} jour et 13^{ème} jour contre 6^{ème} jour et 10^{ème} jour respectivement)

En guise de conclusion sur la partie activité antibactérienne

✓ L'huile essentielle extraite des parties aériennes par entraînement à la vapeur possède un effet inhibiteur sur la croissance bactérienne qui varie selon la concentration de l'extrait végétal, le type des bactéries testées et vis-à-vis du type de séchage appliqué. Il semble que

l'action inhibitrice de l'extrait brut des deux plantes est remarquable notamment contre le germe *E. coli*. (Romarin Séché au soleil et sauge séchée au micro-onde).

L'huile essentielle extraite des parties aériennes du romarin séché au soleil et au micro-onde possède un effet inhibiteur plus marqué sur *E. coli* avec des pourcentages de sensibilité bactérienne qui sont de 43% et 40% respectivement. Cette sensibilité bactérienne a été aussi notée chez *E. coli* traitée par l'HE de *Salvia officinalis*. Il ressort que le type de séchage a un effet sur l'activité antibactérienne des huiles essentielles. Ces extraits sont très efficaces contre les bactéries testées notamment *E. Coli* et plus particulièrement à la concentration.

Cette étude mérite d'être approfondie pour cela :

- il est intéressant d'extraire les autres principes actifs de la plante sous d'autres procédés de séchage et de tester leur pouvoir antibactérien sur une large panel de souches bactériennes et fongiques devenues à l'heure actuelle multi-résistantes aux antibiotiques.
- Développer des prototypes de séchage plus performants pour améliorer la qualité des substances bioactives et préserver sa structure chimique et son identité d'usage

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

Adenot, I. (2009). Dossier pharmaceutique. De l'idée à l'expérimentation et à la généralisation. *Médecine*, 5(3), 126–139.

AFNORNF T 75-006. (2000). huile essentielle. Association française de normalisation. Paris. pp559- 563.

Al-Sereiti M. R., Abu-Amer K. M., Sen P. (1999). Pharmacology of rosemary (*Rosmarinus officinalis* Linn.) and its therapeutic potentials. *Indian Journal of Experimental Biology*, 2(37), 124–130

Ait Chabane O . (2018). « Etude des effets antimicrobiens des extraits bruts, phénoliques et à base d'huiles essentielles du Miswak(*Salvadora persica*) sur les microorganismes responsables des infections buccales (caries dentaires, gingivite, parodontite, candidoses...etc. ». Thèse de Doctorat Sciences Agronomique : Biotechnologie Végétale université de Mostaganem 187 P

Ali-Delille, L. (2013). Les plantes médicinales d'Algérie. Berti éditions.

Ameenah G. F., 2006. Medicinal plants: Traditions of yesterday and drugs of tomorrow *Molecular Aspects of Medicine*, 27:1-93.

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

Archimed G. & Solagro B. (1989). Le séchage des plantes aromatiques et médicinales, Guide de conception et d'utilisation d'un séchoir, Fondation de France et Direction de l'Énergie de la Commission des Communautés Européennes.

Aumeeruddy-Elalfi Z., Gurib-Fakim A., Mahomoodally M. F. (2016). Chemical composition, antimicrobial and antibiotic potentiating activity of essential oils from 10 tropical medicinal plants from Mauritius. *Journal of Herbal Medicine*, 2(6), 88–95.

Ayadi M. (2015). Mise au point, test et modélisation d'une unité de séchage de plantes médicinales à l'aide de l'énergie solaire. Thèse de doctorat. Ecole nationale d'Ingénieurs de Monastir, Tunisie, 178 p

B

Baba Aissa, F. (2000). Encyclopédie des plantes utiles, flore d'Algérie et du Maghreb, substances végétales d'Afrique, d'Orient et d'Occident. Ed Librairie Moderne Rouiba, 46

Bathily D. 2002- Sensibilité aux antibiotiques des bactéries Gram négatif isolées d'infections urinaires

Bellakhdar, J. (1997). Contribution à l'étude de la pharmacopée traditionnelle au Maroc: la situation actuelle, les produits, les sources du savoir (enquête ethnopharmacologique de terrain réalisée de 1969 à 1992). Université Paul Verlaine-Metz.

Bélangier A., Eddaouri M. et Benjilali B. (1994). La verveine, Effet du séchage du matériel végétal sur le rendement en huile essentielle et sur sa composition chimique ; Actes des 12^{ème} Journées internationales des huiles essentielles, Digne-Les-Bains; Septembre (1993). *EPPOS*, n0 spécial, 692-705

Bellakhdar J. (2006). Plantes médicinales au Maghreb et soins de base : précis de phytothérapie moderne. Le Fennec, 2^{ème} éd, Casablanca, 385p

Benkherara S., uahiba Bordjiba O & Boutlelis Djahra A. (2011). Etude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de la Sauge officinale : *Salvia officinalis* L. sur quelques entérobactéries pathogènes. *Revue Synthèse*

Bensebia O., Barth D., Bensebia B., Dahmani A. (2009). Supercritical CO₂ extraction of rosemary: Effect of extraction parameters and modeling. *Journal of Supercritical Fluids*, 2(49), 161–166

Berlencourt A., (2013). Huiles essentielles - Aromathérapie Historical review of medicinal plants' 10.4103/0973-7847.95849) .

Bessas A. 2008. Dosage biochimique des polyphénols dans les dattes et le miel récoltés dans le sud Algérien, édition universitaire européennes, Allemagne, 160p.

Botineau, M. (2010). Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs. Ed : Lavoisier

Boudhrioua N. Kouhila M. Kechaou N. (2008) Experimental and mathematical investigations of convective solar drying of four varieties of olive leaves, Food and bioproducts processing, 86, 176–184,

Boussouf, R., Mena, C., & Boudjouref, M. (2020). Etude des activités biologiques de la plante médicinale pituranthos chloranthus «Guzzah».

Boutnine. (1992). Cité par **Ayadi M.** (2015). Mise au point, test et modélisation d'une unité de séchage de plantes médicinales à l'aide de l'énergie solaire. Thèse de doctorat. Ecole nationale d'Ingénieurs de Monastir, Tunisie, 178 p

Bruel, L. (2015). Histoire de la réglementation encadrant l'utilisation des plantes médicinales en France.

Bruneton J. (1999). Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales. Tec & Doc, 3^{ème} ed, Paris.

Bruneton J. (1993) Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. 2^e édition, Tec et Doc., Lavoisier, Paris, 915 p.

Burt S A. (2003). Antibacterial activity of select plant essential oils against *Escherichia Coli* O 157: 47, *Lett. Appl. Microbiol.*, Vol. 36, 162-167.

C

Chabrier, J.-Y. (2010). Plantes médicinales et formes d'utilisation en phytothérapie. UHP- Université Henri Poincaré.

Chevalier A., 2001. Encyclopédie des plantes médicinales, Identification, préparations, soins, Paris, 2ème, 335p.

Chevallier, L., & Crouzet-Segarra, C. (2004). Médicaments à base de plantes. Elsevier Masson

Cronquist, A. (1968). The Evaluation and Classification of Flowering Plants. 396

D

Debuigne G. et Couplan F. (2009). Petit Larousse des plantes médicinales. Larousse, 396p

Devoyer, J. (2012). Stéphane Korsia-Meffre, rédacteur et coordinateur du Guide des plantes qui soignent (éd. Vidal).

Djerroud D. (2010). Modélisation markovienne du séchage continu par contact avec agitation, Thèse doctorat INP, Toulouse, France,

Djerroumi A & Nacef M. (2004). 100 plantes médicinales d'Algérie. Edition Palais du livre P135-131.

Drouet E, 2012- Le monde Microbien : Partie 1 : Microbes et Microbiologie Université Joseph Fourier de Grenoble.

Ducros A. H. (1930). Essais sur le droguier populaire arabe de l'inspectariat des pharmacies du Caire, Institut Français d'Archéologie Orientale, 166p

Dufresne C. (2008). SÉCHAGE DES PLANTES MÉDICINALES À LA FERME
Documentation et plan d'un séchoir artisanal Ressources et références Filière des plantes médicinales biologiques du Québec

Duling E N., Owen J C., Joh B G., Rosmaru F W., Kevin A M., Yeap L F & Nigel B P. (2007). Extraction of phenolic and essential oil from dried sage (*salvia officinalis*) using ethanol-water mixture. Food chemistry, 101:1417-1424.

E

El Amrani A. (1999). Le romarin du Maroc. Chimie, chimiotaxonomie, variabilité intraspécifiques. Effets de la période de récolte, du niveau de coupe et de la région sur le rendement et la composition chimique de l'huile essentielle ; Doctorat en chimie organique, Université Hassan II ; Faculté des sciences Ben M'sik; Casablanca Maroc

El amri J., Elbadaoui K., Zair T., Bouharb H., Chakir S., et Alaoui T I. (2014). Étude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Teucrium capitatum* L et l'extrait de *Silène vulgaris* sur différentes souches testées. *Journal of Applied Bioscience.*, 82: 7481-7492

EL Rhaffari L. (2008). Catalogue des plantes potentielles pour la conception de tisanes, l'Organisation Non Gouvernementale Italienne : movimondo, Maroc, 14 p.

F

Fabre M C., Genin A., Merigoux J et Moget E. (1992). Herboristerie Familiale, Des Recettes Simples, Pour Résoudre les Problèmes Simples, p 93

Faucon M. (2012). Traité d'aromathérapie scientifique et médicale : fondements et aide à la prescription : monographies : huiles essentielles, huiles végétales, hydrolats aromatiques, Sang de la Terre, Paris, 880p.

Fellah, S., Romdhane, M., Abderraba, M. (2006). Extraction et étude des huiles essentielles de la *Salvia officinalis* cueillie dans deux régions différentes de la Tunisie, Journal de la Société Algérienne de Chimie, 16(2) :193-202.

G

Gérard D & François C. (2008-2009). Petit Larousse des plantes médicinales. faculté libre des sciences et technologies L3 environnementaliste Monographie *Salvia officinalis*, 352, 6.

Gevaudan A. (1989). Etude du séchage par contact de milieu granulaire agité, Application à l'opération decuissonséchage de manioc, Thèse doctorat INSA, Lyon, France

Ghourri M., Zidane L & Douira A. (2013). Usage des plantes médicinales dans le traitement du Diabète Au Sahara marocaine (Tan-Tan), Journal of Animal & Plant Sciences, 17 :1, 2388-2411.

Greuter W., Burdet H. M., Long G. (1986). Med-Checklist : Inventaire critique des plantes vasculaires des pays circumméditerranéens, Dicotyledones (Convolvulaceae Labiatae). Conservatoire et jardin botanique, Genève, 395p

Grieve M. (1984). A Modern Herbal. Savvas Publishing. ISBN unknown

Guezlane-Tebibel N., Bouras N., Mokrane S., Benayad T., Mathieu F. 2016.- Aflatoxigenic strains of *Aspergillus* section *Flavi* isolated from marketed peanuts (*Arachis hypogaea*) in Algiers (Algeria). *Annals of Microbiology*, 63: 295-305.

Grunwald J. & Janicke C., 2006. Guide de la phytothérapie. Marabout, 416p.

H

Hamidpour, M R S., Shahlari, M. (2014). Chemistry, Pharmacology, and Medicinal Property of Sage (*Salvia*) to Prevent and Cure Illnesses such as Obesity, Diabetes, Depression, Dementia, Lupus, Autism, Heart Disease, and Cancer. Vol.4, N°, pp.82– 88

Hanna L. (2002). Optimisation des conditions de séchage pour la maîtrise de la qualité de l'*Origanum syriacum*, (DEA), L'Institut de Recherches Agronomiques Liban (IRAL),

Hans W.K. (2007). 1000 plantes aromatiques et médicinales. Terre édition.

Hopkins, W. G. (2003). Physiologie végétale. De Boeck Supérieur.

I

Iberra A., Cases J., Roller M., Chiralt-Boix A., Coussaert A., Ripoll C. (2011). Carnosic acid-rich rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) leaf extract limits weight gain and improves cholesterol levels and glycaemia in mice on a high-fat diet. *British Journal of Nutrition*, 8(106), 1182-1189.

Imelouane B., Amhamdi H., Wathelet J P., Ankit M., Khedid K et El Bachiri A. (2009). Chemical composition of the essential oil of thyme (*Thymus vulgaris*) from Eastern Morocco. *International Journal of Agriculture & Biology.*, 11: 205-208.

Iserin P. (2001). Larousse-Encyclopédie des Plantes Médicinales : identification, préparation, soins. 2ème édition. Larousse-Bordas. paris.335p :128-6.

J

Jehl F., Choarat ., Weber M. et Coll . (2003). De l'antibiogramme à la prescription. Editions Biomérieux

K

Kaloustian L., Chevalier J., Mikail C., Martino M., Abou L., Vergnes M F. (2008). Etude de six huiles essentielles : composition chimique et activité antibactérienne, *Phytothérapie*, 160-164.

Kechaou N. (1989). Séchage de gels fortement déformables : Etude de la diffusion interne de l'eau et modélisation. Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, France

Khireddine H. (2013). Comprimés de poudre de dattes comme support universel des principes actifs de quelque plantes médicinales d'Algérie, Mémoire de Magister, option : Technologie Alimentaire, université Bougara-Boumerdes.

Kouhila. M, A. Belgith, M. Daguinet & B.C. Boutaleb. (2001). Experimental determination of the sorption isotherms of mint (*Mentha viridis*), sage (*Salvia officinalis*) and verbena (*Lippia citriodora*), *Journal of Food Engineering*, vol. 47, n° 4, pp. 281-287, Ireland.

Künkele U. et Lohmeyer T. R. (2007). Plantes médicinales : Identification, récolte, propriétés et emplois, Parragon, Paris, 319p.

L

Laurant-Berthoud, C. (2013). Tisanes : guide pratique pour toute la famille. Éditions Jouvence

Lebert A., Tharraud P., Rocha T. & Marty-Audouin C. (1992). The drying kinetics of mint (*Mentha spicata* Huds), *Journal of Food Engineering*, vol. 17, pp. 15-28

M

Martini M. C. (2011). Introduction à la dermatopharmacie et à la cosmétologie, Tec & Doc, 3^{ème} éd, Lavoisier, 500p.

Madec J Y. 2013 - Résistance aux antibiotiques chez l'animal : quel risque pour l'Homme., *Journal des Anti-infectieux.*, 9 (15): 178-186

Médecine Science . 1987 - Paroi bactérienne et bêta-lactamines. ; 3: 75-8

Menaceur F. (2011). Composition chimique et activité biologique des huiles essentielles et extraits du romarin (*Rosmarinus eriocalyx*) et de la lavande (*Lavandula stoechas*)
URI: <http://hdl.handle.net/123456789/1268>

Merouane, A. (2013). Caractérisation, physico-chimique des constituants des huiles essentielles de plusieurs espèces de sauges (*Salvia algeriensis*, *S. argentea* et *S. barelieri*), et activité antimicrobienne et antioxydante. Université de Chlef-Hassiba Benbouali

Moghrani H. Legras M et Maachi R. (2009). Contribution à l'étude de la rentabilité du séchage dans l'exploitation des plantes aromatiques algériennes, congrès international sur la santé et l'agro- alimentaire,

Moller J., Reisinger G., Kisgeci J., Kotta T E., Tešić M., And W. Ohlbauer V. (1998). Development of a greenhouse-type solar dryer for medicinal plants and herbs, solar & wind technology vol. 6, no. 5, pp. 523-530, 1989.

Moreau, B. (2003). Travaux Dirigés et Travaux Pratiques de Pharmacognosie de 3^{ème} Année de Doctorat de Pharmacie. faculté de Pharmacie de Nancy

N

Naghibi F., Mosaddegh M., Motamed S. M., Ghorbani A. (2005). Labiatae family in folk medicine in Iran : from ethnobotany to pharmacology. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 2(4), 63-79.

Nicolas M et Daniel. C. (1998) . Activités technologiques en microbiologique Techniques de base et méthodologie. Editeurs CRDP D'Aquitaine-Bordeaux, pp152.

O

Ohno T., Kila M., Yamaoka Y.,Imamura S., Yamamoto T., Mitsufuji S., Kodama T., Kaschima K., Imanishi J. (2003). Antimicrobial activity of essential oils against *Helicobacter pylori*, *Helicobacter*, Vol. 8, 207-215.

Ojeda-Sana A M., van Baren C M., Elechosa AM., Juárez MA., Moreno S. (2013). New insights into antibacterial and antioxidant activities of rosemary essential oils and their main components. *Food Control* ; 3 : 189-195.

Olle M., Bender I. (2010). The content of oils in Umez »ebelliferous crops and its formation. *AgronomyResearch* ; 8(3) : 687-696

Olthof M. R., Hollman P. C. H., Katan M. B. (2001). Chlorogenic acid and caffeic acid are absorbed in humans. *The Journal of Nutrition*, 1(131), 66-71.

O.M.S. (2003). Médecine traditionnelle. Cinquante-sixieme Assemblee Mondiale de la Santé A56/18 Point 14.10 de l'ordre du jour provisoire

Ouafi N, Moghrani H, maachi R. (2015). Influence du procédé de séchage des plantes aromatiques et médicinales sur le rendement en huile essentielle (cas de trois menthes) 5ème Séminaire Maghrébin sur les Sciences et les Technologies du Séchage (SMSTS'2015) Ouargla (Algérie),

Ouis, N. (2015). Etude chimique et biologique des huiles essentielles de coriandre, des fenouils et de persil. Diss. Thèse de Doctorat, Université Ahmed Ben Bella-Oran, Alger

Oussou K R., Yolou S., Boti J B., Guessennd K N., Kanko C., Ahibo C., Casanova J. (2008). Etude chimique et activité anti-diarrhéique des huiles essentielles de deux plantes aromatiques de la Pharmacopée Ivoirienne, *European Journal of Scientific Research*, Vol. 24, 94- 103.

P

Pelt, J. M. (1980). Les drogues: leur histoire, leurs effets. Doin

Pfeifer, P. (2008). Docteur, c'est la prostate?: tout sur la prostate, ses troubles, ses traitements. Alpen Editions sam.

Pistelli. L. (2006). Photochemicals from lamiaceae: from nutraceuticals to Hallucinogens. International symposium The Labiatae: Advances in Production, Biotechnology and Utilization

Podie M., Karelle N.1999 -Evaluation de la sensibilité aux antibiotiques des germes les plus fréquemment isolés au laboratoire de bactériologie du CNHU de Cotonou (à propos de 896 souches bactériennes isolées du 1er Mars au 30 Juin. Thèse de Med; No 853, 145 pages

Provost, M. (1991). Des plantes qui guérissent. BQ.

Q

Quezel P., et Santa S. (1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales, Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 1170 p.

R

Radulescu V., Silvia C & Eliza O. (2004). Capillary gas chromatography-mass spectrometry of volatile and semi volatile compound of *salvia officinalis*. Journal of chromatography a, 1027:121-126.

Rhayour K . 2002 - Etude du mécanisme de l'action bactéricide des huiles essentielles sur *Esherichia coli*, *Bacillus subtilis* et sur *Mycobacterium phlei* et *Mycobacterium fortuitum*. Thèse de doctorat. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Faculté des Sciences Dhar Mehraz –Fès . 170 p

Raiss A. ; Les lavandes de la région de Khemessat. (1998). Contribution à l'étude de quelques facteurs affectant les rendements et la qualité de leurs huiles essentielles ; Mémoire de 3e cycle agronomique option : Industries Agricoles et Alimentaires ; I. A. V. Hassan II, Rabat, Maroc

Raja R. R. (2012). Medicinally Potential Plants of Labiatae (*Lamiaceae*) Family: An Overview. *Research Journal of Medicinal Plants*,3(6), 203-213.

Rameau J. C., Mansion D., Dumé G. (2008).Flore forestière française : guide écologique illustré. Région méditerranéenne. Institut pour le développement forestier, Paris, 2426p

Rédaction, P. (2007). Bien utiliser les plantes en situation de soins. *Revu Prescrire*, 27, 288.

Regnault-Roger C., Philogène B. J. R., Vincent C. (2008).Biopesticides d'origine végétale. Tec & Doc, 2ème éd, Lavoisier, Paris, 546p.

Rokia, S., Drissa, D., Seydou, D., Colette, E., & Flabou, B. (2006). Activite antibacterienne et antalgique de deux recettes traditionnelles utilisees dans le traitement des infections urinaires et la cystite au Mali. *Mali Médical*, 21(1), 18.

S

Salhi S, Fadli M, Zidane L & Allal Douira. (2010). Etudes floristique et ethnobotanique des plantes médicinales de la ville de Kénitra (Maroc). *LAZAROA* 31: 133-146

Sanogo R; Diallo D; Diarra S; Ekoumou C; Bougoudogo, F. (2006). Activité antibactérienne et antalgique de deux recettes traditionnelles utilisées dans le traitement des infections urinaires et la cystite au Mali. *Med. Afr. noire (En ligne)*; 21 (1) : 18-24

T

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

U

Ulbricht C., Abrams T. R., Brigham A., Ceurvels J., Clubb J., Curtiss W., Kirkwood C. D., Giese N., Hoehn K., Iovin R., Isaac R., Rusie E., Serrano J. M., Varghese M., Weissner W., Windsor R. C. (2010). An evidence-based systematic review of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) by the Natural Standard Research Collaboration. *Journal of Dietary Supplements*. 4(7), 351–413.

V

Valnet, J. (1983). Phytothérapie: se soigner par les plantes. Librairie générale française.

Véronique F. (2003). La résistance bactérienne ISTES/Université Laval.

Vernon, P. (1978). Décomposition de cadavres de micromammifères; problèmes méthodologiques relatifs à l'étude des processus de nécrophagie et d'enrichissement organique (Doctoral dissertation)

W

Walker, J. B, Kenneth, J, Treutlein, J & Wink, M. (2004). *Salvia* (lamiaceae) is not monophyletic: Implications for the systematics, radiation, and ecological specializations of *Salvia* and tribe Menthae. *American Journal of Botany*, 91 (7), 111

Wichtl M., Anton R. (2003). Plantes thérapeutiques, Traditions, pratique officinale, science et thérapeutique, Tec & Doc, 2ème édition, éditions médicales internationales, 692p.

Wolter skluwer, (2007). Botanique pharmacognosie phytothérapie.1, rue Eugène et Armand Peugeot.92500 Rueil-Malmaison Cedex.

Wollinger A., Perrin É., Chahboun J., Jeannot V., Touraud D., Kunz W. (2016). Antioxidant activity of hydro distillation water residues from *Rosmarinus officinalis* L. leaves determined by DPPH assays. *Comptes Rendus Chimie*, 6(19): 754–765.

Z

Zahalka J.-P. (2005). Les plantes en pharmacie : propriétés et utilisations. Paris : Editions du Dauphin, 239p

Zaouli y., bouzaine t., Boussaid M. (2010). Essential oils composition in tow *Rosmarinus Officinalis* L. varieties and incidence for antimicrobial and antioxidant activities .*Food and chemical toxicology* ; 48 : 3144-3152.

Zermane A. (2010). Etude de l'extraction supercritique : Application aux systèmes agroalimentaires. Thèse de Doctorat, Université Mentouri, Constantine

Zeghlache, M. T., & Zid Elkhir, L. (2021). Etude Ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le domaine cosmétique et dermatologique dans la région de M'Sila (L'Est Algérien). UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.

Zrira. S. (1992). Les huiles essentielles d'Eucalyptus du Maroc. Facteur influençant la productivité et la qualité de ses essences, Thèse de Doctorat, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc.

Zwicke M., Picon-Cochard C., Morvan-Bertrand A., Prud'homme M. P., Volaire F. (2015). What functional strategies drive drought survival and recovery of perennial species from upland grassland? *Annals of Botany*, 6(116), 1001-101.