



République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريش

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم البيولوجية

Département des Sciences Biologiques



# Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

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

**Filière:** Sciences Alimentaires

**Spécialité:** Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire

## Thème:

**Effet de séchage par méthode conventionnelle sur le potentiel antioxydant des feuilles de coriandre (*Coriandrum sativum L*)**

**Présenté par:** DAMMA Chaima

KERBOUAI Imene

**Devant le jury:**

**Presidente:** M<sup>me</sup> BAAZIZ N MCB (Univ. Bordj Bou Arreridj)

**Encadrant:** M<sup>me</sup> HIHAT S MAB (Univ. Bordj Bou Arreridj)

**Examineur:** M<sup>r</sup> BENSOUILAH T MAB (Univ. Bordj Bou Arreridj)

**Année Universitaire: 2017/2018**

## **Remerciement**

*Tout d'abord, on remercie Dieu, le Généreux qui a enseigné à l'homme ce qu'il ne savait pas et aussi de nous avoir donné la force afin d'accomplir ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier tout d'abord notre promoteur **M<sup>me</sup> HICHAT Soraya**, d'avoir accepté de nous encadrer durant ce projet, de nous avoir beaucoup aidé et soutenu, pour sa disponibilité, sa patience, ses conseils, et surtout son encouragement durant les moments difficiles.*

*Nous remercions **M<sup>me</sup> BAAZIZ Naima** d'avoir accepté de présider le jury d'examen de ce mémoire, et **M<sup>r</sup> BENSOUILAH Tagyieddine** d'avoir accepté d'évaluer ce travail. Qu'ils trouvent dans ces phrases l'expression de notre profond respect.*

*Nos remerciements les plus distingués à **M<sup>r</sup> Makfiofi N** le président des laboratoires ; **M<sup>r</sup> Rebai Khalil** l'ingénieur de laboratoire phytopathologie pour son encouragement, ces conseils ainsi que son aide illimitée, qu'elle trouve dans ces phrases l'expression de notre profonde reconnaissance.*

*Nous remercions aussi tout les membres du laboratoire Biochimie et phytopathologie **M<sup>lle</sup> Sabrina ; M<sup>r</sup> Lhadj***

*Nous adressons aussi nos sincères remerciements à l'ensemble des enseignants de l'université Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi Bordj Bou Arreridj SNV qui ont contribué à notre formation.*

*En définitive, nous remercions toute personne qui a participé de près ou de loin, de façon directe ou indirecte, à la réussite de ce travail pour lequel nous avons tant consacré en y mettant aussi tout notre cœur.*

**Merci**

## *Dédicace*

*Au nom du Dieu le tout puissant A l'homme de ma vie,  
mon exemple éternel, mon soutien moral et Source de joie  
de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te gard  
son vaste paradis,*

*à toi Mon père.*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts,  
la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ;*

*Maman que j'adore.*

*J'espère qu'un jour mon bon Dieu me donne l'occasion  
de les honorer et rendre ce qu'ils méritent.*

*À Mes sœurs (Asma ; Anfelle), mon aide  
dans le parcours de ma vie.*

*A Mes frères, ma joie et ma fierté, que Dieu  
les gardes et les protèges Anes et Laaribi.*

*Sans oublié A mon grand-père (Ahmed)  
et mes grands-mères (Aycha hadda) .*

*À toute la famille Cousin et cousines  
(Rania, Nadjla); Oncles et tantes (Sound)*

*Ma chère amie Ahlem A ma collègue Jmen et sa famille.*

*ChAiMA*



*Avant tout, merci à Dieu le tout puissant de m'avoir accordée la force, la santé et les  
Moyens de pouvoir accomplir ce modeste travail.*

*Je dédie mon mémoire à:*

*A mes parents que dieu les protègent, en témoignage de ma profonde affection. Qu'ils sachent que ce travail est en partie le fruit de leur soutien, je leur suis très reconnaissante. Leur fierté à mon égard aujourd'hui est pour moi la meilleure récompense.*

*A mes frères Larbi et Abderahman, ma sœurs Asma et ma grand mère Yamina.*

*Les trésors de ma vie que j'aime à fond, pour tout le soutien et l'amour dont ils m'ont fait don et qui chaque jour m'aident à vivre et à sourire.*

*A ma très chère amie Ferouja que j'aime au-dessus de toutes mes forces Pour le courage, la confiance et l'amour qu'elle me transmet au quotidien, pour sa fidélité et parce qu'elle rend la vie si belle et délicieuse.*

*A mes chères amies, Zahra, Sabrina, tounsia, et Insef pour la motivation et le soutien inconditionnel qu'elles m'ont offert durant toute la période du mémoire, sans elles ce travail n'aurait pas été accompli. Merci beaucoup, je vous aime.*

*Mes derniers remerciements et ce ne sont pas les moindres, vont à tous ma famille et mes enseignants du primaire à l'université, et à toutes personnes en qui j'ai trouvé un soutien et qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce modeste travail.*

*J'ai certainement oublié des gens involontairement je vous l'assure, la réalisation d'un mémoire a un effet désastreux sur ma mémoire. je remercie ceux dont le nom n'apparaît pas dans ce manuscrit. Ils se reconnaîtront.*

*Je dédie ce mémoire à tous ceux que j'aime, sans lesquels tout ceci n'aurait aucun sens.*

***IMENE***

## Table des matières

Remerciement	
Dédicaces	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste de tableaux	
Liste des abréviations	

### Chapitre 1: Généralités sur la coriandre

Introduction .....	1
1. Coriandre .....	2
1.1. Origines et aspects historique .....	3
1.2. Botaniques, et la classification de la coriandre .....	4
1.2.1. Description botanique des plantes .....	4
1.2.2. Classification et systématique .....	5
1.3. Données concernant la production et la consommation de la coriandre : .....	5
Production mondial .....	5
Consommation des Coriandre .....	6
1.4. Valeur nutritionnelle .....	7
1.5. Effets Thérapeutiques de la coriandre.....	7
1.6. Les antioxydants .....	9
1.6.1. Les composés phénoliques .....	9
1.6.2. Flavonoïdes .....	10
1.6.3. Les coumarines.....	11
1.6.4. Les tanins.....	11
1.6.5. Les Terpénoïdes .....	12
1.6.6. Les caroténoïdes .....	12
1.7. Les vitamines antioxydantes .....	13

### Chapitre 2: Le séchage

2. Généralité sur le séchage .....	14
2.1. Définition .....	14

2.2. Objectif de séchage .....	14
2.3. Principe de séchage.....	15
2.4. Méthodes du séchage .....	16
2.4.1. Séchage par entrainement.....	16
2.4.2. Séchage par ébullition .....	16
2.5. Séchage conventionnel .....	16
2.5.1. Séchage à la l'air libre.....	16
2.5.2. Séchage à l'étuve.....	17
2.6 .Séchage par microondes .....	19

### Chapitre 3 : Matériel et méthodes

3. Matériel et méthodes .....	20
3.1. Matériel végétal .....	20
3.1.1. Collecte.....	20
3.1.2. Préparation et séchage du matériel végétal .....	20
3.2. Le taux d'humidité:.....	21
3.3. Cinétique de séchage.....	21
3.3.1. Séchage par étuve:.....	21
3.3.2. Broyage et tamisage .....	22
3.4. Extraction des substances bioactives .....	23
3.4.1. Extraction des composés phénoliques.....	23
3.5. Dosage des substances antioxydantes .....	23
3.5.1. Polyphénols totaux .....	23
3.5.2. Flavonoïdes totaux .....	24
3.6. Evaluation de l'activité antioxydante .....	25
3.6.1. Activité anti-radicalaire DPPH.....	25
3.6.2. Pouvoir réducteur .....	26
3.7. Analyse statistique .....	26

### Chapitre 4 : Résultats et discussion

4. Résultats et discussion .....	27
4.1. Evaluation des paramètres physico-chimiques .....	27
4.1.1. Le taux d'humidité .....	27
4.1.2. L'activité de l'eau (aw) .....	27

4.2. Cinétique de séchage.....	28
4.3. Estimation des substances bioactives .....	30
4.3.1. Dosage des polyphénols totaux .....	30
4.3.2. Dosage des flavonoïdes .....	31
4.4. Mesure de l'activité antioxydante .....	32
4.4.1. Activité anti-DPPH .....	32
4.4.2. Pouvoir réducteur .....	34
Cocclusion .....	35

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Répartition de la superficie des plantes aromatique.....	2
<b>Figure 2 :</b> La coriandre ( <i>Coriandrum sativum</i> L) .....	2
<b>Figure 3 :</b> Photographie d'une fleur de coriandre ( <i>Coriandrum sativum</i> L).....	3
<b>Figure 4 :</b> Chromolithographie représentant <i>Coriandrum sativum</i> L. ....	4
<b>Figure 5:</b> Structure du noyau phénol .....	9
<b>Figure 6:</b> Quelques acides phénoliques. ....	10
<b>Figure 7:</b> Structure de base des flavonoïdes. ....	10
<b>Figure 8:</b> Structure de quelques classes de flavonoïdes.....	11
<b>Figure 9 :</b> Structure de base des coumarines et quelques exemples .....	11
<b>Figure 10 :</b> structure des deux types de tanins. ....	12
<b>Figure 11 :</b> structure d'isoprène. ....	12
<b>Figure 12:</b> Structure de la vitamine « E ». ....	13
<b>Figure 13:</b> Structure de l'acide ascorbique. ....	13
<b>Figure 14 :</b> Schéma d'étuve de séchage.....	18
<b>Figure 15 :</b> Schéma d'un four à micro-onde.....	19
<b>Figure 16:</b> Carte géographique qui illustre la zone de l'échantillonnage récolté. ....	20
<b>Figure 17:</b> Les différentes étapes de séchage des feuilles de coriandre. ....	20
<b>Figure 18 :</b> Photographie de séchage a l'air libre .....	21
<b>Figure 19:</b> Photographie de l'étuve et de la balance.....	21
<b>Figure 20:</b> Photographie de broyeur électrique; Mortier et pilo; Tamis.....	22
<b>Figure 21:</b> Photographies des poudres de coriandre obtenues après broyage et tamisage, séchées par l'étuve. ....	22
<b>Figure 22 :</b> Protocole de l'extraction des composes phénoliques.....	23
<b>Figure 23 :</b> Représentation du taux d'humidité des feuilles de coriandre.....	27
<b>Figure 24 :</b> L'évolution de la perte de masse en fonction de couple temps-température du séchage a l'étuve.....	28
<b>Figure 25 :</b> Teneur phénolique totale de l'extrait de feuilles de coriandre séchée à étuve et à l'air libre.....	30
<b>Figure 26:</b> La contenance en flavonoïdes des extraits de feuilles de coriandre séchée à l'étuve et l'air libre .....	31
<b>Figure 27 :</b> Activité anti-radical DPPH de feuilles de coriandre séchées à l'étuve et a l'air libre. ....	32

**Figure 28 :** Le pouvoir réducteur des différents extraits coriandre séchée à l'étuve et l'air libre  
.....34

## Liste des tableaux

<b>Tableau I:</b> Quantitue des graines de corianderexporteés en tones.....	5
<b>Tableau II:</b> Quantitue de graines importees en graines.....	6
<b>Tableau III:</b> Quantitue des épices de corianderimportees.....	6
<b>Tableau IV:</b> Composition de Nutriment dans la feuille de coriander.....	7
<b>Tableau V:</b> Les effets thérapeutique de la coriander.....	8
<b>Tableau VI:</b> Teneur en eau et activité de l'eau en poudre de coriander.....	27
<b>Tableau VII:</b> Séchage les feuilles des corianders par étuve ventilée.....	29

## Liste des abréviations

**Abs** : Absorbance

**Av J-C** : Avant Jésus-Christ

**a<sub>w</sub>** : Activité de l'eau

**DPPH**: 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl

**E.Q.** : Equivalent en Quercétine

**EAA** : équivalent d'acide ascorbique

**EAG**: équivalent d'acide gallique.

**EEC**: équivalent d'épi catéchine

**FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

**MS**: matière sèche

**PIA** : Produits Alimentaires Intermédiaires

**PPT**: polyphénols totaux

## Résumé :

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet du séchage conventionnel (à l'air libre et à l'étuve) des feuilles de la coriandre sur l'activité antioxydants attribuable aux substances bioactives. Pour cela, la détermination de la teneur des polyphénols et flavonoïdes totaux, l'activité anti radicalaire et le pouvoir réducteur ont été réalisés. La vitesse de séchage est inversement proportionnelle à température de ce dernier. Le meilleur rendement d'extraction a été attribué à l'extrait acétonique obtenu à partir des feuilles séchées à 40°, soit 34.46mgEAG/g MS, 3.7mgEQ/g MS, 87% et 39.05mgEAA/g MS pour les polyphénols totaux, les flavonoïdes totaux activité anti-DPPH et l'activité réductrice de fer ferrique, respectivement. Ce la explique que le séchage par étuve est mieux que cel de l'air libre.

**Mots clés :** séchage, coriandre, composés phénoliques, activité antioxydant.

## Abstract:

The objective of this work is to study the effect of conventional (open air and oven) drying of coriander leaves on the antioxidant activity attributable to bioactive substances. For this, the determination of the content of total polyphenols and flavonoids, the anti-DPPH activity and the reducing power were carried out. The drying speed is inversely proportional to the temperature of the latter. The best extraction yield was attributed to the acetone extract obtained from the dried leaves at 40 °, ie 34.46mgEAG / g MS, 3.7mgEQ / g MS, 87% and 39.05mgEAA / g MS for the total polyphenols, total flavonoids anti-DPPH activity and ferric iron reducing activity, respectively. This explains that oven drying is better than that of the open air.

**Key words:** drying, coriander, phenolic compound, antioxidant activity.

## المخلص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير التجفيف التقليدي (الهواء الطلق والفرن) لأوراق الكزبرة على نشاط مضادات الأكسدة. لهذا ، تم تنفيذ تحديد محتوى مركبات متعدد الفينول و مادة الفلافونويد DPPH ، والقوة المختزلة. سرعة التجفيف تتناسب عكسيا مع درجة حرارة الأخيرة. أفضل ناتج استخلاص يعود إلى مستخلص الأسيبتون المتحصل عليه من الأوراق المجففة عند 40 درجة مئوية 3.7mgEQ / g MS , 34.46mg EAG / g MS , 87% and 39.05mgEAA / g MS هذا ما يفسر أن التجفيف في الفرن افضل من التجفيف في الهواء الطلق.

**الكلمات المفتاحية:** التجفيف ، الكزبرة ، المركبات الفينولية ، النشاط المضاد للأكسدة

# **Introduction**

## Introduction

L'Homme a toujours été fasciné par les épices non seulement pour rehausser le goût des aliments à moindre coût mais aussi pour leurs vertus médicinales, c'est pour cela que ces épices ont été aussi convoités que l'or (**Birlouez., 2012**).

La coriandre (*Coriandrum sativum* L.), une herbe annuelle de la famille des Apiacées, est originaire de la Méditerranée et est originaire de régions d'Europe du Sud et de l'Est, d'Afrique du Nord et d'Asie (**Barros et al., 2012**). Cette plante est principalement cultivée pour ses feuilles et graines fraîches, qui sont largement utilisées pour la nourriture, les médicaments, les parfums et les cosmétiques.

Pour faire face aux produits oxydants délétères, le corps humain possède tout un arsenal de défense qualifié d'antioxydants. De plus, de nombreuses molécules d'origine naturelle (composés phénoliques, alcaloïdes, huiles essentielles,...) ou issues de synthèses organiques (Trolox, BHA, BHT,...) sont étudiées pour leur propriétés antioxydantes et leur contribution dans la lutte contre les espèces oxydantes de l'organisme (**Benalia., 2008**).

Le séchage des fruits et légumes est l'une des méthodes les plus anciennes de conservation des aliments sur une période prolongée. Il assure une réduction du poids et du volume, et minimise les coûts de conditionnement, de stockage et de transport (**Okos et al., 1992**). Par contre une mauvaise maîtrise de cette technique entraîne la perte des valeurs nutritives et thérapeutique de l'aliment (**Piga et al., 2004**).

Ainsi nous cherchons par ce présent travail à démontrer l'impact des différentes températures de séchage sur les substances bioactives et les comparer avec l'air libre et qu'elle est la meilleure méthode pour avoir un bon rendement.

Ce travail a été organisé sur deux parties :

La première partie, revue de la littérature, traite les informations générales de la plante (*Coriandrum sativum* L.) et quelque notion sur le séchage conventionnelle (étuve).

La deuxième partie, une étude expérimentale, qui expose:

- ✓ Le matériel et les méthodes utilisés ;
- ✓ Les résultats obtenus et leur discussion ;
- ✓ La conclusion et les perspectives proposées.

# **Partie bibliographique**

## 1. Coriandre

La Coriandre ou *Coriandrum sativum* L. est une plante herbacée annuelle de la famille des ombellifères (Blade., 2008). C'est une plante aromatique (figure 1) cultivée dans les zones tempérées du monde entier et employée pour de nombreuses préparations culinaires, particulièrement en Asie, en Amérique latine et dans la cuisine méditerranéenne.

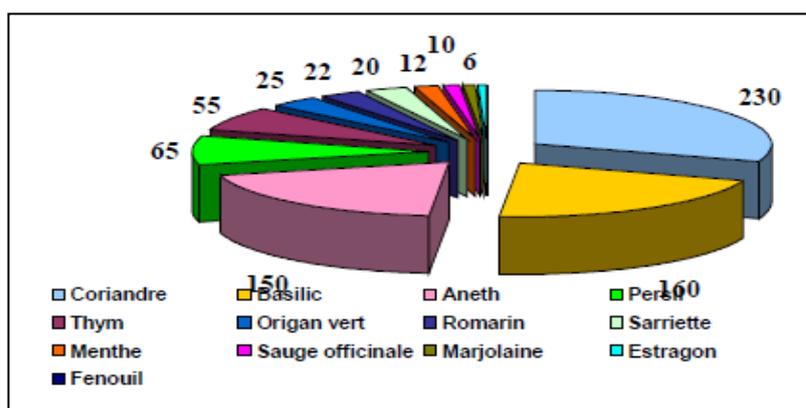


Figure 1 : Répartition de la superficie des plantes aromatiques (chambre d'agriculture de la drôme, 2010)

*Coriandrum sativum* L., est une ombellifère annuelle, glabre et luisante (figure 2). Les feuilles sont généralement utilisées fraîches en accompagnement ou comme condiment. Les fruits secs, souvent confondus avec des graines, sont utilisés comme épice. Les huiles essentielles utilisées en aromathérapie, dans l'industrie alimentaire pour son arôme et comme agent de senteur en parfumerie, dans les cosmétiques ou les produits sanitaires.

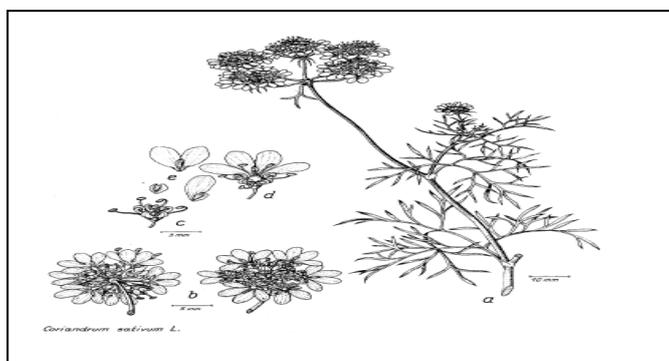


Figure 2 : La coriandre (*Coriandrum sativum* L.), (Diederichsen., 1994).

Elle atteint généralement une hauteur de 20-60 cm, mais peut aussi aller jusqu'à 1,40m (Blade., 2008). Les feuilles inférieures peu nombreuses ressemblent à celle de l'anis et du persil. Les feuilles supérieures découpées en lanières étroites font rappeler celles du carvi (Figure 3), elle est dotée de petites fleurs blanches, roses ou lavandes, de feuilles vertes et dentelées, de graines et enfin de fruits (Ghedira et Goetz., 2015).



**Figure 3** : Photographie d'une fleur de coriandre (*Coriandrum sativum L*)

Les fruits possèdent une forme sphérique très régulière de 2 à 5mm de diamètre et sont d'une couleur jaune à brun clair. Le contenu des fruits en huile volatile, sous forme oxygénée, est de 0,4 à 1%. Cette huile se compose de 60-70% de coriandrol, géraniol, bornéol *d-alpha-et d-beta*pinen, et 20% d'huile grasse non volatile, jusqu'à 17% de protéines et 26-30% de fibres végétales. Le genre *Coriandrum* se compose seulement des deux espèces : l'espèce sauvage, la *Coriandrum tordylium*, est très similaire à la plante cultivée. Elle est décrite pour le sud-est de l'Anatolie et le nord du Liban, la plante cultivée est estimée être originaire du Proche-Orient, d'*Asiaminor* et de l'est de la Méditerranée. La coriandre présente des similitudes morphologiques et une proximité taxinomique avec les espèces du genre *Bifora* (Diederichsen A., 1996).

### **1.1. Origines et aspects historique**

L'origine de la coriandre est incertaine, elle pousse à l'état sauvage dans une vaste zone au Proche-Orient et dans le sud de l'Europe (Zohary et Hopf., 2000). Le plus ancien témoignage de l'utilisation des fruits est un papyrus daté de 1550 av. J-C, listant des plantes médicinales (Diederichsen., 1996), on a retrouvé des méricarpes dans le tombeau de Toutankhamon et leur présence est courante dans d'autres sépultures de l'Égypte antique à cette époque.

## **1.2. Botanique, et la classification de la coriandre**

### **I.2.1. Description botanique des plantes**

La coriandre est une plante aromatiques originaires de la région méditerranéenne elle est très cultivée en Algérie.

**Nom commun :** coriandre

**Nom latin :** *Coriandrum sativum*

**Origine :** Asie occidentale, Bassin éditerranéen, Proche orient.

**Période de floraison :** juin, juillet Aout

**Hauteur :** 30 à 60 cm

**Type de plante :** aromatique

**Type de végétation :** annuelle

**Type de feuillage :** persistant

**Nom vernaculaires :** Cariander(Anglais), kezborاء كزبرة (Arabe).



**Figure 4 :** Chromolithographie représentant *Coriandrum sativum* L (Otto Wilhelm., 1885).

Le feuillage et la tige sont vert ou vert clair tirant parfois sur le rouge ou le violet pendant la floraison ,glabres ,luisants (notamment les faces inférieures des feuilles). L'inflorescence, blanche ou rose-mauve très pale , est typique des Apiacées (Blade., 2008 ;

Ghedira et Goetz., 2015 ), l'odeur de la plante est souvent décrite comme fétide(Coste., 1937).

### 1.2.2. Classification et systématique

La coriandre (*Coriandrum sativum* L.) appartient à la famille des Apiceae et au genre de Coriandrum.D'après (Peter et al., 2006), la coriandre est classé comme suit :

- **Regne** : plantae
- **Embranchement**: Spermaphytæ (phanérogame)
- **Sous-embranchement**: Angiospermae
- **Classe**: Dicotylédone
- **Sous-classe**: Rosidae
- **Ordre**: Apiales
- **Famille**: Apiaceae
- **Genre**: *Coriandrum*
- **Espèce**: *sativum*

### 1.3. Données concernant la production et la consommation de la coriandre :

#### Production mondial

Les principaux producteurs sont la plupart des pays en voie de développement d'Asie (Chine, Inde, Iran, Pakistan...), d'Amérique latine (Mexique, Argentine...) et d'Afrique (Algérie, Tunisie, Maroc, Egypte...), et des pays Européens (Pays-Bas, Danemark, Pologne, Roumanie...)

**Tableau I** : Quantité des graines de coriandre exportées en tonnes (FAO 2016)

Exportateur (Année 2014)	Quantités (Tonnes)
Inde	67 734
Iran	18 498
Italie	17 498
Maroc	13 641
Syrie	10 686
Canada	8 080
Pays-Bas	4 923
Argentine	4 487

Ethiopie	3 876
Espagne	2 704

**Consommation des Coriandre**

**a. Consommation mondiale :** on estime que pendant l'année 1980, les quantités d'épices consommées est de 313 000 tonnes, Les pays d'Amérique du Nord et d'Europe occidentale sont les pays les plus importateurs des épices, les pays d'Amérique latine sont de gros consommateurs, les pays de l'Afrique du Nord ont importés 25 000 tonnes en 1980.

**Tableau II :** Quantités de graines importées en tonnes (FAO 2016)

<b>Importateurs (Année 2014)</b>	<b>Quantité (tonnes)</b>
Malaisie	213 501
Sri Lanka	30 102
Etats-Unis	9 807
Allemagne	9 225
Egypte	6 846
Japon	5 787
Algérie	4 021

**b. Consommation nationale :** la population algérienne est une grosse consommatrice d'épices, la quantité moyenne de consommation est estimée entre (1980-1986) est de 7 865 tonnes.

**Tableau III :** Quantité de quelque épices importées en Algérie entre (1986-1986) (Mokkedem., 1988)

<b>Espèces</b>	<b>Quantités moyenne importées (tonnes)</b>
Cumin	775
Carvi	473
Coriandre	123

### 1.4. Valeur nutritionnelle

Ses feuilles étant bonne source de  $\beta$ -carotène servent de précurseur de la vitamine A. Dans la coriandre, la  $\beta$ -carotène est présente à 160  $\mu\text{g}$  / 100 g tandis que la teneur totale en caroténoïde est de 1010  $\mu\text{g}$  / 100 g (**Kandlakunta et al., 2008**).

**Tableau IV** : Composition de Nutriment de feuilles et des graines de coriandre selon l'USDA (National Nutrition Data base., 2013).

Nutriments	Feuille	Graine
Eau (g)	7,30	8,86
Protéine (g)	21,93	12,37
Matières grasses (g)	4,78	17,77
Fibre(g)	10,40	41,90
Calcium (mg)	1246,00	709,00
Fer(mg)	42,46	16,32
Magnésium(mg)	694,00	330,00
Phosphores(mg)	481,00	409,00
Potassium (mg)	4466,00	1267,00
Sodium (mg)	211,00	35,00
Zinc (mg)	4,72	4,70
Acideascorbique(mg)	566,70	21,00
Thiamine (mg)	1,25	0,24
Riboflavine(mg)	1,50	0,29
Niacine(mg)	10,71	2,13
Vitamine A (IU)	5850,00	0,00

### 1.5. Effets Thérapeutiques de la coriandre

Utilisée depuis l'Antiquité par les Arabes (**Mathias., 1994**), aujourd'hui, la coriandre est employée en phytothérapie aussi bien pour ses feuilles que pour ses graines. Elle offre des propriétés carminatives, stomachiques (**Jourdan., 1840**), antispasmodiques, bactéricides, fongicides et vermifuges. Elle est réputée stimulante, excitante (**Jourdan., 1840**).

L'huile essentielle de coriandre est spasmodique, elle stimule l'excrétion de suc gastrique (stomachique) et exerce une action carminative (Khare., 2007 ; Blade., 2008 ; Ghedira et Goetz., 2015).

**Tableau V** : Les effets thérapeutiques de la coriandre.

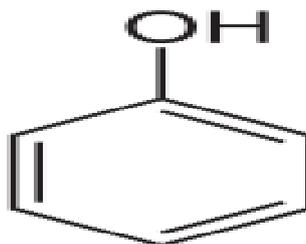
<b>L'activité fonctionnelle</b>	<b>Composés impliqués</b>	<b>Chercheur</b>
Effet anxiolytique	Extrait de coriandre	(Mahendra., 2011)
Activité Anti glycémique	Des extraits aqueux de graines	(Deepa et Anuradha., 2011). (Brindis et al., 2014 ; Ghedira et Goetz., 2015).
Protection contre les dommages oxydatifs	Flavonoïdes (anthocyanes, tannins, les lignines)	(Balasundarum et al., 2006)
Détoxification des métaux	Groupes hydroxylés	(Arunasagar et al., 2005)
Activité anti microbienne	Les éléments antioxydants	(Wong et Kitts., 2006)
	composés aliphatiques	(Kubo et al., 2004)
	l'huile essentielle	(Casetti et al., 2012 ; Ghedira et Goetz., 2015)
	Huile de coriandre	(Rattanachaikunso P et Phumkhachorn P., 2010)
Effet Anti cancer	Feuille de coriandre	(Chithra et Leelamma., 2000; Momin et al., 2012)
Effet sur les affections neurodégénératives	L'huile essentielle	(Cioanca et al., 2014; Momin et al., 2012)
Effet abaissant du Cholestérol	Graines de coriander	(Coroline Trudeau et al., 2006 ; Kansal., 2012 ; Momin et al., 2012)

## 1.6. Les antioxydants

Le régime méditerranéen, caractérisé par une consommation élevée et variée de produits végétaux, qui est associé à un allongement de l'espérance de vie. Plusieurs études épidémiologiques suggèrent qu'une alimentation riche en produits végétaux semble apporter la protection contre le développement de diverses pathologies dégénératives associées au stress oxydant telles que les maladies cardio-vasculaires, les maladies neurodégénératives et divers cancers, serait due aux micro-constituants de cette diète dont les polyphénols sont les principaux représentants (Huang *et al.*, 2008 ; L alas *et al.*, 2011).

### 1.6.1. Les composés phénoliques

Les polyphénols constituent un groupes largement distribué des substances dans le royaume des végétaux, avec plus de 8000 structures phénoliques présents dans tous les organes de la plante, ils résultent bio génétiquement de deux voies synthétiques principales, la voie de shikimate et d'acétate (Hopkins., 2003 ; Lugasi *et al.*, 2003 ; Lebham., 2005).



**Figure 5** : Structure du noyau phénol (Sarni-Manchado et Cheyner., 2006)

#### a. Acides phénoliques

Les composés phénoliques 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 hydroxybenzoïque, mais les plus répandus sont l'acide salicylique et l'acide gallique. Dont ils existent dans certain nombre de plantes agricoles et médicinales (Barboni., 2006).

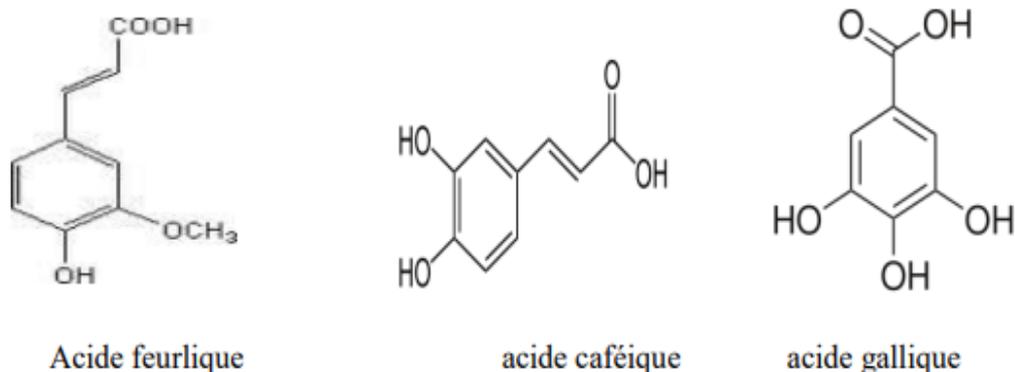


Figure 6 : Quelques acides phénoliques (Ribereau., 1968).

### 1.6.2. Flavonoïdes

Le terme flavonoïde (de flavus, «jaune» en latin) représente 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 ; Medić et al., 2004 ; Fiorucci., 2008), 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., 1999).

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).

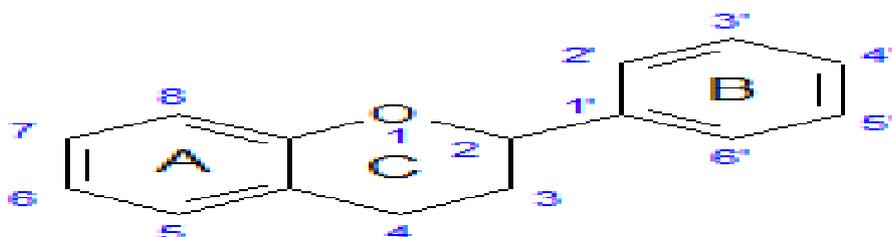
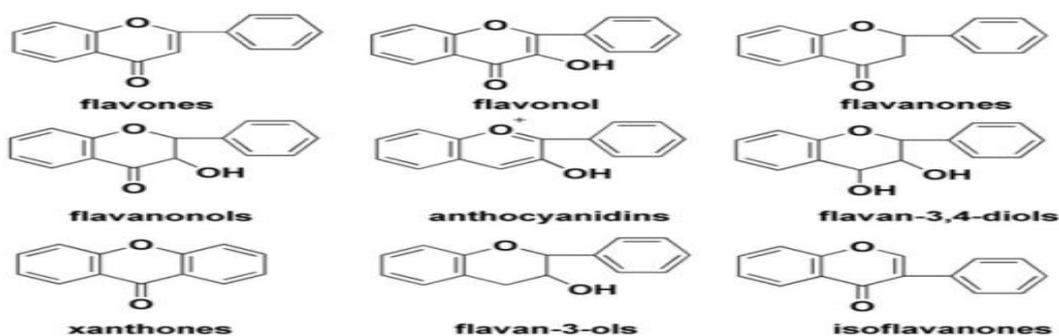


Figure 7: Structure de base des flavonoïdes (Dacosta., 2003).

En se basant sur leur squelette, les flavonoïdes peuvent être divisés en différentes classes anthocyanidines, flavonoles, isoflavonoles, flavones, isoflavones, flavanes, isoflavanes, flavanols, isoflavanols, flavanones, isoflavanones (Figure 8) (Havsteen., 2002 ; Edenharter et Grünhage., 2003 ; Wichtl et Anton., 2003 ; Medić et al., 2004 ).

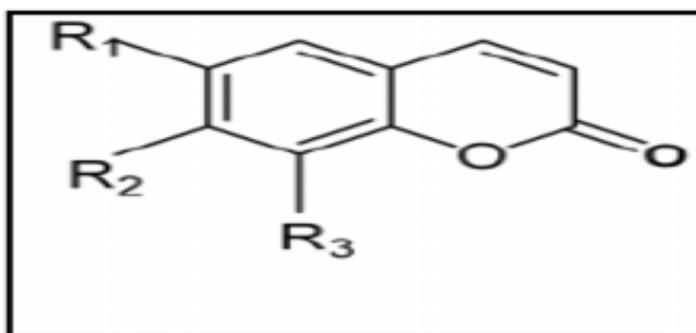


**Figure 8** : Structure de quelques classes de flavonoïdes (Medic et al., 2004).

### 1.6.3. Les coumarines

Les coumarines constituent une classe importante de produits naturels, elles donnent une odeur caractéristique semblable à celle du foin fraîchement fauché. Ces composés sont les constituants caractéristiques du règne végétal chlorophyllien.

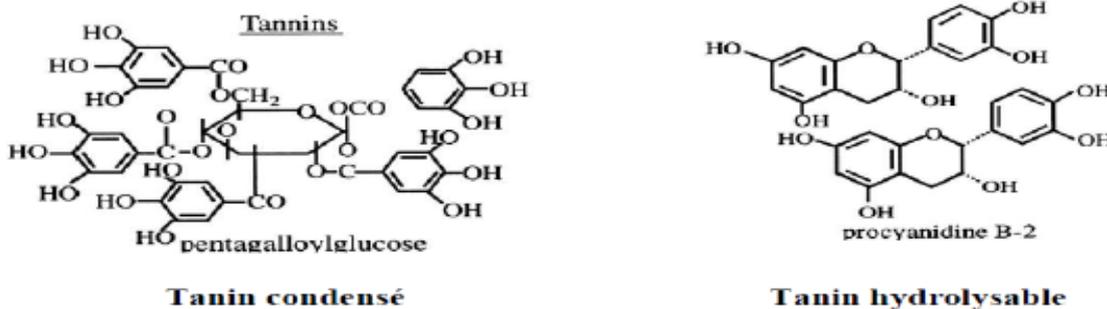
Les familles les plus riches en coumarines sont : *Légumineuse*, *Rutacées*, *Apiécées*. Elles se trouvent dans toutes les parties de la plante et notamment dans les fruits et les huiles essentielles des graines (Deina et al., 2003 ; Booth et al., 2004).



**Figure 9** : Structure de base des coumarines et quelques exemples (Ford et al., 2001).

### 1.6.4. Les tanins

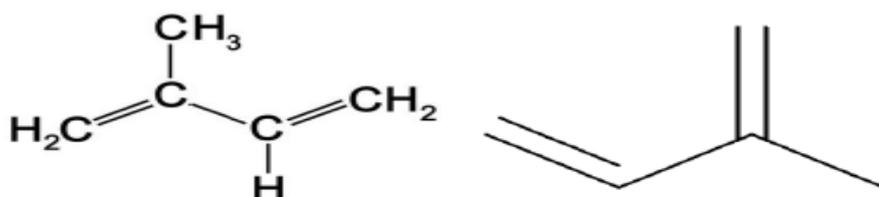
Le terme tanin provient d'une pratique ancienne qui utilisait des extraits des plantes pour tanner les peaux d'animaux, autrement dit pour transformer une peau en cuir (Hopkins., 2003). Les tanins sont des polyphénols que l'on trouve dans de nombreux végétaux (Pousset., 1989).



**Figure 10** : Structure des deux types de tannins (Ghestem., 2001).

### 1.6.5. Les Terpénoïdes

Le terme de terpénoïde est attribué à tous les composés possédant une structure moléculaire construite d'un monomère à 5 carbones appelé isoprène, ces composés sont majoritairement d'origine végétale (Malecky., 2005). Synthétisés par les plantes, organismes marins, les champignons et même les animaux (Benaissa., 2011).



**Figure 11** : Structure d'isoprène (Benaissa., 2011).

### 1.6.6. Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des composés lipophiles appartenant à la famille des tétra-terpènes. Ils sont responsables des colorations rouge, orange et jaune (absorption de la lumière entre 400 et 550 nm (Nicol et Maudet., 2000) (Rao et Rao., 2007). Ils sont subdivisés en deux groupes : Les hydrocarbures (carotènes), et leurs dérivés oxygénés (les xanthophylles) (Ayad., 2008).

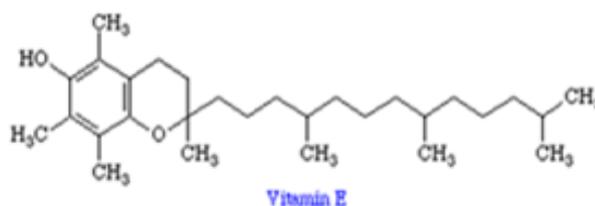
Les caroténoïdes montrent une action potentielle contre certains cancers, stimulent le système immunitaire, empêchent l'ulcère gastrique et les maladies cardiovasculaires (Krinsky et Johnson., 2005), protection de la cellule contre les attaques radicalaires (Hurst., 2008). Un supplément en caroténoïdes pourrait diminuer les dommages de la peau causés par les rayons solaires (Aust et al., 2001).

## 1.7. Les vitamines antioxydantes

### a. Vitamine E

Vitamine E, correspond à deux grands groupes de molécules : les tocophérols ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\sigma$ ) et les tocotriénols ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\sigma$ ), comprenant chacun 32 stéréo-isomères (**Pennock et al., 1964**). La structure chimique des tocophérols se compose d'un cycle chromanol mono-di-outri-méthylé auquel se trouve rattachée une chaîne latérale saturée de 16 carbones. Les tocotriénols se distinguent des tocophérols par la présence des trois doubles liaisons en position 3 et 7 et 11 (**Cuvelier et al., 2003**).

La vitamine « E » intervient dans des situations qui implique un stress oxydant telles que le cancer, les maladies neurodégénératives et cardiovasculaires. Elle est particulièrement intéressante dans la prévention et le traitement de la complication diabétique (**Opara., 2002**).



**Figure 12** : Structure de la vitamine « E » (**Opara., 2002**).

### b. La vitamine C

La vitamine C peut avoir des effets protecteurs additionnels contre des maladies y compris le cancer.

Elle joue aussi un rôle protecteur contre les dommages oxydants touchant aux constituants cellulaires et aux lipoprotéines de circulation. Elle régénère la vitamine « E » à partir de sa forme radicalaire tocophéryl (**Walingo., 2005**).



**Figure 13** : Structure de l'acide ascorbique (**Chan et al., 1999**).

## **2. Généralité sur le séchage**

A travers le temps, l'homme a recherché des méthodes pour conserver sa nourriture en empêchant et on retardant les principaux types de détérioration alimentaire, dont le séchage est l'un des procédés les plus utilisés pour la conservation des fruits et légumes assurant ainsi une meilleure répartition et qualité ainsi qu'une bonne réhydratation (**Maskan., 2001 ; Oteng., 1984**).

### **2.1. Définition**

Le séchage est une opération unitaire qui consiste à éliminer totalement ou partiellement un liquide imprégnant un matériau par rapport d'énergie thermique. Il consiste en sujets d'évaporation de l'eau et de composés volatiles, réduisant la croissance des micro-organismes et des réactions chimiques non désirées telles que le brunissement enzymatique afin d'augmenter la durée de vie du produit. Il aide à obtenir un produit sec et homogène à l'extrémité du séchage. (**Verdier et al., 2016**), ce qui permet de réduire considérablement la masse et le volume des produits et facilite leur transport, stockage et manutention (**Djerroud et al., 2010**).

### **2.2. Objectif de séchage**

Le séchage baisse l'activité de l'eau en diminuant la disponibilité de l'eau libre, minimise l'activité de détérioration microbienne et biochimique. Il a pour l'objectif d'amortir le caractère saisonnier de certaines activités agricoles, diminuer la masse et le volume des aliments pour faciliter leur emballage et transport, stabiliser le produit séché (**Brinnan., 2006**).

L'utilisation du séchage a de multiples buts :

- ❖ L'activité de l'eau du produit ainsi traité atteint des valeurs suffisamment basses pour inhiber le développement des microorganismes et stopper les réactions enzymatiques et donc la dégradation de l'aliment (**Nout et al., 2003**).
- ❖ Les activités des micro-organismes, des enzymes ou des ferments dans le matériel sont supprimés par l'intermédiaire du séchage (**Alibas et al., 2007**).
- ❖ La diminution du poids de la plante et le volume de l'eau est une économie importante pour faciliter le conditionnement, le transport et le stockage (**Guersson., 2004**).

- ❖ Le séchage des fruits et légumes permet d'améliorer leurs indices de digestibilité, de donner une meilleure acceptabilité des produits par les consommateurs s'il est sous une forme attrayante, de valoriser les produits locaux et de diversifier les produits existants (**Ramboatiana., 2010**).
- ❖ Le séchage permet la conservation des récoltes pour une vente ultérieure. Les produits séchés et bien emballés peuvent être vendus à des prix plus intéressants (**Guersson., 2004**).

### **2.3. Principe de séchage**

L'élimination de l'eau peut être effectuée par trois voies principales :

- **Voie mécanique**

Se réalise par un simple transfert de quantité de mouvement de l'eau mais pas avec un transfert thermique, exemple : Centrifugation , filtration , égouttage , essorage, pressage (**Bonazzi et Bimbenet., 2003**).

- **Voie chimique**

Méthodes extractives basées sur des interactions chimiques, physique ou physico chimique, telle que la déshydratation imprégnée par immersion (**Jean-Jacques et al., 2003**).

- **Voie thermique**

Ce type d'opération est essentiellement un transfert de masse nécessitant au préalable une activation de l'eau par une certaine quantité d'énergie apportée par un transfert de chaleur (**Jean-Jacques et al., 2003**).

Selon **Bimbenet et al(2002)**, durant le séchage, la chaleur est transférée au produit selon trois mécanismes :

- par conduction : le produit humide est en contact direct avec une surface chaude. La chaleur se déplace du corps le plus chaud au moins chaud (**Jean V., 2011**).
- par convection : il s'agit du mode de transfert le plus courant :
  - à partir de la vapeur d'eau surchauffée ou d'un liquide non miscible à la vapeur d'eau. Il s'agit alors d'un séchage par ébullition.
  - à partir d'un gaz vecteur de chaleur. Dans ce cas, le gaz sert aussi de vecteur à la vapeur d'eau. C'est un séchage par entraînement (**Jean V., 2011**).
- par rayonnement : le produit est exposé à un rayonnement infrarouge ou micro-ondes, ainsi que le séchage solaire à ensoleillement directe (**Jean V., 2011**).

## **2.4. Méthodes du séchage**

Pour extraire l'eau d'un produit, différents modes peuvent être utilisés.

### **2.4.1. Séchage par entraînement**

Lorsqu'un corps humide est placé dans un courant d'air (ou dans un autre gaz) suffisamment chaud et sec, il s'établit spontanément entre ce corps et l'air un écart de température et de pression partielle de vapeur d'eau (**Djerroud et al., 2010**).

Il s'ensuit un transfert de chaleur de l'air vers le produit, sous l'effet de l'écart de température et un transfert d'eau en sens inverse du fait de l'écart de pression de vapeur d'eau entre la surface du produit et l'air environnant. Le séchage est dit « isenthalpique » si l'énergie nécessaire à la vaporisation de l'eau est exactement égale à celle apportée par l'air chaud (**Daudin., 1983 ; Jean V., 2011**).

### **2.4.2. Séchage par ébullition**

Un séchage par ébullition a lieu lorsque le flux thermique transféré au produit est très intense à cause d'un écart de température très élevé entre la source chaude et le produit (par conduction sur une surface chaude (séchoir cylindre), par rayonnement (séchoir microondes), par convection (séchoir à vapeur d'eau surchauffée), par immersion dans de l'huile chaude).

Dans toutes ces conditions la température du produit atteint un niveau tel que la pression de vapeur d'eau ( $p$ ) de ce produit est égale ou dépasse à la pression totale ambiante ( $p_t$ ):  $p \geq p$  (**Bonazzi et Bimben., 2003**). L'ébullition proprement dite s'observe difficilement dans les solides ou les corps pâteux que dans les liquides (**Perkin., 1980 ; Jean V., 2011**).

## **2.5. Séchage conventionnel**

### **2.5.1. Séchage à l'air libre**

Cette méthode est la plus ancienne et elle est utilisée jusqu'à nos jours. Elle est basée sur un transfert de l'eau de la matrice voulue séchée vers l'air ambiant. En effet, une faible humidité relative de l'air correspond à une température élevée, ce qui lui confère une plus grande capacité d'entraînement de l'humidité. Ainsi l'augmentation de la température de l'air ambiant est sans effet sur sa teneur en vapeur d'eau, mais les variations de température dans une matrice hydratée aura une incidence sur le contenu en vapeur d'eau de cette dernière (**Hossain et al., 2003**). Le produit final peut être contaminé par la poussière et les insectes et

souffrir de l'activité microbienne. Il est limité aux climats avec le soleil chaud et l'atmosphère sèche avec des vents forts (**Jayaraman et Gupta., 2006 ; Mujumdar et Arun., 2006**).

### **2.5.2. Séchage à l'étuve**

#### **a. Définition**

Dans cette méthode, l'air chauffé est mis en contact avec le matériel humide pour faciliter la chaleur et le transfert massif ; la convection est principalement impliquée (**Dikbasan., 2007**). Il faut préciser la consigne de température de l'étuve, le temps de séjour, et la taille de l'échantillon à tester. Même si cette taille n'est pas en général critique, le temps de séjour dans l'étuve doit être adapté au rapport surface/volume (**Vasseur., 2009**). La meilleure durée est « jusqu'à poids constant » pour atteindre la masse sèche. La perte de poids est calculée par la différence de pesée avant et après séchage. L'air présent dans l'étuve peut être augmenté par la vapeur émise par les échantillons séchés en fonction du renouvellement de l'atmosphère interne de l'étuve c'est pour cela les étuves ventilées sont les meilleur et les plus utilisés (**Jean V., 2009**).

#### **b. Le principe de séchage à étuve**

Le corps à sécher est placé dans un courant d'air suffisamment chaud et sec. Il s'établit spontanément, entre ce corps et l'air, un écart de température et de pression partielle d'eau tel que le produit absorbe l'air chaud et transfère à l'extérieur l'eau sous forme de vapeur. L'air sert donc à la fois de fluide chauffant et de gaz vecteur pour enlever l'eau (**Bimbenet., 1978**). L'air entre chaud et sec dans le séchoir et il en ressort humide et moins chaud.

Ce type de séchage présente plusieurs avantages :

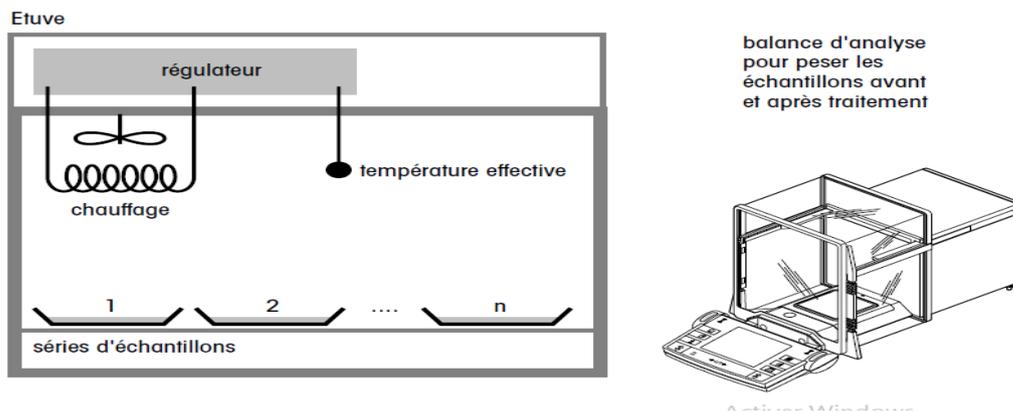
- ✓ il est simple et relativement facile à réaliser ;
- ✓ la température de l'enceinte est contrôlable ;
- ✓ de plus, la teneur en eau du produit sec est inférieure à 10% et son contrôle est facile ;
- ✓ la rapidité et la fiabilité sont aussi des caractéristiques non négligeables.
- ✓ Opératoire est simple alors que l'équipement est généralement simple et à coût peu élevé.

Néanmoins, il modifie légèrement les qualités organoleptiques de l'aliment. La texture de l'aliment est également modifiée mais le produit est allégé ; ce qui est un avantage pour son transport et son entreposage. La réhydratation du produit est aussi facile (**Vernier., 1987**).

L'inconvénient de cette méthode est la manipulation laborieuse ainsi que la longue durée de mesure (de l'ordre de plusieurs heures). Afin d'obtenir des durées de mesure plus courtes, on préfère souvent de nos jours utiliser des dessiccateurs à infrarouge ou à micro-ondes. Des erreurs systématiques importantes se manifestent lorsque l'échantillon est hygroscopique et absorbe l'humidité de l'air après le séchage et avant de pouvoir être pesé.

Cet effet peut être éliminé dans les dessiccateurs modernes à balance incorporée qui permettent simultanément de peser et de sécher.

L'opération pourrait facilement aboutir à un retrait considérable du produit (principalement au début de l'opération) et à une perte notable de la qualité nutritionnelle (en fin de l'opération en raison du temps de séchage généralement important) (Ratti., 2009).



**Figure 14** : Schéma d'étuve de séchage.

## 2.6 .Séchage par microondes

Les micro-ondes ou hyperfréquences sont des ondes électromagnétiques (Mikula et al., 1992) . Une onde électromagnétique est composée d'un champ électrique et d'un champ magnétique. Les micro-ondes se situent dans les fréquences allant de 300 MHz à 300GHz ce quicorrespond à des longueurs d'onde d'un mètre à un millimètre (Jean et al., 2002).

Le fonctionnement d'un four à micro-onde est simple. L'énergie électrique apporté alimente le magnétron qui convertie l'énergie électrique en champ électromagnétique et par un guide d'onde (tube rectangulaire en métal), les micro-ondes produites sont dirigées vers l'agitateur d'onde et pénètrent dans l'enceinte métallique où se trouve l'aliment à chauffer sur une plaque tournante , qui permette au produit alimentaire d'être exposé aux micro-ondes qui pénétrant l'aliment pour atteindre les molécules d'eau (Mathavi et al., 2013).

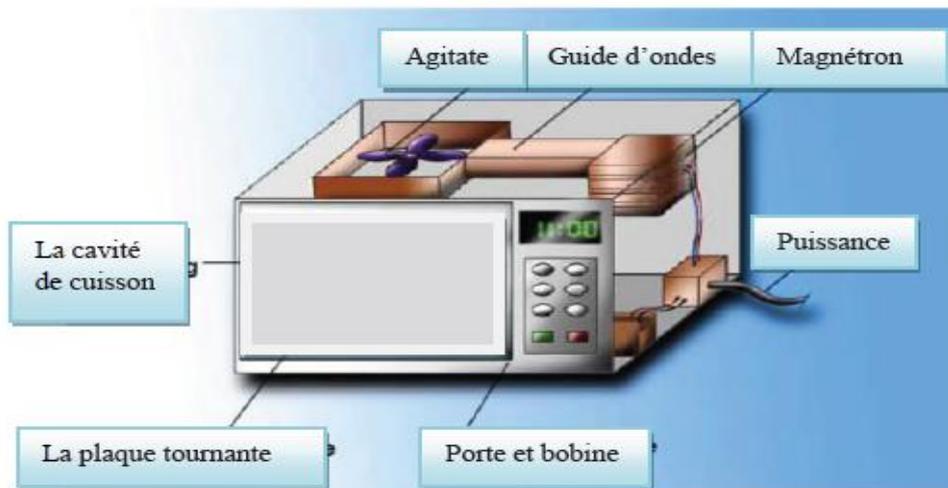


Figure 15 : Schéma d'un four à micro-onde (Mathavi et al., 2013).

# **Partie Pratique**

# **Matériel et méthodes**

### 3. Matériel et méthodes

#### 3.1. Matériel végétal

##### 3.1.1. Collecte

Ce travail porte sur l'étude de l'une des variétés généralement utilisée pour l'alimentation humaine. La coriandre ; dont la partie étudiée est la feuille ; la matériel végétal a été récolté en mois de mars a partir d'un champ de région d'El Hamadia wilaya de Bordj Bou Arreridj.



Figure 16 : Carte géographique de la région de récolte (El hammadia).

##### 3.1.2. Préparation et séchage du matériel végétal

###### ❖ Préparation de Biomasserécoltée

Au laboratoire, les feuilles de la coriandre fraîche ont été triées, bien lavées soigneusement avec de l'eau distillée pour se débarrasser de toutes les Impuretés, puis soumises au séchage par étuve à différentes température (40, 60, 80, 100 et 120°C).



Figure 17 : Les différentes étapes de séchage des feuilles de coriandre.

### ❖ Séchage à l'air libre

Les feuilles de la coriandre ont été étalées en plein air pendant 15 Jours jusqu'aux séchages complet des feuilles.



Figure 18 : Photographie de séchage à l'air libre.

### 3.2. Le taux d'humidité:

Pour la détermination du taux d'humidité de coriandre étudiée, 3g d'échantillon de feuilles de coriandre ont été séchés à  $103 \pm 2$  °C à l'étuve; la diminution du poids est suivie par pesée jusqu'à sa stabilisation. Le taux d'humidité est calculé selon la formule suivante:

$$H(\%) = \left( \frac{P_0 - P_f}{P_0} \right) \times 100$$

Avec:

H(%) : Taux d'humidité en pourcentage.

P<sub>0</sub> : Poids de l'échantillon avant mise à l'étuve en gramme.

P<sub>f</sub> : poids de l'échantillon après mise à l'étuve en gramme.

### 3.3. Cinétique de séchage

**3.3.1. Séchage par étuve:** Des échantillons de 3 g ont été séchés par l'étuve à différentes températures (40, 60, 80, 100 et 120 °C). Les cinétiques de Séchage ont été suivies régulièrement jusqu'à la masse constante.

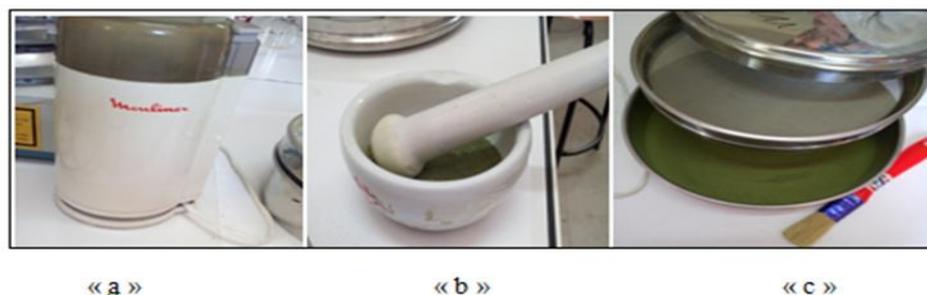


Figure 19 : Photographie de l'étuve et de la balance.

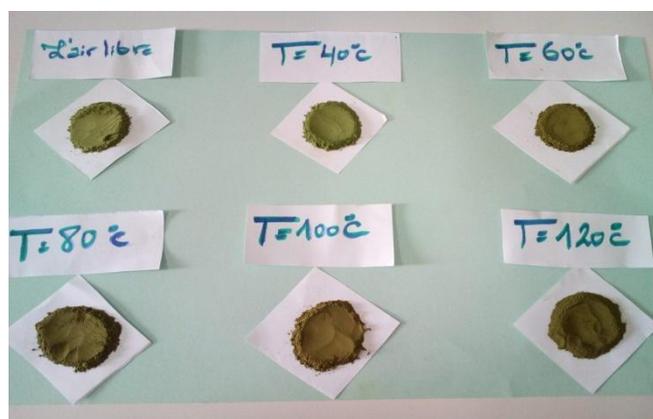
### 3.3.2. Broyage et tamisage

Après obtention d'une masse constante pour les échantillons séchés par étuve, les échantillons ont été broyés à l'aide d'un broyeur électrique. Les poudres ainsi obtenus ont été tamisés à l'aide d'un tamis de diamètre  $125\mu\text{m}$ , pour obtenir des poudres fines et homogènes.

Après broyage et tamisage, les poudres fines ont été conservées dans des boîtes en verre, hermétiquement scellées, à l'abri de la lumière et de l'humidité pour des analyses ultérieures.



**Figure 20** : Photographie de broyeur électrique « a »; Mortier et pilon « b »; Tamis « c ».



**Figure 21** : Photographies des poudres de coriandre obtenues après broyage et tamisage, séchées par l'étuve.

### 3.4. Extraction des substances bioactives

#### 3.4.1. Extraction des composés phénoliques

- **Mode opératoire**

Pour l'extraction des composés phénoliques, une quantité de 0,2 g de la poudre de coriandre est introduite dans un tube à essai, puis 10 ml d'acétone 60% sont ajoutées. Les tubes sont incubés sous agitation dans un bain-marie à température 45°C pendant 100 min. Les extraits sont récupérés après centrifugation à 5000 tpm/10min (George *et al.*, 2005).

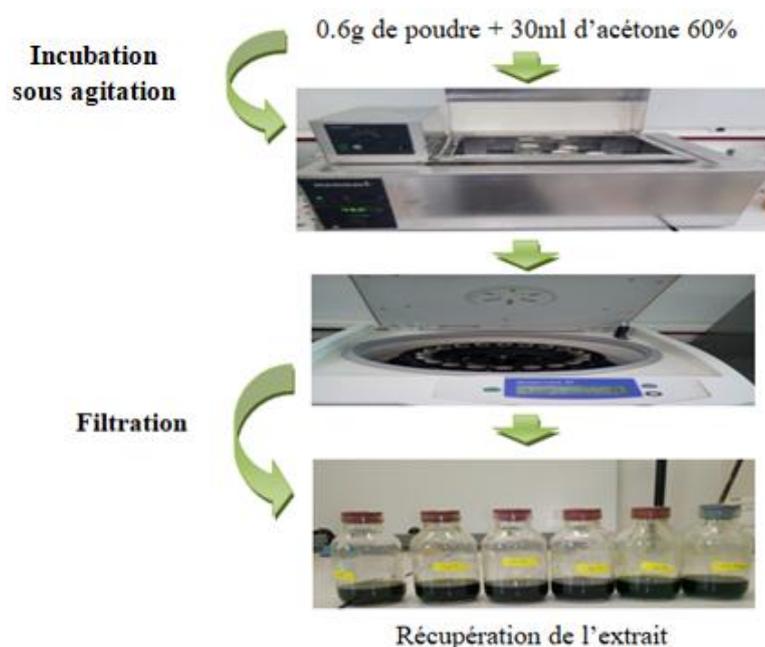


Figure 22 : Protocole de l'extraction des composés phénoliques (George *et al.*, 2005).

### 3.5. Dosage des substances antioxydantes

#### 3.5.1. Polyphénols totaux

- **Principe**

Le dosage des polyphénols totaux est réalisé selon la méthode de (Singleton et Rosi., 1965). Le réactif utilisé est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMO_{12}O_4$ ) de couleur jaune. Le principe de la méthode est basé sur l'oxydation des composés phénoliques par ce réactif, qui entraîne la formation d'un nouveau complexe d'oxydes métalliques de tungstène et de molybdène de couleur bleu. L'intensité de la coloration bleue produite est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans l'extrait.

- **Mode opératoire**

Dans des tubes à essai, un volume de 500 µl d'extrait dilué est ajouté à 2,5 ml du réactif Folin–Ciocalteu (10%), puis un volume de 2 ml de la solution de carbonate de sodium (7,5%) est ajouté après que le mélange ait été laissé à 27 °C dans l'obscurité pendant 2 min. La lecture de l'absorbance est effectuée à une longueur d'onde de 760 nm après 15 min incubation spectrophotomètre UV-Vis (uv mini-1240 ;shimadzu). La teneur en polyphénols est calculée en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée avec de l'acide gallique et les résultats sont exprimées en milligramme équivalent d'acide gallique par gramme de poudre (mg EAG/ g).

### **3.5.2. Flavonoïdes totaux**

- **Principe**

Les flavonoïdes totaux ont été dosés en utilisant l'une de leurs propriétés structurales ; Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner avec le groupement CO, un complexe coloré avec le chlorure d'aluminium. Les flavonoïdes forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux (fer et Aluminium). Ceci traduit le fait que le métal (Al) perd deux électrons pour s'unir à deux atomes d'oxygène de la molécule phénolique agissant comme donneur d'électrons (**Ribereau-Gayon., 1968**).

- **Mode opératoire**

La teneur en flavonoïdes est déterminée selon la méthode de (**khennouf et al., 2010**). Un volume de l'extrait dilué est mélangé avec un volume de chlorures d'Aluminium (AlCl<sub>3</sub>) à 2%, Après 10 min d'incubation à l'obscurité et à température ambiante, l'absorbance est mesurée à 430 nm par un spectrophotomètre UV-visible. Les concentrations des flavonoïdes contenus dans l'extrait ont été calculées en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant la quercétine comme standard et Les résultats sont exprimés en mg d'équivalent quercétine (EQ) par g).

### 3.6. Evaluation de l'activité antioxydante

#### 3.6.1. Activité anti-radicalaire DPPH

- **Principe**

L'activité anti-radicalaire des extraits acétoniques de coriandre a été déterminée en utilisant le radical libre 2,2'-diphényle-1-picrylhydrazyle (DPPH). En effet, les composés à activité anti-radicalaire piègent le DPPH° en lui cédant un atome d'Hydrogène, ce qui conduit à une décoloration qu'on peut suivre par spectrophotométrie à 517 nm (**Popovici et al., 2009**).

- **Mode opératoire**

Le protocole expérimental utilisé est celui de (**Brand-Williams et al., 1995**), qui consiste à mélanger 100 µl de l'extrait acétonique avec 1 ml de la solution méthanolique de DPPH° (60 µM).

La lecture de l'absorbance est faite à 517 nm après 30 mn d'incubation dans l'obscurité. Les résultats sont exprimés en pourcentage de réduction du radical DPPH par rapport à un témoin ne contenant que le solvant d'extraction, selon la formule suivante :

$$\% \text{ réduction DPPH}^\circ = \frac{(\text{Abs}_t - \text{Abs}_e) * 100}{\text{Abs}_t}$$

Abs t : absorbance du témoin contenant l'acétone 60%.

Abs e : absorbance de la solution contenant l'échantillon.

**3.6.2. Pouvoir réducteur**

- **Principe**

Cette méthode est basée sur la capacité des composés réducteurs, à réduire le fer ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ) du ferrocyanure de potassium pour donner du fer ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ). La réaction est révélée par le virement de couleur jaune de ( $\text{Fe}^{3+}$ ) en couleur bleu vert de ( $\text{Fe}^{2+}$ ), l'absorbance est mesurée à 700 nm (**Oyaizu., 1986**).

- **Mode opératoire**

Un millilitre de l'extrait à différentes concentrations est mélangé avec 2,5ml d'une solution tampon phosphate 0,2 M (pH 6,6) et 2,5ml d'une solution de ferricyanure de potassium  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  à 1%. L'ensemble est incubé au bain-marie à 50°C pendant 20 min ensuite, 2.5ml d'acide trichloracétique à 10% sont ajoutés pour stopper la réaction. Les tubes sont centrifugés à 3000 rpm pendant 10min. Un aliquote (2,5ml) de surnageant est combinée avec 2,5ml d'eau distillée et 0,5ml d'une solution aqueuse de  $\text{FeCl}_3$  (Chlorure ferrique). La lecture de l'absorbance du milieu réactionnel se fait à 700 nm contre un blanc semblablement préparé, en remplaçant l'extrait par de l'eau distillée qui permet de calibrer l'appareil (spectrophotomètre UV-VIS). Le contrôle positif est représenté par un standard d'un antioxydant. Une augmentation de l'absorbance correspond à une augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés (**Singleton et Rossi., 1965**).

**3.7. Analyse statistique**

Toutes les résultats obtenues représentent la moyenne de 3 essais. Après vérification des critères de normalité et d'homogénéité à l'aide des tests de KS et Levene respectivement, nous avons utilisé un test d'ANOVA à un facteur avec un test de comparaison multiple (LSD) afin de faire une comparaison entre les différentes catégories de température utilisé pour le séchage des échantillons. Toutes les analyses statistiques sont réalisées à l'aide d'un logiciel SPSS.

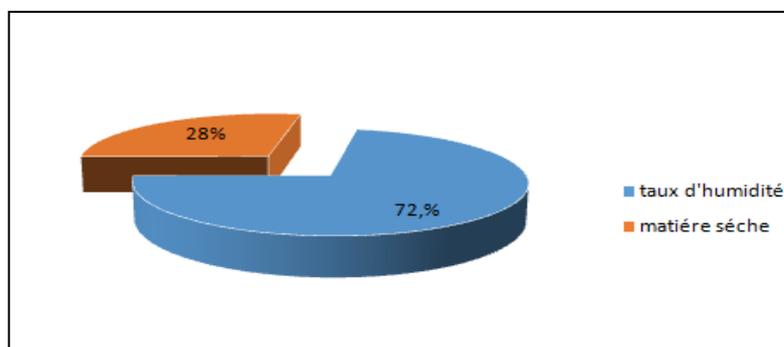
# **Résultats et discussion**

## 4. Résultats et discussion

### 4.1. Evaluation des paramètres physico-chimiques

#### 4.1.1. Le taux d'humidité

La détermination du taux d'humidité des feuilles de coriandre est très importante pour prévoir le rendement après séchage. En effet, le taux d'humidité conditionne les paramètres de conservation de la coriandre pour éviter d'éventuelles pertes économiques et nutritionnelles causées par des altérations microbiennes et/ou des activités enzymatiques des poudres conservés. (La **figure 23**) représente la teneur en eau de la matrice végétale étudiée :



**Figure 23** : Représentation du taux d'humidité des feuilles de coriandre.

#### 4.1.2. L'activité de l'eau ( $a_w$ )

Dans le but d'estimer l'efficacité du séchage en terme de perte en eau ; l'activité de l'eau est déterminées par un  $a_w$  mètre pour différentes poudres obtenues en diverses conditions appliquées. Les résultats ont été présentés dans le tableau I

**Tableau VI** : Teneur en eau et activités de l'eau de poudre de coriandre

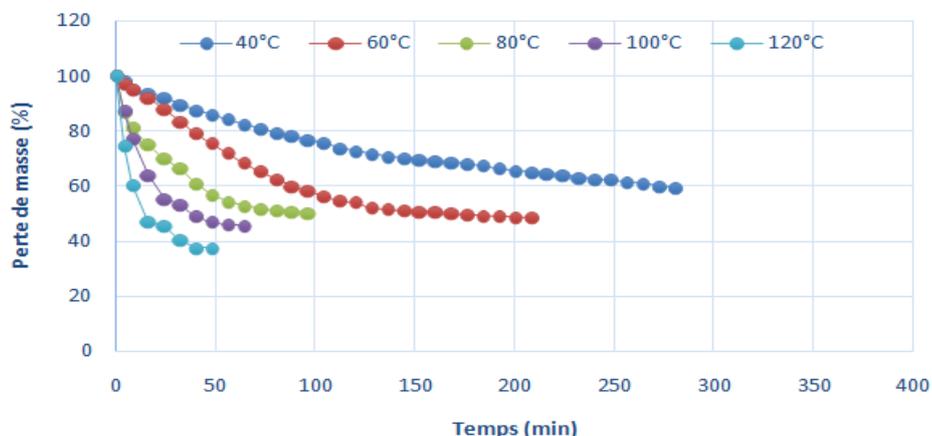
Température (°C)	$a_w$
40	0.256
60	0.289
80	0.217
100	0.207
120	0.198

## 4.2. Cinétique de séchage

Le séchage a une importance majeure pour l'extraction des polyphénols, car les cellules végétales contiennent différents types d'enzymes, susceptibles de provoquer des modifications des composés phénoliques contenus dans le matériel végétal, en particulier des polyphénols-oxydases et des glycosidases. Un taux élevé d'eau, a une grande importance pour l'extraction des polyphénols, car sa présence est un élément gênant du rendement de l'extraction. Cet inconvénient peut être éliminé par un séchage rapide du matériel végétal, aussitôt après sa récolte (**Ribéreau-Gayon., 1968**). Le matériel végétal séché peut être conservé pendant un certain temps sans modifications importantes (**Owen et Johns., 1999**).

Le séchage conventionnel (étuve) est la méthode adoptée dans cette étude, dans le but de comparer les performances des différentes températures.

Pour étudier l'effet du séchage par étuve, cinq températures de 40, 60, 80, 100, 120 ° C ont été utilisées pour sécher la coriandre. Les pertes de poids des échantillons pendant le séchage sont données dans **la figure 24**. Les courbes de séchage ont été préparées sur la base des pertes de poids (%) du produit en fonction du temps.



**Figure 24** : L'évolution de la perte de masse en fonction de couple temps-température du séchage à l'étuve

Les résultats montrent que les températures utilisées affectent la vitesse de perte de masse des feuilles de coriandre pendant le séchage. Il y a une relation inverse entre la température et le temps de séchage ; une augmentation de température entraîne une diminution du temps de séchage, comme le montre **le tableau VII**,

Tableau VII : Séchage les feuilles de coriandre par étuve ventilée

Température de séchage (°C)	Temps de séchage (min)	Perte de poids en (%)
40	264	59.48
60	160	48.52
80	88	50.33
100	72	45.66
120	48	37.62

En effet, à haute température (120°C), la perte en eau est beaucoup plus rapide (48min). Alors qu'à 40 °C, la masse est devenue stable après (264min), donc la vitesse de la perte en eau est très lente par rapport à celle obtenue à 120°C.

Les résultats obtenus montrent que le temps de séchage est inversement proportionnel à la température appliquée.

Ces résultats étaient dans la concordance à ceux rapportés par **Silva et al(2008)** quand ils ont étudié la cinétique de séchage de la feuille et de la tige de coriandre ; en outre, ces auteurs suggérés pour considérer la diffusion en tant qu'étant le mécanisme principal de la migration de l'humidité dans le processus de séchage de la coriandre part.

Des processus de séchage à la période de taux de chute ont été observés par **Silva et al(2005)** et **Krokida et al(2003)**, quand ils ont étudié la cinétique de séchage de la coriandre et d'autre légumes (potiron, carottes, pommes de terre, etc.).

Cependant, **Ahmed et al (2001)** ont étudié le séchage des feuilles de coriandre à l'aide d'un dispositif étuve ventilé à plusieurs températures 45, 50, 55, 60 et 65 ° C et ont enregistré des temps de séchage jusqu'à 4 heures presque similaires à ceux obtenus dans les gammes expérimentales utilisées dans cette étude.

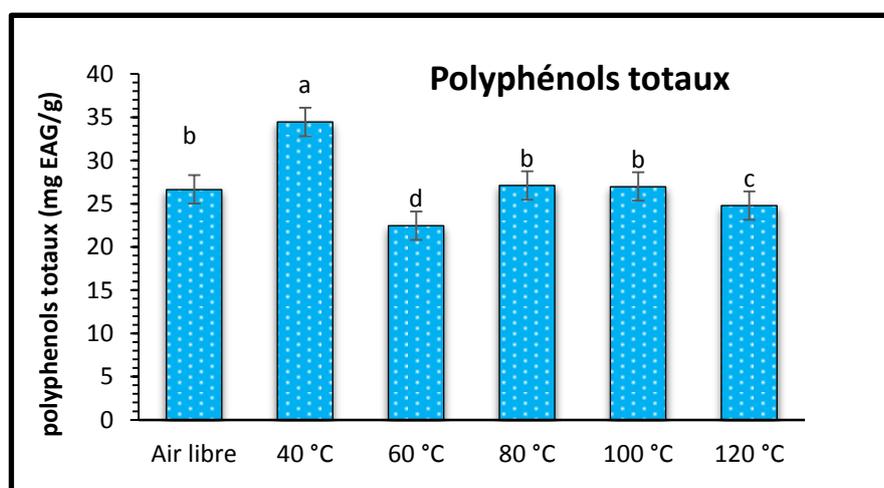
La chaleur causée par l'étuve générée à l'intérieur de l'échantillon fournissait un chauffage rapide et uniforme dans tout le produit, créant ainsi un important différentiel de pression de vapeur entre le centre et la surface du produit et permettant un transport et une évaporation rapides de l'eau(**Varith et al., 2007**).

Varith *et al* (2007) ont également trouvé que le temps de séchage pour le séchage à l'air chaud diminué en augmentant la température. D'autres chercheurs ont trouvé des résultats similaires : Doymaz *et al* (2005) ; et Vega *et al* (2009).

### 4.3. Estimation des substances bioactives

#### 4.3.1. Dosage des polyphénols totaux

Les résultats concernant les polyphénols totaux (PPT) obtenues pour les poudres des feuilles de coriandre sèches dans l'étuve et à l'air libre ont été exprimés en tant qu'équivalents d'acide gallique de milligramme (GAEL) par gramme (G) de poudre.



**Figure 25** : Teneur phénolique totale de l'extrait de feuilles de coriandre séchée à l'étuve et à l'air libre

Les résultats montrent que la teneur en polyphénols totaux varie de 22.47 à 34.46 mg Eq AG/g de MS. En effet, la teneur la plus élevée est attribuée à 40°C, suivi de 100 °C puis 80 et l'air libre. Par contre une faible teneur de 22.47 mg Eq AG/g MS est obtenue à 60°C.

Les résultats obtenus montrent que le séchage à l'étuve donne un meilleur résultat que celle de l'air libre

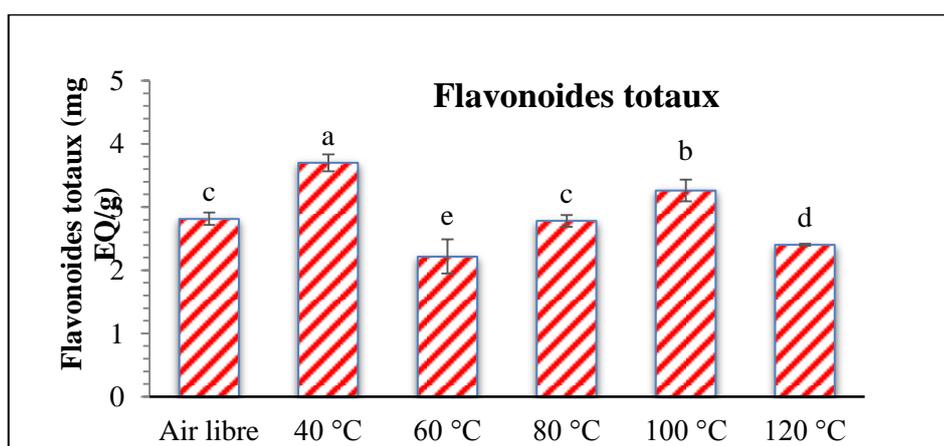
Le séchage des échantillons laisse assurer une meilleure élimination de l'eau, tout en protégeant la composition en polyphénols. En outre, l'eau représente une source de dégradation de composés phénoliques par oxydation enzymatique telle que le polyphenolsoxydase qui modifie leurs structures (Tomas-Barberan *et Espin.*, 2001).

Les faibles teneurs à 60°C en composés phénoliques peuvent être dues à un effet de temps ou la température ou les deux en même temps (Klimczak *et al.*, 2007). L'efficacité d'extraction de ces composés peut être la cause de la différence des résultats (Caliskan *et al.*, 2008). L'efficacité d'extraction est directement liée à la polarité du solvant utilisé (Ouchemoukh *et al.*, 2012).

Lors de traitements à des températures (50-60°C) au cours des transformations industrielles, la structure phénolique des polyphénols peut être dégradée. De plus, les traitements thermiques peuvent conduire à la formation d'o-quinones et d'o-semi-quinones, molécules très réactives qui peuvent réagir avec des groupements nucléophiles des protéines et/ou des polysaccharides (O'Connel *et Fox.*, 1999).

#### 4.3.2. Dosage des flavonoïdes

Les résultats de la contenance en flavonoïdes obtenues pour les différents extraits de poudres de feuille de coriandre séchées par étuve et l'air libre sont présentés dans la figure 26 :



**Figure 26:** La contenance en flavonoïdes des extraits de feuilles de coriandre séchée à l'étuve et l'air libre.

La teneur en composés phénoliques de chaque extrait des feuilles de coriandre ont été calculée à partir de la courbe d'étalonnage et exprimée en grammes équivalent quercétine par gramme de poudre. On remarque d'après tous nos résultats, que les teneurs varient selon le temps de séchage. Le test statistique LSD montre que les extraits présentent des différences significatives ( $p < 0.05$ ).

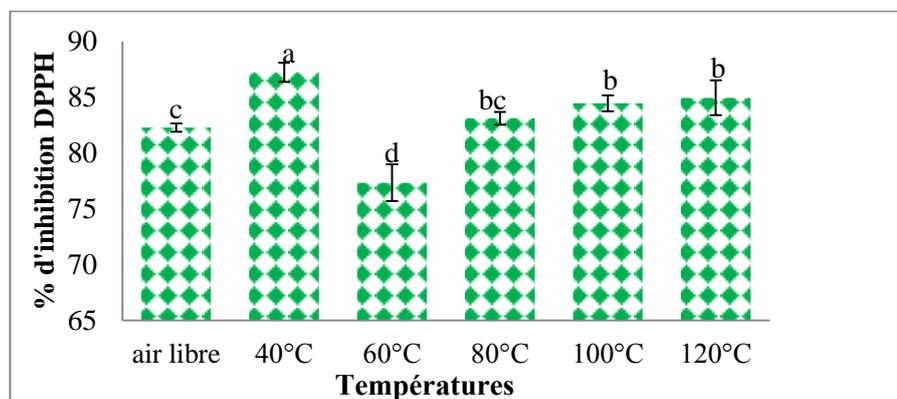
A l'analyse de la **figure 26**, il ressort que la teneur en flavonoïdes est significativement influencée par la température. La teneur en flavonoïdes la plus élevée est 3.7mg Eq AG/g MS, qui est obtenue à la température de séchage de 40 °C, suivi par la température à 100 °C (3.264mg Eq AG/g MS). Par contre, les faibles teneurs sont attribuées aux températures de séchage 120°C (2.402mg EQ/g MS) et de 60 °C (2.217mg Eq AG/g MS). Les résultats obtenus montrent que le séchage à l'étuve donne un meilleur résultat que le séchage à l'air libre.

Selon **Schieber(2001)**, la perte de macromolécules comme les flavonoïdes pendant le traitement thermique peut être dû aux conditions de séchage sévères, en particulier, la température et la durée utilisée .ce qui explique la faible teneur en flavonoïdes au séchage à 120°C.

#### 4.4. Mesure de l'activité antioxydante

##### 4.4.1. Activité anti-DPPH

La capacité de réduction du radical DPPH induite par les antioxydants extraits des coriandres séchées par l'étuve et air libre Les résultats obtenus pour le pourcentage d'inhibition du radical stable DPPH des coriandres séchées par étuve sont illustrée dans la **figure 27** :



**Figure 27** : Activité anti-radical DPPH de feuilles de coriandre séchées à l'étuve et à l'air libre.

La capacité antioxydante des composées phénoliques est associée à la disponibilité de ces derniers, qui agissent en tant que piègeurs des radicaux pour les donneurs d'hydrogène (**Proestos et al., 2013**).

Selon les résultats obtenus, le pouvoir anti radicalaire varie de 77 à 87%. En effet, l'échantillon séché à 40°C présente un pourcentage d'inhibition le plus important avec une valeur de 87%, suivi de 100 et 120 °C avec une valeur de 84.45 et 84.94% respectivement. Par contre, l'échantillon séché à 60 °C présente la plus faible capacité anti oxydante avec une valeur de 77%.

Un extrait possédant un composé phénolique qui contient un grand nombre de groupes hydroxyle a une activité antioxydante élevée (**Arabshahi et al., 2007**). Il a été démontré que les molécules antioxydantes telles que l'acide ascorbique et flavonoïdes réduisent et décolorent le DPPH en raison de leur capacité à céder l'hydrogène (**Kadri et al., 2011**). Comparativement au séchage conventionnel des feuilles de la Mélisse officinale, des résultats de l'activité scavenger au DPPH, l'activité anti-radicalaire la plus élevée est attribuée à l'échantillon séché à 40°C.

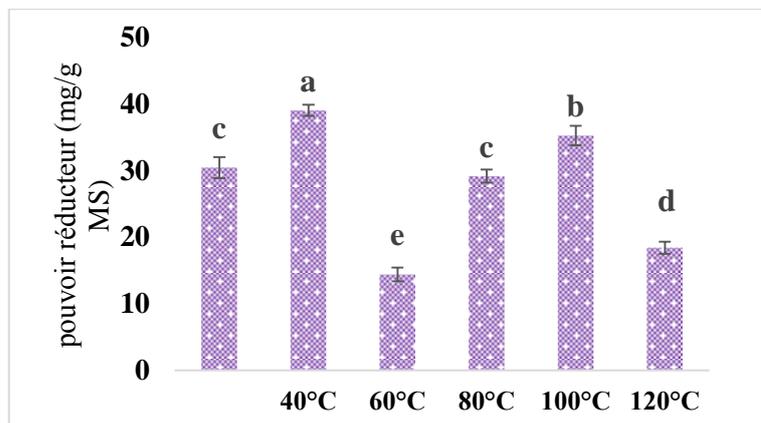
Pour les échantillons séchés à 60°C les activités sont très faibles. La diminution de l'activité antioxydante pour les échantillons qui a subi un traitement thermique est attribuée à la dégradation thermique des composés phénoliques (**Brahmi et al., 2015**). D'autre part, il y a une augmentation du pourcentage d'inhibition observé à la température la plus élevée de 120°C avec 67,02%, qui pourrait être due à la génération et à l'accumulation de mélanoidines dérivées de Maillard ayant un degré d'activité antioxydante variable( propriétés antioxydantes à haute température) (**Miranda et al., 2009**).

Cependant, une étude antérieure a montré que la déshydratation à des températures élevées (à savoir 80 et 90°C) donne une activité antioxydante plus élevée qu'à des températures basses de 50,70 et 60 ° C (**Vega-Gálvez et al., 2009**).

D'après **Oliveira et al(2012)**, l'activité anti-radical DPPH étant fortement corrélée avec le contenu en composés phénoliques totaux et en flavonoïdes, ce qui correspond à nos résultats.

#### 4.4.2. Pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur est l'aptitude d'une substance à transférer un électron ou à donner un atome d'hydrogène. De nombreux auteurs considèrent la capacité réductrice d'un composé comme indicateur significatif de son pouvoir antioxydant (Tepe *et al.*, 2005). Les résultats obtenus pour le pouvoir réducteur sont représentés dans la figure 28 :



**Figure 28** : Le pouvoir réducteur des différents extraits de coriandre séchée à l'étuve et l'air libre.

Les extraits de coriandre étudiée présentent un pouvoir réducteur qui varie de 14.38 à 39.05 mg /g MS. Le pouvoir réducteur le plus intense est obtenu avec l'extrait de coriandre séchée à 40 °C (39.05mg/g MS), suivi de la température 100 °C (35.25 mg/g MS). Cela peut être expliqué par la présence de composés donneurs d'électrons qui entraînent la réduction de  $Fe^{3+}$  en  $Fe^{2+}$ .

Une étude faite par (Brahmi *et al.*, 2015) sur les feuilles de *Melissa officinalis* à différentes températures (Air libre, 40°C, 50°C, 60°C) montre que 40°C donne le meilleurs résultats en pouvoir réducteur, ce qui est concordance avec nos résultats.

La capacité de chélation est très importante parce qu'elle réduit la concentration des métaux des catalyseurs de transition de la peroxydation lipidique. En fait, le fer peut stimuler l'oxydation des lipides par la réaction de Fenton (Elmastas *et al.*, 2006).

# Conclusion

### Coclusion

Depuis longtemps, les épices représentent une part importante de la nourriture humaine. A côté des fibres alimentaires et des vitamines, on a récemment identifié, dans les fruits, légumes et épices, d'autres composés comme les phénols et les flavonoïdes qui pourraient avoir des bénéfices pour la santé (**Groff et Gropper., 2000**).

Au terme de ce travail, les cinétiques de séchage ont été suivies, avec la méthode de l'étuve ventilés (40, 60, 80,100 et 120°C) et l'air libre, afin de comparer les méthodes de séchage et leurs effets sur les substances bioactives. Pour l'évaluation de ces méthodes sur la qualité des feuilles de coriandre séchée, les dosages des polyphénols totaux, les flavonoïdes, activité anti-radical DPPH et pouvoir réducteur, par l'approche plan d'expérience, en utilisant deux variables (temps et température). L'effet de ces deux variables sur les substances bioactive.

L'évaluation des paramètres physico-chimiques des feuilles de coriandre séchée par étuve à 103°C a indiqué que le taux d'humidité de cette matrice végétale est égal à 72% tandis que la matière sèche égale à 28%.

Les résultats de la cinétique de séchage par étuve montrent que plus en augmente la température plus le temps de séchage et réduit. Avec la plus petite température utilisée (40°C), il a fallu 264 min pour stabiliser le poids de 3g d'échantillon frais à 2.07g par contre avec la plus grande température (120°C), il a fallu seulement 48min pour la stabilisation de poids de 3g de feuilles de coriandre à 1.21g.

En outre, la température 40°C a permet d'enregistrer les valeurs optimales 34.46mg, EAG/g MS, 3.7mgEQ/g MS, 87% et 39.05mg EAA/g MS, pour polyphénols totaux, flavonoïde totaux, activité anti-DPPH et pouvoir réducteur, respectivement.

A la lumière de cette investigation, il en ressort que le séchage par étuve à une température de 40°C est la meilleur, d'une part le temps de séchage est plus court par rapport au séchage à l'air libre, et d'autre part en termes de rendement sur la composition des substances bioactives.

Comme perspective, il serait intéressant d'approfondir ce travail par :

- Etudier le séchage par autre méthode (micro onde, Les séchoir solaire)
- Comparer entre les différentes méthodes de séchage.
- Appliquer la modélisation sur le séchage ou autre paramètres.

# **Références bibliographie**

## Références bibliographiques

### A

- **Ahmed J., Shivhare U. S. & Singh G., 2001:** Shorter Communication: Drying Characteristics and Product Quality of Coriander Leaves. *Food and Bioproducts Processing*, **79**,103-106.
- **AlibasOzkan I., Akbudak B. & Akbudak N., 2007:** Microwave drying characteristics of spinach. *Journal of Food Engineering*, **78**, 577–583.
- **Arabshahi D.S., Devi D.V. & Urooj A., 2007:** Evaluation of antioxidant activity of some plant extracts and their heat, pH and storage stability. *Food Chemistry*, **100**:1100-1105.
- **Arunasagar D., Balarama KMV., Rao SV. & Arunachalam J., 2005:** Removal and pre concentration of inorganic and methyl mercury from aqueous media using a sorbent prepared from plant coriander sativum. *J. Hazard Mat.* **118**:133-39.
- **Aust O., Sies H., Stahl W. & Polidori M.C., 2001:** Analysis of lipophilic antioxidants in human serum and Tissues: Tocopherols and carotenoids. *Journal of Chromatography A.* (**963**) :83-93
- **Ayad R., 2008 :** recherche et détermination structurale des métabolites secondaires de l'espèce zygophyllum cornutum, Mémoire magister En Chimie Organique, *université Mentouri Constantine*.p35-39, 40, 47.

### B

- **Balasundram N., Sundram K., Samman S., 2006:** Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products Antioxidant activity, occurrence, and potential and uses. *Food Chem.* **99**:191-203.
- **Barboni T., 2006 :** Contribution de méthodes de la chimie analytique à l'amélioration de la qualité de fruits et à la détermination de mécanismes (EGE) et de risques d'incendie. Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université de Corse, p26.
- **Barros L., Dueñas M., Dias M.I., Sousa M.J., Santos-Buelga C. & Ferreira I.C.F.R., 2012:** Phenolic profiles of in vivo and in vitro grown Coriandrum sativum L. *Food Chemistry*, **132**,841–848.
- **Benaissa O., 2011 :** Etude des métabolismes terpénique et flavonique d'espèces de la famille des composées, genres Chrysanthemum et Rhantherium. Activité Biologique, Thèse Doctorat, université Mentouri Constantine.63p
- **Benalia Y., 2008 :** Valorisation des ressources végétales steppiques par l'étude des huiles essentielles. Cas : Marrubium deserti DeNoé. Mémoire de Magistère, Département de biologie, Faculté des sciences, UFA de Sétif
- **Bimbenet J. J. 1978 :** Le séchage dans les industries agricoles et alimentaires. Dans : Ca. du Gen. Ind. et Ali. *Edition Sepaic, Paris*, 31 p.
- **Bimbenet J. J., Duquenoy A. & Trystram G., 2002:** Génie des procédés alimentaires: des bases aux applications. Dunod.
- **Birlouez E., 2012 :** La quête des épices, moteur de l'histoire, *Phytothérapie*, **10**,74–79.
- **Blade S., 2008:** Coriander. Alberta Agriculture and Rural Development. Agdex 147/20-2.
- **Bonazzi C. & Bimbenet J.J., 2003:** Séchage des produits alimentaires- Principes. Techniques de l'ingénieur, (F 3000), 14.

## Références bibliographiques

- **Booth N.L., Dejan N., Richard B. & Stoci E., 2004:** New lanthanide complexes of 4 methyl 7 hydroxycoumarin and their pharmacological activity. *Clinical Pharmacology and Therapeutics*, p50, 120-123.
- **Bouakaz I., 2006:** Etude phytochimique de la plante *Genista Microcephala*. Mémoire de magister, Batna.
- **Brahmi F., Hauchard D., Guendouze N., Madani K., Kiendrebeogo M., Kamagaju L., Stévigny C., Chibane M. & Duez P., 2015:** Phenolic composition, in vitro antioxidant effects and tyrosinase inhibitory activity of three Algerian *Mentha* species: *M. spicata* (L.), *M. pulegium* (L.) and *M. rotundifolia* (L.) Huds (Lamiaceae). *Industrial Crops and Products*, volume 74, Pages 722–730.
- **Brand-Williams W., Cuvelier M. E. & Berset C., 1995:** Use of free radical method of evaluates antioxidant activity. *LWT*, 28, 25-30.
- **Brindis F., Gonzalez-Andrade M., Gonzalez-Trujano ME & al., 2014:** Postprandial glycaemia and inhibition of  $\alpha$ -glucosidase activity by aqueous extract from *Coriandrum sativum*. *Nat Prod Res* 28 (22) :2021-5.
- **Brinnan G., 2006:** *Food Processing Handbook*. Edition: WILEY-VCH Verlag GMB.KGA. Pp 71-121.
- **Bruneton J., 1999 :** Pharmacognosie et phytochimie des plantes médicinales. 3ème Ed Tec & Doc. Paris pp 101-120.



- **Caliskan O. et Polat A.A., 2008:** Fruit characteristics of fig cultivars and genotypes grown in Turkey. *Scientia Horticulturae*. (115):360-367.
- **Caroline Trudeau., Dt.P., Louise Corneau, Dt.P., M.Sc. ; Iris Gigeux, Dt.P., M.Sc., 2006 :** Nutritionniste, Institut des nutraceutiques et des aliments fonctionnels (INAF), Université Laval.
- **Casetti -Dinescu D .I., Vieira K ., Girard T . M. & van Altena W.F., 2012:** *ApJ*, 753,123.
- Chambre d'Agriculture de la Drôme – S. E. F. – Pôle végétal Filière « Plantes à Parfum, Aromatiques & Médicinales » 2010.
- **Chan A.C., Chow C.K. & Chiu D. 1999:** Interaction of antioxidants and their implication in genetic anemia. *Proc. Soc. Exp. Med.* 222: 274-282.
- **Chithra V. & Leelamma S., 2000:** *Coriandrum sativum*—effect on lipid metabolism in 1,2-dimethyl hydrazine induced colon cancer. *J Ethnopharmacol*; 71:457-63.
- **Cioanca O., Hritcu L., Mihasan M. & al., 2014:** Inhalation of coriander volatile oil increased anxiolytic-antidepressant-like behaviors and decreased oxidative status in beta-amyloid (1-42) rat model of Alzheimer's disease. *Physiol Behav* 131 :68-74.
- **Coste., 1937:** p.165 , tome 2 , *Coriandrum sativum* L .-Taxon 1486 .
- **Cuvelier C., Dotreppe O., Istasse L., 2003.** Chimie, Sources alimentaires et dosage de la vitamine E. *Ann.Med. Vet.* 147 : 315-324.

## Références bibliographiques



### D

- **Dacosta E., 2003** : les phytonutriments bioactifs. *Yves Dacosta (Ed). Paris, 317p.*
- **Daudin J. D., 1983** : Calcul des cinétiques de séchage par l'air chaud des produits biologiques solides. *Sciences des Aliments, 14 (10), 1-36*
- **Deepa B. & Anuradha C.V., 2011**: Antioxidant potential of *coriander sativum L* seed extract. *J. Exp. Biol.* **49**:30-38.
- **Deina M., Rosa A., Casu V., Cottiglia F. & Bonsignore L. 2003**: Natural product: their chemistry and biological significance. *Journal of the American Oil Chemistry Society.* **80**:65-70.
- **Delporte G., Mascolo N., Izzo A. A. & Al., 1999** : *Life. Scien, 65(4), 337-53.*
- **Diederichsen A. & K Hammer., 1994**: Vielfalt von Koriander im Weltsortiment der Genbank Gatersleben - Diversity of coriander in the Gatersleben Genebank. *Drogenreport* **7**:13-17.
- **Diederichsen A., 1996**:-Coriander *Coriandrum sativum L.* Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops, 3, Gatersleben, Rome Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, *International Plant Genetic Resources Institute*, 83p.
- **Diederichsen., 1996**: Origin of the species and centres of diversity, p.19-21.
- **Dikbasan T., 2007**: Determination of effective parameters for drying of apples. Master of Science Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology.
- **Djerroud D., 2010** : Modélisation markovienne du séchage continu par contact avec agitation ; l'université de toulouse. thèse de doctorat en génie des procédés et de l'environnement de l'université de toulouse. 166p.
- **Doymaz İ., 2005**: "Drying characteristics and kinetics of okra", *J. Food Eng., 69, 275-279.*



### E

- **Edenharder R. & Grünhage D., 2003**: Free radical scavenging abilities of flavonoids as mechanism of protection against mutagenicity induced by tert-butyl hydroperoxide or cumene hydroperoxide in *Salmonella typhimurium* TA102. *Mutat. Res.* p540, 1-18.
- **Elmastas M., Gulcin I., Isildak O., Kufriyeoglu I.O., Ibaoglu K. & Enein A.H.Y., 2006**: Radical scavenging activity and antioxidant activity of Bay leaf extracts. *Journal of Iranian Chemical Society, 3*:258-266.



### F

- **FAO**: Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2016 : programmes mixte FOA/OMS sur les normes alimentaires. Comité du Codex pour les épices et les herbes culinaires (3ème session, Chennai Inde 6-10/02/2017) Cx/Sch 2016.
- **Fiorucci S., 2008** : Activités biologiques de composés de la famille des flavonoïdes: approches par des méthodes de chimie quantique et de dynamique moléculaire. Thèse de doctorat. Nice, p 211.

## Références bibliographiques

- **Ford R.A., Hawkins D.R. & Mayo B.C., 2001:** The in vitro dermal absorption and metabolism of coumarin by rats and by human volunteers under simulated conditions of use in fragrances. *Food and Chemical Toxicology*. **39**: 153 -162.



- **George S., Brat P., Alte P. & Amiot M. J., 2005:** Rapid Determination of Polyphenols and Vitamin C in Plant-Derived Products. *J. Agric. Food Chem.*, **53**, 1370-1373.
- **Ghedira K. & Goetz P., 2015:** Coriandrum sativum L. (Apiaceae): Coriandre. Lavoisier SAS 2015. *Phytothérapie* (2015) **13** :130-134.
- **Ghestem A; Seguin E; Paris M. & Orecchioni A.M., 2001:** Le préparateur en pharmacie. Dossier 2, Botanique-Pharmacognosie-Phytothérapie-homeopathie. *Tec et Doc (Ed)*, p 272
- **Groff J.L. & Gropper S S., 2000:** Advanced nutrition and human metabolism. *3rd edn, Wadsworth Thomson Learning, Belmont.*
- **Guersson N., 2004 :** Les nouvelles mesures en matière de réglementation : l'étiquetage des denrées alimentaires.



- **Havsteen B.H., 2002:** The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacol. Therapeut.* p96, 67– 202.
- **Hopkins W. G., 2003 :** Physiologie végétale. 2 280. édition. *Edition de Boeck Université*, p268.
- **Hossain M.A., Bala B.K. & Satter M.A 2003:** Simulation of natural air drying of maize in cribs. *Simulation Modelling Practice and Theory*, **11 (7-8)** :571-583.
- **Huang H., Li T., Tian S., Gupta D.K., Zhang X. & Yang X., 2008:** Role of EDTA in alleviating lead toxicity in accumulator species of *Sedum alfredii*. *Bioresour. Technol.* **99** :6088-6096.
- **Hurst W. J., 2008:** Methods of analysis for functional foods and nutraceuticals, *CRC Press.*



- **Jayaraman K.S. & Gupta D.K.D., 2006:** Drying of fruits and vegetables. In Handbook of industrial drying, ed. by Arun S. Mujumdar, 606-631 CRC Press.
- **Jean L-C., 2002 :** Printemps des sciences, L'Energie Sous Toutes Ses Formes. Les Microondes
- **Jean V., 2009:** Séchage principes et calcul d'appareils Séchage convectif par air chaud. Technique de l'ingénieur Opérations unitaires : évaporation et séchage, base documentaire :TIB316DUO (ref.article :j2451)
- **Jean V., 2011:** Séchage industriel : principes et calcul d'appareils Autres modes de séchage que l'air chaud (Partie1). Technique de l'ingénieur Opérations unitaires : évaporation et séchage, base documentaire :TIB430DUO.(ref.article :j2451).

## Références bibliographiques

- **Jean-Jacques B. & Catherine B., 2003:** Séchage des produits alimentaires Principes. Techniques de l'ingénieur Opérations unitaires du génie industriel alimentaire, base documentaire :TIB430DUO(ref.article :f3000).
- **Jourdan A.J.L., 1840 :** Pharmacopée universelle : ou, Conspectus des pharmacopées d'Amsterdam, Anvers...des dispensaires, de Brunswick, de Fulde...des pharmacopées militaires de Danemark, de France, de Prusse...des formulaires et pharmacopées d'Ammon, Augustin..., **vol.1**, Paris, *J.B.Baillière* , 2<sup>e</sup>ed.(1<sup>re</sup> ed.1828),p.545 s.v.Coriandre



- **Kadri A., Zarai Z., Békir A., Gharsallah N., Damak M. & Gdoura R., 2011 :** Chemical composition and antioxidant activity of *Marrubium vulgare* L. Essential oil from Tunisia *African Journal of Biotechnology* **Vol. 10**, pp. 3908-3914.
- **Kandlakunta B., Rajendran A. & Thingnganing L., 2008:** Carotene content of some common (cereals, pulses, vegetables, spices and condiments) and unconventional sources of plant origin *Food Chemistry*, **106**, pp. 85-89
- **Kansal L., Sharma A. & Lodi S., 2012:** Remedial effect of *Coriandrum sativum* (coriander) extracts on lead induced oxidative damage in soft tissues of Swiss albino mice. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Science* . **Vol 4**, ISSN-0975-1491.
- **Khare C.P., 2007:** Indian Medicinal Plants. An Illustrated Dictionary, *Heidelberg*, 164.
- **Khenouf S., Iratni N., Baghiani A., Harzallah D. & Arrar L., 2010:** Antioxidant and antibacterial activities of extracts from *Artemisia herba alba* Asso. leaves and some phenolic compounds. *Journal of Medicinal Plants Research* **4(3)** :p.1273-1280.
- **Klimczak I., Malecka M., Szlachta M. & Anna Gliszczynska-Swiglo., 2007:** Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices. *Journal of Food Composition and Analysis* **20**, 313–322.
- **Krinsky N.I. & Johnson E.J., 2005:** Carotenoid action and their relation to health and disease. *Molecular Aspects of Medicine*. **26(6)**: 459-416.
- **Krokida M. K., Karathanos V. T., Maroulis Z. B., & Marinou-Kouris D., 2003:** Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food Engineering* **59**, 391-403.
- **Kubo M., Sakio H., Shimano K. & Ohno, K., 2004:** Factors influencing seedling emergence and survival in *Cercidiphyllum japonicum*. *Folia Geobotanica* **39**, 225-234.



- **Lalas S., Athanasiadis V., Gortzi O., Bounitsi M., Giovanoudis I., Tsaknis J. & Bogiatzis F., 2011:** Enrichment of table olives with polyphenols extracted from olive leaf. *Food Technology*, **27**: 442-449.
- **Lebham., 2005 :** Thèse au laboratoire d'Ecophysiologie et de Biotechnologie des Halophytes et des Algues au sein de l'Institut Universitaire Européen de la Mer. (IVEM). Université de Bretagne Occidentale (UBO).

## Références bibliographiques

- **Lugasi A., Hovari J., Sagi K.V. & Biro L., 2003.** The role of antioxidant phytonutriments in the prevention of diseases. *Acta. BiologicaSzegedensis***1-4**: 119-125.



- **Mahendra P. & Bisht S., 2011 :** Anti-anxiety activity of *Coriandrum sativum* assessed using different experimental anxiety models. *J. Pharmacol.* **43(5)**:574-577.
- **Malecky M., 2005 :** Métabolisme des terpénoïdes chez les caprins, thèse Pour obtenir le grade de docteur de l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, *Agro Paris Tech.* p 9, 13-19, 20, 27.
- **Maskan M., 2001:** Drying, Shrinkage and rehydration characteristics of Kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering.* (**48**): 177-182.
- **Mathavi V., Sujatha G., S-B Ramya. & Karthika B.M., 2013:** Food Technology and Assistant Professor, College of Food and Dairy Technology. New trends in food processing. *International Journal of Advances in Engineering and Technology.* India **5(2)**:176-187.
- **Mathias M.E., 1994:** « Magic , myth and medicine » , *Econ .Bot* ;**48** :3-7.
- **Medic Sanic M., Jasprica I., SmolicBubalo A. & Mornar A., 2004:** Optimization of chromatographic conditions in thin layer chromatography of flavonoides and phenolic acids, *CroatiaChemicaActa*, p 361-366
- **Mikula S., 1992 :** Mise au point d'un pilote micro-ondes multifonction en vue d'un sechage d'algues alimentaires. *Valorisation des produits de la pêche.* 45 p.
- **Miranda M., Maureira H., Rodriguez K. & Vega-Gálvez A., 2009 :** Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (*Aloe Barbadosis* Miller) gel. *Journal of Food Engineering*, **91**, 297–304.
- **Mokkedem A., 1988 :** Ann.InstNat.Agro.El-Harrach Actuelle des plantes condimentaire en algerie de recherche et developement, **vol.12(1)**, T.2,P.584
- **Momin, IJPSR., 2012 :** Tome 3 (5) :1233-1239 ISSN :0975-8232 Disponible en ligne sur [www.ijpsr.com](http://www.ijpsr.com)1233
- **Mujumdar Arun.S., 2006:** Principles, classification, and selection of dryers. In Handbook of Industrial Drying, edArun S. Mujumdar, 4-31. *CRC Press.*



- **Nicol M. & Maudet M., 2000 :** "Caroténoïdes et vitamine A. Actualités." *Oléagineux, Corps gras, Lipides***7(3)**: 266-270.
- **Nout R., Hounhouigan J. & Boekel T.V., 2003:** Les aliments transformations conservations et qualités. 263p.

## Références bibliographiques



### O

- **O'Connell J.E. & Fox P.F., 1999:** Proposed mechanism for the effect of polyphenols on the heat stability of milk. *International Dairy Journal* **9** (8), 523–536.
- **Okos M.R., Narsimhan G., Singh R.K. & Witnauer A.C., 1992:** Food dehydration. In D.R.Heldmen & D.B.Lund (Eds.), *Hanbouk of food Engineering*. New York : Marcel Dekker.
- **Otto W. & Thome F., :1885** von Deutschland, Osterreich und der Schiweiz.
- **Oliveira A.P., Baptista P., Andrade P.B., Martins F. & Pereira J.A., 2012 :** Characterization of ficus carica L. cultivars by DNA and secondray metabolite analysis : is genetic diversity reflected in the chemical composition . *Food Research International*. **(49)**: 710-719.
- **Opara E.C., 2002:** Oxidative stress, micronutrients, diabetes melitus, and its complication .*J.R. Soc. Health*. **122**: 28-34.
- **Oteng G. K., 1984:** Introduction à la microbiologie alimentaire dans les pays chauds. *Edition: Technique et Documentation, Lavoisier. Paris*. Page 79.
- **Owen P.L. & Johns T., 1999:** Xanthine oxidase inhibitory activity of northeastern north American plant remedies used for gout. *Journal of Ethnopharmacology*. **64**: 149-160
- **Oyaizu M., 1986:** Studies on product of browning reaction prepared from glucose amine. *Japanese Journal of Nutrition*, **44**, 307–315.



### P

- **Pennock J.F., Hemming F.M., Kerr J.D., 1964.** A reassessment of tocopherol chemistry. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **17**: 542-548.
- **Perkin R. M., 1980:** The heat and mass transfer characteristics of boiling point drying using radio frequency and microwave electromagnetic fields. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **23(5)**, 687-695.
- **Peter Y., Wong Y., David D. & Kitts., 2006:** « Studies on the dual antioxidant and extracts ». *Food Chemistry*. Vol .**97**.no 3. pp 505-515. *Pharmacology and Therapeutics*. **96**: 67-202.
- **Piga A., Pinna I., Ozer .K.B., Mario Agabbio M. & Akosoy U., 2004:** Hot air dehydration of figs drying kinetics and quality loss. *International Journal of Food Science and Technology*. **(39)** :793-799.
- **Popovici C., Saykova I. & Tylkowski B., 2009 :** Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de génie industriel*. **4** : 25-39.
- **Pousset JI., 1989 :** Plantes médicinales africaines. *Edition Ellipses*.
- **Proestos C., Lytoudi k., Mavromelanidou o.k., Zoumpoulakis P. & Sinanoglou V.J., 2013:** Antioxidant Capacity of Selected Plant Extracts and Their Essential Oils. *Antioxidants*, **2**, 1122.



### R

- **Ramboatiana F., 2010 :** Contribution de l'utilisation de fruits séchés comme support de remèdes homéopathiques : cas de la purée de papaye séchée. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome Option Industries Agricoles et Alimentaires.
- **Rao A.V. & Rao L.G., 2007:** Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*. **(55)**: 207-216.

## Références bibliographiques

- **Rattanachaikunsopon P. & Phumkhachorn P., 2010:** Potential of coriander (*Coriandrum sativum*) oil as a natural antimicrobial compound in controlling *Campylobacter jejuni* in raw meat. *J. Biosci. Biotechnol. Biochem.* **74** (1):31-35.
- **Ratti C., 2009:** *Advances in food dehydration*. CRC Press, United States; 488 p.
- **Ribereau-Gayon., 1968 :** Notions générales sur les composés phénoliques. In « Les composés phénoliques des végétaux ». *Paris. Ed Dunod:* 1-27.



- **Sarni-Manchado P. & Cheyner V., 2006 :** Les polyphénols en agroalimentaire. *Ed Tec et Doc Lavoisier.* pp : 02-11.
- **Schieber A., Keller P. & Carle R., 2001:** Determination of phenolic acids and flavonoids of apple and pear by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A* **910**: 265-273.
- **Silva A. S., Almeida F. A. C., Gouveia J. P. G. & Lima E. E., 2005 :** Cinética de secagem das folhas do coentro variedade verão, p 4. En XXXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Canoas, Anais.
- **Silva S. F. De Almeida A. C., E. E. Lima F. L., Silva H., J. P., 2008 :** Gomes Drying kinetics of coriander (*Coriandrum sativum*) leaf and stem *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, **vol. 6**, núm. 1, 2008, pp. 13-19, Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos México.
- **Singleton V.L. & Rossi J.A.JR., 1965:** Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, **16**, 144-158.



- **Tepe B., Daferera D., Sokmen A., Sokmen M. & Polissiou M., 2005:** Antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and various extracts of *Salvia tomentosa* Miller Lamiaceae. *Food chemistry* **90**:333-340.
- **Tomas-Barberan F. & Espin J.C., 2001:** Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality of fruits and vegetables, *J. Sci. Food and Agric.*, **81**: 853-876.



- **USDA National Nutrient Database for Standard Reference Release 26 Full Report (All Nutrients) Nutrient data for 2013, Spices, coriander seed.**



- **Varith J., Dijkanarukkul P., Achariyaviriya A. & Achariyaviriya S., 2007:** “Combined microwave hot air drying of peeled longan”, *J. Food Eng.*, **81**, 459-468.
- **Vasseur J : 2009 :** "Séchage : principe et calcul d'appareils : séchage convectif par air chaud (partie 1)." *Technique de l'ingénieur: Génie des procédés*, (J2451).

## Références bibliographiques

- **Vega-Gálvez A., Scala K.D., Rodríguez K., Lemus-Mondaca R., Miranda M. & Perez Won P., 2009:** Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian).. *Food Chemistry* 117,647–653.
- **Verdier N.A., Sadat A.W., Clément D.A., Emmanuel N.A. & Georges N.A., 2016 :** Impact of Solar and Microwave Oven Drying on A Few Chemical Parameters of Market Value Quality of Fermented Forastero (*Theobroma Cacao* L.). *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* **12(4)**: 402-406.
- **Vernier P., 1987:** Principles of dehydration of food and its contribution in the amelioration of the conception of dryers. *Food Sci. and Technol.*, **Vol 9**, 5, 213-225



- **Walingo M., 2005:** Role of vitamin C (ascorbic acid) on human health. *African journal of Food Agriculture and Nutritional Development*. **5**: 11-14..
- **Wichtl M. & Anton R., 2003 :** Plantes thérapeutiques, tradition, pratique officinale, science et thérapeutique. 2<sup>e</sup> édition, EM Inter/Tec & Doc éditions, Paris, pp 135-7.
- **Wong PYY. & Kitts D.D., 2006:** Studies on the dual antioxidant and antibacterial properties of parsley (*Petroselinum crispum* L) and cilantro (*Coriandrum sativum* L) extracts. *Food Chemistry*; 97.



- **Zohary Hopf., 2000:** Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Physio.* **49**: 43-668.

# **Annexes**

# Matériels utilisés

## 1. Appareillage

- Balance de précision (kern Als220-4N(max220g,d=0.1mg))
- Broyeur électrique
- Etuve ventilée de la marque memert
- Tamiseur (filtra vibracion, Aperture 0.2/diamètre 200)
- Spectrophotomètre
- pH mètre WTW (pH 730)
- Centrifugeuse
- Bain marie

## 2. Produits chimiques

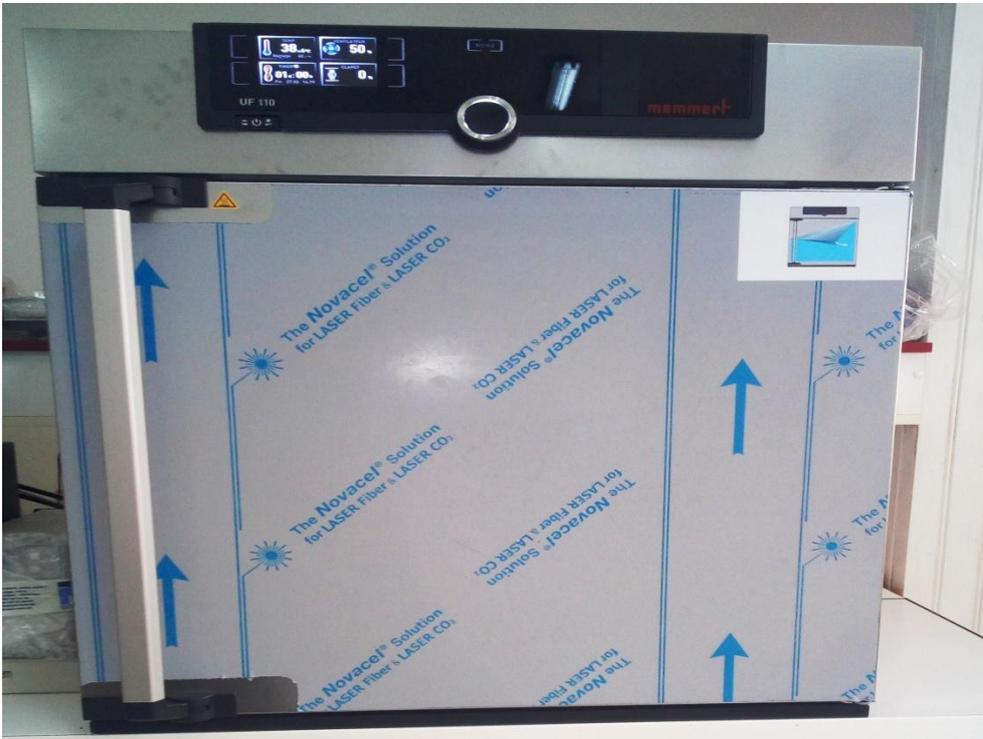
- Acétone
- Acide gallique
- Carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) (SIGMA-ALDRICH)
- Folin-ciocalteu (PROLABO)
- Chlorure d'aluminium ( $\text{AlCl}_3$ ) (SIGMA-ALDRICH)
- Méthanol (PROLABO)
- Chlorure de potassium (KCl).
- Acétate de sodium ( $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) (BIOCHEM Chemopharma)
- Tampon phosphate
- Ferricyanide de potassium ( $\text{K}^+$ ) (SIGMA-ALDRICH)
- Chlorure de fer ( $\text{FeCl}_3$ ) (BIOCHEM Chemopharma)
- DPPH (SIGMA-ALDRICH)
- TCA (SIGMA-ALDRICH)
- Acide ascorbique
- Quercétine



Balance de précision



Broyeur électrique



Etuve ventilée.



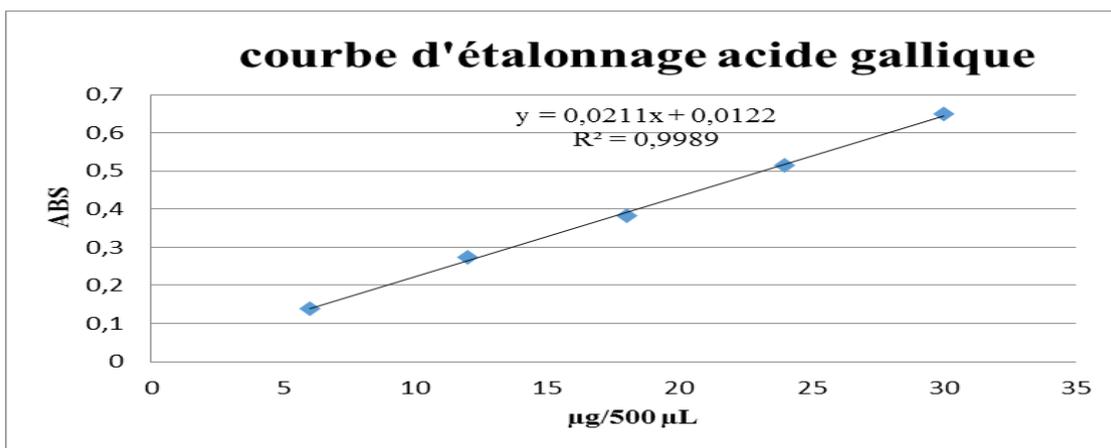
Bain Marie



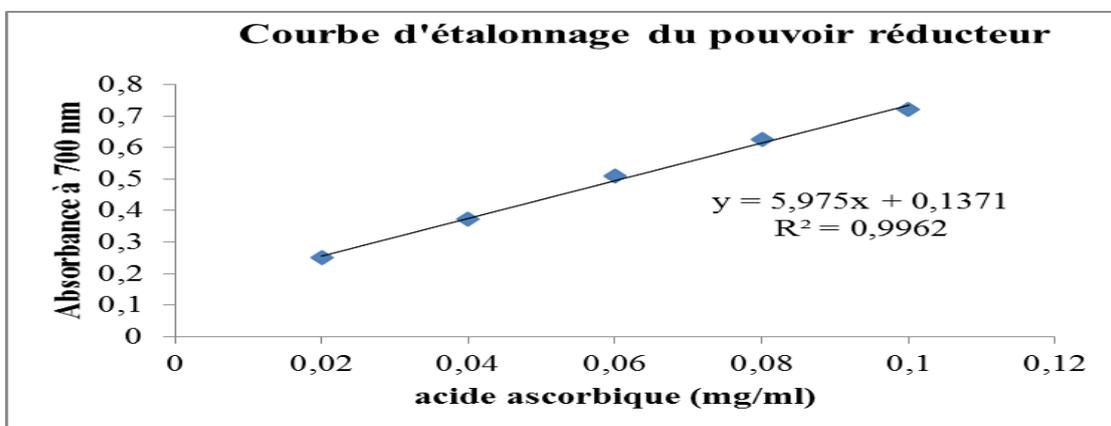
Centrifugeuse



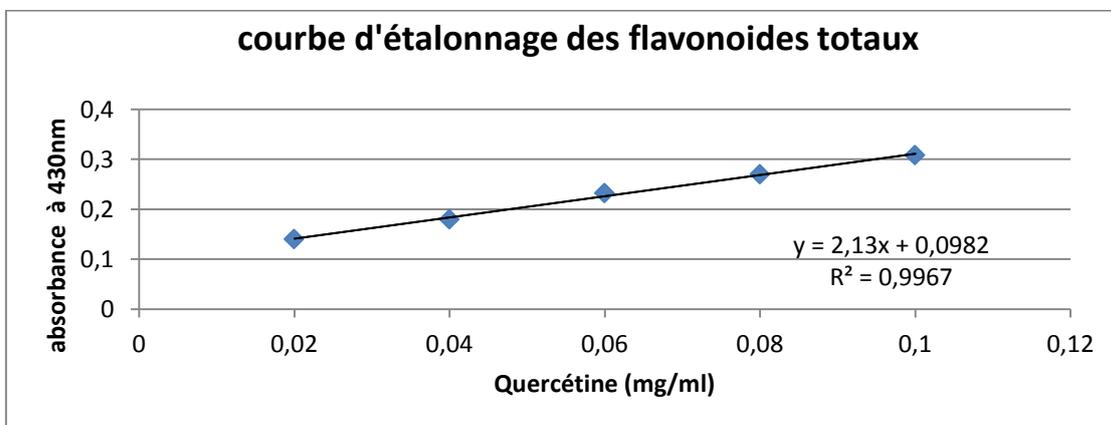
pH mètre WTW



Courbe d'étalonnage acide gallique



Courbe d'étalonnage du pouvoir réducteur



Courbe d'étalonnage des flavonoïdes totaux