

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF – M'SILA**



**Mémoire**

**En vue de l'obtention du Diplôme de Master**

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

**Filière : Biotechnologie**

**Spécialité : Biotechnologie Végétale**

**Thème :**

**Etude biologique et pharmacologique de la coriandre :  
*Coriandrum sativum* L.**

**Présentée par : BEN YATTOU Aya**

**Devant le jury :**

<b>Président</b>	<b>MERABTI Karim</b>	<b>MCB</b>	<b>Université de M'sila</b>
<b>Encadrant</b>	<b>SMAILI Tahar</b>	<b>Pr</b>	<b>Université de M'sila</b>
<b>Examineur</b>	<b>KHELFA Hanane</b>	<b>MCB</b>	<b>Université de M'sila</b>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



## *Remerciements*

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Je remercie tout particulièrement mon encadreur, Dr. Samaïli Tahar, pour son soutien constant, ses précieux conseils et son suivi attentif qui ont grandement contribué à la réussite de cette recherche.

Je n'oublie pas d'exprimer ma reconnaissance à ceux qui ont participé à ma formation scientifique tout au long de mon parcours, notamment Dr. Khalfa Hanane et Professeur Ben Dhaif Hamdi, pour les connaissances et les conseils qu'ils m'ont transmis au cours des années passées, et qui ont contribué à la construction de mon savoir.

Enfin, j'adresse mes remerciements à ma famille et à mes amis pour leur soutien moral et leurs encouragements continus.

## Dédicace

À la source de tendresse et de sérénité,  
à ceux dont les prières ont été le secret de ma réussite,  
à ma mère et à mon père,  
je vous adresse mes plus profonds remerciements et toute ma gratitude. Tout ce que je suis  
aujourd'hui est le fruit de votre amour et de votre patience.

À mes sœurs et frères,  
vous avez toujours été mon appui et ma belle compagnie tout au long de ma vie. Merci pour  
votre présence précieuse.

À celui qui m'a soutenue discrètement,  
merci pour ta compréhension et ton encouragement qui ont compté à chaque étape.

À mes chères amies : Kholoud et Aïcha,  
vous avez été la lumière dans les moments sombres et la force dans les moments de doute.  
Merci pour vos grands cœurs.

À mes professeurs respectés,  
je vous adresse toute ma reconnaissance et mon respect. Vous avez été des phares de savoir et  
de conseil, et votre empreinte dans ce travail est inestimable.

À vous tous, je dédie le fruit de mes efforts et de mes journées de labeur... avec tout mon  
amour et ma gratitude.

## Liste des figures

Figure 1: Plante des Apiaceae.....	4
Figure 2 : Feuille de la coriandre A : au stade végétatif, B : au stade de floraison .....	6
Figure 3 : Différents stades de développements des fruits du coriandre .....	7
Figure 4 :montre Attraction des pollinisateurs .....	12
Figure 5 :compétition entre les plantes pour la germination et croissance .....	13
Figure 6 :montre la protection de l'attaque des pathogènes ou des herbivores .....	13
Figure 7: Schéma du principe de la technique d'hydrodistillation.....	17
Figure 8: Les différents types d'extraction par solvants volatils. ....	18
Figure 9: Montage de l'entraînement à la vapeur d'eau .....	19
Figure 10: Montage de l'expression à froid .....	20
Figure 11: Schéma de la technique d'extraction par le CO <sub>2</sub> supercritique.....	22
Figure 12: Schéma de L'enfleurage à froid. ....	23
Figure 13: Schéma de Distillation « sèche » .....	24
Figure 14: Schéma de l'extracteur Soxhlet .....	25
Figure 15: Photo de l'appareil Rotavapor .....	25
Figure 16: Photographie de l'agitateur secoueur utilisé pour l'extraction batch. ....	26
Figure 17: Schéma d'extraction par solvant assistée par micro-ondes. MAE (Microwave Assisted Extraction) et MAP™ (Microwave Assisted Process).....	27
Figure 18: schéma du montage d'extraction selon le principe « VMHD » .....	27
Figure 19: schéma d'extraction selon le principe SFME (Solvant Free Extraction Microwave). ....	28
Figure 20: Schéma du procédé d'hydrodiffusion .....	30
Figure 21: schéma d'extraction assistée par ultrason .....	30
Figure 22: schéma d'Extraction par Détente Eclair.....	31
Figure 23: Schéma d'une unité de Détente Instantanée Contrôlée (DIC) et son cycle traitement. ....	33
Figure 24: Schéma de principe d'une extraction par CO <sub>2</sub> supercritique .....	34
Figure 25: Schéma de L'extraction par fluide pressurisé .....	36
Figure 26: Schéma de L'extraction par eau supercritique .....	37
Figure 27: Schéma de L'extraction par fluide supercritique .....	38
Figure 28:Schéma de L'extraction assistée par ultra-sons.....	39
Figure 29 .....	41
Figure 30:Représentation des voies de biosynthèse des polyphénols.....	43
Figure 31:Effets biologiques des polyphénols.....	46
Figure 32: Structure d'acide ferulique.....	47
Figure 33: Structure d'acide chlorogénique .....	47
Figure 34: Structure d'acide caféique .....	48
Figure 35 :Structure d'Acide gallique.....	49
Figure 36:Structure de base des flavonoïdes .....	50
Figure 37: Structure des lignanes .....	52
Figure 38 :Les huit groupes structuraux de lignanes .....	53
Figure 39: Structure d'un stilbène .....	54
Figure 40:Squelette de base des coumarines .....	54
Figure 41:Structure de coumarine .....	55
Figure 42 :Psoraléne.....	56
Figure 43:Anégélicine .....	56

Figure 44:Quelques structures de Furanocoumarines dérivés de structure de base .....	57
Figure 45:Structures de quelques pyranocoumarines .....	57
Figure 46:Structures des quelques dicoumarines .....	57
Figure 47: Structure de triumbéllatine type des tricoumarines .....	58
Figure 48:Structures de l'acide gallique et d'un tannin gallique .....	59
Figure 49: Structure chimique des différents flavan-3-ols (structure de base des TCs) .....	60
Figure 50: Structure de quelques proanthocyanidines (TCs) .....	60

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition mondiale des genres d'Apiaceae .....	7
Tableau 2 : Composition chimique de certaines espèces d'Apiaceae .....	9
Tableau 3 : Utilisations ethno-médicinaux de quelques espèces d'Apiaceae .....	10
Tableau 4: présente quelques classes distinctes des flavonoïdes .....	50
Tableau 5: montre la structure chimique brute des quelques génines coumariniques.....	55
Tableau 6: montre la structure chimique brute des quelques hétérosides .....	56
Tableau 7 : Summary of pharmacological studies for <i>Coriandrum sativum</i> L. ....	74

## Table des matières

### Remerciements

### Dédicace

### Liste des figures

### Liste des tableaux

### Table des matières

### Résumé

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

## CHAPITRE I : Description Botanique

I- La famille des Apiaceae .....	4
1- Généralité.....	4
II- La coriandre.....	5
1- Généralités sur la coriandre .....	5
1.1. Origine et historique.....	5
1.2. Classification et noms vernaculaires .....	5
1.3. Description botanique .....	6
1.4. Exigences pédoclimatiques .....	7
1.5. Répartition géographique .....	7
1.6. Composition chimique de la coriandre.....	8
1.7. Usages et propriétés thérapeutiques .....	10

## CHAPITRE II: Métabolite Secondaire

I. Les métabolites secondaires.....	12
1. Classification des métabolites secondaires .....	12
2. Fonction des métabolites secondaires .....	12
2.1. Fonctions pour la plante .....	12
2.1.1. La coopération avec les animaux .....	12
2.1.2. Lutte contre la compétition avec d'autres plantes.....	13
2.2.3. Protection de l'attaque des pathogènes ou des herbivores .....	13
2.2. Rôle pour l'Homme.....	13
2.2.1. Utilisation en médecine .....	13
2.2.2. En Agriculture exemple : .....	14
2.2.3. En alimentation : .....	14
2.2.4. En cosmétique : .....	14
II- Généralités sur les huiles essentielles : .....	14
1. Répartition, localisation et fonction .....	15
2. Méthode d'extraction des huiles essentielles .....	16
2.1- Hydrodistillation : .....	16
2.2 Extraction par solvants volatils : .....	17
2.3. Entraînement par la vapeur d'eau : .....	19
2.4 L'expression à froid ou Expression mécanique : .....	20
2.5 Extraction par le CO <sub>2</sub> : .....	21

2.6 Enfleurage à froid :.....	22
2.7 Distillation « sèche » :.....	23
2.8 Extraction Soxhlet :.....	24
2.9 Extraction en mode batch (échelle laboratoire) : .....	25
2.10 Technique de l'extraction assistée par micro-ondes .....	26
2.11 Extraction Méthode d'hydrodiffusion :.....	29
2.12 Extraction par ultrasons :.....	30
2.14 Détente Instantanée Contrôlée : .....	32
2.15. Extraction par des solvants supercritiques :.....	33
2.16. Les méthodes d'extraction par fluide compressé :.....	35
2.16.1. L'extraction par fluide pressurisé (PLE, PressurizedLiquid Extraction) :.....	35
2.16.2. L'extraction par eau subcritique (SWE, Subcritical Water Extraction) :.....	36
2.16.2 L'extraction par fluide supercritique (SFE, Supercritical Fluid Extraction).....	37
2.17. L'extraction assistée par ultra-sons (UAE, Ultrasonic Assisted Extraction) .....	38
3. La filière des huiles essentielles .....	39
3.1. Secteur parfumerie/ cosmétique .....	39
3.2. Secteur parfumerie technique.....	39
3.3. Secteur alimentaire.....	40
3.4. Secteur médecine.....	40
III. Les composés phénoliques .....	41
1. Définition .....	41
2. Structure chimique .....	41
3. Biosynthèse des polyphénols .....	42
3.1. La voie de l'acide shikimique : .....	42
3.2. Voie de l'acétate :.....	42
4. Propriétés biologiques des polyphénols .....	43
4.1. Activité antioxydant .....	43
4.2. Effets anti-trombotique et vasodilatatoires .....	44
4.3. Effet antiallergique.....	44
4.4. Effet anti-inflammatoire.....	45
4.5. Effet anti-ulcère.....	45
4.6. Effet anticancéreux.....	45
4.7. Rôle des polyphénols chez la plante .....	45
5. Classification des polyphénols .....	46
5.1. Les acides phénoliques.....	46
5.1.1. Acides hydroxycinamiques .....	47
5.1.1.1. Acide ferulique.....	47
5.1.1.2. Acides chlorogéniques .....	47
5.1.1.3. Acide caféique.....	48
5.1.2. Acide hydroxybenzoïques .....	48
5.1.2.1. Acide gallique .....	48
5.2. Les flavonoïdes .....	49
5.2.1. Définition .....	49
5.2.2. Structure des flavonoïdes .....	49

5.2.3. Classification des flavonoïdes .....	50
5.3. Les lignanes.....	51
5.3.1. Définition .....	51
5.3.2. Structure des lignanes.....	52
5.3.3. Activité biologique.....	53
5.4. Les stilbènes .....	53
5.4.1. Définition .....	53
5.5. Les coumarines.....	54
5.5.1. Définition .....	54
5.5.2. Classification des coumarines .....	55
5.5.2.1 Coumarines Simples.....	55
5.5.2.2. Furanocoumarines .....	56
5.5.2.3. Pyranocoumarines .....	57
5.5.2.4. Dicoumarines (coumarines dimériques).....	57
5.5.2.5. Tricoumarines (coumarines trimériques) .....	57
5.5.3. Activités biologiques et intérêts pharmacologiques des coumarines .....	58
5.5.4. Toxicité des coumarines.....	58
5.6. Les tannins.....	59
5.6.1. Définition .....	59
5.6.2. Classification.....	59
5.6.2.1 Les tannins hydrolysables .....	59
5.6.2.2 Les tannins condensés .....	60
5.6.3 Effets bénéfiques des tannins .....	61
5.6.4. Effets toxiques.....	61
5.6.5. Rôle des tannins dans les plantes .....	61

### **CHAPITRE III : Propriétés Pharmacologiques et activités Biologiques**

Introduction .....	64
1- Propriétés pharmacologiques de la coriandre .....	64
1.1. Activité analgésique .....	64
1.2. Activité vermifuge.....	64
1.3. Activité antibactérienne.....	64
1.4. Activité anticancéreuse .....	66
1.5. Activité anticonvulsivante.....	66
1.6. Activité antifongique.....	67
1.7. Activité anti-inflammatoire .....	68
1.8. Activité antioxydante .....	68
1.9. Activité anxiolytique .....	69
1.10. Activité hypoglycémiant .....	69
1.11. Activité hypolipémiante .....	69
1.12. Activité insecticide.....	70
1.13. Amélioration de la mémoire.....	70
1.14. Activité hypnotique sédatif .....	71
1.15. Autres activités.....	71

2. Considérations relatives à la sécurité .....	71
Conclusion.....	84
Références bibliographiques .....	87

## Resumé:

Notre objectif est de réaliser un résumé théorique de la plante aromatique (**Coriandrum sativum L.**) et de résumer les propriétés pharmacologiques et thérapeutiques de cette plante médicinale. Nous mentionnons également les produits métaboliques et secondaires les plus importants de cette plante.

La coriandre est une plante herbacée annuelle appartenant à la famille **des Apiacées (Umbelliferae)**, largement connue pour ses usages culinaires et médicaux traditionnels. **C. sativum** contient divers composés phytochimiques tels que des polyphénols, des huiles essentielles, des vitamines et de nombreux phytostérols, qui confèrent de multiples propriétés et effets anticancéreux, anti-inflammatoires, antidiabétiques et analgésiques.

Nous aimerions également résumer les bienfaits de **C. sativum** pour le cœur et les vaisseaux sanguins. En discutant de ses activités dans les maladies cardiovasculaires, en conclusion, **C. sativum** peut être considéré comme un aliment fonctionnel en raison de sa large gamme d'avantages cardiovasculaires tels que des effets antihypertenseurs, antiathérosclérotiques et hypolipidémiques en plus de ses effets cardioprotecteurs.

## ملخص

نهدف إلى انجاز حوصلة نظرية للنبات العطري الكسبرة *Coriandrum sativum L.* ونلخص الخصائص الفارماكولوجية والعلاجية لهذه النبتة الطبية كما نذكر اهم المنتجات الايضية والثانوية لهذه النبتة . الكسبرة نبات حولي ينتمي إلى العائلة (*Apiaceae (Umbelliferae)*، معروف على نطاق واسع لاستخداماته في الطهي والطب التقليدي . يحتوي *C.sativum* على مواد كيميائية نباتية مختلفة مثل : البوليفينول والزيوت الأساسية + الفيتامينات والعديد من الفيتوستيرول ،والتي تمنح له خصائص وتأثيرات بيولوجية متعددة مضادة للسرطان ومضادة للالتهابات ومضادة لمرض السكري ومسكنات . كما نود تلخيص فوائد *C .sativum* للقلب والاعوية الدموية . مناقشة فعاليتها في امراض القلب والاعوية الدموية ،في الختام يمكن اعتبار *C.sativum* غذاء وظيفيا نظرا لمجموعة واسعة من فوائد القلب والاعوية الدموية مثل : ارتفاع ضغط الدم ،ومضاد لتصلب الشرايين ،وخافض شحميات الدم بالإضافة إلى تأثيرات وقائية للقلب .

## **Abstract**

We aim to provide a theoretical overview of the aromatic coriander plant, (**Coriandrum sativum L.**), summarizing the pharmacological and therapeutic properties of this medicinal plant. We also highlight its most important metabolites and secondary products.

Coriander is an annual plant belonging to the **Apiaceae (Umbelliferae)** family, widely known for its culinary and traditional medicinal uses. **C. sativum** contains various phytochemicals, such as polyphenols, essential oils, vitamins, and numerous phytosterols, which confer multiple anticancer, anti-inflammatory, antidiabetic, and analgesic properties and effects.

We also summarize the cardiovascular benefits of **C. sativum**, discussing its activities in cardiovascular diseases. In conclusion, **C. sativum** can be considered a functional food due to its wide range of cardiovascular benefits, including antihypertensive, antiatherosclerotic, and hypolipidemic effects, as well as cardioprotective effects.

# *Introduction*

## **Introduction**

La famille des Apiacées, ou famille de la carotte, est l'une des familles de plantes à fleurs les plus étudiées, comprenant environ 450 genres et 3 540 espèces (**Smaili et al., 2011**). Cette grande famille est un producteur bien connu d'huile essentielle dotée de propriétés thérapeutiques, notamment des activités antibactériennes, antioxydantes et antifongiques, c'est pourquoi elle est utilisée comme conservateur naturel pour les produits alimentaires (**Smaili et al., 2021**).

Une plante aromatique est une « plante qui produit et exsude des substances aromatiques ». Ces substances sont utilisées pour leurs odeurs par les industries agroalimentaire, pharmaceutique ou encore cosmétique et de parfumerie (**Detry, 2017**).

Une plante médicinale est une plante contenant un certain nombre de composants actifs lui conférant des propriétés thérapeutiques. Elles sont dès lors utilisées par l'homme dans le cadre de la médecine ou de son bien être (**Daniel, 2006**).

L'évolution des plantes aromatiques et médicinales est liée au développement de la civilisation. Dans toutes les régions du monde, ces plantes jouent un rôle important dans la médecine traditionnelle et dans les préparations culinaires. Les chercheurs continuent d'explorer la valeur de l'utilisation de ces plantes comme sources de substances bioactives naturelles. Actuellement, entre 20 000 et 25 000 plantes sont utilisées en pharmacologie. La majorité de ces médicaments sont d'origine végétale et contiennent au moins une molécule active (**Tabac et al., 2022**).

Les plantes ont des milliers de substances actives dans leurs organes (feuilles, fleurs, racines...etc.) et selon des techniques chimiques (extraction, distillation...), les ingrédients actifs l'isolation pour la médecine peuvent être isolés. Ces remèdes naturels sont souvent très efficaces et ont moins d'effets secondaires reconnus que de nombreuses de médicaments de synthèse, mais peuvent toujours être mortels ou toxiques pour l'organisme lorsqu'ils sont mal utilisés (**Kissoum et Khalfaoui, 2015**).

Actuellement, le développement de la résistance microbienne aux antibiotiques et la toxicité des antioxydants synthétiques ont conduit les chercheurs vers le monde végétal notamment les plantes médicinales et culinaires à la recherche de molécules naturelles efficaces et sans effets nocifs. De nombreuses études ont mis en évidence la présence de métabolites secondaires doués d'activités biologiques telles que les polyphénols, alcaloïdes, terpènes ...etc. (**Boudjouref, 2011**).

L'Algérie, la porte d'entrée de l'Afrique, par son climat très varié (la mer méditerranéenne au Nord et le Sahara dans le sud) et sa situation géographique

particulière bénéficie d'une flore riche et diversifiée qui s'étend sur tout le territoire algérien. En effet, le Nord de l'Algérie présente un large éventail d'espèces endémiques adaptées au climat de la région et appartenant à différentes familles: les Lamiaceae, les Asteraceae, les Apiaceae...etc. (Quézel et Santa, 1963).

Dans le cadre de l'exploitation et de la valorisation des substances naturelles des plantes de la flore algérienne, qui est particulièrement riche en plantes médicinales et aromatiques, nous nous sommes intéressés à l'étude phytochimique est la détermination de la composition chimique de métabolites secondaires du genre **Coriandre** (*coriandrum sativum* L.) qui appartient de la famille des Apiacées provenant de différentes régions de l'Algérie ainsi que l'évaluation de caractères médicinaux (activités biologiques) de l'extrait de la plante.

Le présent travail de recherche est scindé en grande partie, sous forme d'une synthèse bibliographique, est composée de trois chapitres:

- **Le premier chapitre est consacré à la présentation de la description botanique .**
- **Le chapitre deux traite du métabolisme secondaire et comprend deux rubriques : les huiles essentielles et les polyphénols.**
- **Le troisième chapitre présente les propriétés pharmacologiques et les activités biologiques.**

# ***CHAPITRE I***

## ***Description Botanique***

## I- La famille des Apiaceae

### 1- Généralité

Les Apiaceae (Apiacées) anciennement appelées Umbellifères (reconnaisables par leur inflorescence en ombelle), est une famille de plantes dicotylédones, elle comprend de nombreuses espèces environ **3700** réparties en **469** genres se distribués dans toutes les régions tempérées mais surtout dans l'hémisphère Nord. C'est une famille très homogène **(Figure 01)**

composées. Paradoxalement, les espèces de cette famille sont assez difficiles à différencier les unes des autres **(Filliat, 2012)**. Beaucoup de membres de cette famille sont des espèces aromatiques et économiquement importantes, utilisées comme aliments, épices, condiments et plantes ornementales **(Flamini, 2013)**.

La famille des Apiaceae, ou famille des carottes, est l'une des familles les plus étudiées de plantes à fleurs, cette grande famille est un producteur bien connu d'huile essentielle dotée de propriétés thérapeutiques, à savoir les activités antibactériennes, antioxydantes et antifongiques, il est donc utilisé comme naturel conservateurs pour produits alimentaires **(Smaili et al., 2016)**.



**Figure 1: Plante des Apiaceae (Esseid, 2018)**

## **II- La coriandre**

### **1- Généralités sur la coriandre**

#### **1.1. Origine et historique**

L'origine de la coriandre est incertaine. Elle poussait à l'état sauvage dans une vaste zone au Proche-Orient et dans le Sud de l'Europe. Quinze méricarpes desséchés ont été trouvés au niveau Néolithique que précéramique B de la grotte de Nahal Hamar en Israël, ce qui est peut être la plus ancienne trace archéologique de coriandre (environ 6 000 ans av. J.C.) **(Diederichsen, 1996)**.

La coriandre semble avoir été cultivée dans la Grèce antique au moins depuis le IIe millénaire av. J.-C. Des tablettes en linéaire B provenant de la civilisation mycénienne mentionnent la coriandre, en quantité importante, comme offrande rituelle ou comme matière première pour la confection d'onguents et de produits aromatiques à l'usage des temples-palais **(Dodinet et al., 2001)**.

Une des tablettes retrouvées à Pylos fait référence à la coriandre comme étant cultivée pour la fabrication de parfums, et elle aurait été utilisée sous deux formes : comme épice pour ses graines, et pour la saveur de ses feuilles **(John Chadwick ,1976)**.

Une grande quantité de coriandre a été retrouvée dans une couche de l'Age du bronze ancien à Sitagroi en Macedonia, renforce l'hypothèse de la culture de la plante à cette période **(Fragiska, 2005)**.

#### **1.2. Classification et noms vernaculaires**

La Coriandre (*Coriandrum sativum*) est une plante herbacée annuelle de la famille des Apiacées (Ombellifères). Elle comprend plus de 3000 espèces. La classification botanique de la coriandre selon **(Quezel et Santa., 1963)** est la suivante :

Règne : Plantae

Embranchement : Spermaphytes

Sous Embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Ordre : Apiales

Famille : Apiaceae

Genre : *Coriandrum*

Espèce : *Coriandrum sativum* L.

Diverses appellations ont été attribuées à *C. sativum*. Nous citons quelques dénominations vernaculaires internationales : en arabe, kusbar, en français, persil arabe, persil chinois et en anglais, coriander **(Baba Aissa, 1999)**.

### 1.3. Description botanique

La coriandre est une plante annuelle à racine pivotante. Elle est élancée, ramifiée, mesurant généralement en floraison de 30 à 60 cm, mais pouvant atteindre 1,4 m (Diederichsen, 1996). Les tiges, sont vertes, dressées, grêles, cylindriques et striées, parfois avec plusieurs ramifications latérales au niveau du premier nœud. Chaque ramification se termine par une inflorescence unique. La base de la tige d'un plant adulte est creuse et peut atteindre 2 cm de diamètre (Diederichsen, 1996).

Les feuilles, sont vert clair, glabres et alternes. Les feuilles basales sont pétiolées, incisées et dentées. Les feuilles supérieures, sont sessiles, finement découpées en lanières et pourvues d'une longue et large gaine (Figure 2) (Coste, 1937).

Les feuilles de *Coriandrum sativum* L. changent de forme pendant la période de floraison : au début elles sont belles, bien plates et peu à peu elles deviennent fines rappelant la forme des fleurs d'aneth. C'est la transformation tout à fait normale, qui indique la montée en graines du plant (Figure 2) (Diederichsen, 1996).



Figure 2 : Feuille de la coriandre A : au stade végétatif, B : au stade de floraison

L'inflorescence, est une ombelle composée de 2 à 8 rayons primaires de tailles différentes (de telle sorte que les ombellules soient placées au même niveau) et 5 à 20 rayons secondaires (Diederichsen, 1996).

L'involucre a une ou deux bractées foliacées linéaires, mais parfois inexistantes. Les involuclles ont de 3 à 5 folioles (bractéoles) linéaires, courtes, réfléchies et unilatérales (Coste, 1937).

Les fleurs, sont radiales régulières au centre de l'ombelle, mais irrégulières à la périphérie. Elles comportent 5 sépales, 5 pétales blancs ou rosés, 5 étamines, 2 styles relativement longs et un ovaire super bicarpellaire (Figure 2) (Filliat, 2012)

Les fruits, sont globuleux, parfois légèrement allongés, de 3 a 6 mm de diamètre (Diederichsen, 1996).

Les fruits frais sont verts et dégagent la même odeur que les feuilles. Ils deviennent beige, puis ocre-brun clair au cours de leur maturation et développent une odeur plus aromatique. Ce sont des schizocarpes (diakènes) constitués de deux méricarpes hémisphériques accolés et surmontés de ce qui reste du stylopede (parfois des styles) et des dents du calice, ne se séparant qu'une fois très secs. Chaque méricarpe a 9 cotés : 5 primaires flexueux déprimés, 4 secondaires saillantes et carénées (Figure 3) (Coste, 1937).



A :Fruits verts      B :Fruits murs      C :Fruits murs et secs

**Figure 3 : Différents stades de développements des fruits du coriandre (Anonyme, 2016)**

**1.4. Exigences pédoclimatiques**

La coriandre pousse bien dans les sols lourds ou moyens, bien drainés, fertiles et profonds. Éviter de trop fertiliser, car un excès d’azote peut retarder le murissement des akènes (graines) et réduire leur saveur. La plante tolère un pH de 4,9 à 8,2 (Dominique, 1999).

La coriandre s’accommode bien au froid et à la chaleur, mais elle exige le plein soleil et doit être arrosée en période sèche. La coriandre est généralement exempte de ravageurs, mais elle est sensible aux maladies à champignons, particulièrement si le temps est humide et pluvieux ou si la terre est trop riche en azote. La plante est aussi sujette à la pourriture des racines, si le sol est mal drainé (Small, 2001).

**1.5. Répartition géographique**

La coriandre est une plante de la famille des Apiacée ,son habitat d’origine de la méditerranée et cultivée depuis longtemps en Europe, en Asie, dans certains pays d’Afrique et en Amérique (Boskabady et al., 2001) Les principaux exporteurs de la coriandre sont la Turquie, la Tunisie et le Maroc (Wichtelet al., 1999).

**Tableau 1 : Répartition mondiale des genres d'Apiaceae (Heywood et al., 1996; Pimenov et Leonov, 1993).**

Continent	Genres	Endémiques
Afrique	126 divers	50

<b>Amérique</b>	197	52
<b>Asie</b>	265	159
<b>Australie</b>	36	11
<b>Europe</b>	139	29

### **1.6. Composition chimique de la coriandre**

Comme beaucoup de végétaux vert et frais la feuille de coriandre contient : Des pigments caroténoïdes (provitamine), des flavonoïdes antioxydants, des vitamines hydrosolubles notamment vitamine C et K et des acides phénols antioxydants. Il n'y a pas d'alcaloïdes toxique, mais un peu d'huile essentielle (environ 0,7%) 2 dodecenal (environ 10%) et 1- decanol (environ 7%) (**Bruneton, 2009**).

Les feuilles quand on les froisse libèrent les aldéhydes de l'huile essentielle qui possèdent une odeur très marquée, plutôt désagréable, évoquant généralement celle de la punaise. Les racines exhalent une odeur encore plus forte que les feuilles (**Filliat, 2012**). Les fruits contiennent une huile essentielle, ils sont la partie véritablement médicinale, mais seulement quand ils sont bien murs et secs. Les fruits contiennent également des substances de réserve 20% de lipides et 15% de protide (**Filliat, 2012**).

Tableau 2 : Composition chimique de certaines espèces d'Apiaceae (Thiviya et al., 2021).

Apiaceae	Pièce végétale utilisée	Usage	Constituants chimiques importants
Anis ( <i>Pimpinella anisum</i> )	Grains	Condiment ou arôme	Acides phénoliques, y compris l'acide anisique, les isomères de l'acide chlorogénique, l'acide caféoquinique, flavonoïdes, compris rutine, lutéoline-7-glucoside, apigénine-7-glucoside, désorientant, autres composants trans-anethole, estragole, anis cétone caryophyllène, anisaldéhyde, linalool, limonène, pinène, acétaldéhyde, p-crésol, créosote, hydroquinine, farnasène, camphène, eugénol, acétanisole.
Carvi ( <i>Carum carvi</i> L.)	Racine Feuilles Graines	Condiment ou arôme	Acides phénoliques, y compris chlorogènes, p coumarique, caféique et férulique, flavonoïdes, compris kaempferol, quercétine, 3-glucuronide, isoquercitrine, composé volatil, compris limonène, carvone, sesquiterpène, aldéhydes aromatiques, esters terpéniques, terpénol, terpénol, terpénon, safranal, tanins.
Coriandre ( <i>Coriandrum sativum</i> )	Feuilles Graines	Condiment ou arôme Végétal	Acides phénoliques, y compris p-coumariques, féruliques, acide vanillique, chlorogénique, caféique et gallique, flavonoïdes, compris la quercétine, le kaempferol, acacétine, rutine autres linalool, bornéol, géraniol, terpinéol, cumène, pinène, $\gamma$ -terpinène, limonène myrcène, camphène, tocophérols, n-décylaldéhyde p cymol pyrogallol acétique esters acides.
Cumin ( <i>Cuminum cyminum</i> )	Graines	Condiment ou arôme Végétal	Acides phénoliques, y compris la quercétine, pp-coumarique, rosmarinique, vanillique et cinnamique acides, et acide trans-2-dihydrocinnamique autres cuminal, cuminaldéhyde, linalol, cymène et $\gamma$ -terpénoïdes, thymoquinone, 3-carene-10-al, $\gamma$ -terpinène, p-cymène et $\beta$ -pinène, pinocarveol, carotol, résorcinol, tannin.
Aneth ( <i>Anethum graveolens</i> )	Feuilles Graines	Condiment ou arôme Végétal	Acides phénoliques: acides chlorogéniques et benzoïques, nflavonoïdes : quercétine, kaempferol, myricetine, catéchines, isorhamnetine, autres carvone, limonène, géraniol, $\alpha$ -phélandrène, p-cymène.
Fenouil ( <i>Foeniculum vulgare</i> )	Feuilles Graines	Condiment ou arôme Végétal	Acides phénoliques: acide p-coumarique, férulique, quercétine rosmarinique, tannique, caféique, gallique, cinnamique, vanillique, ellagique, chlorogénique et acide, flavonoïdes : rutine, quercétine, kaempferol, autres vitamines C et E, oléorésines, $\beta$ -carotène, $\beta$ -sitostérol, campesterol, eugénol, carnosil, limonène, camphène, $\beta$ -pinène, alcool fenchyl, anisaldéhyde, myristicine, dillapiole.
Persil ( <i>Petroselinum crispum</i> )	Feuilles	Condiment ou arôme Végétal	Acides phénoliques: acide chlorogénique, p coumarique acide, acide caféique, acide gallique, acide vanillique flavonoïdes: apigénine, lutéoline, kaempferol, myricetine, rutine, quercétine.

**1.7. Usages et propriétés thérapeutiques**

La coriandre est utilisée comme stomachique, spasmolytique et carminatif en raison de son huile essentielle, qui exerce de plus une action bactéricide et fongicide, est utilisée dans le traitement des gastrites subacides, des diarrhées et des dyspepsies d’origines diverses. L'ajout de coriandre aux préparations médicamenteuses à base d'anthraquinone semble éviter les coliques qui accompagnent parfois l'utilisation de ces puissants laxatifs. En outre, dans les essais menés chez l'animal, la coriandre a démontré exercer des effets hypoglycémiant ainsi qu'une action stimulante sur la sécrétion d'insuline, des effets connus depuis bien longtemps dans le cadre de la médecine populaire. Elle est en outre utilisée comme vermifuge et comme ingrédient de liniments contre les rhumatismes et les arthralgies (**Wichtl, 2006**).

**Tableau 3 :** Utilisations ethno-médicinaux de quelques espèces d'Apiaceae (Sayed-Ahmad et al., 2017).

<b>Espèces</b>	<b>Nom commun</b>	<b>Usages ethno-médicinaux</b>
<i>Cuminum cyminum</i> L.	Cumin	- Antispasmodique, carminatif, traitement de diarrhée et de troubles digestifs et respiratoires, astringent.
<i>Carum carvi</i> L.	Carvi	- Galactologue, carminatif, efficace dans le polissage des dents et dans le traitement de l'eczéma, pneumonie et troubles gastro-intestinaux.
<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	Fenouil	- Troubles gastro-intestinaux et neurologiques, calculs rénaux, vomissement, diarrhée, antispasmodique, antiseptique, propriétés carminatives et antiulcéreuses.
<i>Coriandrum sativum</i> L.	Coriandre	- Soulagement les spasmes, des troubles gastriques, bronchite, goutte, traiter les troubles gastro-intestinaux comme l'anorexie et la diarrhée.
<i>Pimpinella anisum</i> L.	Anis	- Augmenter les menstruations, urine, sécrétion de sueur, traitement de l'épilepsie, problèmes respiratoires et crises d'asthme bronchique.
<i>Anethum graveolens</i> L.	Aneth	- Carminatif, diurétique, galactologue, stimulant, stomachique, traitement les gripes chez les bébés et soulagement du hoquet et des coliques.
<i>Petroselinum crispum</i> Mill.	Persil	- Traitement de l'hypertension, des maladies cardiaque et urinaires, du diabète, maladie d'Alzheimer, thrombose et accident vasculaire cérébral.

# ***CHAPITRE II***

## ***Métabolite Secondaire***

## **I. Les métabolites secondaires**

Le terme «métabolite secondaire», qui a probablement été introduit par Albrecht Kossel en 1891, est utilisé pour décrire une vaste gamme de composés chimiques dans les plantes, qui sont responsables des fonctions périphérique indirectement essentielles à la vie des plantes. Telles que la communication intercellulaire, la défense, la régulation des cycles catalytiques (Guillaume, 2008).

Les métabolites secondaires (SM) sont présents dans toutes les plantes supérieures, et ayant une répartition limitée dans l'organisme de la plante. Dont plus de 200.000 structures ont été définies (Hartmann, 2007) et sont d'une variété structurale extraordinaire mais sont produits en faible quantité. Ces molécules marquent de manière originale, une espèce, une famille ou un genre de plante et permettent parfois d'établir une taxonomie chimique.

### **1. Classification des métabolites secondaires**

On peut classer les métabolites secondaires en trois grands groupes : les composés phénoliques, les terpènes et les alcaloïdes. Chacune de ces classes renferme une très grande diversité de composés qui possèdent une très large gamme d'activités en biologie humaine (Krief, 2003, Haven et al., 2000).

### **2. Fonction des métabolites secondaires**

#### **2.1. Fonctions pour la plante**

##### **2.1.1. La coopération avec les animaux**

Les métabolites secondaires peuvent être des moyens de signalisation et d'interaction entre les plantes et les animaux disséminateurs ou pollinisateurs : certains métabolites secondaires interviennent dans les mécanismes d'attraction des animaux (monoterpènes parfumées, anthocyanes de couleur ou de caroténoïdes dans les fleurs), nécessaires à la dispersion des graines et des insectes pollinisateurs par l'intermédiaire de couleurs et d'odeurs.



**Figure 4 :montre Attraction des pollinisateurs (Ref.elec.1)**

### **2.1.2. Lutte contre la compétition avec d'autres plantes**

Les métabolites secondaires participent à des réponses allélopathiques : compétition entre les plantes pour la germination et croissance au moyen de toxicité qui empêchent la croissance des autres plantes compétitrices.



**Figure 5 :compétition entre les plantes pour la germination et croissance (Ref.elec.2)**

### **2.2.3. Protection de l'attaque des pathogènes ou des herbivores**

Il ya plus de 100 ans Ernst Stahl a montré expérimentalement que les métabolites secondaires servent de composés de défense contre les escargots et autres herbivores (Wink, 2003).



**Figure 6 :montre la protection de l'attaque des pathogènes ou des herbivores (Ref.elec.3)**

## **2.2. Rôle pour l'Homme**

Les métabolites secondaires végétaux ont des intérêts multiples mis à profit dans l'industrie : en alimentation, en cosmétologie et en pharmacie. Ces composés sont en grande mesure illustrés en thérapeutique (Bahorun, 1997).

### **2.2.1. Utilisation en médecine**

Les métabolites secondaires qui font la base des remèdes pour l'Homme :

- en urologie, dermatologie, gastrites aiguës, toux, ulcères d'estomac, laxatifs, sommeil et désordres nerveux.
- systèmes cardiovasculaires, ex : Flavoce est un médicament constitué par la flavone non substitué en combinaison avec la rutine et isoquercétine est utile dans le traitement de l'athérosclérose.
- drogues immunostimulantes, antispasmodiques et anti-inflammatoire extraits des plantes *Melaleuca alternifolia* et *Echinacea angustifolia*.
- contre le diabète (*Azadirachta indica*).
- les maladies du stress, ces métabolites ont une activité antioxydante, tels le thé noir, le thé vert et le cacao sont riches en composé phénoliques, parmi lesquels theaflavine, le resvératrol, le gallate et epigallocatechine procyanidine (Lee et al., 2005).
- Activité antimicrobienne, antivirale, antiparasitaire: depuis des périodes très anciennes ces substances naturelles ont joué un rôle important dans la découverte de nouveaux agents thérapeutiques tels : la quinine obtenue à partir du quinquina "*Cinchona*" a été avec succès employée pour traiter le malaria, Et l'arbre de thé (*Melaleuca alternifolia*) est renommé aussi pour ses propriétés : anti-infectieux, antifongiques, mais aucune plante n'est aussi efficace que les médicaments antirétroviraux pour arrêter la réplication du VIH (Mohammedi, 2006).

### **2.2.2. En Agriculture exemple :**

Les huiles de l'arbre *Azadirachta indica* ont des utilisations dans l'agriculture, dans le contrôle de divers insectes et nématodes (vers parasites).

### **2.2.3. En alimentation :**

Les épices et les herbes aromatiques contenant des diverses métabolites sont utilisées dans l'alimentation sont pour une bonne part responsables des plaisirs de la table, considérées comme condiments et aromates, ont été et reste très liée à leurs propriétés organoleptiques. Mais également ces métabolites trouvent leur utilisation comme suppléments diététiques (Mohammedi, 2006).

### **2.2.4. En cosmétique :**

Des produits de beauté, parfums et articles de toilette, produits d'hygiène (Mohammedi, 2006).

## **II- Généralités sur les huiles essentielles :**

Les huiles essentielles sont des substances huileuses, volatiles, d'odeur et de saveur généralement fortes, extraites à partir des différentes parties de certaines plantes aromatiques, par les méthodes de distillation, par enfleurage, par expression, par solvant ou par

d'autres méthodes (**Belaiche, 1979 ; Valnet, 1984 ; Wichtel et Anthon, 1999**). La norme française AFNOR NF T75-006 définit l'huile essentielle comme : «un produit obtenu à partir d'une matière première végétale, soit par entraînement à la vapeur, soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe des Citrus, et qui sont séparés de la phase aqueuse par procédés physiques » (**Garnero, 1996**).

### **1. Répartition, localisation et fonction**

Selon **Bruneton. (1999)**, les huiles essentielles n'existent quasiment que chez les végétaux supérieurs, les plantes capables d'élaborer les constituants qui composent ces huiles essentielles sont connues sous le nom de plantes aromatiques, réparties dans un nombre limité de familles, ex : Myrtacées, Lauracées, Rutacées, Lamiacées, Astéracées, Apiacées, Cupressacées, Poacées, Zingibéracées, Pipéracées, etc.

Tous les organes végétaux peuvent renfermer des huiles essentielles en particulier les sommités fleuries (Lavande, Menthe). On les trouve aussi dans les écorces (Cannelier), les racines (Vétiver), les rhizomes (Gingembre), les fruits (Anis, Fenouil, Badiane), le bois (Camphrier), les feuilles (Citronnelle, Eucalyptus), les graines (Muscade) et les boutons floraux (clou de Girofle) (**Belaiche, 1979 ; Paris et Hurabielle, 1981 ; Bruneton, 1999 ; Ghestemet al ; 2001**).

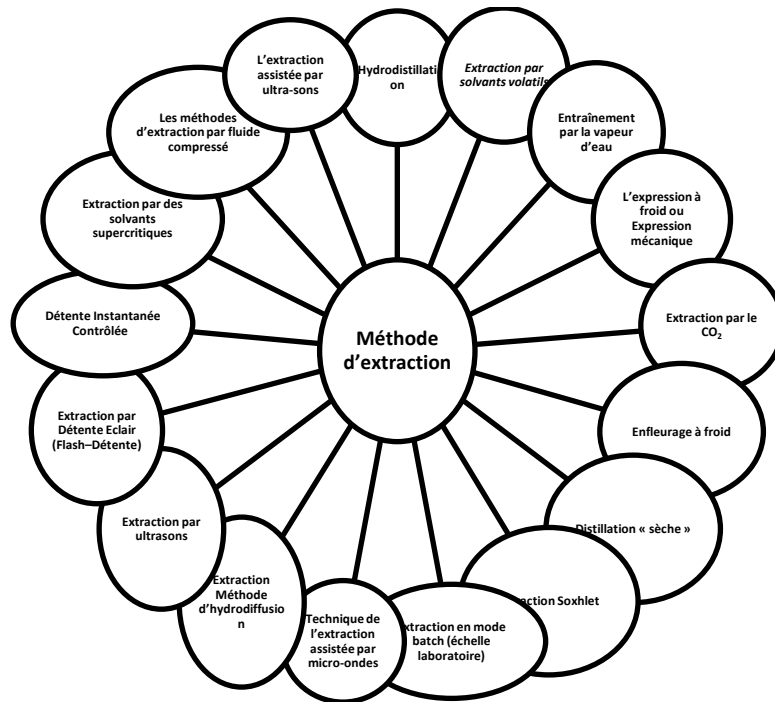
Pour **Guignard et al ; (1985)**, il n'existe pas de règle générale concernant les lieux d'accumulation des métabolites secondaires telles que les huiles essentielles dans l'organisme végétal. Par contre pour **Garneau, (2004)**, la plupart des huiles essentielles se retrouvent dans des glandes. Les structures glandulaires et les cellules sécrétrices isolées peuvent se rencontrer dans tous les organes végétaux, végétatifs et reproducteurs. Plusieurs catégories de tissus sécréteurs peuvent coexister simultanément chez une même espèce, voire dans un même organe.

Certains auteurs pensent que les huiles essentielles pourraient avoir un rôle attractif vis à-vis des insectes pollinisateurs et favoriseraient ainsi la pollinisation (**Bruneton, 1999 ; Abou Zeid, 2000 ; Guignard, 2000**). D'autres auteurs affirment que les huiles essentielles jouent un rôle hormonal, régulateur et catalyseur dans le métabolisme végétal et semblent aider la plante à s'adapter à son environnement. **Belaiche, (1979)** signale que l'utilité des huiles essentielles pour les plantes désertiques est liée à la conservation d'une humidité indispensable à la vie des plantes. Les vapeurs aromatiques permettent de saturer l'air autour de la plante empêchant, le jour, la température de l'air de monter jusqu'à un degré insupportable pour la vie végétale et la nuit de baisser de façon excessive.

Les essences pourraient constituer des supports à une communication et ce d'autant mieux que leur variété structurale autorise le transfert de messages biologiques sélectifs (Bruneton, 1999), tandis que Guignard *et al.* (1985) considèrent l'huile comme une source énergétique : «mis en réserve pendant le jour, ils seraient dégradés durant la nuit en acétylCoA ».

**2. Méthode d'extraction des huiles essentielles**

L'extraction des huiles essentielles des matières végétales peut être réalisée au moyen de nombreux et divers procédés, basés sur des divers techniques anciennes : Distillation, expression, enfleurage, ou incision ou plus récentes : extraction par microonde ou ultrason (De castro *et al* ; 1999). La distillation reste la méthode la plus prisée du fait qu'elle est facile à mettre en œuvre. Le (schéma) regroupe les différentes voies d'extraction des huiles essentielles.



**2.1- Hydrodistillation :**

C'est la technique la plus simple et la plus courante. Il comprend l'immersion Les matières premières sont directement dans l'eau puis bouillies entières. Cette opération est généralement réalisée sous pression atmosphérique. La vapeur formée est condensée par le système de réfrigération à débit d'eau.

Des expériences menées jusqu'à épuisement de l'essence matricielle montrent que le temps de distillation des organes végétaux (Charik et Charik, 2019) ligneux est plus long que celui des plantes herbacées. Cette différence est étroitement liée à l'emplacement des systèmes

de production ou de stockage de H.Es, qui sont soit situés à la surface de la plante, soit à l'intérieur du tissu végétal. Ces ouvrages ont donc un impact sur le processus de distillation de l'eau, c'est-à-dire sur le mécanisme continu mis en jeu, et donc sur la durée de l'opération d'extraction.

Si ces structures sont superficielles, la membrane externe ou la couche cornée se brise rapidement lors de l'ébullition et les composés volatils s'évaporent immédiatement. Lorsque les H.E sont sous la peau, elles doivent d'abord diffuser dans l'épaisseur du tissu végétal puis entrer en contact avec l'eau ou sa vapeur pour s'évaporer comme des sécrétions de surface (Attou ,2017).

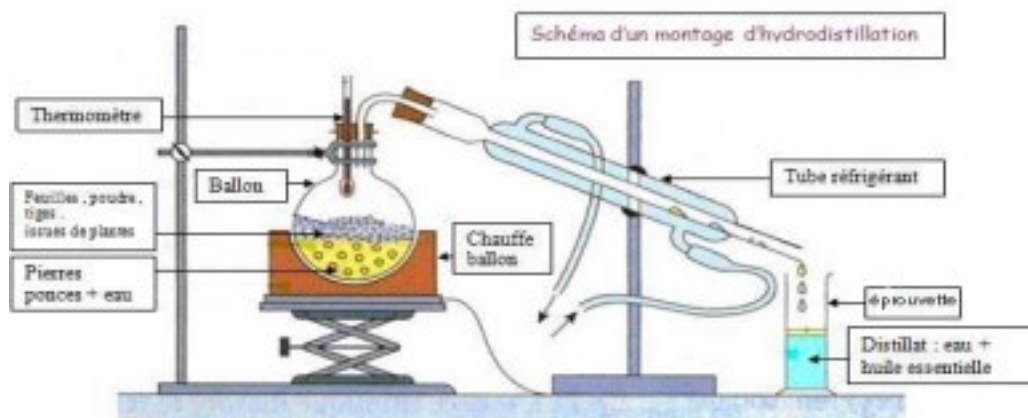


Figure 7: Schéma du principe de la technique d'hydrodistillation

## 2.2 Extraction par solvants volatils :

Cette extraction implique l'utilisation de solvants pour éliminer les produits le même solvant est ensuite utilisé pour la concentration par distillation ou précipitation. On sépare donc l'hydrolat obtenu par distillation de l'extrait de l'alcoolate, et le produit odorant apparaît avec le solvant. Une fois le solvant évaporé, des produits de résine, des onguents et du béton sont obtenus. Le premier solvant est l'éthanol, puis l'éther. Plus tard, le disulfure de carbone, le benzène, l'éther de pétrole, les solvants chlorés et fluorés ont été utilisés.

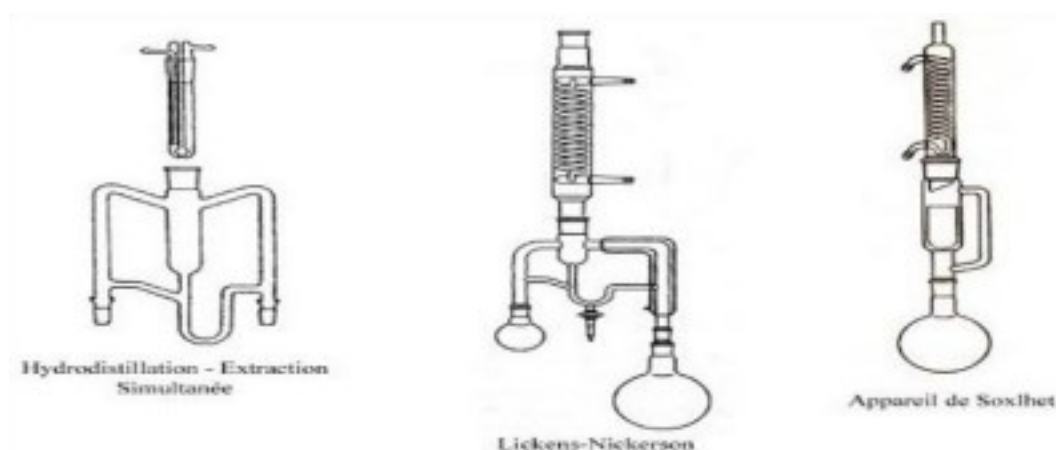
- Le benzène: dans le cas des produits utilisés en parfumerie.
- L'hexane : pour l'ensemble des produits floraux frais.
- Les cétones et les solvants chlorés notamment dans le cas des épices.
- Les alcools (le méthanol et l'éthanol): pour l'extraction des cacaos, des vanilles.
- L'eau : dans le cas des thés et cafés avec utilisation des solvants chlorés quand il s'agit d'éliminer les alcaloïdes .

Un solvant volatil et la matière végétale à traiter. Grâce à des lavages successifs, le solvant va se charger en molécules aromatiques, avant d'être envoyé au concentrateur pour y

être distillé à pression atmosphérique. Le produit ainsi obtenu est appelé « concrète ». Cette concrète pourra être par la suite brassée avec de l'alcool absolu, filtrée et glacée pour en extraire les cires végétales. Après une dernière concentration, on obtient une « absolue ». Les rendements sont généralement plus importants par rapport à la distillation et cette technique évite l'action hydrolysante de l'eau ou de la vapeur d'eau (Mnayer, 2014).

Cependant, cette technique présente certains inconvénients qu'il convient de noter. En effet, l'utilisation de solvants organiques entraîne des risques d'artefacts et la possibilité d'échantillons contaminés par des impuretés parfois difficiles à éliminer. Le choix du solvant d'extraction s'avérera très délicat .

L'originalité et le principe de cette technologie est que la vapeur d'eau avec les molécules aromatiques de l'hydrodistillation rencontre la vapeur de solvant, de sorte que les composés aromatiques sont extraits de la phase aqueuse dans la phase organique. Le passage des deux phases dans la section de réfrigération permettra aux deux phases de se condenser et de se séparer dans la section en U de l'appareil. La conception du procédé assure la récupération de deux phases. La SDE est actuellement une technologie largement utilisée pour extraire des molécules aromatiques d'origine végétale, mais elle est également utilisée dans l'industrie agroalimentaire pour déterminer qualitativement et quantitativement les molécules aromatiques présentes dans certains aliments (Mnayer, 2014).. Récemment, la SDE a été réalisée dans les conditions suivantes Réduire le stress, ce qui permet de réduire les phénomènes d'origine humaine, comme le montrent les recherches sur l'acétate d'allyle (Mnayer, 2014).



**Figure 8: Les différents types d'extraction par solvants volatils.**

### 2.3. Entraînement par la vapeur d'eau :

C'est le procédé le plus ancien et le plus approprié pour extraire l'essence des plantes. C'est aussi la seule méthode de distillation recommandée par la Pharmacopée française car elle minimise les modifications d'hydrolyse (en particulier les esters). Le distillateur ou distillateur est utilisé pour l'extraction quantitative et qualitative des huiles essentielles. L'ancien distillateur ne séparait pas les plantes de l'eau, ce qui faisait que les plantes cuisaient et produisaient des huiles essentielles à l'odeur de "brûlé". Dans les distillateurs récents, l'eau et les plantes aromatiques sont soit séparées par une grille dans une même cuve, soit placées dans deux cuves différentes .

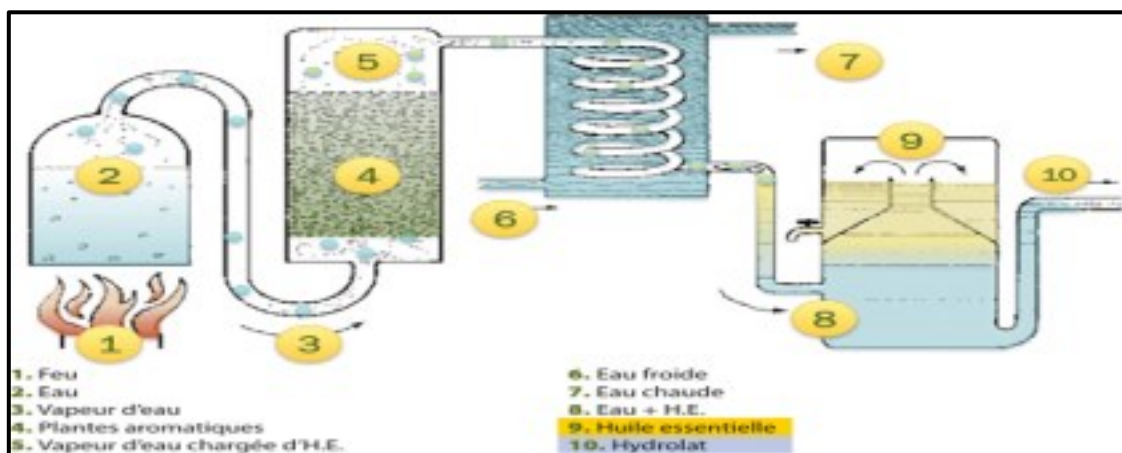


Figure 9: Montage de l'entraînement à la vapeur d'eau

La vapeur produite par l'ébullition de l'eau (la plus pure possible) pénètre et traverse la matière végétale, dissolvant et évaporant les molécules aromatiques, puis les transportant vers le réfrigérant. Il y a échange de chaleur entre l'eau froide contenue dans le réfrigérant autour du serpentin et la vapeur d'eau contenant de l'essence qui y circule. La condensation se produit progressivement et revient à l'état liquide de vapeur d'eau et d'essence extraite. A la sortie du réfrigérant, le produit de la distillation se partage en deux liquides distincts : l'hydrolat aromatique et l'huile essentielle. Cette séparation s'opère au sein d'un essencier appelé également « vase florentin » : le plus souvent l'huile essentielle, de densité inférieure à l'eau, surnage au-dessus de l'hydrolat (Charik et Kadri, 2019)

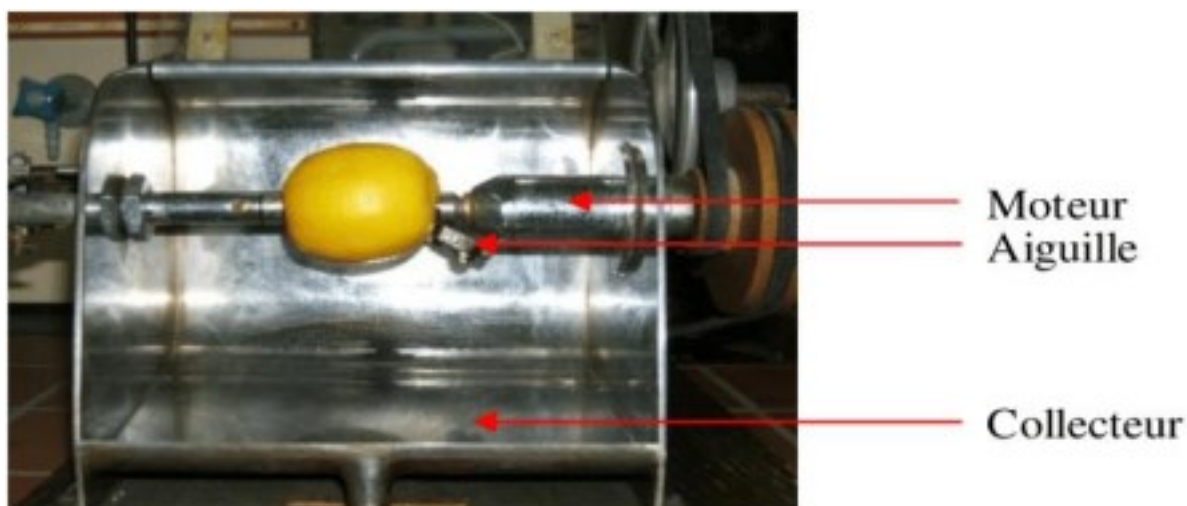
Elle est recueillie et mise dans des flacons de verre afin qu'elle se stabilise (réajustement interne entre les diverses molécules). Ce repos est indispensable pour qu'elle adopte ses caractéristiques propres avant son utilisation thérapeutique. Le temps de repos minimum est en général d'un mois, comme pour la Lavande, mais pour une qualité optimum il est préférable d'attendre plus longtemps avant d'utiliser une huile essentielle : trois mois.

pour le Romarin et jusqu'à un an pour le Laurier .Les hydrates aromatiques ont également été conservés car ils contiennent une petite quantité de molécules aromatiques (qui varient en fonction de la solubilité dans l'eau des différentes molécules d'huiles essentielles) et sont à l'état dispersé dans l'eau. Les hydrates aromatiques sont des sous-produits naturels de la distillation et leurs propriétés thérapeutiques sont complémentaires à celles des huiles essentielles.

#### **2.4 L'expression à froid ou Expression mécanique :**

Ce procédé est dédié à divers fruits ou plantes, comme les agrumes (oranges, citrons, mandarines...). Les huiles essentielles de ces fruits sont contenues dans les petites glandes de la peau (l'écorce).

La méthode peut se faire sans chauffage : elle implique l'utilisation d'une presse hydraulique pour placer le matériel végétal sous haute pression. (Figure 10) Cela se fait à l'aide de machines complexes.



**Figure 10: Montage de l'expression à froid**

L'extraction par pression à froid de fruits entiers (c'est-à-dire jus et pulpe) consiste à classer les plantes selon leur taille, puis à les presser à froid sans chauffage (Figure 10) pour libérer les huiles essentielles des plantes. Celui-ci remonte à la surface du jus qui est séparé par centrifugation.

L'extraction de l'écorce consiste à retirer l'écorce et à la broyer, puis à la frotter sur un appareil équipé d'un embout métallique pour briser le sac d'huile contenant l'essence végétale (Boudilmi et Mehoulas ,2019)

#### **Qualités et avantages :**

C'est le processus le plus simple et l'un des rares processus qui ne modifie pas le produit résultant.

Par conséquent, ces dernières sont appelées "essences" plutôt que huiles essentielles. Pour la même raison, exprimer l'activité thérapeutique de l'essence produite le froid, surtout pour l'aromathérapie, est évidemment supérieur. Utilisez des huiles essentielles. Cela est dû aux composants non volatils, qui sont l'essence pendant la compression artificielle, comme les flavonoïdes et les terpènes. Stéroïdes, acides gras et furanocoumarines substitués.

Ces composés ne sont pas présents dans l'huile essentielle, composée uniquement de molécules volatiles. Passer dans le processus de distillation.

De plus, les méthodes sèches (manuelles ou mécaniques) limitent l'oxydation et en raison de la présence de tocophérol antioxydant naturel, la saveur est plus stable.

### **Inconvénients**

- Le produit pressé à froid a souvent une durée de vie courte (environ six mois).
- Il ne s'applique qu'à un seul type de plante : les agrumes.
- Les outils nécessaires doivent être remplacés régulièrement.
- Il nécessite « un bon apprentissage », donc une main d'œuvre coûteuse. On peut en conclure que la rentabilité est moindre par rapport aux procédés actuels.

### **2.5 Extraction par le CO<sub>2</sub> :**

L'originalité de cette technologie repose sur le solvant utilisé : le CO<sub>2</sub> en phase supercritique. L'extraction consiste à comprimer le dioxyde de carbone à une pression et une température supérieures à son point critique (P = 72,8 bars et T = 31,1 °C) . A l'état supercritique, le CO<sub>2</sub> n'est ni liquide ni gazeux, ce qui lui confère une excellente capacité d'extraction et peut être ajusté à volonté en ajustant la température de traitement. Les fluides supercritiques comme le CO<sub>2</sub> sont de bons solvants à l'état supercritique et de mauvais solvants à l'état gazeux . Les avantages de ce procédé sont les suivants :

- Le CO<sub>2</sub> est totalement inerte chimiquement, il est naturel, non toxique et peu coûteux ;
- En fin de cycle, la séparation entre le solvant d'extraction et le soluté pour obtenir l'extrait est facile (simple détente qui ramène le CO<sub>2</sub> à l'état gazeux), avec une récupération quasi-totale et peu coûteuse ;

L'extraction des huiles essentielles par le CO<sub>2</sub> supercritique fournit des huiles de très bonne qualité et en temps d'extraction relativement court par rapport aux méthodes classiques (Alloun, 2018)

Cependant l'installation industrielle de ce procédé reste onéreuse, et l'appareillage est encore envahissant.

En bref, il n'y a pas de meilleur processus que d'autres processus. Selon l'usine ou partie d'usine, chaque méthode a ses propres instructions, le contrôle d'utilisation du produit obtenu et les aspects économiques tout aussi importants. L'avantage de cette technologie est qu'elle combine les caractéristiques du gaz et du liquide lors du processus d'extraction, minimisant ainsi les processus de dégradation possibles tels que l'oxydation ou la séparation. Cela est dû à la réduction du temps d'extraction (Piochon 2008). L'extension de l'utilisation des fluides supercritiques à l'extraction liquide-liquide et à la chromatographie augmente la possibilité que ces processus soient déjà importants.

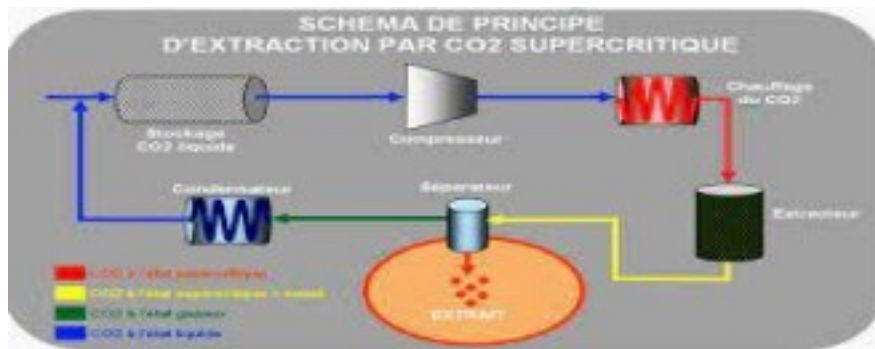


Figure 11: Schéma de la technique d'extraction par le CO<sub>2</sub> supercritique.

## 2.6 Enfleurage à froid :

Ce procédé d'extraction, qui n'est plus galvaudé, est dédié aux huiles de fleurs à très haute teneur haute qualité. Le parfum particulièrement délicat peut également être capté par l'enfleurage de graisse froide. Le meilleur moyen est simplement d'accrocher la plante sur un chiffon imbibé d'huile froide et de la replacer après 12 à 24 heures. Afin de pouvoir utiliser le parfum à la fin, la graisse qui s'y trouve doit être lavée. Utilisez de l'alcool, puis distillez enfin cet alcool au besoin pour concentrer davantage l'arôme (Bruneton, 1998).

L'enfleurage est un membre de la famille royale dans le domaine de la fabrication de parfums dans une certaine mesure, car il peut retenir des parfums particulièrement délicats avec une qualité et une pureté élevées. Le trempage dans l'alcool est nettement plus simple et moins cher ; cependant, cette méthode n'est pas comparable au par enfleurage en termes de qualité.

Le pressage à froid est la méthode la plus simple, mais c'est aussi la plus limitée. Cette technique d'extraction permet d'extraire l'essence d'agrumes contenue dans l'écorce. Auparavant, le fruit était frotté manuellement sur une paroi tapissée d'une pointe de bol en bois. Utilisez une éponge pour récupérer l'huile pressée. Filtrez ensuite soigneusement. Il faut de quatre à cinq heures pour traiter cent kilogrammes d'écorce, ce qui n'inclut pas la perte de rendement (Naves, 1974).



**Figure 12: Schéma de L'enfleurage à froid.**

Afin d'augmenter le rendement et de réduire les coûts, de nombreuses tentatives ont été faites pour mécaniser le procédé. En 1908, Perroni-Paladini a suivi de près, Lo Castro, Marisca et plus tard Spéciale et Indélicat ont inventé des machines avec une capacité de traitement plus élevée (environ 1 tonne/heure). D'un concept mécanique différent, ces machines se composent de deux rouleaux, et une chaîne spéciale tourne sur les deux rouleaux avec des éléments déformables. Après extraction du jus par "birillatrice", les écorces sont entraînées en tournant entre la chaîne et un plateau horizontal nervuré fixe. Des jets d'eau permettent de récupérer l'essence et l'émulsion est ensuite centrifugée. Ces machines sont appelées «Sfumatrice» (Blakeway et Salerno,1987).

En appliquant des systèmes plus performants, Spéciale et Indelicato ont mis au point de nouvelles machines telles que la "Super-Sfumatrice" et, plus récemment "AZS-204" permettant l'extraction automatique et simultanée du jus et de l'huile essentielle, avec des capacités supérieures à 2 tonnes/heure. Le fruit est coupé en deux par une lame fixe et les moitiés tombent dans des coupelles dans lesquelles elles sont pressées par des têtes rotatives pour récupérer le jus.

Elles sont ensuite entraînées entre un rouleau et un plateau fixe où l'essence est récupérée avec des jets d'eau. L'émulsion eau - essence est séparée par centrifugation.

## **2.7 Distillation « sèche » :**

La distillation « sèche », aussi appelée distillation destructive, est utilisée Séparez les produits chimiques liquides des matériaux solides. Par conséquent, la créosote (un mélange de phénols), le méthanol et de nombreux autres produits peuvent être obtenus à partir du bois par calcination. En revanche, il existe très peu de littérature sur la distillation sèche car Méthode d'extraction de composés aromatiques volatils. Cependant, il s'agit d'une méthode d'extraction d'huiles essentielles propre aux plantes fragiles comme les pétales de rose. Dans le domaine de l'extraction végétale, la distillation sèche consiste à chauffer des plantes ou des parties de plantes très doucement, sans ajout d'eau ni de solvants organiques, puis de condenser les substances volatiles. L'avantage de cette méthode est la température à laquelle s'effectue

l'extraction: en dessous de 100°C, elle permet d'éviter la dénaturation de certaines molécules thermosensibles ( Marie ,2005).

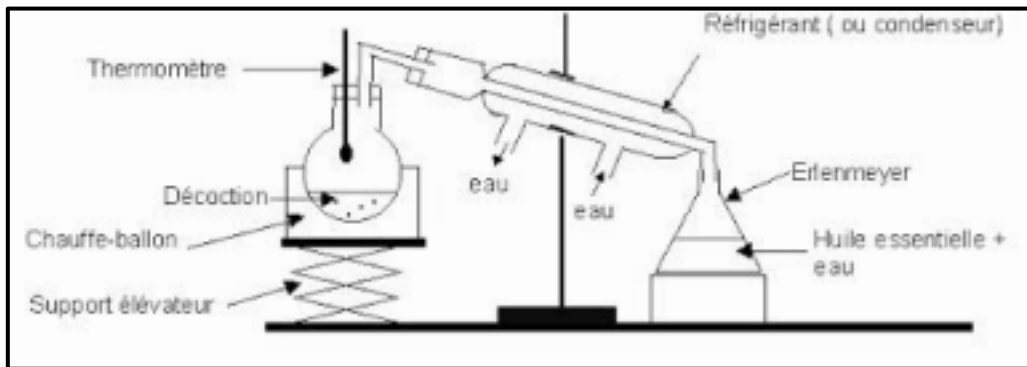
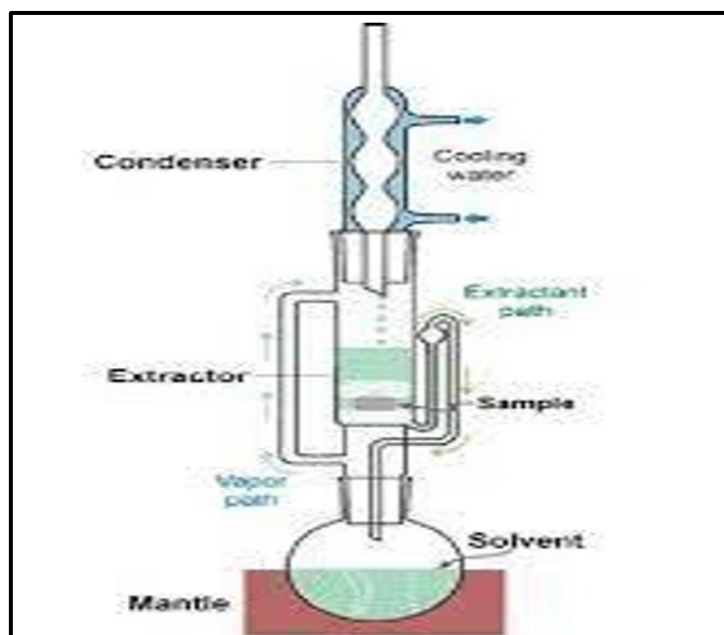


Figure 13: Schéma de Distillation « sèche »

### 2.8 Extraction Soxhlet :

L'extraction Soxhlet est une méthode simple et pratique. Le cycle d'extraction est répété en continu avec du solvant frais jusqu'à ce que le soluté dans la matière première soit complètement épuisé. Dans cette étude, la méthode d'extraction Soxhlet a été utilisée pour évaluer l'effet du prétraitement supercritique des matières premières sur l'extraction conventionnelle de l'acide rosmarinique(Marianne).

Le schéma de principe du dispositif Soxhlet est présenté à la ( Figure 14). Il est composé d'un corps en verre avec une cartouche filtrante, d'un tube siphon et d'un tube à distiller en papier filtre épais (matériau perméable aux solvants). Dans l'ensemble, l'extracteur est placé sur un ballon contenant le solvant d'extraction. Le ballon est chauffé pour que son contenu puisse bouillir. Insérez la colonne contenant le solide à extraire dans l'extracteur et placez un condenseur au-dessus de l'extracteur pour liquéfier la vapeur de solvant.



### Figure 14: Schéma de l'extracteur Soxhlet

Le ballon est chauffé, le liquide bout et la vapeur de solvant pénètre dans le condenseur par le tube de distillation pour se liquéfier. Le condensat retombe ensuite dans le corps de l'extracteur sur le fût, imprégnant ainsi les solides du solvant. Le solvant condensé s'accumule dans l'extracteur jusqu'à la hauteur du sommet du siphon, puis l'extrait est renvoyé dans le ballon avec l'extrait. Par conséquent, le solvant dans le ballon est progressivement enrichi en composants solubles. L'extraction se poursuit jusqu'à épuisement de toutes les matières solides chargées dans le cylindre (Patrick ,1999)

Un dispositif appelé Rotavapor (évaporateur rotatif) est utilisé pour séparer le solvant de l'extrait (Figure 15). Dans cet appareil, une pompe à vide avec une vanne de régulation est utilisée pour l'évaporation sous vide. Pendant le processus d'évaporation, le ballon tourne et est immergé dans un bain liquide chauffé.

. L'appareil est muni d'un réfrigérant avec un ballon-collecteur de condensat. La rotation du ballon crée une surface d'échange plus grande et renouvelée permettant donc d'effectuer une évaporation rapide.



Figure 15: Photo de l'appareil Rotavapor

L'abaissement de la pression permet d'évaporer le solvant à température réduite, évitant ainsi la dégradation thermique éventuelle des composés. C'est une méthode d'évaporation simple, utile, douce et rapide (Patrick ,1999).

### 2.9 Extraction en mode batch (échelle laboratoire) :

Il s'agit d'un dispositif simple composé d'un flacon de 500 ml (contenant des matières premières et des solvants) et d'un oscillateur thermostaté (Figure 16). Les expériences réalisées avec cette technique permettent d'estimer l'influence de différents paramètres (nature et concentration du solvant, module eau (rapport solvant-matière solide) (Patrick ,1999), granulométrie, température, etc.) sur le processus d'extraction. Acide rosmarinique.



**Figure 16: Photographie de l'agitateur secoueur utilisé pour l'extraction batch.**

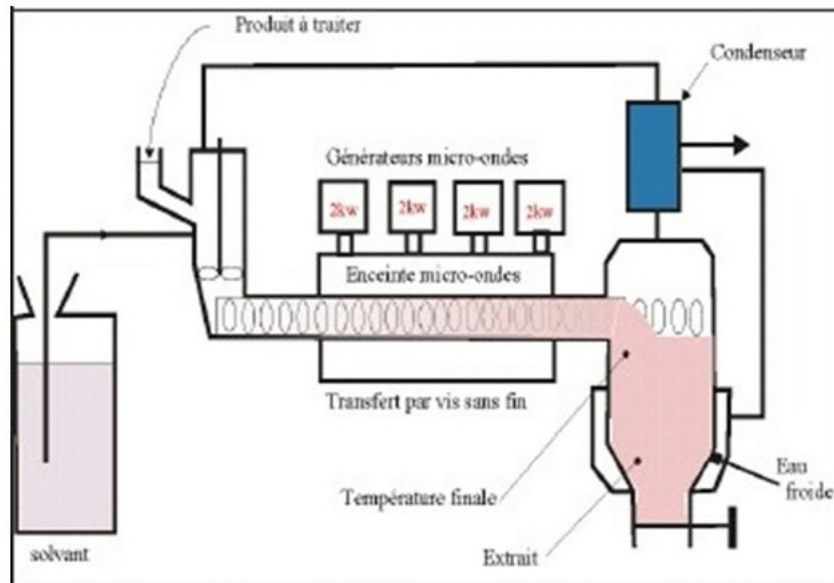
### 2.10 Technique de l'extraction assistée par micro-ondes

En 1986, Ganzleretal., a été le premier à proposer une technologie d'extraction Solvant auxiliaire pour micro-ondes pour analyse chromatographique. Par rapport aux méthodes traditionnelles, cette technologie peut réduire le temps d'extraction, réduisant ainsi les coûts énergétiques. En 1990, Paré et al ont déposé le premier brevet européen sur « l'extraction assistée par micro-ondes de produits naturels ». Ils proposent d'irradier le matériel végétal en présence d'un solvant micro-onde transparent tel que l'hexane. Par conséquent, les micro- Ondes atteindront directement les glandes et le système vasculaire de la plante. Depuis, différentes technologies d'extraction par micro-ondes ont été développées et plusieurs brevets ont été déposés :

– le procédé « d'hydrodistillation par microondes » est basé entièrement sur le principe de l'hydrodistillation classique. Le matériel végétal est donc placé en présence d'une quantité d'eau suffisante dans un ballon disposé dans l'enceinte du four à micro-ondes. Le système de réfrigération ainsi que la partie prévue pour la récupération des essences sont situés à l'extérieur du four. Les avantages cités sont la rapidité et la similitude de la composition de l'huile par rapport à une hydrodistillation classique.

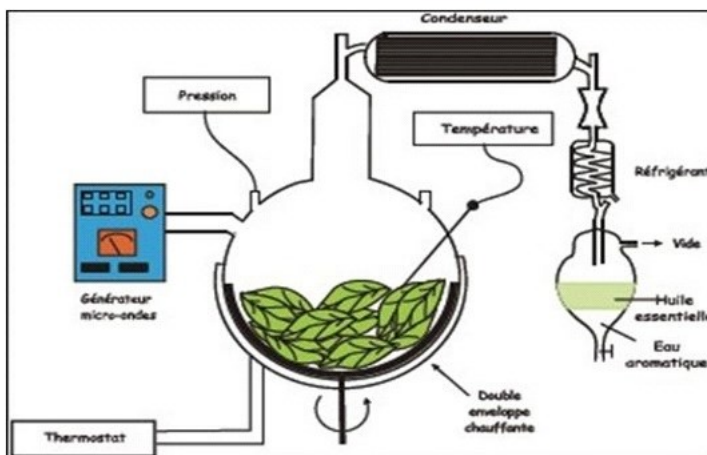
– extraction par solvant assistée par micro-ondes. MAE (MicrowaveAssisted Extraction) et MAP™ (MicrowaveAssistedProcess). Cette méthode est la plus utilisée. Si sa rapidité de mise en Suvre en fait une technique de choix pour l'extraction et plus particulièrement pour l'extraction de composés aromatiques d'origine végétale, le produit obtenu ne peut réglementairement être considéré comme une huile essentielle. De plus l'utilisation de solvant organique présente certains inconvénients : contamination du produit fini, problème

pour son élimination totale. Rappelons que l'industrie agro-alimentaire applique des lois très strictes sur l'origine des produits utilisés (Nabil ,2011).



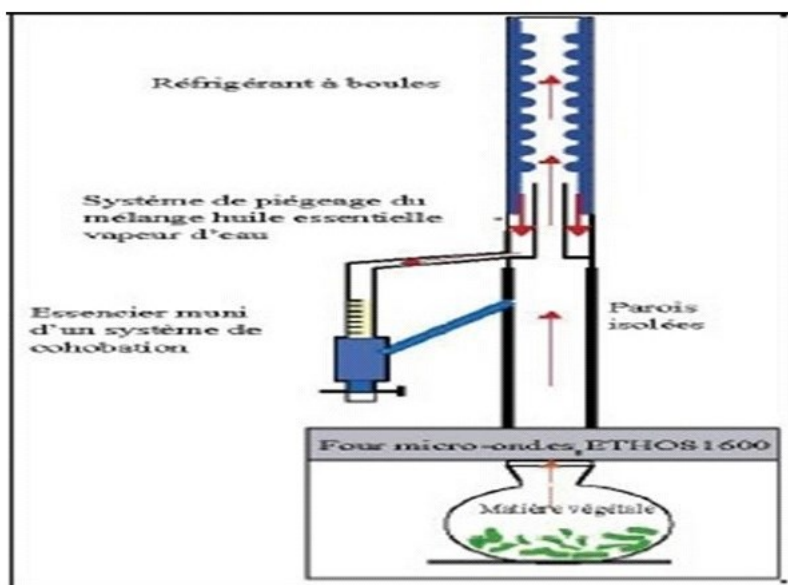
**Figure 17: Schéma d'extraction par solvant assistée par micro-ondes. MAE** (Microwave Assisted Extraction) et MAP™ (Microwave Assisted Process).

Le « VMHD » (Vaccum Microwave Hydro Distillation) ou hydrodistillation assistée par micro-ondes sous vide pulsé. Cette technique d'extraction, dont l'origine est l'hydrodistillation classique, est basée sur l'utilisation conjointe des micro-ondes et d'un vide pulsé. D'après les concepteurs du VMHD l'extraction serait dix fois plus rapide que l'hydrodistillation pour un rendement équivalent et un extrait de composition identique. Les composés responsables des notes « crues » les plus thermosensibles semblent être conservés après une extraction par VMHD contrairement à une hydrodistillation classique.



**Figure 18: schéma du montage d'extraction selon le principe « VMHD » (Vaccum Microwave Hydro Distillation).**

Le SFME (Solvent Free Extraction Microwave) est le mode d'extraction le plus récent et a été, en particulier, développée par le groupe Chemat-Smadja à l'Université de la Réunion. Cette technique a été rebaptisée « Dry-Dist » et est commercialisée à travers le monde par la société Milestone (Bergame-Italie). Elle associe un four micro-ondes et une distillation sèche. L'extraction est réalisée à la pression atmosphérique, en l'absence de solvant et d'eau ajoutée. Les principaux avantages de cette technique résident dans l'augmentation de la cinétique d'extraction ainsi que son caractère plus respectueux de l'environnement (absence de solvant) qui constitue un des exemples de chimie verte.



**Figure 19: schéma d'extraction selon le principe SFME (Solvent Free Extraction Microwave).**

Le mécanisme de chauffage par micro-ondes repose sur le fait qu'en raison de la différence d'électronégativité entre les atomes d'oxygène et les atomes d'hydrogène, certaines molécules (comme l'eau) présentent des charges excessives et déficientes. Ensuite, ces molécules polaires présentent un moment dipolaire ou moment dipolaire. Le dipôle est facilement orienté lorsqu'il est soumis à un champ électrique, et génère alors un moment dipolaire induit. Sous l'action du champ électrique alternatif, le dipôle s'oriente dans la direction du champ, puis perd sa direction lorsque le champ disparaît, et enfin se redirige dans une autre direction. C'est la rotation du dipôle (Nabil, 2011).

Cependant, l'alignement du dipôle par rapport au champ électrique est entravé par la présence de liaisons hydrogène et de liaisons de van der Waals, qui ralentissent la rotation libre et provoquent un dégagement de chaleur. Ensuite, l'énergie cinétique est en partie convertie en chaleur. Le chauffage de l'eau présente dans la plante provoque

l'éclatement des glandes contenant l'huile essentielle. L'huile essentielle ainsi libérée est entraînée par la vapeur d'eau contenue elle aussi dans la matière végétale. Un essencier de type Clévenger permet de condenser le distillat et de récupérer l'huile essentielle par simple décantation en tenant compte la différence de densité.

Bien que l'essence de type Clévenger soit utilisée pour condenser et refroidir avec la vapeur générée par l'équipement de chauffage par micro-ondes, les échantillons obtenus par SFME ne peuvent pas être strictement considérés comme des huiles essentielles. En fait, le terme "huile essentielle" nécessite l'utilisation de principes de distillation d'eau, d'entraînement de vapeur ou de pression à froid. Bien que ces deux modes d'extraction soient étroitement liés, ils diffèrent par la nature du chauffage. Cependant, la dissolution des composés organiques dans l'eau est particulièrement importante en hydrodistillation et même en entraînement de vapeur.

Dans la plupart des cas, le rendement d'extraction par micro-ondes est proche voire supérieur à celui obtenu par distillation d'eau, et le temps d'extraction est plus court, environ 30 minutes, alors que la distillation d'eau nécessite généralement au moins 3 heures.). Plusieurs explications sont avancées pour expliquer ces différences :

- L'observation des végétaux par Microscopie Electronique à Balayage montre des différences en termes d'altération des glandes à huile essentielle. Celles-ci semblent totalement détruites sous l'effet des micro-ondes;
- Les composés oxygénés plus polaires et plus solubles dans l'eau seraient distillés en priorité par rapport aux hydrocarbures terpéniques dont la température d'ébullition est pourtant plus faible.

Dans une huile essentielle obtenue par hydrodistillation, les composés oxygénés ont une plus grande affinité que les hydrocarbures pour la phase aqueuse et se retrouve donc l'hydrolat. Lors d'une extraction micro-onde, il est ainsi possible qu'étant donné le faible volume de la phase aqueuse, les composés oxygénés qui sont souvent assez solubles dans l'eau, demeurent dans l'extrait obtenu par SFME (**Benkadouri, 2011**).

### **2.11 Extraction Méthode d'hydrodiffusion :**

L'hydrogénation diffusion (Figure 20) est une co-distillation descendante. Dans ce processus, les plantes sont disposées dans un treillis métallique parallélépipédique. Par conséquent, la plante est affectée par des impulsions de vapeur d'eau saturée et humide, mais elle ne surchauffe pas de haut en bas. La forme de l'appareillage permet une meilleure répartition de la charge. La vapeur d'eau enlève toutes les substances volatiles. Les huiles essentielles sont collectées dans un collecteur équilibré à la pression atmosphérique. On peut

aussi préciser qu'il existe un processus d'agrément conjoint qui renverra toute l'eau séparée du fioul vers la chaudière (Zelie ,2019).

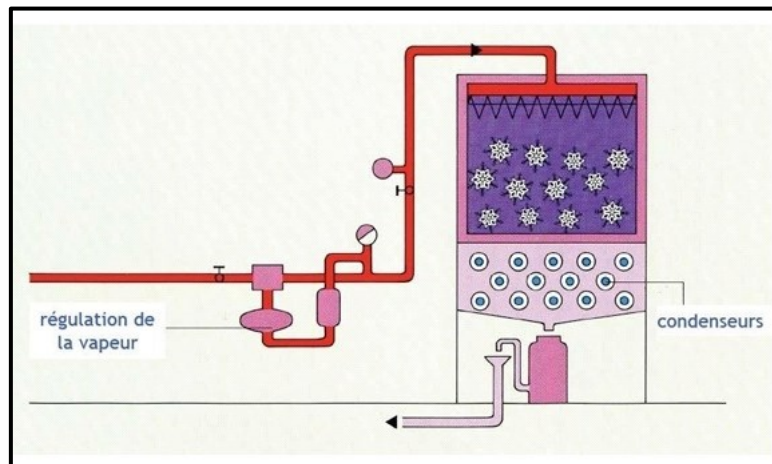


Figure 20: Schéma du procédé d'hydrodiffusion

### 2.12 Extraction par ultrasons :

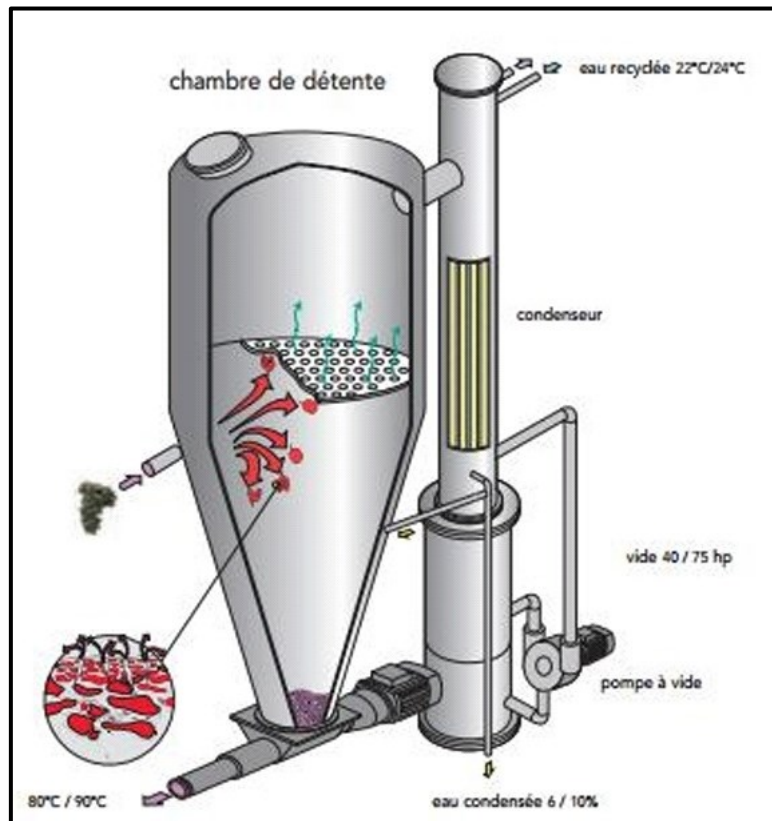
L'extraction de composés biologiquement actifs par ultrasons (20-100 kHz) est une technique Une technologie émergente qui peut fournir une grande reproductibilité en peu de temps, trois fois plus vite qu'une simple extraction par solvant. Il est facile à mettre en Suvre et consomme très peu de solvant et d'énergie (Chemat et al., 2008). En effet, les matières premières sont immergées dans de l'eau ou des solvants tout en étant soumises à des ondes ultrasonores. Cette technologie peut être utilisée pour extraire des composés aromatiques ou des essences végétales, mais elle est principalement utilisée pour extraire certaines molécules thérapeutiquement significatives (Bousbia ,2011).



Figure 21: schéma d'extraction assistée par ultrason

### 2.13 Extraction par Détente Eclair (Flash-Détente) :

La Flash-Détente brevetée par l'INRA en 1993 permet de vider (environ 30 mbar) de matière végétale (fruits, légumes, plantes&). Dans ces conditions de vide, le point d'ébullition de l'eau est compris entre 27 et 30°C. Ainsi, cette mise sous vide instantanée provoque une évaporation brutale d'une partie de l'eau (environ 10 % de la masse humide initiale) qui constitue la matière végétale étuvée et provoque une chute brutale de la température du milieu. Du fait de la création de microcanaux entre les cellules, cette perte instantanée d'eau produit un broyage fin. Ce changement drastique et cette explosion cellulaire confèrent au produit des qualités physico-chimiques, rhéologiques et sensorielles très particulières. L'eau évaporée est récupérée séparément par condensation : cette eau riche en composés aromatiques volatils est appelée eau aromatique, qui peut être extraite par Flash-Détente et réintroduite dans le produit (Bousbia ,2011).



**Figure 22: schéma d'Extraction par Détente Eclair**

Des essais ont été effectués par le CIRAD (Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement 3 France) pour l'extraction des huiles essentielles d'écorces d'agrumes (pomelo, orange, mandarine, citron), préalablement étuvées dans la chambre de vide, provoquant l'explosion des glandes à huiles essentielles contenues dans le flavedo. Les huiles seront donc vaporisées simultanément avec une partie de l'eau présente dans les écorces. Après condensation, les huiles seront récupérées

sous forme d'émulsion aqueuse, puis purifiées par centrifugation. Les rendements d'extraction obtenus à partir d'écorces de citron, d'orange, de mandarine et de pomelo sont respectivement égaux à 44 %, 29 %, 33 % et 27 %. Après déterpénation, les huiles essentielles extraites par le procédé de Flash-Détente sont de qualité supérieure à celles des huiles fraîchement pressées et ce, avec des proportions relatives supérieures en aldéhydes mono- et sesquiterpéniques.

En plus de l'extraction des huiles essentielles d'agrumes, cette technique permet, de produire simultanément de la purée de fruits (aux propriétés sensorielles renforcées) avec un rendement avoisinant les 75 %. Donc de 1000 kg de fruits introduits nous recevons 750 kg de purée de fruits, 330 kg de drêches de citrons et 100 kg d'eaux aromatiques de citron et d'huiles essentielles. La Flashe Détente présente ainsi d'une part un intérêt technologique et économique en améliorant et en développant les propriétés sensorielles et nutritionnelles des produits qui en sont issus ; et d'autre part un intérêt environnemental par la réduction des volumes transportés, la diminution de la charge organique des effluents et la valorisation de l'alimentation du bétail (digestibilité améliorée et durée de vie accrue) .

#### **2.14 Détente Instantanée Contrôlée :**

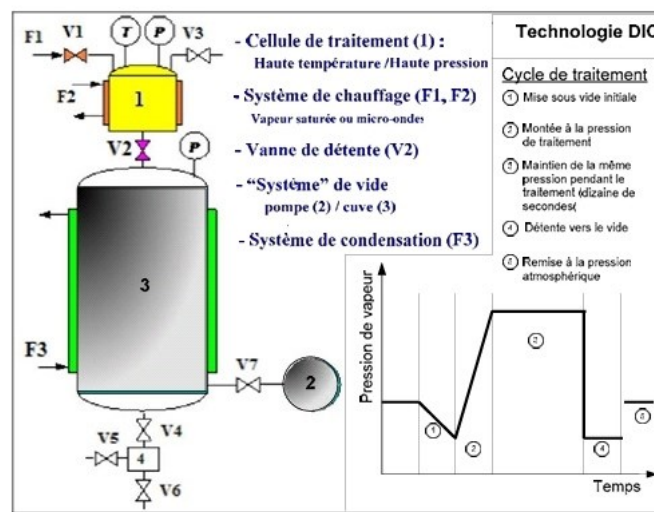
Cette méthode d'extraction est née des études théoriques menées par le Professeur Allaf (1989) sur l'expansion par extrusion et suivies de travaux expérimentaux. La Détente Instantanée Contrôlée est fondée sur la thermodynamique de l'instantanéité et des processus d'autovaporisation couplée à l'évolution hydro-thermo-mécanique de nombreux polymères à usages alimentaire, cosmétique, pharmaceutique ( **HIMED,2018**).

Le traitement par "Détente Instantanée Contrôlée D.I.C." est utilisé en vue d'extraire les arômes et les huiles essentielles à partir de végétaux adéquats naturels ou préalablement séchés. En effet, appliquée aux végétaux, la D.I.C. permet la modification de leur structure, provoquant ainsi leur texturation et facilitant alors les opérations de transfert de matière. L'autovaporisation qui accompagne la détente implique la séparation liquide-solide et permet donc l'extraction de composés spécifiques. Cette opération se distingue par un traitement thermique très localisé, durant un temps réduit (quelques dizaines de secondes).

Comparée aux autres procédés traditionnels, la D.I.C. (Figure 23), est relativement rapide, et donc nettement plus flexible. D'un rendement supérieur, l'extraction par CO<sub>2</sub> super critique au niveau de la qualité de l'extrait, alors que la consommation énergétique est inférieure à celles de la distillation et par entraînement à la vapeur. Les différents aspects de la qualité sont ainsi couplés : ceux du produit fini, ceux du procédé et ceux de son impact environnemental :

- *Vecteur qualité* : Améliorer la qualité de l'extrait obtenu par élimination de la dégradation thermique et de la présence de solvants résiduels.
- *Vecteur environnemental* : Réduire les rejets de solvants, d'eau usée et de matières résiduelles.
- *Vecteur énergétique* : Réduire la consommation énergétique nécessaire à l'extraction des huiles essentielles

La Détente Instantanée Contrôlée (DIC) trouve des applications diverses dans le séchage des fruits et légumes, et dans la décontamination microbienne. Elle offre également des avantages économiques (vitesse, coût), et qualitatifs (stérilisation, qualités organoleptiques, contenu en vitamines) (Himed ,2018).



**Figure 23: Schéma d'une unité de Détente Instantanée Contrôlée (DIC) et son cycle traitement.**

### 2.15. Extraction par des solvants supercritiques :

Il s'agit d'une nouvelle technologie utilisée dans l'industrie et qui fait encore l'objet de nombreuses études. L'originalité de cette technologie repose sur le comportement des solvants utilisés dans des conditions particulières, car au-delà d'un certain point, appelé point critique, elle se caractérise par la température ( $T_c$ ) et la pression ( $P_c$ ), et une substance pure dans un état particulier est appelé état supercritique. Dans leurs conditions d'utilisation, les fluides supercritiques ont une densité proche d'un liquide, une viscosité proche d'un gaz, et une diffusivité moyenne ; leur polarité a changé par rapport au liquide. Leur solvabilité dépend largement de la température et de la pression (Himed ,2018)

Le fluide supercritique le plus utilisé est le dioxyde de carbone (Pellerin, 1991, 2001). Le CO<sub>2</sub> est thermodynamiquement stable, inodore, insipide et incolore, ininflammable,

mais étouffera à des concentrations élevées. . Son point critique est de  $P_c = 73,6$  bar et  $T_c = 31,4^\circ\text{C}$ .

Dans cet état, l'extrait devient insoluble dans le  $\text{CO}_2$  et précipite au fond de l'enceinte. Le gaz carbonique est ensuite liquéfié et peut être à nouveau utilisé (Figure 24)

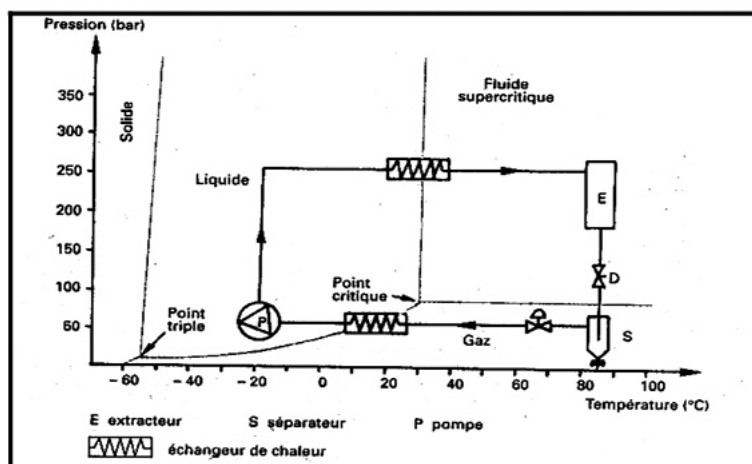


Figure 24: Schéma de principe d'une extraction par  $\text{CO}_2$  supercritique .

L'extrait récupéré ne contient aucune trace de solvant résiduel qui est facilement éliminé sous forme gazeuse. Le  $\text{CO}_2$  est ensuite recyclé et ramené à l'état supercritique. Afin d'extraire les composés les plus volatils dont la composition est de type « huiles essentielles », on utilise des pressions d'extraction modérées (entre 80 et 100 bar). A des pressions plus élevées (200 à 280 bar), on extrait également des composés plus lourds dont la composition est de type « concrètes ». Evidemment selon les conditions opératoires, on peut en théorie obtenir tous les extraits intermédiaires. Le rendement est alors beaucoup plus élevé. Les extractions sont rapides ; il faut compter environ 90 min pour extraire 500 g de matière végétale. Le  $\text{CO}_2$  étant une molécule apolaire, il extrait préférentiellement les composés apolaires. Cependant, à des pressions élevées, la polarité du  $\text{CO}_2$  augmente et il va extraire des composés de plus en plus polaires. Étant donné que l'on chauffe très peu la matière première, les composés thermosensibles et hydrolysables ne sont pas dégradés. Le  $\text{CO}_2$  présente une certaine acidité, il peut se former de l'acide carbonique, pouvant entraîner une légère hydrolyse acide. L'extrait obtenu par extraction au  $\text{CO}_2$  supercritique est un des extraits qui se rapproche le plus de la matière première.

L'extraction au  $\text{CO}_2$  supercritique entièrement « verte » semble être viable avec l'ajout de co-solvants qui sont introduits à l'aide d'une pompe à débit constant. L'éthanol et l'eau sont les plus utilisés à cause de leurs polarités comme co-solvants/réactifs intermédiaires, et l'eau dans le domaine compris entre le point d'ébullition et les conditions supercritiques. Ainsi,

L'extraction est moins sélective, plus de composés sont extraits, le rendement en est amélioré. D'autres solvants peuvent être utilisés. Cependant, leur utilisation supprime certains avantages majeurs rencontrés lors de l'utilisation du CO<sub>2</sub>. En effet, avec un co-solvant, il est possible de perdre des composés volatils lors de l'étape de concentration.

L'appareillage est assez coûteux car il doit pouvoir supporter des pressions allant jusqu'à 300 bar en toute sécurité et permettre ainsi un éclatement des poches à essence et un entraînement des substances aromatiques.

L'extraction aux fluides supercritiques, le plus souvent du CO<sub>2</sub>, permet d'extraire des substances odorantes peu volatiles et plus particulièrement les matières sèches qui sont récalcitrantes aux méthodes d'extraction traditionnelles. De ce fait, elle a été utilisée pour extraire les composés aromatisants de nombreux aliments comme des épices, du riz, diverses boissons et du café.

Autre avantage, ce gaz ne pollue pas et est inoffensif car il est recyclé à l'intérieur du système. Les huiles essentielles extraites de cette manière ont l'avantage d'éviter la dégradation thermique associée à la distillation à pression atmosphérique. L'avantage, bien sûr, c'est qu'aucun résidu de solvant ne reste, puisque, aux pressions et températures normales, le CO<sub>2</sub> revient simplement à l'état gazeux et s'évapore. L'extraction aux fluides supercritiques est donc une technique intéressante qui apporte de nouvelles notes olfactives (méthode d'extraction plus complète et moins dégradante). Le développement de cette technologie continue à s'appuyer sur des traitements et/ou des produits qui n'affectent pas l'environnement et les consommateurs. Le changement des températures et/ou des pressions réduites des fluides critiques offre une profusion d'opportunités, dont un excellent exemple est constitué par l'état critique relatif de l'eau. Par exemple, l'eau sous-critique fournit, légèrement au dessus de son point d'ébullition, un milieu unique imitant celui des solvants organiques polaires, qui a même été utilisé pour l'extraction des solutés thermiquement labiles ou dans la chimie réactionnelle (Sutour, 2010)

## **2.16. Les méthodes d'extraction par fluide compressé :**

### **2.16.1. L'extraction par fluide pressurisé (PLE, Pressurized Liquid Extraction) :**

Le PLE, dont l'une des variantes les plus connues est l'extraction accélérée par solvant (ASE), est une technique d'extraction solide-liquide, qui a la particularité d'utiliser des solvants sous haute pression et haute température, et se situe au dessus du point d'ébullition du solvant (Richter, et al., 1996). Cette combinaison de haute pression et de haute température permet un processus d'extraction plus rapide et plus efficace. Une augmentation de la

température réduira la viscosité du solvant, pénétrant ainsi mieux la matrice solide et affaiblissant

L'interaction solvant-matrice-molécule. De plus, la vitesse de diffusion devient plus rapide à des températures élevées, ce qui réduit le temps d'extraction (**Richter, et al ., 1996**). (**Kaufmann ,2002**). La pression force le solvant à traverser les pores de la matrice, atteignant ainsi le composé jusqu'alors inaccessible. De plus, le processus d'extraction consiste en plusieurs cycles d'extraction (**Romanik, et al ., 2007**).

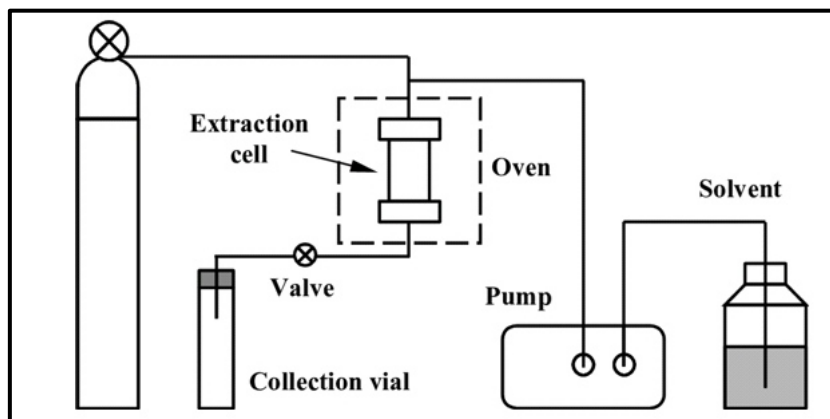


Figure 25: Schéma de L'extraction par fluide pressurisé

### 1.16.2. L'extraction par eau subcritique (SWE, Subcritical Water Extraction) :

Le SWE est une variante de l'ASE, dans laquelle de l'eau chaude est utilisée à une température comprise entre 100°C (le point d'ébullition de l'eau) et 374,1°C (le point critique de l'eau), et l'eau y est maintenue sous forte pression. Forme liquide interne (**Romanik ,2007 ; Ong, et al.,2006**). L'eau à température ambiante est un solvant polaire avec une constante diélectrique ou constante diélectrique ( $\epsilon'$ ) de 75,5. Cependant, lorsque l'eau est chauffée à l'ordre de 250-300°C dans une atmosphère pressurisée, sa polarité va diminuer (**Ong ,2006**), et sa constante diélectrique deviendra équivalente au méthanol ( $\epsilon'$ =33) ou à l'éthanol ( $\epsilon'$ =24). [30]. Par conséquent, SWE permet l'extraction de molécules moyennes à non polaires sans l'utilisation de solvants organiques. De plus, du fait de la diminution de la viscosité et de la tension superficielle, l'augmentation de la température permet de mieux pénétrer dans la matrice et de mieux dissoudre l'analyte.



Figure 26: Schéma de L'extraction par eau supercritique

### 2.16.2 L'extraction par fluide supercritique (SFE, Supercritical Fluid Extraction).

L'état supercritique d'un composé organique pur est atteint lorsque celui-ci est placé dans des conditions de pression et de température supérieures aux valeurs de ses points critiques. Au-delà de ces valeurs le fluide est dit supercritique et possède des propriétés à la fois proche d'un gaz et d'un liquide qui vont être intéressantes pour l'extraction de molécules à partir de matière végétale. En effet, un fluide supercritique possède un coefficient de diffusion plus élevé et une viscosité plus faible qu'un liquide ce qui réduit les tensions de surface et permet un meilleur transfert de masse et donc une meilleure cinétique et efficacité d'extraction (Camel, 2001 ; Herrero, et al., 2010). De plus, l'extraction peut être hautement sélective car il est possible de moduler le pouvoir solvant du fluide supercritique en modifiant les valeurs de pression et/ou de température. La SFE est principalement utilisée avec le CO<sub>2</sub> supercritique, car celui-ci est peu coûteux (sous-produit de l'industrie), non-inflammable, largement présent dans l'atmosphère, facile à éliminer et nécessite des conditions critiques faciles à atteindre ( $T = 31.1^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 73.8 \text{ bar}$ ). Ainsi les principaux avantages de la SFE sont l'obtention d'un échantillon concentré et son pouvoir solvant. Pendant le processus d'extraction, le fluide est pompé de manière continue à travers l'échantillon, et libère ainsi les composés d'intérêt qui sont récupérés sous forme concentrés après une étape de dé-pressurisation qui élimine le CO<sub>2</sub> sous forme gazeuse. Cependant, en plus du coût de l'appareillage, l'un des désavantages majeurs de l'extraction par CO<sub>2</sub> supercritique est l'hydrophobicité de ce composé qui limite l'extraction à des molécules apolaires et qui nécessite l'ajout de co-solvants comme le méthanol ou l'éthanol pour permettre l'extraction de molécules plus polaires (Herrero, 2010 ; Castro, et al., 2000)

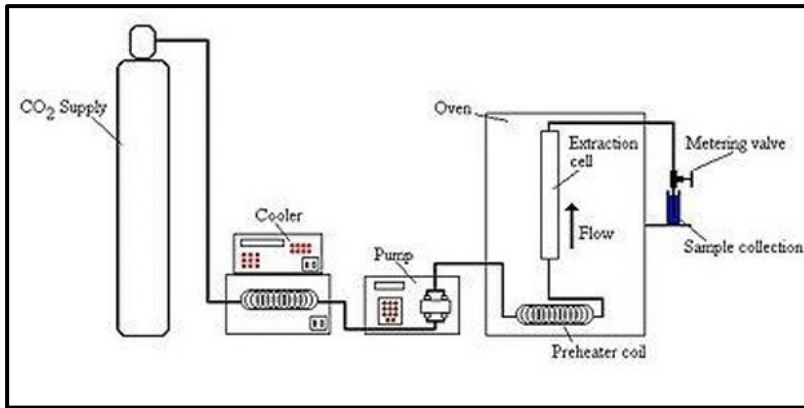


Figure 27: Schéma de L'extraction par fluide supercritique

### 2.17. L'extraction assistée par ultra-sons (UAE, Ultrasonic Assisted Extraction)

#### - Principe de d'extraction UAE :

Les ultrasons sont des ondes vibrationnelles mécaniques de fréquence allant de 16 KHz à 1 GHz pouvant se propager dans les solides, les liquides et les gaz. Dans un milieu liquide, la propagation des ondes va générer des cycles successifs de compression (haute pression) et de raréfaction (basse pression) (Patrick ,1999). Cette différence de pression va générer des mouvements moléculaires au sein du milieu. Lors d'un cycle de raréfaction la distance entre molécules est augmentée et au dessus d'une certaine distance, dépendant de chaque milieu, des bulles de cavitations vont se former. Ces bulles vont croître pendant les phases de raréfaction et diminuer pendant les phases de compression (Figure 28). La répétition de ces cycles va conduire à l'implosion des bulles de cavitation, libérant ainsi une grande quantité, d'énergie (Pétrier ,2000).

L'UAE est une technique peu onéreuse, utilisable avec n'importe quel type de solvant et simple à mettre en place. En effet, l'extraction peut être réalisée de manière très simple en utilisant un bain à ultra-sons - ce qui par-ailleurs permet d'effectuer plusieurs extractions simultanément - ou via une sonde ultrasonore combinée à un agitateur. De plus, l'effet mécanique des ultra-sons sur la matrice végétale induit une meilleure pénétration du solvant dans les cellules, ce qui améliore ainsi le transfert de masse et augmente le rendement d'extraction et la cinétique d'extraction. Cependant une dispersion non homogène de la phase solide peut contribuer à l'atténuation des ondes ultrasons, et la zone qui subit les ultrasons est alors restreinte à une zone localisée près de l'émetteur ce qui peut réduire le rendement d'extraction.

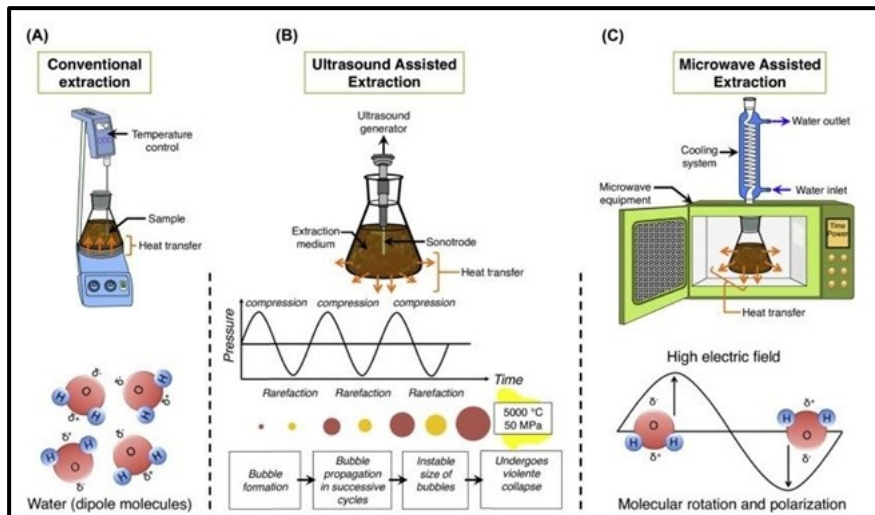


Figure 28: Schéma de l'extraction assistée par ultra-sons

### 3. La filière des huiles essentielles

Les plantes aromatiques donnent les huiles essentielles (HE), essences destinées à l'utilisation industrielle. Ces HE ne sont pas forcément des produits finaux dans la mesure où, une fois produites, elles peuvent servir d'intrants à la fabrication de plusieurs produits : elles sont destinées en effet à quatre grands secteurs industriels (Grysole, 2004).

#### 3.1. Secteur parfumerie/ cosmétique

L'utilisation des huiles essentielles comme base dans la fabrication de parfums constitue une pratique courante depuis des siècles dans la plupart des civilisations. L'Europe et les Etats-Unis ont développé des industries importantes qui démarquent par leur haut niveau d'exportation dans ce domaine. La consommation d'huiles dans ce secteur se caractérise par le besoin d'une très grande variété de produits, de quantités relativement faibles et de prix souvent élevés (Grysole, 2004).

#### 3.2. Secteur parfumerie technique

La parfumerie technique (qui comprend les produits d'entretien ménager domestiques ou industriels) a également recours aux huiles essentielles pour l'image de propreté à laquelle elles sont associées, mais aussi parfois pour leurs propriétés antiseptiques. Par exemple, la citronnelle dégage un parfum qui indique au visiteur que l'endroit a été fraîchement lavé. Dans ce secteur, l'industrie consomme de grandes quantités d'huiles, au meilleur prix possible, car l'industrie désire garder le prix de revient de son produit au minimum (Grysole, 2004).

### **3.3. Secteur alimentaire**

L'industrie alimentaire utilise les huiles essentielles pour rehausser le goût des aliments, pour parfumer et colorer. Le secteur des boissons gazeuses s'avère un gros consommateur d'huiles. Aussi, les fabricants d'aliments préparés les utilisent de plus en plus parce que le nombre de produits augmente et le consommateur recherche d'avantage les produits avec des ingrédients naturels. Dans ce secteur, les volumes d'huiles essentielles peuvent être très importants. L'huile la plus utilisée dans le monde est l'huile essentielle d'orange (**Grysole, 2004**).

### **3.4. Secteur médecine**

Dans le domaine de la santé, il faut distinguer le secteur pharmaceutique de celui des médecines douces. Dans ce deuxième secteur, les vertus thérapeutiques des huiles sont reconnues et utilisées depuis des siècles dans beaucoup de pays. En effet, ce marché a donné naissance à une industrie des produits naturels comme les produits homéopathiques. Cette industrie, très développée en Europe, bénéficie d'un attrait croissant de la part des consommateurs non seulement en Europe mais aussi en Amérique du Nord. De plus, les produits naturels avec effets thérapeutiques ont attiré l'attention des divers groupes pharmaceutiques.

Les huiles à utilisation médicinale peuvent être vendues pures en petits flacons ou sous forme de vaporisateurs, de pastilles, de bonbons... Ces huiles peuvent également être utilisées comme inhalant pour soulager les difficultés respiratoires, comme dentifrice (dans l'eau), ainsi que pour rafraîchir ou soulager la gorge (**Grysole, 2004**). Par conséquent, les huiles essentielles ont une variété d'applications et, dans bien des cas, la même huile peut être recherchée pour des propriétés différentes selon les secteurs industriels. Les propriétés médicinales des HE sont nombreuses, mais chacune possède ses vertus particulières (**Nicole, 1996**).

### III. Les composés phénoliques

#### 1. Définition

Les composés phénoliques ou les polyphénols (PP) constituent une famille de molécules très largement répandues dans le règne végétal. Sont des produits du métabolisme secondaire des plantes, depuis les racines jusqu'aux fruits. Ce qui signifie qu'ils n'exercent pas de fonctions directes au niveau des activités fondamentales de l'organisme végétal, comme la croissance, ou la reproduction (Fleuriet, 1982 ; Yusuf, 2006).

Les polyphénols sont des produits de la condensation de molécules d'acétyl- coenzyme A et de phénylalanine. Cette biosynthèse a permis la formation d'une grande diversité de molécules qui sont spécifiques d'une espèce de plante, d'un organe ou d'un tissu particulière (Nkhili, 2009).

Ils ont largement distribués et comportant au moins 9000 structures connues différentes (Bahorun, 1997). Ces corps jouent un rôle fondamental car sont des éléments importants de qualités sensorielles (couleur et caractères organoleptiques) et nutritionnelles des végétaux, tels que les légumes, les fruits, les céréales ou les fruits secs, ainsi que dans les boissons, le café, le cacao ou le thé. Une alimentation équilibrée fournit à l'Homme environ un gramme de polyphénols chaque jour, soit dix fois plus que de vitamine C et 100 fois plus que de caroténoïdes ou vitamine E (Scalbert et al ., 2005).

#### 2. Structure chimique

La structure chimique des polyphénols est comparable à tous les polyphénols. Ils sont caractérisés par un ou plusieurs noyaux aromatiques hydroxylés. Les polyphénols sont classés en différents groupes en fonction du nombre de noyaux aromatiques qui les composent et des substitutions qui les relie (Manallah, 2012).

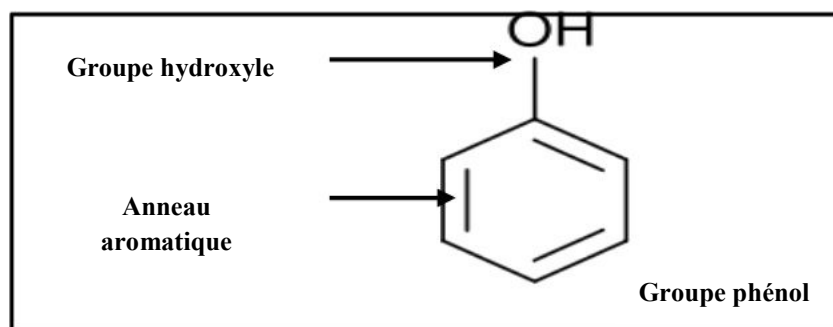


Figure 29

### 3. Biosynthèse des polyphénols

La biosynthèse des polyphénols se fait par deux voies principales qui sont :

#### 3.1. La voie de l'acide shikimique :

Dans cette voie, l'érythrose 4-phosphate et le phosphoénol pyruvate sont produits par les hydrates de carbones lors de leur dégradation par la voie des pentoses phosphate et la glycolyse respectivement. Ces derniers sont à l'origine des composés phénoliques C6-C1 formant les tannins hydrolysables et de la chalcone qui est la molécule de base de tous les flavonoïdes et tannins condensés (**Haslam, 1994 ; Dewick, 1995**).

Aussi, il est intéressant de préciser que la tyrosine et la phénylalanine dérivent de cette voie métabolique. En effet, ces deux acides aminés sont des intermédiaires métaboliques entre l'acide shikimique et l'acide cinnamique.

#### 3.2. Voie de l'acétate :

La voie de l'acétate conduit (origine de ces poly à des poly  $\beta$ -coesters (polyacétates) de longueur variable, menant par cyclisation à des composés polycycliques tels que les dihydroxy-1,8 anthraquinones ou les naphtoquinones (**Bruneton, 1999 ; Naczk et Shahidi, 2004**).

De plus, la diversité structurale des composés polyphénoliques due à cette double origine biosynthétique, est encore accrue par la possibilité d'une participation simultanée des deux voies (du shikimate et de l'acétate) dans l'élaboration de composés d'origine mixte, comme les flavonoïdes (**Martin et Andriantsitohaina, 2002**).

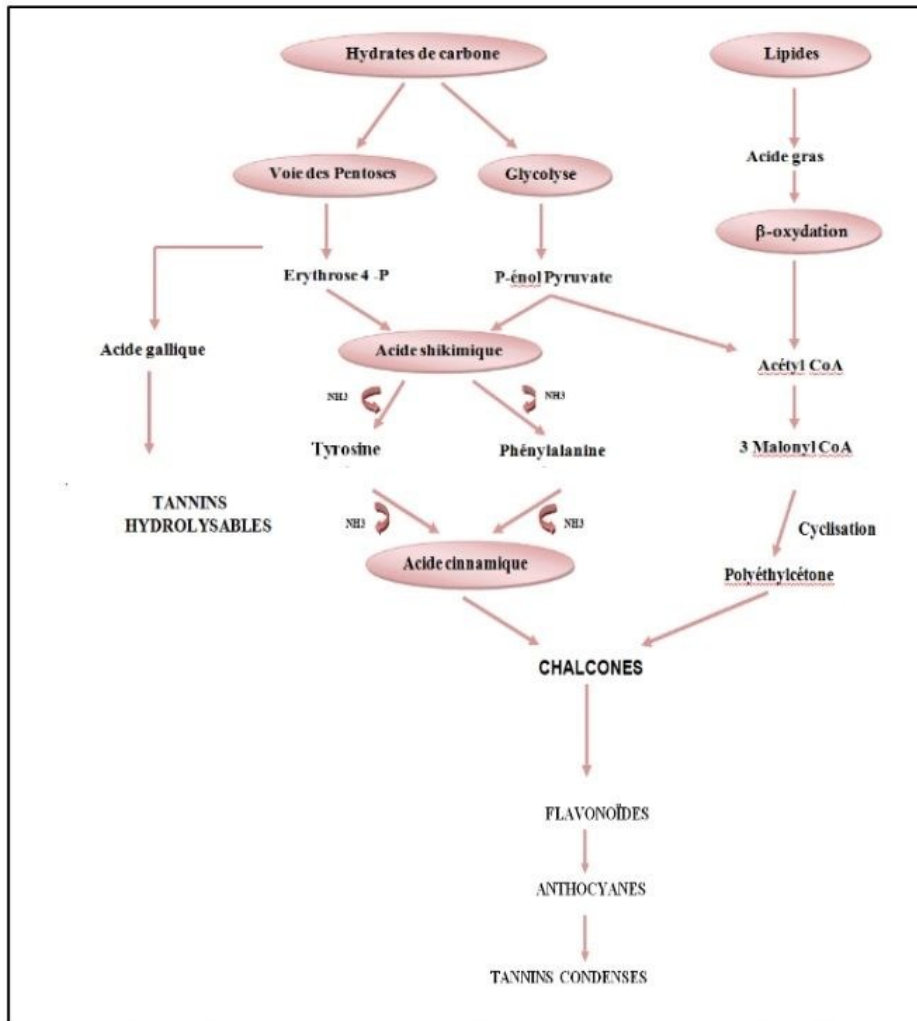


Figure 30: Représentation des voies de biosynthèse des polyphénols (Akroum, 2011).

#### 4. Propriétés biologiques des polyphénols

Les recherches récentes sur les composés phénoliques en générale et les flavonoïdes en particulier sont très poussées, en raison de leurs divers propriétés physiologiques, comme les activités anti-allergique, anti-athérogénique, anti-inflammatoire, hépato-protective, antimicrobienne, antivirale, antibactérienne, anticarcinogénique, anti-thrombotique, cardio-protective et vasodilatatoire (Middleton et al., 2000 ; Ksouri et al., 2007).

Les effets bénéfiques des polyphénols intéressent particulièrement deux domaines : la phytothérapie et l'hygiène alimentaire (Leong et Shui, 2002).

##### 4.1. Activité antioxydant

L'activité antioxydante des polyphénols assure une meilleure conservation des denrées alimentaires en empêchant la peroxydation lipidique. Dans l'industrie cosmétique, les composés phénoliques trouvent leur application pratique en luttant contre la production des radicaux libres néfastes pour la santé et la beauté de la peau. En phytothérapie, même si

certaines indications sont communes à plusieurs classes (les propriétés vasculoprotectrices, sont par exemple aussi bien attribuées aux flavonoïdes qu'aux anthocyanes, tanins et autres coumarines), chaque classe chimique semble être utilisée pour des bénéfices spécifiques (**Hennebelle et al ., 2004**).

C'est admis que la capacité antioxydante de plusieurs fruits est due à la présence des flavonoïdes, en fait, la plus part des constituants polyphénoliques montre un pouvoir antioxydant élevé en comparant avec les autres antioxydants connus : vitamine C, vitamine E, et  $\beta$ -carotène (**Vinson, 1995**).

La consommation des composés phénoliques se traduit par une augmentation transitoire de la capacité antioxydante du plasma dans les heures qui suivent le repas. Parvenus au niveau des artères, ils préviennent l'oxydation des lipoprotéines de faible densité (Low Density Lipoproteins ou LDL). En limitant leur incrustation dans les parois des artères (**Manallah, 2012**).

#### **4.2. Effets anti-trombotique et vasodilatatoires**

Les polyphénols agiraient aussi en inhibant l'agrégation plaquettaire impliquée dans le phénomène de thrombose qui peut conduire à l'occlusion des artères (**Manach et al., 2005**). Ils sont regroupés dans la catégorie de veinotoniques et des vasculo-protecteurs (**Ghosh et al., 2009**).

Un certain nombre de molécules polyphénoliques sont également en cours des études cliniques, comme des hypotenseurs (**Martin et Andriantsitohaina, 2002**). De nombreux travaux suggèrent que les polyphénols participent à la prévention des maladies cardiovasculaires (**Manach et al., 2005**).

#### **4.3. Effet antiallergique**

Ces effets sont attribués à l'influence des flavonoïdes sur la production de l'histamine. En effet, les flavonoïdes inhibent les enzymes, telles que l'AMP cyclique phosphodiesterase et l'ATPase Ca dépendante, responsables de la libération de l'histamine à partir des mastocytes et des basophiles. Par exemple, l'ATPase Ca dépendante dégrade l'ATP Produisant ainsi de l'énergie afin de faciliter l'absorption du calcium par les membranes cellulaires, ce qui favorise la libération de l'histamine stockée dans les vésicules. En inactivant cette enzyme, la quercétine a montré un potentiel d'action supérieur à celui du cromoglycate de sodium utilisé comme médicament en empêchant la libération de l'histamine et d'autres substances endogènes qui causent l'asthme (**Nkhili, 2009**).

#### **4.4. Effet anti-inflammatoire**

Sous l'action de la cyclooxygénase et la lipoxygénase, l'acide arachidonique est métabolisé respectivement en prostaglandines et leucotriènes induisant ainsi des phénomènes inflammatoires. Une étude de Landolfi et son groupe a montré que certains polyphénols sont capables de modifier le métabolisme de l'acide arachidonique dans les plaquettes. Les effets de la quercétine et de la myricétine sont dose-dépendants. A de fortes concentrations, ils inhibent la cyclooxygénase et la lipoxygénase. Cependant, à de faibles concentrations, seule la lipoxygénase est affectée. En revanche, d'autres flavonoïdes tels que l'apigénine et la chrysin agissent principalement sur l'activité de la cyclooxygénase (Nkhili, 2009).

#### **4.5. Effet anti-ulcère**

Dans des expériences réalisées sur des rats, il a été démontré que la quercétine et la naringénine jouent un rôle important dans la réduction de l'ulcère et la protection des cellules gastriques. Il a été suggéré que la quercétine exerce son activité via un mécanisme complexe impliquant la production du mucus, le piégeage des radicaux libres et également l'inhibition de la production leucotriènes. D'autres études ont permis d'établir une relation étroite entre les propriétés anti-ulcère de la quercétine, la naringénine, la rutine et le kaempférol, et la production de PAF (Platelet Activating Factor) qui est un agent ulcérogène potentiel. En effet, il s'est avéré que la réduction des dommages gastro-intestinaux est due probablement à l'inhibition du PAF par ces flavonoïdes (Nkhili, 2009).

#### **4.6. Effet anticancéreux**

La catéchine qui est présenté dans tous les types de thé et en particulier dans le thé vert, a montré une activité anti-tumorale. Une telle activité est attribuée à la capacité de ce flavonoïde à inactiver l'action de la P-glycoprotéine qui est impliquée dans la résistance phénotypique des cellules cancéreuses.

Les flavonoïdes ont montré des effets protecteurs contre les cancers de la prostate, du côlon et du poumon (Nkhili, 2009).

#### **4.7. Rôle des polyphénols chez la plante**

Une des fonctions majeures des flavonoïdes est de contribuer à la couleur des plantes notamment à celle des fleurs. Or, c'est par la couleur de ses fleurs que la plante exerce un effet attracteur sur les insectes et les oiseaux pollinisateurs, assurant par ce biais une étape, fondamentale de sa reproduction. On peut également noter que les flavonoïdes, en repoussant certains insectes par leur goût désagréable, peuvent jouer un rôle dans la protection des plantes. Les flavonoïdes montrent d'autres fonctions intéressantes dans le contrôle de la croissance et du développement des plantes en interagissant d'une manière complexe avec les diverses

hormones végétales de croissance. Certains d'entre eux jouent également un rôle de phytoalexines, c'est-à-dire de métabolites que la plante synthétise en grande quantité pour lutter contre une infection causée par des champignons ou par des bactéries. D'autre part, les composés phénoliques possèdent souvent une activité antimicrobienne (Maillard, 1996).

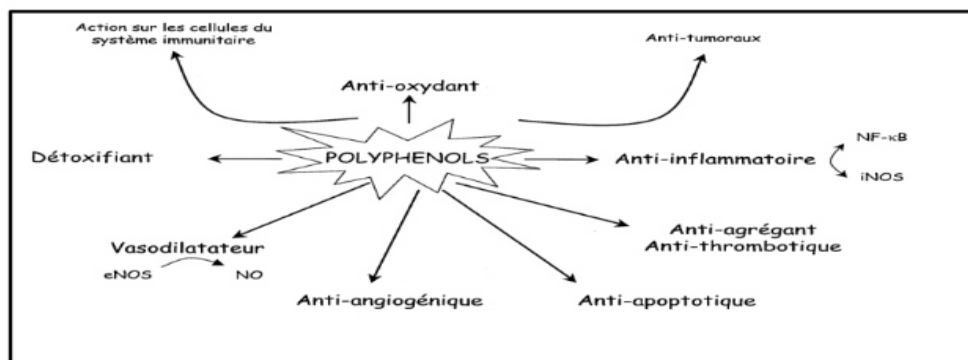


Figure 31: Effets biologiques des polyphénols (Martin et Andriantsitohaina, 2002).

## 5. Classification des polyphénols

On distingue les acides phénoliques (phénols simples), les flavonoïdes, les lignanes, les stilbènes, les coumarines et les tannins (Glombitza, 1985 ; Harborne, 1980 ; Goodwin, 1988; Porter, 1989; Boros, 2010).

### 5.1. Les acides phénoliques

Ces composés sont dérivés de deux sous groupes distingués : Les acides hydroxycinnamiques, dont les plus abondants sont l'acide caféique, l'acide férulique, l'acide chlorogénique, et les acides hydroxybenzoïques, mais les plus répandus sont l'acide salicylique et l'acide gallique. Sont contenus dans un certain nombre de plantes agricoles et médicinales. Et présents chez toutes les céréales.

Ils sont considérés comme substances phytochimiques avec des effets prébiotique, antioxydant, de chélation et anti-inflammatoire. Leur toxicité est très faible car ils sont considérés non toxiques.

Les mieux caractérisés pharmacologiquement, sont l'acide caféique et l'acide férulique qui montrent l'effet anticancéreux au niveau des poumons chez les souris, alors que l'acide gallique agit par le même effet en prévenant le déclenchement du cancer œsophagien chez les rats (Laraoui, 2007).

### 5.1.1. Acides hydroxycinamiques

#### 5.1.1.1. Acide ferulique

L'acide ferulique est identifié dans les grains d'orge, maïs, mils, avoine, seigle, blé, riz. Cet acide a comme principale propriété biologique, l'effet antioxydant (Hahn et al., 1983 ; Andreasen et al., 2000; Zhou et al., 2004; Kim et al., 2006).

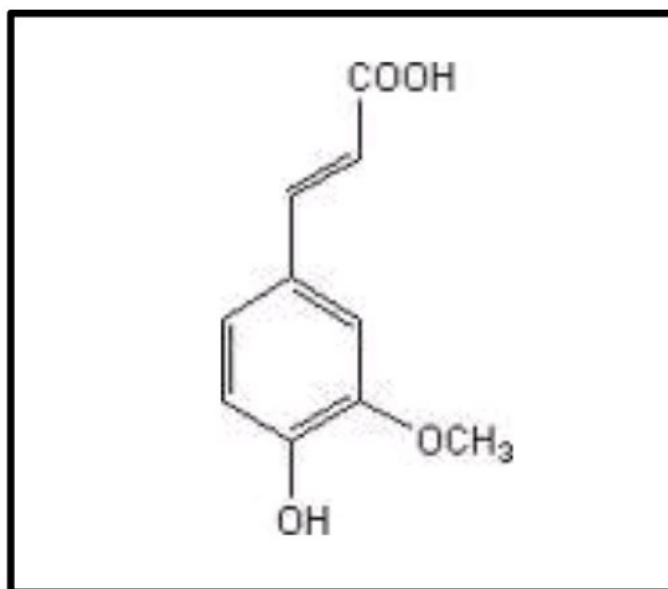


Figure 32: Structure d'acide ferulique (Benaissa, 2011).

#### 5.1.1.2. Acides chlorogéniques

Les acides chlorogéniques sont identifiés essentiellement chez : les artichauts, Café, Pomme de terre..., Sont caractérisés par des propriétés antioxydants et antiradicalaires, comme ils jouent un rôle dans la prévention in vitro des maladies cardiovasculaires et du diabète type II.

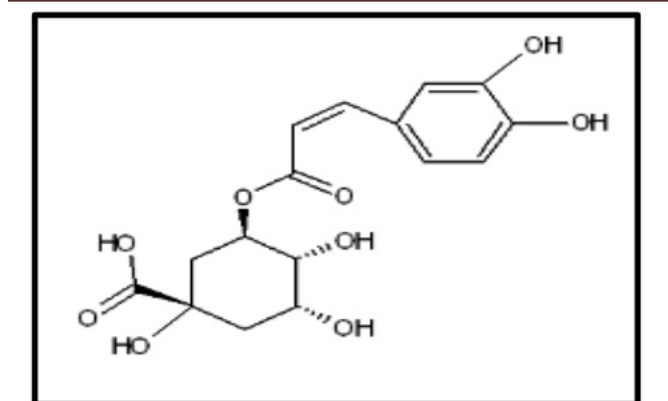


Figure 33: Structure d'acide chlorogénique (Benaissa, 2011).

### 5.1.1.3. Acide caféique

L'acide caféique est abondant dans l'orge, maïs, mils, avoine, seigle, blé, riz et le sorgho (Suba et al., 2002 ; Zhou et al., 2004 ; Kim et al., 2006).

L'acide caféique est un composé naturellement présent dans toutes les plantes, intervenant dans la synthèse de la lignine (molécule formant les parois des cellules végétales). A des propriétés, antitumorales, antivirales, antiradicalaires et anti-inflammatoires, il a été employé comme antioxydant naturel pour inhiber l'oxydation des lipides de poisson dans les matrices alimentaires (Cunha, et al., 2004).

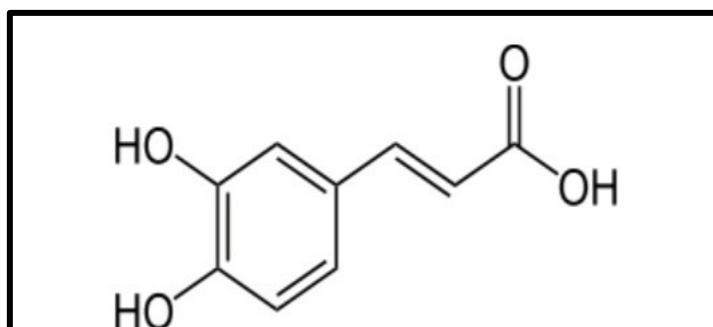


Figure 34: Structure d'acide caféique (Nkhili, 2009).

### 5.1.2. Acide hydroxybenzoïques

#### 5.1.2.1. Acide gallique

L'acide gallique est abondant dans le mils, riz, sorgho (Hahn et al, 1983; Suba et al, 2002 ; Zhou et al, 2004). Cet acide présente une très grande activité antioxydante (Smith et Kramer, 1999).

l'acide gallique a pour pouvoir in vitro de réduire la viabilité des cellules cancéreuse du poumon chez les souris et que la combinaison de cet acide avec les médicaments anticancéreux tels la cisplatine peut être un traitement efficace pour ce type de cancer (Kawada et al., 2001 in Rangkadilok et al., 2007).

Il peut aussi à une faible concentration, prévenir les dommages oxydatifs d'ADN cellulaire (Lee et al., 2005).

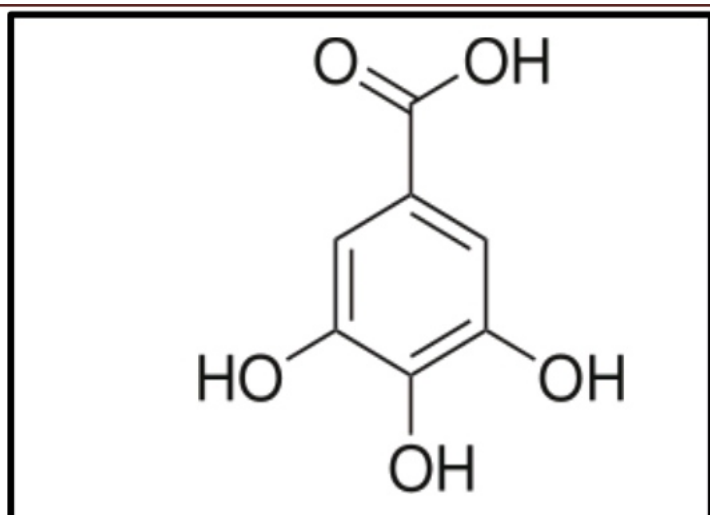


Figure 35 :Structure d'Acide gallique (Akroum, 2011).

## 5.2. Les flavonoïdes

### 5.2.1. Définition

Le terme flavonoïde (de flavus, «jaune» en latin) désigne une très large gamme de composés naturels appartenant à la famille des polyphénols (Bouakaz, 2006). Ils constituent des pigments responsables des colorations jaune, orange et rouge de différents organes végétaux (Havasteen, 2002).

Ces diverses substances se rencontrent à la fois sous forme libre (aglycone) ou sous forme de glycosides. On les trouve, d'une manière générale, dans toutes les plantes vasculaires (Erlund, 2004), où ils peuvent être localisés dans divers organe : racine, tiges, bois, feuilles, fleurs et fruits. Et jouent un rôle important dans la protection des plantes (Bruneton, 1993). Les flavonoïdes se trouvent également dans plusieurs plantes médicinales. Des remèdes à base de plantes renfermant ces composés sont utilisés en médecine traditionnelle à travers le monde entier (Delporte et al., 1999).

### 5.2.2. Structure des flavonoïdes

Flavonoïde, est un terme générique pour des composés basés sur un squelette à 15 atomes de carbone qui fait de deux cycles phényles C6, les cycles A et B, connectés par un pont à trois carbones (structure en C6-C3-C6). Ce dernier est situé entre les cycles A et B est communément cyclisé pour former le cycle C (cycle centrale). Les atomes de carbone dans les cycles C et A sont numérotés de 2 à 8, et dans le cycle B de 2' à 6' (Figure 36) (Bruneton, 1999).

La Distinction des sous-classes se fait sur la conformation de la structure centrale (cycle C).

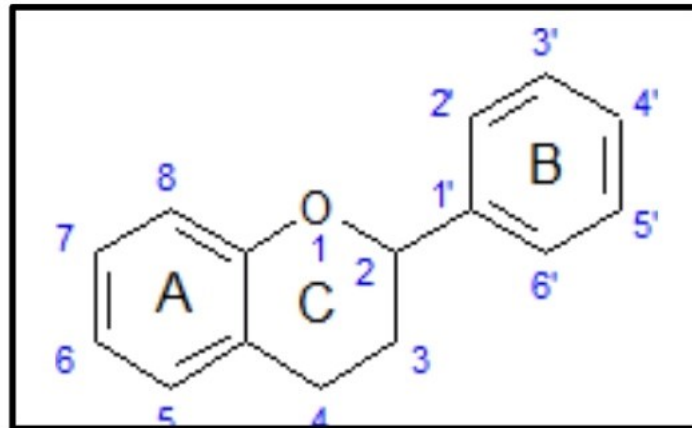


Figure 36: Structure de base des flavonoïdes (Dacosta, 2003)

Les composés de chaque sous-classe se distinguent par le nombre, la position et la nature des substituants (groupements hydroxyles libres, méthylés ou glycosylés) sur les deux cycles aromatiques A et B et le cycle central C.

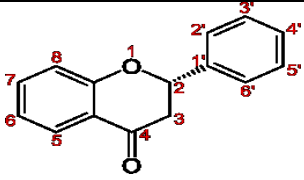
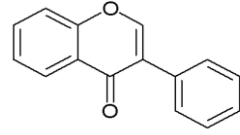
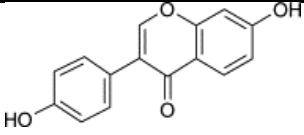
### 5.2.3. Classification des flavonoïdes

La nature chimique des flavonoïdes dépend de leur classe structurale, de degré d'hydroxylation et de méthylation, de degré de polymérisation, des substitutions et des conjugaisons sur le cycle C, c'est-à-dire, la présence de double liaison C2-C3, du groupe 3-O et la fonction 4-oxo (Yao et al. 2004 ; Tsimogiannins et Oreopoulou, 2006). En basant sur leur squelette, les flavonoïdes peuvent être divisés en différentes classes : anthocyanidines, flavonoles, isoflavonoles, flavones, isoflavones, flavanes, isoflavanes, flavanols, isoflavanols, flavanones, isoflavanones et auronnes (Havsteen, 2002 ; Edenharder et Grünhage, 2003), quelque classes sont cités dans le (tableau 4).

Tableau 4: présente quelques classes distinctes des flavonoïdes (Bellebcir, 2008).

[www.agrobio-rennes.com](http://www.agrobio-rennes.com)

Classe	Formule	source	propriété
flavanols		raisins, Thé, cacao	-Antioxydants naturels -anticancéreuses
flavonols		Oignon, pomme, brocoli, fruits rouges	- antihistaminique, Anti-inflammatoire et anti-oxydante .- antihistaminique ,

			Anti- inflammatoire et antioxydante. - Isorhamnétine : Propriétés antioxydante.
<b>flavanones</b>		Les Agrumes : orange, citron, pamplemousse, mandarine, orange amère	-neutralisation des radicaux lib .es. - amélioration de l'absorption de la vitamine C. - la prévention des cancers de la peau
<b>Isoflavones</b>		Soja	phytoestrogéniques. - Source de phytoestrogènes.
<b>anthocyanes</b>		Myrtille, mûre, raisin noir, aubergine, prune...	-la lutte contre le vieillissement cellulaire en améliorant l'élasticité et la densité de la peau -Présente comme des couleurs brillant dans les fruits et les légumes. -Antiseptiques urinaires.

### 5.3. Les lignanes

#### 5.3.1. Définition

Le terme lignane à l'origine présenté par Haworth en 1936. Les lignanes sont les dimères des unités de phenylpropane (C6 C4) (**Benarous, 2009**).

Les lignanes constituent une classe importante de métabolites secondaire dans le règne végétal. La distribution botanique des lignanes est large: plusieurs centaine des composés ont été isolés dans environ soixante-dix familles .Chez les gymnospermes, Ils sont surtout rencontrés dans les bois alors que chez les Angiospermes, ils ont été identifiés dans tout les tissus, Ils ont été découvert dans toutes les parties des plantes : les racines, les feuilles, les fruites est les graines (**Midoun, 2011**).

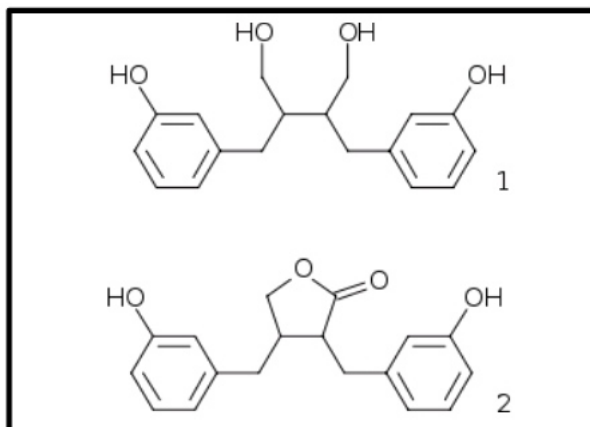


Figure 37: Structure des lignanes (Midoun, 2011).

### 5.3.2. Structure des lignanes

Les lignanes sont répartis en huit groupes structuraux (figure 38), classés selon le mode d'incorporation du (ou des) atome (s) d'oxygène dans le squelette carboné et selon le type de cyclisation (Umezawa, 2003).

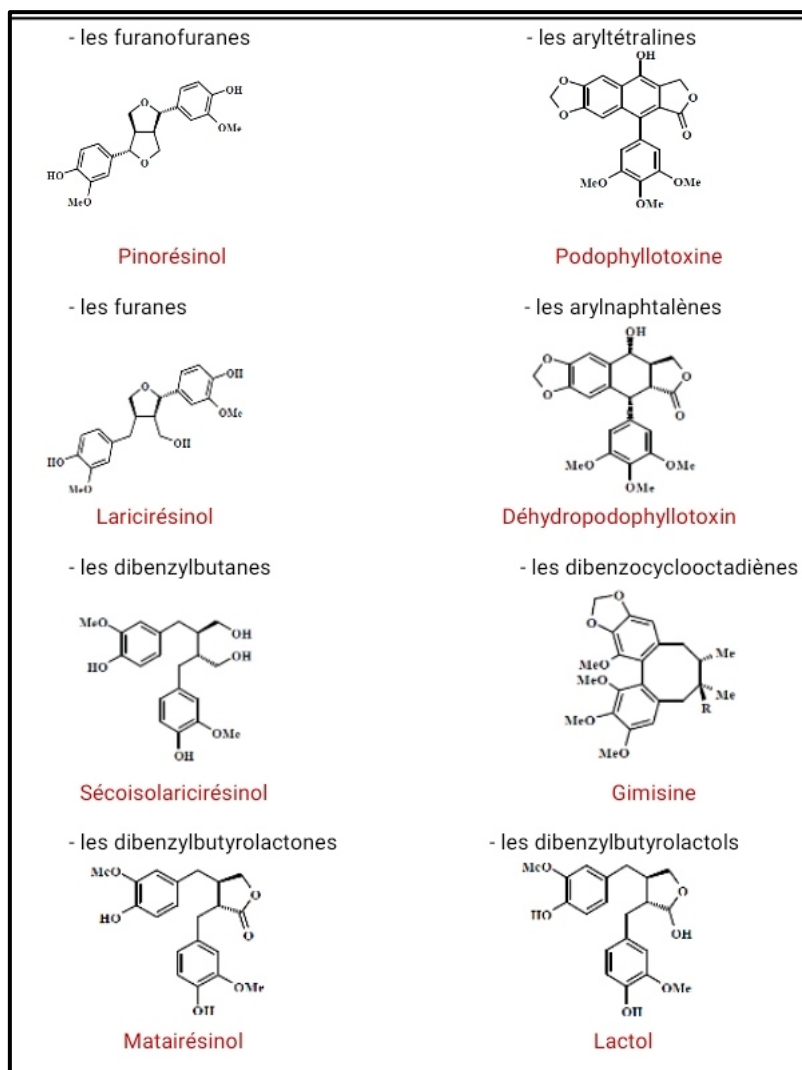


Figure 38 :Les huit groupes structuraux de lignanes (Sullivan, 2011).

### 5.3.3. Activité biologique

Selon (Mc Rae & Towers, 1984 ; Charlton, 1998; Fauré et *al.*, 1990 ; Saleem et *al.*, 2005 ; Cos et *al.*, 2008 ; Pan et *al.*, 2009 ; Yousefzadi et *al.*, 2010), les lignanes présentent plusieurs activités biologiques montrant les Antiviral, anticancéreux, antimicrobien et antioxydant.

## 5.4. Les stilbènes

### 5.4.1. Définition

Les Stilbènes sont des composés phénoliques contenant au minimum deux noyaux aromatiques reliés par un double liaison, dont la structure est C6-C2-C6 comme les flavonoïdes, formant un système conjugué. Cette particularité leur confère une grande réactivité due à la résonance des électrons sur la totalité de la molécule.

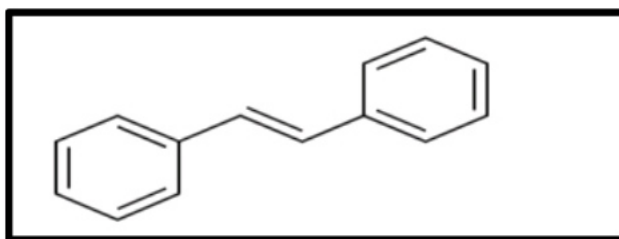


Figure 39: Structure d'un stilbène (Midoun, 2011).

Les stilbènes sont des phytoalexines, composés produits par les plantes en réponse à l'attaque par les microbes pathogènes fongiques, bactériens et viraux. Les sources principales des stilbènes sont les raisins, les vins, le soja et les arachides (Crozier *et al.*, 2006).

## 5.5. Les coumarines

### 5.5.1. Définition

Les coumarines tirent leur nom de « coumarou », nom vernaculaire de fève tonka (*Dipterix odorata* Wild., Fabaceae) dont les fèves contiennent 1 à 3% de coumarine, d'où fut isolée en 1982 (Bruneton, 1993). Le squelette de base des coumarines est constitué de deux cycles accolés avec neuf atomes de carbone (Ford *et al.*, 2001).

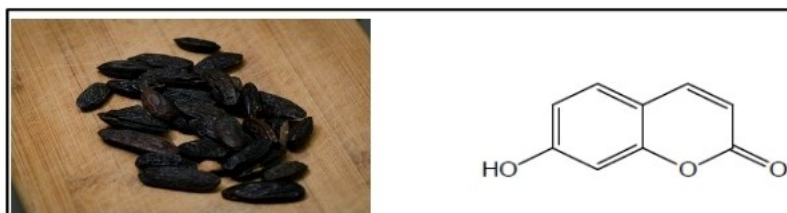


Figure 40: Squelette de base des coumarines (Djemoui, 2012).

Les coumarines constituent une classe importante de produits naturels, elles donnent une odeur caractéristique semblable à celle du foin fraîchement fauché. A l'exception des algues, ces composés sont les constituants caractéristiques du règne végétal chlorophyllien. Les familles les plus riches en coumarines sont : Légumineuse, Rutacées, Apiécées et Thymeleacées. Elles se trouvent dans toutes les parties de la plante et notamment dans les fruits et les huiles essentielles des graines (Guignard, 1998 ; Deina *et al.*, 2003 ; Booth *et al.*, 2004). Les coumarines ont des effets différents sur le développement des plantes suivant leur concentration et aussi selon l'espèce. Dans la cellule végétale elles sont principalement présentes sous forme glycosylée (Hofmann, 2003), Cette glycosylation est une forme de stockage permettant d'éviter les effets toxiques de ces molécules. Elles sont considérées comme des phytoalexines, c'est-à-dire de métabolites que la plante synthétise en grande quantité pour

lutter contre une infection causée par des champignons ou par des bactéries. Les coumarines peuvent également se trouver dans le règne animal (les glandes à sécrétion odoriférante du castor) et chez certains microorganismes (Hofmann, 2003).

### 5.5.2. Classification des coumarines

Les coumarines sont substituées par un hydroxyle ou plus sur les six positions disponibles.

La majorité des coumarines sont substituées en C-7 par un hydroxyle.

selon la nature des substituant sur leurs structures On peut classer les coumarines en cinq catégories : (Guignard, 1998 ; Deina et al., 2003 ; Booth et al., 2004).

#### 5.5.2.1 Coumarines Simples

Les coumarines simples sont les plus répandues dans le règne végétal et possèdent des substitutions (OH ou OCH<sub>3</sub>) en 6 et 7. Cette classe comporte deux sous classes, les génines et les hétérosides (Harkati, 2011).

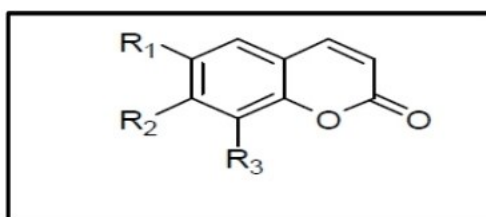


Figure 41: Structure de coumarine (Hadj Salem, 2009).

Tableau 5: montre la structure chimique brute des quelques génines coumariniques (Djemoui, 2012).

	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
	H	OH	H
	OH	OH	H
<b>Ombelliférone</b>	OCH <sub>3</sub>	OH	H
<b>Esculétol</b>	H	OCH <sub>3</sub>	H
<b>Scopolétol</b>	OCH <sub>3</sub>	OH	OH

Les hétérosides

Tableau 6: montre la structure chimique brute des quelques hétérosides (Djemoui, 2012).

	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
Esculoside(=Esculice)	O-Glu	OH	H
Cichorioside(=Cichorine)	OH	O-Glu	H
Scopoloside(=Scopoline)	OCH <sub>3</sub>	O-Glu	H
Fraxoside	OCH <sub>3</sub>	O-Glu	OH

5.5.2.2. Furanocoumarines

Les furanocoumarines (appelées encore furocoumarines) constituent une famille de composés synthétisés par certaines espèces de végétaux supérieurs elles dérivent principalement de l’Ombelliféracée par condensation isopronoïdes en C5, sont souvent liposolubles, On désigne :

- Les Furanocoumarines lineaires : dérivant de la molécule de psoralène

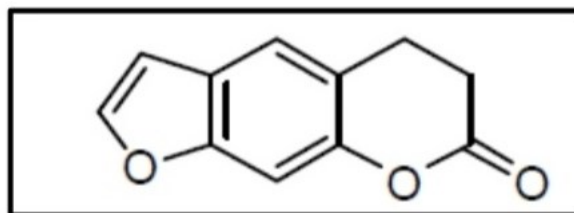


Figure 42 :Psoralène (Djemoui, 2012).

- Les Furanocoumarines angulaires : basées sur la structure de l’angélicine

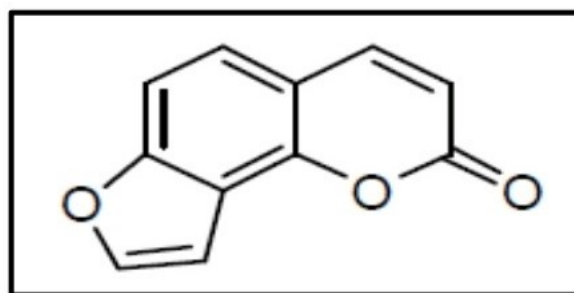


Figure 43:Anégélicine (Djemoui, 2012).

De nombreux dérivés de ces structures de base existent avec des ajouts de résidus sur les carbones des positions 2, 5 et/ou 8. Ces résidus peuvent être assez simples, ou bien plus complexes comme par exemple pour l’athamantine ou lacolumbianadine.



Figure 44: Quelques structures de Furanocoumarines dérivés de structure de base (Harkati, 2011).

### 5.5.2.3. Pyranocoumarines

Les pyranocoumarines des Composés formés par la fusion d'un hétérocycle pyrane avec la coumarine, soit dans le prolongement (forme linéaire) comme le xanthylétine ou latéralement (forme angulaire) comme les séseline, visnadine (Harkati, 2011).

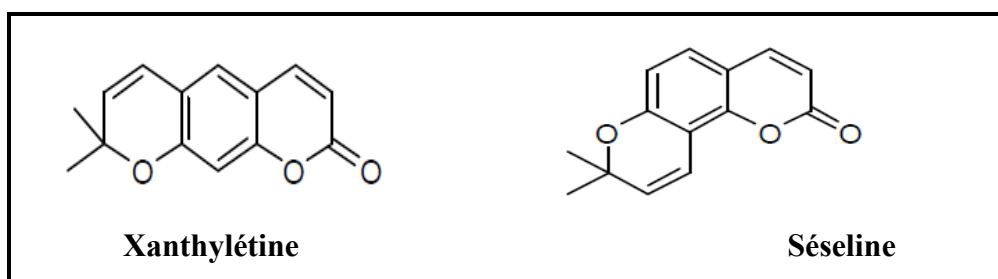


Figure 45: Structures de quelques pyranocoumarines (Harkati, 2011).

### 5.5.2.4. Dicoumarines (coumarines dimériques)

Les dicoumarines sont des composés formés par la liaison de deux unités coumariniques simples.

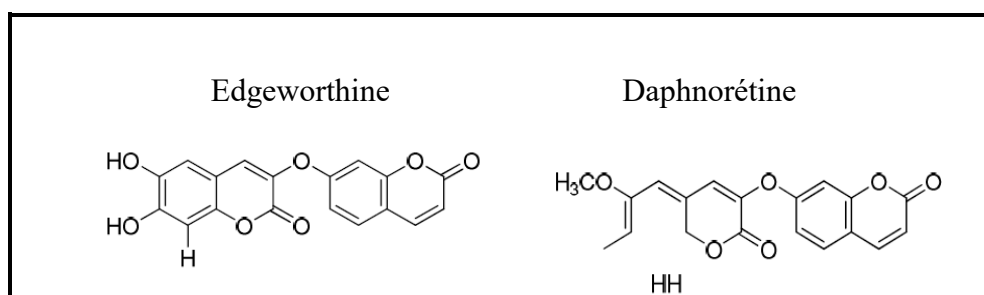


Figure 46: Structures des quelques dicoumarines (Harkati, 2011).

### 5.5.2.5. Tricoumarines (coumarines trimériques)

Les tricoumarines sont des composés issus de l'union de trois unités coumariniques, la( figure 47) montre un type des tricoumarine, qui est la triumbéllatine (Djamila, 2012; Bouzid, 2009).

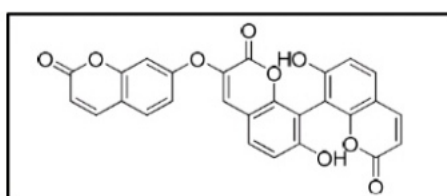


Figure 47: Structure de triumbéllatine type des tricoumarines (Djemoui, 2012).

### . Propriétés physico-chimiques des coumarines

Les coumarines libres sont solubles dans les alcools et dans les solvants organiques tels que l'éther ou les solvants chlorés avec lesquels on peut les extraire. Les formes hétérosidiques sont plus ou moins solubles dans l'eau.

#### 5.5.3. Activités biologiques et intérêts pharmacologiques des coumarines

Les coumarines sont des molécules biologiquement actives, elles manifestent diverses activités : anti-agrégation plaquettaire, anti-inflammatoire, anticoagulante, antitumorale, diurétiques, antimicrobienne, antivirale et analgésique (Ochockda *et al.*, 1995 ; Taguchi, 2000 ; Ojala *et al.*, 2000 ; Chen *et al.*, 2004 ; Khan *et al.*, 2005 ; Thati *et al.*, 2007 ; Stefanova *et al.*, 2007).

En 1957, O'Neal et son équipe ont montré l'efficacité des coumarines pour bloquer le cancer induit chimiquement par les radiations ultraviolettes (O'Neal, 1957). Ces molécules sont capables de prévenir la peroxydation des lipides membranaires et de capter les radicaux hydroxyles, superoxyde et peroxydes (Anderson *et al.*, 1996 ; Hu *et al.*, 2005).

Les coumarines se révèlent être des composés thérapeutiques promoteurs dans l'amélioration du système immunitaire (action immunostimulante) : l'administration de la coumarine et de l'umbelliférone par des malades atteints de cancers ou de brucellose a raison de 100 mg par jour a provoqué une augmentation des lymphocytes T Helper dans la circulation sanguine (Bruneton, 1993 ; Stefanova *et al.* ; 2007).

Pour l'activité antibactérienne, les coumarines sont efficaces contre les bactéries à Gram positif (Cottiglia *et al.*, 2001 ; Laure, 2005 ; Khan *et al.*, 2005).

#### 5.5.4. Toxicité des coumarines

La coumarine n'est pas toxique en soi, elle peut être convertie par les champignons, en une toxine qui est le dicoumarol qui est typiquement présent dans le foin moisi ; chez le bétail, le dicoumarol provoque des hémorragies fatales en inhibant la vitamine K qui est un facteur de coagulation du sang (Schorderet, 1992 ; Repcak *et al.*, 2001 ; Khan *et al.*, 2005).

Chez l'homme la consommation des espèces végétales qui renferment des furanocoumarines linéaires ou angulaires provoque, s'il est accompagné d'une exposition à la lumière solaire, une dermatite phototoxique d'intensité variable allant du simple érythème jusqu'à l'apparition de bulles et de vésicules au niveau des zones exposées, quelques jours après le contact, les zones touchées présentent une hyperpigmentation (Bruneton, 1999).

## 5.6. Les tannins

### 5.6.1. Définition

Les tannins (ou tanins) sont des substances d'origine végétale qui ont la propriété de transformer la peau fraîche en un matériau imputrescible : le cuir (**Bruneton, 1999**). Cette propriété de tannage provient de la création de liaisons entre les molécules de tannins et les fibres de collagène de la peau.

D'un point de vue biochimique, une première définition a été proposée par Bate-Smith, (1973) c'est que les tanins sont des composés phénoliques hydrosolubles ayant un poids moléculaire (PM) compris entre 500 et 3000 Da (**Brunet, 2008**).

Les tannins se caractérisent par leur faculté à se combiner aux protéines et à d'autres polymères organiques tels que des glucides, des acides nucléiques, des stéroïdes et des alcaloïdes pour former un précipité.

### 5.6.2. Classification

Les tannins sont des macromolécules qui se divisent selon leur structure en deux groupes distincts. Les tannins hydrolysables et les tannins condensés (**Mueller-Harvey et Mc Allan, 1992; Bruneton, 1999; Hagerman, 2002**).

#### 5.6.2.1 Les tannins hydrolysables

Les tannins hydrolysables (THs) sont des oligo- ou poly-esters d'un sucre, en général le glucose, associés à des molécules d'acide-phénol (**Mueller-Harvey et Mc Allan, 1992; Jean-Blain, 1998; Bruneton, 1999; Mueller-Harvey, 2001**). Ils sont classés selon la nature de l'acide-phénol :

- les tannins galliques possèdent un acide gallique (Figure 48).

Alors que

- les tannins éllagiques ont un acide hexahydroxyphénique (**Hagerman, 2002**).

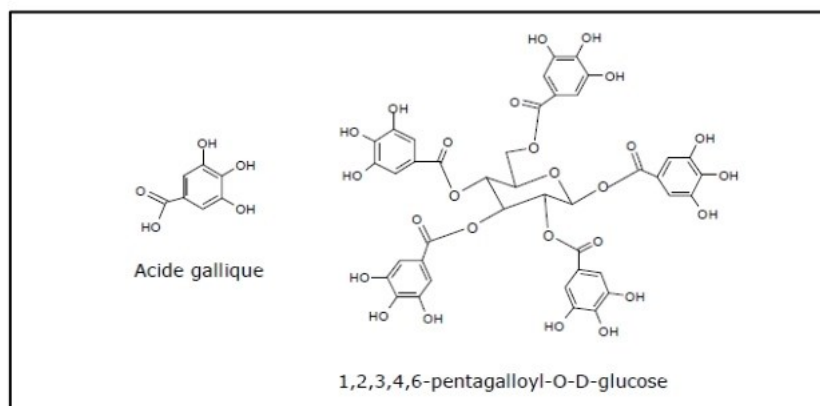


Figure 48: Structures de l'acide gallique et d'un tannin gallique (**Brunet, 2008**).

Comme leur nom l'indique, ces substances s'hydrolysent facilement en milieux acides et alcalins ou sous l'action d'enzymes (telle que la tannase), pour donner des glucides et des acides phénoliques (Leinmüller et al., 1991).

Ces hétéropolymères sont notamment hydrolysés dans le tractus digestif des ruminants, et leurs produits de dégradation sont absorbés. Ils peuvent être responsables d'intoxications, lors d'ingestion trop massive, et provoquent des lésions hépatiques et rénales, décrites chez les moutons (Zhu et al., 1992) ou les bovins (Plumlee et al., 1998).

### 5.6.2.2 Les tannins condensés

Les tannins condensés (TCs), ou proanthocyanidols, sont des polyphénols appartenant à la famille des flavonoïdes (Mueller-Harvey et Mc Allan, 1992; Bruneton, 1999).

Sont chimiquement définis comme étant des oligomères ou des polymères d'unités de flavanoïdes. L'unité de base (ou monomère) des TCs est un flavan-3-ol (catéchine). liés par des liaisons de type C-C (Type B) ou C-O-C (type A) (Mueller-Harvey et Mc Allan, 1992; Jean-Blain, 1998; Bruneton, 1999; Feucht et Treutter, 1999; Schofield et al., 2001).

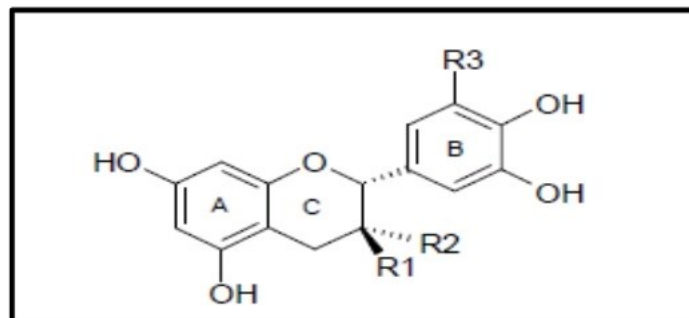


Figure 49: Structure chimique des différents flavan-3-ols (structure de base des TCs) (Brunet, 2008).

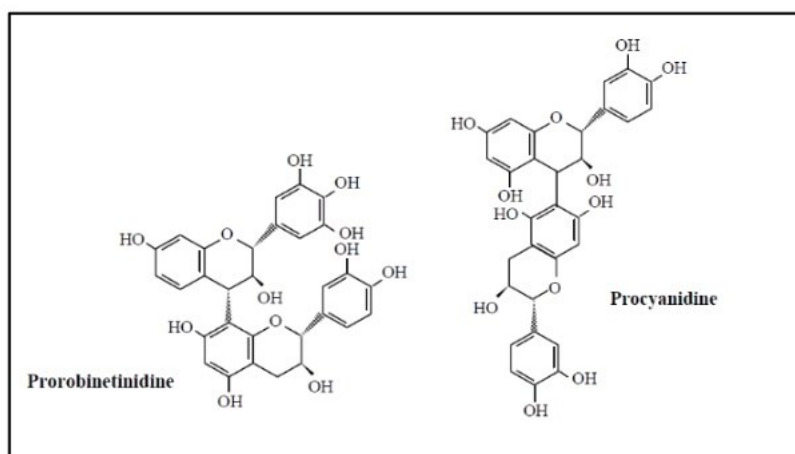


Figure 50: Structure de quelques proanthocyanidines (TCs) (Akroum, 2011).  
En général, les TCs ont des PMs plus élevés que ceux des THs (Hagerman, 1992).

### **5.6.3 Effets bénéfiques des tannins**

Les tanins peuvent exercer des effets nutritionnels bénéfiques chez les ruminants qui en consomment des taux modérés. Plusieurs études suggèrent que la présence des tanins condensés à un seuil inférieur à 6% est avantageuse et induit une amélioration des performances animales, croissance et rendement en viande et en lait (**Barry et al., 1986**).

La précipitation des protéines par les tanins protège les microorganismes du rumen de leurs effets délétères. Elle permet également le recyclage de l'urée par la diminution de la concentration d'ammoniac dans le rumen. Elle participe également à l'activité antidiarrhéique (Les tannins vont imperméabiliser les couches externes de la peau et des muqueuses et surtout la muqueuse intestinale), en protégeant les organes digestifs des attaques nuisibles. Les tanins ont également un pouvoir cicatrisant car ils favorisent la régénération des tissus en cas de blessure superficielle (**Brunet, 2008**).

Les tanins des légumineuses peuvent améliorer la qualité des fourrages ensilés en empêchant la dégradation excessive des protéines diététiques (**Makkar, 2003**).

La présence naturelle des tanins dans les différents pâturages protège les herbivores contre les ballonnements (**Makkar, 2003**).

### **5.6.4. Effets toxiques**

Chez l'Homme cette toxicité est mal connue. Chez les animaux, on peut observer une intoxication du bétail par ingestion de jeunes feuilles de chêne.

La toxicité des tanins se manifeste à trois niveaux : l'ingestion, la digestibilité et le microbiote ruminal. Cette toxicité varie en fonction des tanins ingérés et de la tolérance de l'animal qui à son tour, dépend de certaines caractéristiques telles que la nature du tractus digestif, le comportement alimentaire, la taille, l'âge et les mécanismes de détoxification (**Rira, 2010**).

### **5.6.5. Rôle des tannins dans les plantes**

Les tannins jouent un rôle dans la défense des plantes face aux agressions. La synthèse des tannins est l'un des mécanismes de défense des plantes contre les attaques des phytopathogènes. Par exemple, une accumulation de tannins a été observée dans les zones d'invasion de la plante par des bactéries, des champignons ou par des nématodes, ce qui inhibe leurs développement (**Feucht et Treutter, 1999; Collingborn et al., 2000**).

Les tannins sont aussi un moyen de défense contre les agressions des prédateurs tels les insectes et les mammifères herbivores (**Mueller-Harvey et Mc Allan, 1992 ; Woodward et Coppock, 1995; Feucht et al., 1997**).

La présence des tannins rend les plantes moins appétentes pour les mammifères herbivores à cause de la sensation d'astringence résultant de leur consommation. Cette astringence conduit alors à un arrêt de la consommation et protège ainsi les végétaux d'une prédation excessive (**Jean-Blain, 1998 ; Bennick, 2002**).

# ***CHAPITRE III***

***Propriétés Pharmacologiques et activités  
Biologiques***

## **Introduction**

Autrefois les plantes médicinales étaient l'une des seules sources de guérisons des maladies. ((Schaunenberg P, et Paris F., 1997)

La coriandre (*coriandrum sativum* L), est l'une des plantes médicinales les plus utilisées depuis l'Antiquité. Est une plante herbacée annuelle de la famille des Apiacées (Ombellifères), elle est surtout connue pour ses propriétés digestives et carminatives, et nutritionnelles, elle est employée en phytothérapie, en homéopathie, et en aromathérapie.

La coriandre offre de nombreuses propriétés médicinales et s'utilise en pharmacopée traditionnelle à travers le monde entier (analgésique, antiseptique, antidiabétique, antirhumatismale, antispasmodique, stimulante, etc...) (Delaquis , et al., 2002)

### **1- Propriétés pharmacologiques de la coriandre**

D'après les recherches scientifiques sur la coriandre cultivées à confirmer de nombreuses vertus de l'effet de la plante notamment dans les domaines de la santé humaine, de la nutrition, et de l'agriculture, grâce à son effort pouvoir :

#### **1.1. Activité analgésique**

Les extraits aqueux de graines de coriandre possèdent un effet analgésique (Pathan, et al.,2011), probablement médié par l'inhibition des récepteurs centraux de la douleur (tableau 7).

Il a été rapporté que le linalol, un alcool monoterpénique fréquemment présent dans l'huile essentielle de coriandre, joue un rôle majeur dans l'activité analgésique (Guimarães,et al.,2013). Dans ce contexte, certains chercheurs ont rapporté l'activité antinociceptive du linalol (Peana, et al.,2003), tandis que d'autres ont étudié la contribution du système glutamatergique à l'antinociception induite par le linalol chez la souris (Batista, et al.,2008), ou ont démontré que le linalol complexé à la  $\beta$ -cyclodextrine produit un effet antinociceptif supérieur à celui du linalol dans des protocoles expérimentaux sur la douleur (Quintans-Júnior, et al.,2013).

#### **1.2. Activité vermifuge**

L'activité vermifuge des extraits de graines de coriandre contre *Haemonchus contortus*, un nématode parasite, a été évaluée in vitro et in vivo (tableau 7). Il a été démontré que l'extrait hydroalcoolique présentait une meilleure activité in vitro contre les parasites adultes que l'extrait aqueux (Egualé, et al.,2007).

#### **1.3. Activité antibactérienne**

Comme le montre le( tableau 7), il a été rapporté que l'huile essentielle de coriandre inhibe un large spectre de micro-organismes (Casetti,2012 ; Thompson,et al.,2013) et a prouvé son efficacité comme agent antibactérien (Cantore,2004 ; Yadav, et al.,2012). De plus,

l'extrait de graines de coriandre possède une activité antimicrobienne efficace contre les bactéries à Gram négatif (*Klebsiella pneumonia* et *Pseudomonas aeruginosa*) et à Gram positif (*Staphylococcus aureus* PTCC1431) (**Zare-Zardini, et al.,2012**).

Plus récemment, un nouveau peptide antimicrobien, la « plantaricine CS », doté d'une large activité antibactérienne, a été isolé à partir d'un extrait de feuilles de coriandre. Son effet antimicrobien le plus important a été observé sur la souche de *Staphylococcus aureus* (CMI = 1,3 mg/ml). Ce nouveau peptide a également montré des effets germicides efficaces sur *Klebsiella pneumonia* (CMI = 2,65 mg/ml). Cependant, *Pseudomonas aeruginosa* était la souche la plus résistante (CMI = 3,2 mg/ml). Ainsi, la Plantaricine CS a un effet antimicrobien moindre sur les bactéries Gram-négatives, ce qui pourrait probablement être dû à la présence de polysaccharides dans la paroi cellulaire, empêchant les composés actifs d'atteindre la membrane cytoplasmique de ces bactéries (**Zare-Shehneh, et al.,2014**).

De plus, l'huile essentielle de feuille de coriandre a montré une activité prononcée contre les bactéries Gram-positives et Gram-négatives, une activité comparable à celle des antibiotiques classiques tels que la tobramycine, le sulfate de gentamicine, l'ofloxacine et la ciprofloxacine, testés dans des conditions similaires (**Joji Reddy, et al.,2012**).

Il a été rapporté que la puissante activité antibactérienne de l'huile essentielle de coriandre contre les bactéries Gram-positives et Gram-négatives est due à la perméabilité membranaire (**Silva, et al.,2011**). De plus, l'huile essentielle de feuille de coriandre s'est révélée particulièrement efficace contre *Listeria monocytogenes*, probablement en raison de la présence d'alcools et d'aldéhydes à longue chaîne (C6-C10) (**Delaquis, et al.,2002**).

Par conséquent, l'activité antibactérienne remarquable présentée par l'huile essentielle de coriandre pourrait être attribuée à l'effet synergique des composés actifs présents dans celle-ci (**Joji Reddy, et al.,2012**). Plus récemment, la synergie entre les composants des huiles essentielles et les antibiotiques a été étudiée, soulignant le potentiel des huiles essentielles comme agent modificateur de la résistance (**Langeveld,2014 ; Yap, P.S.X., et al.,2014**). Par conséquent, les fonctions interactives des différents composants des huiles essentielles dans la comparaison avec l'action d'un ou deux composants principaux de l'huile essentielle ne semble pas encore résolue. De plus, l'huile essentielle entière exerce une activité antibactérienne supérieure à celle des principaux composants seuls (**Burt,2004**). Il est donc plus judicieux d'étudier l'huile essentielle entière plutôt que certains de ses constituants pour déterminer si le concept de synergie existe réellement entre les composants des huiles essentielles (**Bassolé., Juliani.,2012**).

Dans ce contexte, l'effet antibactérien synergique de l'huile essentielle de coriandre et des antibiotiques conventionnels contre *Acinetobacter baumannii* a été évalué par des tests en damier. Ainsi, l'association de l'huile essentielle de coriandre avec le chloramphénicol, la ciprofloxacine, la gentamicine et la tétracycline contre *Acinetobacter baumannii* a montré une efficacité *in vitro*, ce qui est un indicateur d'une possible interaction synergique contre deux souches de référence d'*A. baumannii* (indice FIC de 0,047 à 0,375). Néanmoins, une interaction additive a été observée lors de l'étude de l'implication de l'huile essentielle de coriandre et de la pipéracilline ou de la céfopérazone (isobogrammes). Par conséquent, l'interaction *in vitro* pourrait améliorer l'efficacité antimicrobienne de la ciprofloxacine, de la gentamicine et de la tétracycline et contribuer à resensibiliser *A. baumannii* à l'action du chloramphénicol **(Duarte, et al.,2012)**.

#### **1.4. Activité anticancéreuse**

L'huile essentielle de graines de coriandre, et en particulier le linalol, son principal composant, a démontré des effets anticancéreux. En effet, ce composé naturel inhibe modérément la prolifération cellulaire et pourrait donc améliorer l'indice thérapeutique des anthracyclines dans la prise en charge du cancer du sein, notamment des tumeurs multirésistantes **(Ravizza, et al.,2008)**. Par ailleurs, les activités anticancéreuses des extraits de coriandre issus de différentes parties de la plante sont résumées dans le( tableau 7). Comme le montre ce tableau, les activités antitumorales et immunomodulatrices *in vitro* des extraits de feuilles et de graines de coriandre, ainsi que l'activité antiproliférative des extraits de racine de coriandre sur la lignée cellulaire du cancer du sein, suggèrent son potentiel dans la prévention du cancer et l'inhibition des métastases **(Gomez-Flores,2010 ; Tang, E.L.H.,et al.,2013)**.

De plus, les propriétés antitumorogènes de la coriandre ont été attribuées à son rôle protecteur contre les effets délétères sur le métabolisme lipidique associés à cette tumeur maligne dans le cancer du côlon expérimental **(Chithra., Leelamma.,2000)**.

Ainsi, la coriandre serait utile comme complément utilisé en combinaison avec des médicaments conventionnels pour améliorer le traitement de maladies telles que le cancer.

#### **1.5. Activité anticonvulsivante**

Comme l'ont rapporté Hosseinzadeh et Madanifard **(Hosseinzadeh., Madanifard.,2005)**, l'extrait et l'huile essentielle de graines de coriandre possèdent une activité anticonvulsivante (tableau 7) et pourraient donc être utiles dans le traitement des crises d'absence **(Emamghoreishi., Heidari-Hamedani.,2004)**.

Par ailleurs, De Sousa et al. **(De Sousa, et al.,2010)** ont démontré que les deux énantiomères du linalol, principal composant de l'huile essentielle de graines de plusieurs

plantes aromatiques, dont la coriandre, présentaient une activité anticonvulsivante qualitative similaire, mais des puissances différentes.

### **1.6. Activité antifongique**

L'activité antifongique de l'huile essentielle de graines de coriandre contre huit champignons a été évaluée par la technique de la boîte de Pétri inversée et la technique de l'intoxication alimentaire. La méthode de la boîte de Pétri inversée a révélé une forte activité de l'huile essentielle contre *Curvularia palliscens*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium moniliforme* et *Aspergillus terreus*. La technique de l'intoxication alimentaire a montré une inhibition totale de la croissance d'*Aspergillus terreus*, *Aspergillus niger*, *Fusarium graminearum* et *Fusarium oxysporum* (Singh, et al.,2006).

Récemment, un nouveau peptide antimicrobien, la « Plantaricine CS », a été isolé d'un extrait de feuille de coriandre et a montré une activité antifongique très efficace contre *Penicillium lilacinum* (CMI = 2,5 mg/ml) et *Aspergillus niger* (CMI = 2,3 mg/ml) (Zare-Sheneh, et al.,2014).

Français Comme le montre le( tableau 7), l'huile essentielle de coriandre isolée des graines s'est avérée active contre les espèces de *Candida* démontrant une bonne activité antifongique (Furletti.,2011 ; Freires, et al .,2014). De plus, un effet synergique entre l'huile essentielle de coriandre et l'amphotéricine B a été obtenu pour les souches de *Candida albicans*, tandis que seul un effet additif a été observé pour la souche de *Candida tropicalis*. Globalement, les résultats de ces observations pourraient être utiles à la conception de nouvelles formulations pour le traitement de la candidose (Silva, et al.,2011). Il a été rapporté que l'huile essentielle de coriandre et son principal composant, le linalol, inhibaient significativement la croissance des espèces de *Candida* et de *Trichophyton*, avec des concentrations minimales inhibitrices (CMI) comprises entre 0,03 et 2 mg/ml. De plus, lors d'un test de titrage en damier, la fraction huileuse et le linalol ont tous deux montré une synergie d'activité antifongique contre les champignons testés lorsqu'ils étaient associés au kétoconazole, avec des concentrations inhibitrices fongicides (CIF) obtenues allant de 0,06 à 0,53.

Grâce à son large spectre d'effets antifongiques et à sa faible toxicité, l'huile essentielle de coriandre constitue une source prometteuse pour la recherche de nouveaux médicaments antifongiques et pourrait être considérée comme utile dans le traitement ou la prévention des infections à levures à *Candida* (Furletti,2011 ; Soares, et al.,2012). Cependant, d'autres bio-essais toxicologiques et essais cliniques de phases I et II sont désormais nécessaires pour étudier plus en détail l'activité antifongique prometteuse de l'huile essentielle de coriandre comme candidat potentiel dans le traitement des maladies bucco-dentaires, telles que la candidose liée

aux prothèses dentaires (**Freires, et al.,2014**) et le pied d'athlète interdigital (**Beikert, et al.,2013**). Il est intéressant de noter que l'huile essentielle de coriandre, à une concentration de 0,15 %, pourrait inhiber la croissance fongique dans le gâteau et pourrait ainsi être utilisée comme agent antifongique potentiel dans les aliments, notamment ceux contenant des lipides (**Darughe, et al.,2012**).

### **1.7. Activité anti-inflammatoire**

Comme le montre le (tableau 7), la coriandre possède une activité anti-inflammatoire. De nombreux rapports indiquent que les extraits et les huiles essentielles de coriandre pourraient être utilisés comme agents anti-inflammatoires (**Reuter, 2008 ; Wu, et al.,2010**). Il est intéressant de noter qu'une formule ayurvédique polyherbée contenant de la coriandre et trois autres plantes aurait une activité contre les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin (**Jaqtap, et al.,2004**).

### **1.8. Activité antioxydante**

L'activité antioxydante des extraits et des huiles essentielles de coriandre a été largement étudiée (**Stashenko,2002 ; Shahwar,2012**) et il a été rapporté qu'elle présentait une activité antioxydante (tableau 7). Cette activité est principalement due à leur potentiel redox, qui peut jouer un rôle important dans l'adsorption et la neutralisation des radicaux libres, l'extinction des espèces réactives de l'oxygène et la chélation des métaux, en particulier des cations fer et cuivre (**Balasundram, et al.,2006**).

De plus, l'activité antioxydante des huiles essentielles est principalement attribuée aux composés actifs qu'elles contiennent. Cela peut être dû au pourcentage élevé de leurs principaux constituants, ainsi qu'à la présence d'autres constituants en faible quantité ou à une synergie entre eux (**Joji Reddy, et al.,2012**).

Par conséquent, les effets antioxydants de l'huile essentielle de coriandre pourraient être dus à ses terpènes et terpénoïdes, tels que le camphre, le limonène, l' $\alpha$ -pinène et le géraniol (**Darughe,et al.,2012**). De plus, l'huile essentielle de feuilles de *C. sativum* pourrait être considérée comme une bonne source d'antioxydants naturels et a été proposée jusqu'à présent comme substitut potentiel des antioxydants synthétiques dans la conservation des aliments (**Joji Reddy,2012 ; Darughe, et al.,2012**).

Une étude comparative des antioxydants lipophiles (tocophérols, caroténoïdes et chlorophylles) et hydrophiles (sucres, acide ascorbique, composés phénoliques, flavonols et anthocyanes) issus de coriandre cultivée in vivo et in vitro a été menée par Dias et al. (**Dias, et al.,2011**). Les échantillons in vitro étaient le clone A, avec une pigmentation violette notoire sur les tiges et les feuilles, et le clone B, vert. L'échantillon in vivo a montré l'activité

antioxydante la plus élevée, principalement en raison de ses niveaux les plus élevés de composés hydrophiles. Par ailleurs, les échantillons in vitro, principalement le clone A, ont présenté la concentration la plus élevée en composés lipophiles, mais un profil différent de celui de l'échantillon in vivo. Les clones A et B ont révélé une carence en  $\beta$ -carotène,  $\beta$ - et  $\delta$ -tocophérols, une diminution de l' $\alpha$ -tocophérol et une augmentation de l' $\gamma$ -tocophérol et des chlorophylles par rapport à l'échantillon in vivo. Ces auteurs ont suggéré que la culture in vitro pourrait être utile pour explorer le potentiel des plantes pour des applications industrielles, en contrôlant les conditions environnementales afin de produire des quantités plus élevées de certains produits bioactifs (Dias, et al.,2011).

### **1.9. Activité anxiolytique**

Il a été suggéré que les extraits de graines de coriandre auraient un effet anxiolytique (tableau 7) et pourraient avoir des effets sédatifs et myorelaxants potentiels (Emamghoreishi,2005 ;, Mahendra, et al.,2011). Des études pharmacologiques et chimiques complémentaires sont nécessaires pour élucider le mécanisme d'action exact de cet extrait et isoler les principes actifs responsables de ces effets (Mahendra., Bisht.,2011).

De plus, il a été rapporté que l'activité anxiolytique de la coriandre semble probablement associée à sa teneur en huile essentielle et en flavonoïdes.

### **1.10. Activité hypoglycémiant**

De nombreuses études récentes ont démontré l'efficacité des extraits de coriandre comme antidiabétique (Waheed, 2006 ; Naquvi,et al.,2012). En revanche, peu d'informations sont disponibles sur l'effet de l'administration d'huile essentielle de coriandre sur le diabète chez les animaux de laboratoire (Tableau 7). Ainsi, l'activité hypoglycémiant de l'huile essentielle de coriandre pourrait être attribuée à l'action synergique de ses composés bioactifs, à savoir le linalol, l'acétate de géranyle et le  $\gamma$ -terpinène (Abou El-Soud,et al.,2012).

En fait, de nombreux chercheurs s'accordent à dire que l'action antihyperglycémiant de la coriandre est associée à une stimulation de la sécrétion d'insuline et à une amélioration de l'absorption et du métabolisme du glucose par les muscles, reflétant les effets de plusieurs constituants bioactifs. Par conséquent, ils ont considéré la coriandre comme une source potentielle de compléments alimentaires utiles pour améliorer le contrôle de la glycémie et prévenir les complications à long terme du diabète de type 2 (Gallagher,2003 ; Pandeya, et al.,2013).

### **1.11. Activité hypolipidémiant**

La coriandre présente une activité hypolipidémiant (Tableau 7). De nombreuses études ont été menées afin d'étudier l'effet de l'administration de graines de coriandre sur différents

aspects du métabolisme lipidique chez l'animal de laboratoire (Lal,2001 ; Dhanapakiam, et al.,2008). En effet, l'activité hypolipémiante des graines de coriandre résulte de l'action synergique des composés bioactifs présents dans les graines (Rajeshwari, et al.,2011).

De plus, il a été démontré que certains acides gras présents dans la coriandre, à savoir l'acide linoléique, l'acide oléique, l'acide palmitique, l'acide stéarique et l'acide ascorbique, étaient très efficaces pour réduire le taux de cholestérol sanguin. Ils ont également réduit le dépôt de cholestérol le long des parois internes des artères et des veines (Ertas, et al.,2008). De plus, la diminution du taux de cholestérol sérique et tissulaire due à l'administration de graines de coriandre semble probablement être due à leur vitesse accrue de dégradation en acides biliaires et en stérols neutres (Dhanapakiam, et al.,2008). Par conséquent, la coriandre a le potentiel d'être popularisée en tant que remède à base de plantes médicinales avec un effet préventif et curatif contre l'hyperlipidémie (Lal, et al.,2004).

#### **1.12. Activité insecticide**

Comme le montre le( tableau 7), l'huile essentielle de graines de coriandre peut jouer un rôle important dans la protection des grains stockés et réduire les risques associés à l'utilisation d'insecticides de synthèse. Elle peut donc constituer une alternative intéressante aux stratégies de lutte chimique conventionnelles (Islam,2009 ; Khani, et al.,2012). L'activité insecticide de l'huile essentielle de coriandre a été testée en laboratoire pour sa toxicité volatile contre trois ravageurs du riz stocké (*Sitophilus oryzae*, *Rhyzopertha dominica* et *Cryptolestes pusillus*). En effet, la coriandre contenait du linalol (1 617 ppm d'huile essentielle) comme principal constituant actif contre ces trois ravageurs. Les fractions riches en camphre (plus de 400 ppm) étaient très toxiques pour *R. dominica* et *C. pusillus* (López, et al.,2008).

Plus récemment, il a été démontré que l'huile de graines de coriandre a des effets toxiques significatifs contre les larves d'*Aedes aegypti* avec une valeur LC50 de 21,5 ppm et pourrait ainsi jouer un rôle important d'immunotoxicité sur cet insecte (Chung, et al.,2012).

#### **1.13. Amélioration de la mémoire**

Comme le montre le( tableau 7), la coriandre possède une activité mnésique. Il a été suggéré que son effet protecteur pourrait être attribué à ses composés antioxydants et à leurs huiles volatiles, qui exposent les cellules cérébrales sensibles à un stress oxydatif moindre, réduisant ainsi les lésions cérébrales et améliorant la fonction neuronale. Globalement, la combinaison de ses propriétés hypocholestérolémiantes, anti-inflammatoires, antioxydantes et neuroprotectrices pourrait être à l'origine de l'effet mnésique net des feuilles de coriandre.

Par conséquent, les feuilles de coriandre semblent être un candidat prometteur pour améliorer la mémoire, et il serait intéressant d'explorer le potentiel de cette plante dans la prise en charge des patients atteints de la maladie d'Alzheimer ( **Mani,2009 ; Cioanca, et al.,2013**).

#### **1.14. Activité hypnotique sédative**

Il a été démontré que l'extrait de graines de coriandre et l'huile essentielle possèdent une activité hypnotique sédative (Tableau 7). Cependant, il est fortement suggéré que les principaux composants actifs responsables de l'effet hypnotique sont principalement présents dans l'extrait aqueux (**Emamghoreishi, et al.,2006**).

#### **1.15. Autres activités**

Les extraits bruts de coriandre présentent des effets stimulants, inhibiteurs et hypotenseurs intestinaux, probablement médiés par des mécanismes cholinergiques, antagonistes du Ca<sup>2+</sup> et par la combinaison de ces mécanismes. Leur activité diurétique renforce leur utilisation dans l'hypertension (**Jabeen, et al.,2009**).

D'autre part, l'extrait de coriandre a produit des effets protecteurs sur le tissu rénal contre la toxicité du plomb (**Kansal, et al.,2011**).

### **2. Considérations relatives à la sécurité**

La longue histoire d'utilisation de l'huile essentielle de coriandre comme médicament traditionnel et agent aromatisant, sans aucun effet toxique avéré, suggère que l'huile essentielle de coriandre, et plus particulièrement son principal constituant, le linalol, peut être considérée comme généralement sûre (**Letizia, et al.,2003**). Le seul effet secondaire enregistré est un faible potentiel de sensibilisation.

De plus, très peu d'études évaluant les effets toxiques de l'huile essentielle de coriandre et de son principal composant, le linalol, ont été trouvées dans la littérature scientifique ; les données disponibles sur leur toxicité sont donc limitées (**Letizia, 2003 ; Burdock, et al.,2009**). La toxicité orale aiguë (DL50) de l'huile essentielle de coriandre chez le rat a été rapportée à 4,13 g/kg. Par conséquent, l'huile essentielle de coriandre et son principal constituant, le linalol, présentent une faible toxicité orale aiguë et orale chez les animaux de laboratoire. Ainsi, les études de létalité aiguë suggèrent que la toxicité de l'huile essentielle provient de son principal composant, le linalol (**Burdock,et al.,2009**).

Néanmoins, aucune étude subchronique sur l'huile essentielle de coriandre n'a été trouvée dans la littérature publiée, mais son principal constituant, le linalol, a été évalué en termes de toxicité subchronique chez des rats mâles et femelles (**Burdock,et al.,2009**).

Par ailleurs, d'après les résultats d'une étude de gavage oral de 28 jours chez le rat, la dose sans effet observé (NOEL) pour l'huile essentielle de coriandre était d'environ 160

mg/kg/jour (**Letizia, et al.,2003**). De plus, la toxicité du linalol sur le développement a été évaluée chez des rates présumées gravides en leur administrant différentes doses orales de 0, 250, 500 ou 1 000 mg/kg/jour par gavage du 7<sup>e</sup> au 17<sup>e</sup> jour de gestation. Les résultats de cette étude ont montré que la dose sans effet nocif observé (NOAEL) du linalol chez la mère est de 500 mg/kg/jour, tandis que la NOAEL sur le développement est  $\geq 1\ 000$  mg/kg/jour. Il est conclu que le linalol n'est pas toxique pour le développement chez le rat à des doses maternelles allant jusqu'à 1 000 mg/kg/jour (**Politano, et al.,2008**).

La génotoxicité de la goutte de coriandre, un produit pharmaceutique à base de plantes, et d'un extrait alcoolique de coriandre a été analysée par test des comètes sur des fibroblastes en culture d'embryons de rat, à des concentrations allant jusqu'à 1 019 et 1 020 mg respectivement. Les fibroblastes fraîchement préparés ont été incubés avec diverses substances d'essai pendant 20 minutes à 37 °C, et le peroxyde d'hydrogène a servi de témoin positif. Il a été conclu que ces produits à base de plantes n'ont montré aucun effet mutagène par rapport au groupe témoin positif selon ce test (**Heibatullah, et al.,2008**).

De plus, les effets mutagènes et antimutagènes du linalol, composant majeur de l'huile essentielle de coriandre, ont été évalués par un test de mutation bactérienne inverse sur *Salmonella typhimurium* TA 98 et TA 100, ainsi que sur les souches d'*Escherichia coli* WP2uvrA. Ainsi, le linalol s'est avéré non mutagène, mais dépourvu d'activité antimutagène contre le 2-nitrofluorène (2NF), l'azoture de sodium (SA), le méthylméthanesulfonate (MMS) et le 2-aminoanthracène (2AA) (**Di Sotto, et al.,2008**).

Cependant, une mutagénicité a été constatée lorsque l'extrait aqueux de coriandre a été utilisé à des concentrations élevées chez les deux souches testées (*Salmonella typhimurium* TA97 et TA102). Par conséquent, l'extrait aqueux de coriandre ne peut être considéré comme sûr, car des effets indésirables significatifs ont pu être observés *in vivo*. En effet, l'extrait de coriandre a réduit la survie cellulaire des lignées cellulaires humaines (cellules WRL-68 et 293Q) en induisant l'apoptose et la nécrose dans les cas où la concentration d'extrait était la plus élevée. L'extrait a également induit de graves malformations au cours du développement embryonnaire (**Reyes, et al.,2010**).

De plus, l'huile essentielle de coriandre était irritante pour les lapins, mais pas pour les humains ; elle n'est pas sensibilisante, bien que l'épice entière puisse l'être (**Burdock, et al.,2009**). En effet, il a été démontré que le linalol disponible dans le commerce (pureté de 97 %) était un faible sensibilisant cutané (**Basketter, et al.,2002**).

De plus, la toxicité de l'huile essentielle de coriandre a été étudiée à l'aide du test de létalité sur *Artemia salina*. L'huile a ainsi été considérée comme bioactive, avec une

concentration létale médiane (CL50) de 23 µg/mL. Ainsi, l'huile essentielle de coriandre constitue une source prometteuse pour la recherche de nouveaux médicaments antifongiques grâce à son large spectre d'effets antifongiques in vitro et à sa faible toxicité. Cependant, il est nécessaire d'évaluer les effets toxicologiques aigus et l'efficacité antifongique in vivo afin d'envisager un agent antifongique sûr et efficace (Soares, et al.,2012).

Globalement, compte tenu de l'historique de consommation d'huile essentielle de coriandre sans effets indésirables signalés et de l'absence de toxicité dans des études limitées, ainsi que de la toxicité de son principal constituant, le linalol, l'utilisation de l'huile essentielle de coriandre comme ingrédient alimentaire ajouté est considérée comme sûre aux niveaux d'utilisation actuels (Letizia,2003; Burdock, et al.,2009)

Tableau 7 : Summary of pharmacological studies for *Coriandrum sativum* L.

Activity tested	Model used	Plant part used	Extract type	Admin	Dosage/Duration	Control	Results
Analgesic	<i>In vivo</i> . Mice, Hot plate method	Seeds	Aqueous extract	Per oral	50, 100 and 200 mg/kg	Negative control. Positive control: Morphine sulphate (5mg/kg, i.p.)	Pretreatment with the extract significantly increased reaction time in comparison to the control. An analgesic effect was exhibited at a dose of 200 mg/kg, and the reaction time was 5.281 sec. Standard drug Morphine (5 mg/kg, i.p.) had a reaction time of 6.282 sec. More than 50% Pain Inhibition Percentage (PIP) was noted at a dose of 200 mg/kg as compared to the control.
Anthelmintic	<i>In vitro</i> and <i>in vivo</i> in sheep infected with <i>Haemonchus contortus</i>	Seeds	Crude aqueous and hydro alcoholic extracts	<i>In vitro</i> <i>In vivo</i>	<i>In vitro</i> : 0.5-0.12-0.18 mg/mL <i>In vitro</i> : 0.45 and 0.9 g/kg	Negative control. Positive control: albendazole (3.8 mg/kg)	<i>In vitro</i> : Both extract types inhibited hatching of eggs completely at a concentration less than 0.5 mg/mL. The effective dose 50 (ED <sub>50</sub> ) of aqueous extract was 0.12 mg/mL while that of hydro-alcoholic extract was 0.18 mg/mL. <i>In vivo</i> : Treatment with both doses did not help the animals improve or maintain their packed cell volume (PCV) while those treated with albendazole showed significant increase in PCV.

Tableau 7 (Continued)

Activity tested	Model used	Plant part used	Extract type	Admin	Dosage/Duration	Control	Results
Antibacterial	<i>In vitro</i> , Bacteria with dermatological relevance, Standardized macrodilution test	Fruits	Essential oil	<i>In vitro</i>	0.04-0.25% v/v	Negative control.	Essential oil showed good antibacterial activity towards the majority of the bacterial strains tested, including <i>Streptococcus pyogenes</i> and methicillin resistant <i>Staphylococcus aureus</i> with mean minimal inhibitory concentrations (MIC) of 0.04% v/v and 0.25% v/v, respectively.
	<i>In vitro</i> , Bacteria isolated from patients with oral infections, Agar disc diffusion method	Seeds	Essential oil	<i>In vitro</i>	-5% v/v	Negative control. Positive control: Ampicilline	Essential oil showed the antimicrobial activity against 3 bacterial isolates: <i>Lactobacilli</i> , <i>Streptococcus salivarius</i> and <i>Streptococcus sanguis</i> with a Minimum Inhibitory Concentration (MIC) of 3, 3.5 and 3.9% v/v, respectively.
	<i>In vitro</i> , <i>Esherichia coli.</i> , Disc diffusion, Turbidometric and zone of clearance assays	Seeds	Essential oil	<i>In vitro</i>	—	Negative control. Positive control: Ampicillin (100 mg/mL in water), neomycin (10 mg/mL in water), and rifaximin (10 mg/mL in methanol)	Antibacterial activity against <i>E. coli</i> was recorded at a more moderate (mean halo diameter of $18 \pm 2.4$ mm) and was more potent than the antibiotic rifaximin in the disc diffusion assay, suggesting that it would be good candidate for testing in clinical trials Coriander seed exhibited strong antibacterial activity in the zone of clearance assay (mean halo diameter of $22.8 \pm 2$ mm). The essential oils inhibited the growth of <i>E. coli</i> in the turbidometric assay.

Tableau 7 (Continued)

Activity tested	Model used	Plant part used	Extract type	Admin	Dosage/Duration	Control	Results
Anticancer	<i>In vitro</i> . Mouse, lymphoma cell line L5178Y-R	Leaves and seeds	Aqueous and methanol extracts	96-well plates	7.8 - 125 µg/mL	Positive control: glutamine (2.5 mL), streptomycin (50 µg/mL), gentamycin (10 µg/mL)	Leaf aqueous extract caused significant 24% L5178Y-R lymphoma cells toxicity at MICs = 31.2 mg/mL. Cytotoxic effect of seed and leaf methanol extracts at MICs = 7.8-62.5 mg/MI.
	<i>In vitro</i> . Human tumor cell lines MCF-7, MTT (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium) bromide assay	Roots, leaves and stems	Ethyl acetate, aqueous and methanol extracts	96-well microtiter plates	0 - 500 µg/mL	Positive control: Rutin, Quercetin	The root ethyl acetate extract exhibited the best antiproliferative activity with the lowest IC <sub>50</sub> value of 200.0 ± 2.6 µg/mL.
Anti-convulsant	<i>In vivo</i> . Mice, The pentylenetetrazole (PTZ) and the maximal electroshock tests	Seeds	Aqueous and ethanolic extracts	Intraperitoneal	Aqueous extract: 0.05, 0.2, 0.35 and 0.5 g/kg; Ethanolic extract: 0.5, 2.0, 3.5 and 5 g/kg	Negative control. Positive control: Phenobabital (10-40 mg/kg, i.p.)	The LD <sub>50</sub> values of the decoction and maceration extracts were 0.78 g/kg and 8.11 g/kg, respectively. The anticonvulsant activities of high dose extracts (5 mg/kg) were similar to that of phenobarbital at a dose of 20 mg/kg in the PTZ test. In the maximal electroshock test, the aqueous extracts (at a dose of 0.5 g/kg) and the ethanolic extracts (at doses of 3.5 and 5 g/kg) decreased the duration of tonic seizures by 22.30%, 30.43% and 36.96%, respectively.

Tableau 7 (Continued)

Activity tested	Model used	Plant part used	Extract type	Admin	Dosage/Duration	Control	Results
Antifungal	<i>In vitro</i> . Microdilution technique. <i>Candida</i> spp ( <i>C. albicans</i> , <i>C. tropicalis</i> , <i>C. krusei</i> , <i>C. dubliniensis</i> and <i>C. rugosa</i> ).	leaves	Essential oil	<i>In vitro</i>	1,000 - 0.48 µg/mL	Negative control. Amphotericin B and 6.25% propylene glycol (vehicle, v/v) were used as positive and negative controls, respectively.	low Minimum Inhibitory Concentration (MIC) and Fungicidal Inhibitory Concentration (FIC) values, ranging from 15.6 to 31.2 µg/mL and from 31.2 to 62.5 µg/mL, respectively against <i>Candida</i> spp.
Anti inflammatory (photoprotective)	<i>In vivo</i> . Human, Ultraviolet erythema test.	Not specified	Essential oil	Per dermal (lipolotion)	0.5% and 1.0%	Hydrocortisone (1.0%) and betamethasone valerate (0.1%) in the vehicle served as positive controls.	The lipolotion with 0.5% coriander essential oil reduced significantly the UV-induced erythema, but it was not as effective as hydrocortisone. The skin tolerance of both coriander essential oil concentrations was excellent.
Anti inflammatory	<i>In vivo</i> . Rats, Carrageenan induced rat paw edema	Fruits	Ethanolic extracts	Per oral	50, 100 and 200 mg/kg	Negative control. Positive control: Diclofenac sodium (5 mg/kg)	The extract showed 40.81% edema inhibition after third hour at 200 mg/kg dose. Maximum activity was found at 3.0 hour intervals with each dose.

Tableau 7 (Continued)

Activity tested	Model used	Plant part used	Extract type	Admin	Dosage/Duration	Control	Results
Antioxidant	<i>in vitro</i> . DPPH assay, inhibition of 15-lipoxygenase (15-LO) and inhibition of Fe <sup>2+</sup> induced porcine brain phospholipid peroxidation.	Seeds Leaves	Ethanol, dichloromet hane, ethyl acetate, diethyl ether and butanol extracts, Aqueous residue	<i>In vitro</i>	167 µg/mL	Negative control	The leaf ethyl acetate extract showed most potent DPPH radical-scavenging activity (IC <sub>50</sub> value of 147 ± 3 µg/mL). Inhibition of 15-LO: The leaves had higher activity than the seeds, with IC <sub>50</sub> values of 157 ± 9 and 193 ± 11 µg/mL, respectively. The highest inhibitory activity toward 15-LO was observed in the ethyl acetate extract from coriander leaves (IC <sub>50</sub> = 45± 2 µg/mL), and the diethyl ether extract from leaves also showed relatively high activity (IC <sub>50</sub> = 88 ± 5 µg/mL). Seed essential oil showed weak inhibitory activity towards 15-LO (IC <sub>50</sub> = 199 ± 11 µg/mL), but its main component, linalool, was inactive as a 15-LO inhibitor (IC <sub>50</sub> >667 µg/mL).
Anxiolytic	<i>In vivo</i> . Mice, elevated plus-maze test	Seeds	Aqueous extract	Per oral	50, 100 and 200 mg/kg	Negative control. Positive control: Diazepam (3mg/kg, i.p.)	The aqueous extract at 200 mg/kg showed an anxiolytic effect by increasing the time spent on open arms and the percentage of open arm entries in comparison to the control group. The effect of 200 mg/kg on the elevated plus-maze test was almost equivalent to that of 0.3 mg/kg diazepam.

Tableau 7 (Continued)

Activity tested	Model used	Plant part used	Extract type	Admin	Dosage/Duration	Control	Results
Hypoglycemic	<i>In vivo</i> . type-2 diabetes mellitus patients	Seeds	Powdered, aqueous and alcoholic extracts	Per oral	Low (2.5 g three times daily) and high (4.5 g three times daily) doses, 14 days.	Negative control.	Coriander has significant hypoglycemic activity in high dose and can be successfully combined with oral hypoglycemic agents in type 2 diabetic patients whose diabetes is not controlled by these agents. However, this high dose may not be well tolerated by some patients.
	<i>In vivo</i> , Rats, Streptozotocin induced diabetic rats	Seeds	Essential oil	Per oral	40 mg/kg, 21 days	Negative control. Positive control: Streptozotocin (60 mg/kg)	Coriander essential oil significantly reduced serum glucose from 162.5 to 72.96 mg/dl and increased glutathione peroxidase level from 59.72 to 124.83 u/g Hb.
	<i>In vivo</i> , Rats, Streptozotocin induced diabetic rats	Fruits	Aqueous extracts	Per oral	250 and 500 mg/kg	Negative control. Positive control: Streptozotocin (50 mg/kg) glimeperide (0.1 mg/kg)	The aqueous extract decreased the blood glucose level statistically significant when compared with diabetic control. The 500 mg/kg dose was found better than 250 mg/kg.
Hypolipidemic	<i>In vivo</i> . Rats, Normal and obese hyperlipidemic (hypercaloric diet and forced limited physical activity) rats.	Seeds	Aqueous extract	Per oral	20 mg/kg (a single dose) or daily dosing for 30 days (sub chronic study)	Negative control. Positive control: glibenclamide (2.5 mg/kg)	A single dose was no effect on lipids and triglycerides. The hypoglycemic effect was lower in normal rats. In the sub-chronic study, aqueous extracts reduced total cholesterol, LDL cholesterol, and triglycerides.

Tableau 7 (Continued)

Activity tested	Model used	Plant partused	Extract type	Admin	Dosage/Duration	Control	Results
Insecticidal	<i>In vitro</i> , eggs, larvae and adults of <i>Tribolium castaneum</i> , Filter paper arena test	Leaves, stems, flowers and green fruits	Essential oil	<i>In vitro</i>	2, 4, 8 and 12 µg dissolved in 1 mL acetone	Negative control.	Essential oil was highly effective against <i>T. castaneum</i> larvae, pupae and adults with 100% mortality obtained at 0.08 µg/MI air. However, 100% <i>T. castaneum</i> egg mortalities were obtained after 96 h at 20 µg/mL air. Additionally, coriander essential oil showed highly repellent activity to <i>T. castaneum</i> adults with an overall repellency of 90% whereas the repellency was 100% at 12 µg/mL air.
	<i>In vitro</i> , two stored product insects, <i>Tribolium confusum</i> and <i>Callosobruchus maculatus</i>	Seeds	Essential oil	<i>In vitro</i>	The concentrations were tested at 0.4, 0.8, 1.2, and 2 µL/L air on <i>C. maculatus</i> and evaluated at 92.5, 185, 278, 370, and 462.5 µL/L air on <i>T. confusum</i> , respectively.	Negative control.	Coriander seed essential oil was effective against these insects but with 25% and 100% mortality obtained after 24 h at 43 µL/L air for <i>T. confusum</i> and <i>C. maculatus</i> , respectively. <i>C. maculatus</i> which showed a Lethal Concentration 50 (LC <sub>50</sub> ) of 1.34 µL/L air, was more susceptible to coriander seed essential oil than <i>T. confusum</i> (LC <sub>50</sub> = 318.02 µl/l air).

Tableau 7(Continued)

Activity tested	Model used	Plant part used	Extract type	Admin	Dosage/Duration	Control	Results
Memory enhancing	<i>In vivo</i> . Rats, Elevated plus-maze served as the exteroceptive behavioral model. Amnesia was induced by scopolamine (0.4 mg/kg, i.p.) or diazepam (1 mg/kg, i.p.).	Fresh leaves	–	Per oral	5, 10 and 15 % w/w in normal animal diet, 45 days.	Negative control. Positive control: Piracetam (400 mg/kg, i.p.), control: Animals fed with normal diet of wheat flour (3 g/animal/day)	Coriander leaves produced a dose-dependent improvement in memory scores of young as well as aged rats. Coriander leaves reversed successfully the memory deficits induced by scopolamine and diazepam.
	<i>In vivo</i> . Rats. Aβ(1-42) rat model of Alzheimer's disease	Fruits	Essential oil	Per inhalation	1 and 3%, 21 days.	Negative control. Positive control: Aβ (1-42)	The coriander volatile oil significantly improved spatial memory in Y-maze task and in radial arm-maze one. Linalool (69.358%), the main volatile component of the volatile oil is probably the constituent responsible for the observed cognitive enhancing effects.

Tableau 7 (Continued)

Activity tested	Model used	Plant part used	Extract type	Admin	Dosage/Duration	Control	Results
Sedative hypnotic	<i>In vivo</i> . Mice, Treatments were carried out 30 min before challenging the animal with intraperitoneal injection of pentobarbital (40 mg/kg).	Seeds	Essential oil, aqueous and hydro alcoholic extracts.	Intraperitoneal	100, 200, 400 and 600 mg/kg	Negative control. Positive control: Diazepam (3 mg/mL)	Hydro-alcoholic extract of coriander seeds showed dose-dependent sedative activity, but lower doses of the extract (100 and 200 mg/kg) had no significant sedative-hypnotic effects. The essential oil of coriander seeds exhibited sedative-hypnotic effect only at highest doses (600 mg/kg) which was almost half of that observed with diazepam at 3 mg/kg. Neither hydro alcoholic extract nor essential oil of coriander had any significant effect on sleep- induction time.

# Conclusion

## Conclusion

Cette revue résume de nombreux rapports sur la composition chimique et les activités biologiques des constituants bioactifs des graines et des herbes de coriandre, issus de la littérature récente, et confirme son potentiel comme plante médicinale. La coriandre est en effet utilisée depuis longtemps en médecine traditionnelle et a été employée en médecine pour le traitement des maladies respiratoires réactives telles que l'asthme et la bronchiolite.

Cependant, à notre connaissance, aucune étude n'a été publiée sur l'efficacité de la coriandre dans ces affections. De plus, des recherches supplémentaires sur son utilisation médicinale comme carminatif, prokinétique et antiulcéreux doivent être menées.

En raison du large spectre d'effets pharmacologiques de la coriandre, de nombreuses études *in vitro* et *in vivo* ont été réalisées sur cette plante médicinale et ont montré que ses constituants bioactifs possèdent de nombreuses propriétés biologiques, notamment antimicrobiennes, antioxydantes, hypoglycémiantes, hypolipidémiantes, anxiolytiques, analgésiques, anti-inflammatoires, anticonvulsivantes et anticancéreuses. De plus, un effet synergique a été démontré entre l'activité antimicrobienne de l'huile essentielle et celle des antibiotiques/antifongiques conventionnels.

De plus, des avancées récentes dans l'exploration des constituants bioactifs des graines et des plantes de coriandre dans les industries pharmaceutique, cosmétique, agricole et alimentaire ont été soulignées. Il est intéressant de noter que l'utilisation de l'huile essentielle de graines de coriandre comme agent aromatisant, sans effets toxiques avérés, suggère que cette huile essentielle, et notamment son principal constituant, le linalol, peut être considérée comme généralement sûre. Cependant, le principal problème de l'utilisation des constituants de l'huile essentielle de coriandre comme aliment fonctionnel pour l'industrie nutraceutique est leur manque d'efficacité en tant que composants individuels et leur altération des propriétés organoleptiques lorsqu'ils sont ajoutés en quantités insuffisantes pour produire un effet antimicrobien. Par conséquent, l'exploitation de synergies entre plusieurs composés a été suggérée comme solution à ce problème.

D'autre part, les huiles essentielles de coriandre offrent de nombreuses possibilités d'utilisation en association avec des antibiotiques comme nouvelles modalités de traitement des infections bactériennes. Cependant, la stabilité, la sélectivité et la biodisponibilité de ces produits naturels dans l'organisme humain, ainsi que toute interaction médicamenteuse indésirable, constituent les principaux problèmes non résolus. De plus, le rapport optimal et les schémas posologiques doivent être étudiés pour une efficacité accrue et une toxicité réduite.

## **Conclusion**.....

---

Enfin, d'autres essais biologiques toxicologiques et cliniques sont nécessaires pour approfondir l'étude de l'activité antifongique prometteuse des huiles essentielles de coriandre, considérées comme un candidat potentiel pour le traitement des maladies bucco-dentaires, telles que la candidose liée aux prothèses dentaires. Par ailleurs, la coriandre serait utile en complément alimentaire, en association avec des médicaments conventionnels, pour améliorer le traitement de maladies telles que la maladie d'Alzheimer et le cancer. Malheureusement, aucune étude n'est disponible sur son efficacité dans les maladies respiratoires réactives telles que l'asthme et la bronchiolite.

Nous espérons que ces précieuses informations sur les constituants bioactifs des graines et de la plante de coriandre et leurs activités biologiques contribueront à susciter un intérêt accru pour la coriandre en définissant de nouvelles applications pharmacologiques et cliniques et, par conséquent, pourraient servir au développement de nouvelles formulations médicamenteuses.

*Références*  
*bibliographiques*

## Références bibliographiques

### Références

#### [A]

**Abderrahim Benkadouri**, Etudes des huiles essentielles de l'*Opuntia ficus indica* Région de Mascara, Université d'Oran; 2011.

**Abou El-Soud, N.H., El-Lithy, N.A., El-Saeed, G.S.M., Wahby, M.S., Khalil, M.Y., Abou El-Kassem, L.T., Morsy, F., Shaffie, N., 2012.** Efficacy of *Coriandrum Sativum* L. essential oil as antidiabetic. Journal of Applied Sciences Research 8(7), 3646-3655.

**Alloun Kahina**, ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE ; EL HARRACH 3ALGER, 2018.

#### [B]

**Balasundram, N., Kalyana, S., Samir, S., 2006.** Phenolic compounds in plants and agri-industrial byproducts: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. Food Chemistry 99, 191-203.

**Basketter, D.A., Wright, Z.M., Colson, N.R., Patlewicz, G.Y., Pease, C.K., 2002.** Investigation of the skin sensitizing activity of linalool. Contact Dermatitis 47(3), 161- 164.

**Bassolé, I.H.N., Juliani, H.R., 2012.** Essential oils in combination and their antimicrobial properties. Molecules 17(4), 3989-4006.

**Batista, P.A., Werner, M.F.P., Oliveira, E.C., Burgos, L., Pereira, P., da Silva Brum, L.F., et al., 2008.** Evidence for the involvement of ionotropic glutamatergic receptors on the antinociceptive effect of (-)-linalool in mice. Neuroscience Letters 440, 299-303.

**Beikert, F.C., Anastasiadou, Z., Fritzen, B., Frank, U., Augustin, M., 2013.** Topical treatment of tinea pedis using 6% coriander oil in *unguentum leniens*: A randomized, controlled, comparative pilot study. Dermatology 226(1), 47-51.

**Bickers, D., Calow, P., Greim, H., Hanifin, J.M., Rogers, A.E., Saurat, J.H., Sipes, I.G., Smith, R.L., Tagami, H., 2003.** A toxicologic and dermatologic assessment of linalool and related esters when used as fragrance ingredients. Food and Chemical Toxicology 41, 919-942.  
Blakeway J., Salerno M.,. Pour la science. Institut des renseignements scientifiques et techniques, Paris 1987.

Boudilmi Imane e Yasmina, Huile essentielle de figue de barbarie (*Opuntia ficus-indica*); UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF – M'SILA, 2019.

Boudjouref M., (2011). Etude de l'activité antioxydante et antimicrobienne d'extraits d'*Artemisia campestris* L. Mémoire de Magister En Biochimie. Université Ferhat Abbas, Setif.p.1.

Bruneton J. Pharmacognosie Phytochimie Plantes médicinales 3<sup>ème</sup> édition. Paris : Editions Tec and doc ; 1999.

Bruneton J. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. Paris, Lavoisier ., (Technique et documentation. 1993.

Bruneton J., (2009). Pharmacognosie,Phytochimie Plantes médicinales ,4 édition,TEC et DOC. Paris. p.261.

Bruneton, J. (1999). Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales, 3<sup>ème</sup> éd. *Lavoisier, Paris, 1120.*

**Burdock, G.A., Carabin, I.G., 2009.** Safety assessment of coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil as a food ingredient. *Food and Chemical Toxicology* 47, 22-34.

**Burt, S., 2004.** Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods- A review. *International Journal of Food Microbiology* 94, 223-253.

[C]

Camel, V. Recent extraction techniques for solid matrices-supercritical fluid extraction, pressurized fluid extraction and microwave-assisted extraction: their potential and pitfalls. *Analyst*, 126(7), 1182-1193,2001 .

**Cantore, P.L., Iacobellis, N.S., De Marco, A., Capasso, F., Senatore, F., 2004.** Antibacterial activity of *Coriandrum sativum* L. and *Foeniculum vulgare* Miller Var. vulgare (Miller) essential oils. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 52:7862- 7866.

**Casetti, F., Bartelke, S., Biehler, K., Augustin, M., Schempp, C.M., Frank, U., 2012.** Antimicrobial activity against bacteria with dermatological relevance and skin tolerance of the essential oil from *Coriandrum sativum* L. fruits. *Phytotherapy Research* 26(3), 420-424.

Charik Safia Charik Yamina. Criblage phytochimique et extraction des huiles essentielles de l'espèce *lavandula officinalis* , Mémoire de Master Académique ; Chimie Pharmaceutique , UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF – M'SILA. 2019. Attou Amina, Détermination de la Composition Chimique des Huiles Essentielles de Quatre Plantes Aromatiques de l'Ouest Algérien (Région d'Ain Témouchent) Etude de Leurs Activités Antioxydante et Antimicrobienne. Thèse de Doctorat en Biologie Option: Substances Naturelles, Activités Biologiques et Synthèse Présentée, Université Abou BekrBelkaid Tlemcen. 2017.

Charik safia Kadri yamina ,cirblage phytochimique et extraction huiles esentielle de l'espace *lavandula officinalis* ,université Mohamed Boudiaf – M'sila. 2019.

**Chithra, V., Leelamma, S., 2000.** *Coriandrum sativum* effect on lipid metabolism in 1,2-dimethyl hydrazine induced colon cancer. *Journal of Ethnopharmacology* 71, 457- 463.

**Chung, I.M., Ahmad, A., Kim, E.H., Kim, S.H., Jung, W.S., Kim, J.H., Nayeem, A., Nagella, P., 2012.** Immunotoxicity activity from the essential oils of coriander (*Coriandrum sativum*) seeds. Immunopharmacology and Immunotoxicology 34(3), 499- 503.

**Cioanca, O., Hritcu, L., Mihasan, M., Hancianu, M., 2013.** Cognitive-enhancing and antioxidant activities of inhaled coriander volatile oil in amyloid  $\beta$ (1-42) rat model of Alzheimer's disease. Physiology & Behavior 120, 193-202.

Coste A., 1937 – *Coriandrum sativum* L. tome 2. Taxon, 165 p.

**[D]**

**Darughe, F., Barzegar, M., Sahari, M.A., 2012.** Antioxidant and antifungal activity of coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil in cake. International Food Research Journal 19 (3), 1253-1260.

**De Sousa, D.P., Nóbrega, F.F.F., Santos, C.C.M.P., de Almeida, R.N., 2010.** Anticonvulsant activity of the linalool enantiomers and racemate: investigation of chiral influence. Natural Product Communications 5(12), 1847-1851.

**Delaquis, P.J., Stanich, K., Girard, B., Mazza, G., 2002.** Antimicrobial activity of individual and mixed fractions of dill, cilantro, coriander and eucalyptus essential oils. International Journal of Food Microbiology 74, 101-109.

**Dhanapakiam, P., Mini Joseph, J., Ramaswamy, V.K., Moorthi, M., Senthil Kumar, A., 2008.** The cholesterol lowering property of coriander seeds (*Coriandrum sativum*): Mechanism of action. Journal of Environmental Biology 29(1), 53-56.

**Di Sotto, A., Evandri, M.G., Mazzanti, G., 2008.** Antimutagenic and mutagenic activities of some terpenes in the bacterial reverse mutation assay. Mutation Research 653(1-2), 130-133.

Diederichse N., 1996 - *Brief description of the crop* p. 11-18

Diederichse N., 1996 - *Origin of the species and centres of diversity* p. 19-21

Dima Mnayer , Eco-Extraction des huiles essentielles et des arômes alimentaires en vue d'une application comme agents antioxydants, Thèse Présentée pour obtenir le grade de Docteur en Sciences de Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse SPECIALITE , 2014

**Duarte, A., Ferreira, S., Silva, F., Domingues, F.C., 2012.** Synergistic activity of coriander oil and conventional antibiotics against *Acinetobacter baumannii*. Phytomedicine 19(3-4), 236-238.

**[E]**

**Eguale, T., Tilahun, G., Debella, A., Feleke, A., Makonnen, E., 2007.** In vitro and in vivo anthelmintic activity of crude extracts of *Coriandrum sativum* against *Haemonchus contortus*. Journal of Ethnopharmacology 110(3), 428-433.

**Emamghoreishi, M., Heidari-Hamedani, G., 2004.** Anticonvulsant effect of extract and essential oil of *Coriandrum sativum* seed in conscious mice. Iranian Journal of Pharmaceutical Research 3(1), 71-71.

**Emamghoreishi, M., Heidari-Hamedani, G., 2006.** Sedative-hypnotic activity of extracts and essential oil of coriander seeds. Iranian Journal of Medical Sciences 31(1), 22-27.

**Emamghoreishi, M., Khasaki, M., Aazam, M.F., 2005.** *Coriandrum sativum*: evaluation of its anxiolytic effect in the elevated plus-maze. Journal of Ethnopharmacology 96, 365-370.

**Ertas, O.N., Güler, T., Çiftçi, M., Dalkiliç, B., Yilmaz, O., 2005.** The effect of a dietary supplement coriander seeds on the fatty acid composition of breast muscle in Japanese quail. Revue de Médecine Vétérinaire 156(10), 514-518.

**[F]**

Filliat P., (2012). Les plantes de la famille des Apiacées dans les troubles digestifs. Thèse de doctorat. Université Joseph Fourier. p.14,15,17.

Flamini G., Smaili T., Zellagui A., Gherraf N. & Luigi-Cioni P., (2013). Effect of Growth Stage on Essential-Oil Yield and Composition of *Daucus sahariensis*, Chemistry & Biosiversity. Vol.:10. pp. 2014-2020.

**Freires, I.d.A., Murata, R.M., Furletti, V.F., Sartoratto, A., de Alencar, S.M., Figueira, G.M., Rodrigues, J.A.d.O., Duarte, M.C.T., Rosalen, P.L., 2014.** *Coriandrum sativum* L. (Coriander) essential oil: antifungal activity and mode of action on *Candida* spp., and molecular targets affected in human whole-genome expression. PLOS ONE 9(6), e99086.

**Furletti, V.F., Teixeira, I.P., Obando-Pereda, G., Mardegan, R.C., Sartoratto, A., Figueira, G.M., et al., 2011.** Action of *Coriandrum sativum* L. essential oil upon oral *Candida albicans* biofilm formation. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, p.9.

**[G]**

**Gallagher, A.M., Flatt, P.R., Duffy, G., & Abdel-Wahab, Y.H.A., 2003.** The effects of traditional antidiabetic plants on in vitro glucose diffusion. Nutrition Research 23, 413-424.

**Gomez-Flores, R., Hernández-Martínez, H., Tamez-Guerra, P., Tamez-Guerra, R., Quintanilla-Licea, R., Monreal-Cuevas, E., Rodríguez-Padilla, C., 2010.** Antitumor and immunomodulating potential of *Coriandrum sativum*, *Piper nigrum* and *Cinnamomum zeylanicum*. Journal of Natural Products (3), 54-63.

Grysole, J. (2004). La commercialisation des huiles essentielles. *Manuel pratique des huiles essentielles: de la plante à la commercialisation*, 139-141.

Guentri-ayari S., (2019). Identification des métabolites secondaires d'*Hyscymus muticus* L.subsp. falezlez (cos) Maire, Solanaceae de la région d'Adrar et étude de leurs activités antioxydants et antifongique. Thèse de doctorat. Université Houari Boumediene. P : 25-32.

**Guimarães, A.G., Quintans, J.S.S., Quintans-Júnior, L.J., 2013.** Monoterpenes with analgesic activity- a systematic review. *Phytotherapy Research* 27, 1-15.

**[H]**

**Heibatullah, K., Marzieh, P., Arefeh, I., Ebrahim, M., 2008.** Genotoxicity determinations of coriander drop and extract of *Coriander sativum* in cultured fibroblast of rat embryo by comet assay. *Saudi Pharmaceutical Journal* 16(1), 85-88.

Herrero, M., Mendiola, J.A., Cifuentes, A. and Ibáñez, E. Supercritical fluid extraction: Recent advances and applications. *Journal of Chromatography A*, 1217(16), 2495- 2511. 2010 [34] .

Luque de Castro, M.D. and Jiménez-Carmona, M.M. Where is supercritical fluid extraction going? *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 19(4), 223-228 , 2000 .

**Hosseinzadeh, H., Madanifard, M., 2005.** Anticonvulsant effect of *Coriandrum sativum* L. seed extracts in mice. *Iranian Journal of Pharmacy* 3, 1-4.

**[I]**

**Islam, M.S., Hasan, M.M., Xiong, W., Zhang, S.C., Lei, C.L., 2009.** Fumigant and repellent activities of essential oil from *Coriandrum sativum* (L.) (*Apiaceae*) against red flour beetle *Tribolium castaneum* (Herbst) (*Coleoptera: Tenebrionidae*). *Journal of Pest Science* 82(2), 171-177.

**[J]**

**Jabeen, Q., Bashir, S., Lyoussi, B., Gilani, A.H., 2009.** Coriander fruit exhibits gut modulatory, blood pressure lowering and diuretic activities. *Journal of Ethnopharmacology* 122(1), 123-130.

**Jaqtap, A.G., Shirke, S.S., Phadke, A.S., 2004.** Effect of polyhedral formulation on experimental models of inflammatory bowel diseases, *Journal of Ethnopharmacology* 90, 195-204.

**Joji Reddy, L., Devi Jalli, R., Jose, B., Gopu, S., 2012.** Evaluation of antibacterial and DPPH radical scavenging activities of the leaf extracts and leaf essential oil of *Coriandrum sativum* Linn. *World Journal of Pharmaceutical Research* 1(3), 705-716.

**[K]**

**Kansal, L., Sharma, V., Sharma, A., Lodi, S., Sharma, H., 2011.** Protective role of *Coriandrum sativum* (coriander) extracts against lead nitrate induced oxidative stress and

tissue damage in the liver and kidney in male mice. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology* 2(3), 65-83.

Kaufmann, B. and Christen, P, Recent extraction techniques for natural products: Microwave-assisted extraction and pressurised solvent extraction. *Phytochemical Analysis*, 13(2), 105-113, 2002.

**Khani, A., Rahdari, T., 2012.** Chemical composition and insecticidal activity of essential oil from *Coriandrum sativum* seeds against *Tribolium confusum* and *Callosobruchus maculatus*. *ISRN Pharmaceutics*, 1-5.

**[L]**

**Langeveld, W.T., Veldhuizen, E.J., Burt, S.A., 2014.** Synergy between essential oil components and antibiotics: a review. *Critical Reviews in Microbiology* 40(1), 76-94.

**Letizia, C.S., Cocchiara, J., Lalko, J., Api, A.M., 2003.** Fragrance material review on linalool. *Food and Chemical Toxicology* 41, 943-964.

**López, M.D., Jordán, M.J., Pascual-Villalobos, M.J., 2008.** Toxic compounds in essential oils of coriander, caraway and basil active against stored rice pests. *Journal of Stored Products Research* 44(3), 273-278.

Louiza Himed, Évaluation des activités biologiques des huiles essentielles du citron (*Citrus limon*) encapsulation et application comme agent conservateur à la margarine allégée, 2018.

**[M]**

**Mahendra, P., Bisht, S., 2011.** Anti-anxiety activity of *Coriandrum sativum* assessed using different experimental anxiety models. *Indian Journal of Pharmacology* 43(5), 574-577.

**Mani, V., Parle, M., 2009.** Memory-enhancing activity of *Coriandrum sativum* in rats. *Pharmacologyonline* 2, 827-839.

Marianne Piochon, ÉTUDE DES HUILES ESSENTIELLES D'ESPÈCES VÉGÉTALES DE LA FLORE LAURENTIENNE: COMPOSITION CHIMIQUE, ACTIVITÉS PHARMACOLOGIQUES ET HÉMI-SYNTÈSE .L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI.

Marie Elisabeth LUCCHESI, Extraction Sans Solvant Assistée par Micro-ondes Conception et Application à l'extraction des huiles essentielles, UNIVERSITE DE LA REUNION, Faculté des Sciences et Technologies. 2005.

**[N]**

Nabil BOUSBIA, Extraction des huiles essentielles riches en anti-oxydants à partir de produits naturels et de co-produits agroalimentaires, L'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse & Ecole Nationale Supérieure **Agronomiqu**; 2011.

Nabil Bousbia, Extraction des huiles essentielles riches en anti-oxydants à partir de produits naturels et de co-produits agroalimentaires, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse & Ecole Nationale Supérieure Agronomique, 2011.

**Naquvi, K.J., Ali, M., Ahamad, J., 2012.** Antidiabetic activity of aqueous extract of *Coriandrum sativum* L. fruits in streptozotocin induced rats. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences 4 (1), 239-241.

Naves Y.R. Qu'est ce qu'une huile essentielle. Ed. Masson, Paris 1974.

Ong, E.S., Cheong, J.S.H. and Goh, D, Pressurized hot water extraction of bioactive or marker compounds in botanicals and medicinal plant materials. Journal of Chromatography A, 1112(1-2), 92-102, 2006.

**[P]**

**Pandeya, K.B., Tripathi, I.P., Mishra, M.K., Dwivedi, N., Pardhi, Y., Kamal, A. et al., 2013.** A critical review on traditional herbal drugs: an emerging alternative drug for diabetes. International Journal of Organic Chemistry 3, 1-22.

**Pathan, A.R., Kothawade, K.A., Logade, M.N., 2011.** Anxiolytic and analgesic effect of *Coriandrum sativum* Linn. International Journal of Research in Pharmacy and Chemistry 1(4), 1087-1099.

Patrick HT'I-IRION, CONTRIBUTION A L'ETUDE ET A LA MISE AU POINT DE TECHNIQUES ANALYTIQUES PERMETTANT DE DOSER LES HYDROCARBURES, TOTAL, DANS DES MATRICES SOLIDES OU LIQUIDES. 1999.

**Peana, A.T., D'Aquila, P.S., Chessa, M.L., Moretti, M.D.L., Serra, G., Pippia, P., 2003.** (-)-Linalool produces antinociception in two experimental models of pain. European Journal of Pharmacology 460, 37-41.

**Politano, V.T., Lewis, E.M., Hoberman, A.M., Christian, M.S., Diener, R.M., Api, A.M., 2008.** Evaluation of the developmental toxicity of linalool in rats. International Journal of Toxicology 27(2), 183-188.

Quezel P. & Santa S., (1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales, Tome II: Edition Centre National de la Recherche Scientifique,, Paris. p. 643, 672.

**[Q]**

**Quintans-Júnior, L.J., Barreto, R.S.S., Menezes, P.P., Almeida, J.R.G.S., Viana, A.F.S.C., Oliveira, R.C.M., et al., 2013.**  $\beta$ -Cyclodextrin-complexed (-)-linalool produces antinociceptive effect superior to that of (-)-linalool in experimental pain protocols. Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology 1-6.

**[R]**

**Rajeshwari, U., Shobha, I., Andallu, B., 2011.** Comparison of aniseeds and coriander seeds for antidiabetic, hypolipidemic and antioxidant activities. *Spatula DD 1* (1), 9-16.

**Ravizza, R., Gariboldi, M.B., Molteni, R., Monti, E., 2008.** Linalool, a plant-derived monoterpene alcohol, reverses doxorubicin resistance in human breast adenocarcinoma cells. *Oncology Reports* 20(3), 625-630.

**Reuter, J., Huyke, C., Casetti, F., Theek, C., Frank, U., Augustin, M., Schempp, C., 2008.** Anti-inflammatory potential of a lipolotion containing coriander oil in the ultraviolet erythema test. *Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft* 6, 847- 851.

**Reyes, M.R., Reyes-Esparza, J., Angeles, O.T., Rodríguez-Fragoso, L., 2010.** Mutagenicity and safety evaluation of water extract of *Coriander sativum* leaves. *Journal of Food Science* 75(1), T6-T12.

Richter, B.E., Jones, B.A., Ezzell, J.L., Porter, N.L., Avdalovic, N. and Pohl, C. Accelerated solvent extraction: A technique for sample preparation. *Analytical Chemistry*, 68(6), 1033-1039, 1996.

Romanik, G., Gilgenast, E., Przyjazny, A. and Kaminski, M. Techniques of preparing plant material for chromatographic separation and analysis. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 70(2), 253-261,2007.

**[S]**

**Shahwar, M.K., El-Ghorab, A.H., Anjum, F.M., Hussain, S., Nadeem, M., 2012.** Characterization of coriander (*Coriandrum sativum* L.) seeds and leaves: volatile and non-volatile extracts. *International Journal of Food Properties* 15, 736-747.

**Silva, F., Ferreira, S., Duarte, A., Mendonça, D.I., Domingues, F.C., 2011.** Antifungal activity of *Coriandrum sativum* essential oil, its mode of action against *Candida* species and potential synergism with amphotericin B. *Phytomedicine* 19(1), 42-47.

**Silva, F., Ferreira, S., Queiroz, J.A., Domingues, F.C., 2011.** Coriander (*Coriandrum sativum* L.) essential oil: its antibacterial activity and mode of action evaluated by flow cytometry. *Journal of Medical Microbiology* 60, 1479-1486.

**Singh, G., Maurya, S., De Lampasona, M.P., Catalan, C.A.N., 2006.** Studies on essential oils, Part 41. Chemical composition, antifungal, antioxidant and sprout suppressant activities of coriander (*Coriandrum sativum*) essential oil and its oleoresin. *Flavour and Fragrance Journal* 21, 472-479.

Smaili T, Bendif H. Öztürk M, Flamini G et Peron G. (2021). Composition chimique et activité antioxydante de l'huile essentielle de *Daucus reboudii* Coss., une plante endémique d'Algérie, Sciences appliquées, 11(4), 1843

Smaili T. Zellagui A, Cioni, PL, Flamini G. (2011). Une huile essentielle riche en myristicine de *Daucus sahariensis* cultivée en Algérie. Natural Product Communications, 6, 883-886

Smaili T., Rebbas K., Flamini G. & Belkassam A., (2016). Chemical composition of the essential oil of *Brachyapium dichotomum* (L.) Maire, Scholars Research Library.8(10): pp,32-36.

**Soares, B.V., Morais, S.M., dos Santos Fontenelle, R.O., Queiroz, V.A., Vila-Nova, N.V., Pereira, C.M.C., et al., 2012.** Antifungal activity, toxicity and chemical composition of the essential oil of *Coriandrum sativum* L. fruits. Molecules 17, 8439- 8448.

**Stashenko, E.E., Puertas, M.A., Martinez, J.R., 2002.** SPME determination of volatile aldehydes for evaluation of in vitro antioxidant activity. Analytical and Bioanalytical Chemistry 373, 70-74.

Sylvain SUTOUR, ETUDE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE D'HUILES ESSENTIELLES ET D'EXTRAITS DE MENTHES DE CORSE ET DE KUMQUATS , DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE CORSE ,2010.

Tabak S., Bendif H., Miara H-D., Mediouni R-M. & Blake P., (2022). Physico-Chemical analysis of some medicinal plants growing in Algeria: *Allium sativum*, *Allium cepa* and *Foeniculum vulgare*. Genetics and Biodiversity Journal. 6 (1): pp. 149-166.

**[T]**

**Tang, E.L.H., Rajarajeswaran, J., Fung, S.Y., Kanthimathi, M.S., 2013.** Antioxidant activity of *Coriandrum sativum* and protection against DNA damage and cancer cell migration. BMC Complementary and Alternative Medicine 13, 347.

**Thompson, A., Meah, D., Ahmed, N., Conniff-Jenkins, R., Chileshe, E., Phillips, C.O., Claypole, T.C., Forman, D.W., Row, P.E., 2013.** Comparison of the antibacterial activity of essential oils and extracts of medicinal and culinary herbs to investigate potential new treatments for irritable bowel syndrome. BMC Complementary and Alternative Medicine 13, 338.

**[W]**

**Waheed, A., Miana, G.A., Ahmad, S.I., Khan, M.A., 2006.** Clinical investigation of hypoglycemic effect of *Coriandrum sativum* in type-2 (NIDDM) diabetic patients. Pakistan Journal of Pharmacology 23(1): 7-11.

Wang, L. and Weller, C.L. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. Trends in Food Science & Technology, 17(6), 300-312, 2006.

Wichtel M., 2006 - Testo atlante di fitoterapia, *Utet scienze mediche*.pp149-151

Wichtel M., et AUTON A., 1999 - *plante thérapeutique* , Ed. Tec et Doc ,405- 409 p

**Wu, T.T., Tsai, C.W., Yao, H.T., Lii, C.K., Chen, H.W., Wu, Y.L., et al., 2010.** Suppressive effects of extracts from the aerial part of *Coriandrum sativum* L. on LPS induced inflammatory responses in murine RAW 264.7 macrophages. Journal of the Science of Food and Agriculture 90, 1846-1854.

**[Y]**

**Yadav, N.P., Luqman, S., Meher, J.G., Sahu, A.K., 2012.** Effect of different pharmaceutical vehicles on antimicrobial action of essential oils. *Planta Medica* 78(11), PF44.

**Yiap, B.C., Ping, H.C., Lim, S.H.E., 2014.** Essential oils, a new horizon in combating bacterial antibiotic resistance. *The Open Microbiology Journal* 8, 6-14.

**[Z]**

**Zare-Shehneh, M., Askarfarashah, M., Ebrahimi, L., Moradi Kor, N., Zare Zardini, H., Soltaninejad, H., Hashemian, Z., Jabinian, F., 2014.** Biological activities of a new antimicrobial peptide from *Coriandrum sativum*. *International Journal of Biosciences* 4(6), 89-99.

**Zare-Zardini, H., Tolueinia, B., Momeni, Z., Hasani, Z., Hasani, M., 2012.** Analysis of antibacterial and antifungal activity of crude extracts from seeds of *Coriandrum sativum*. *Gomal Journal of Medical Sciences* 10(2), 167-171.

Zelie Triaux, développement de méthode d'extraction et d'analyse de molécule terpénique à activité anti 3inflammatoire, université de strasbourg , 2019.