

République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة أبو بكر بلقايد – تلمسان  
Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMEN  
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  
Département Biologie



## MÉMOIRE

Présenté par

**M<sup>elle</sup> SAYAH Amina & M<sup>elle</sup> LEMRINI Wassila**

*En vue de l'obtention du*

**Diplôme de MASTER**

En **Biologie de la nutrition**

**Thème**

**Etude phytochimique et recherche d'activité antioxydante  
des épices utilisées dans la région de Tlemcen**

Soutenu le 07/07/2021, devant le jury composé de :

<b>Président</b>	<b>LOUKIDI Bouchera</b>	<b>MCA</b>	<b>Univ. Tlemcen</b>
<b>Encadrant</b>	<b>AZZI Rachid</b>	<b>Professeur</b>	<b>Univ. Tlemcen</b>
<b>Examinatrice</b>	<b>SAKER Meriem</b>	<b>Professeur</b>	<b>Univ. Tlemcen</b>

**Année universitaire 2020/2021**



## Dédicace

*Je m'incline devant Dieu le tout puissant qui m'a ouvert la porte du savoir  
et m'a aidé la franchir.*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents, pour leur endurance et leurs sacrifices sans limites*

*Mes frères et sœurs, en reconnaissance de leur affection toujours  
constante*

*Tous mes proches*

*Mes amis, Mes camarades de promotion*

*Tous mes enseignants surtout pour encadrement, et tous ceux qui m'ont  
aidé à la réalisation de ce mémoire*

**Amina**





# Dédicace

*J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail*

*A ma très chère mère qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui  
n'a jamais Cesser de prier pour moi*

*A mon très chère père, pour ces encouragements, son soutien, son amour  
et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études*

*A mes frères et mes sœurs Rekia, Malika*

*A mes meilleurs amis : Mohammed, Khalil, Meriem, Sarah et mes chères  
collègues et tout ce qui m'ont aidé à compiler ce modeste travail*

**Wassila**



# Remerciements

*On remercie Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté pour réaliser et accomplir ce modeste travail.*

*Nous tenons particulièrement à remercier notre promoteur PR AZZI Rachid, Professeur à la faculté des sciences de la nature et de la vie, sciences de la terre et de l'univers, université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, pour qui nous a fait l'honneur de réaliser ce travail sous sa direction par excellence. Nous tenons à le remercier aussi pour la liberté qu'il nous a donné et la grande confiance qu'il nous a fait dès le début jusqu'à la fin du travail, pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, ses conseils bienveillants, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*J'adresse mes sincères remerciements à Mme Loukidi Bouchra maitre de conférences classe A à la faculté des sciences de la nature et de la vie, sciences de la terre et de l'univers, université Abou Bekr Belkaid Tlemcen pour avoir acceptée de présider le jury.*

*J'adresse mes sincères remerciements à Mme SAKER Meriem, Professeur à faculté des sciences de la nature et de la vie, sciences de la terre et de l'univers, université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, pour avoir acceptée de juger ce modeste travail.*

*Nos remerciements s'adressent également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles.*

*Un grand respect et un grand remerciement à toutes les personnes qui ont participé par leur disponibilité, leur gentillesse, leur aide chaque jour.*

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau 01</b> : Classification de quelques épices .....	08
<b>Tableau 02</b> : Effets biologiques des principales épices .....	11
<b>Tableau 03</b> : Composition chimique de diverses épices .....	12
<b>Tableau 04</b> : Différentes appellations de curcuma .....	17
<b>Tableau 05</b> : Valeurs nutritionnelles et énergétique du <i>Curcuma Longa</i> L .....	19
<b>Tableau 06</b> : Composition en nutriments du piment rouge .....	29
<b>Tableau 07</b> : Principaux constituants chimiques du paprika.....	30
<b>Tableau 08</b> : quelques activités biologiques des familles des composés phénoliques .....	36
<b>Tableau 09</b> : Caractéristiques de chaque extrait préparé de trois épices étudiés .....	58
<b>Tableau 10</b> : Résultats des tests phytochimiques des extraits préparés .....	59
<b>Tableau 11</b> : La moyenne des teneurs en polyphénols totaux des extraits des rhizomes <i>C. longa</i> , fruits <i>C.annum</i> et stigmatés <i>C. sativus</i> .....	61
<b>Tableau 12</b> : La moyenne des teneurs en flavonoïdes des extraits des rhizomes <i>C. longa</i> , fruits <i>C.annum</i> et stigmatés <i>C. sativus</i> .....	61
<b>Tableau 13</b> : Valeurs des CI50 de l'acide ascorbique et les différents extraits hydrométhanoliques des rhizomes de <i>C. longa</i> , fruits de <i>C. annum</i> et stigmatés de <i>C. sativus</i> .....	63

## *Liste des Figures*

<b>Figure 1</b> : Aspect de quelques épices .....	06
<b>Figure 2</b> : Rhizome, tranches et poudre de curcuma .....	15
<b>Figure 3</b> : Illustrations de <i>Curcuma Longa</i> .....	18
<b>Figure 4</b> : Etapes de l'obtention de l'épice du Safran .....	21
<b>Figure 5</b> : La fleur du <i>Crocus sativus</i> .....	23
<b>Figure 6</b> : Plante <i>Capsicum annuum</i> .....	28
<b>Figure 7</b> : Fruits de <i>Capsicum annuum</i> .....	28
<b>Figure 8</b> : Coupe longitudinale d'un piment .....	28
<b>Figure 9</b> : Structure du noyau phénol .....	32
<b>Figure10</b> : Structure de base de flavonoïdes .....	33
<b>Figure 11</b> : Structure de base de coumarine .....	34
<b>Figure 12</b> : Exemples des classes des alcaloïdes .....	35
<b>Figure 13</b> : Structure de la molécule d'isoprène .....	35
<b>Figure 14</b> : Déséquilibre de la balance entre pro-oxydants et antioxydants .....	39
<b>Figure 15</b> : Origine extra- et intracellulaire des radicaux libres oxygénés .....	40
<b>Figure 16</b> : Origine des différents radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène ....	41
<b>Figure 17</b> : Forme radicalaire et réduite du DPPH .....	55

## *Liste des abréviations*

- ❖ **ABTS** : Acide 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonique)
- ❖ **ADN** : Acide désoxyribonucléique
- ❖ **AFNOR** : Association française de normalisation
- ❖ **DPPH** : 2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl
- ❖ **E100** : curcumine
- ❖ **ERA** : Espèces réactives de l'azote
- ❖ **ERO** : Espèces réactives de l'oxygène
- ❖ **HCL** : Acide chlorhydrique
- ❖ **HDL** : Lipoprotéines de haute densité
- ❖ **JC** : Jésus-Christ
- ❖ **Kcal** : Kilocalorie
- ❖ **LDL** : Lipoprotéines de faible densité
- ❖ **P-450**: Cytochrome P-450
- ❖ **RL** : Radical libre
- ❖ **RLO** : Radicaux libres de l'oxygène
- ❖ **µg Eq AG /mg ES** : Microgramme Equivalent D'acide Gallique Par Milligramme D'extrait Sec.
- ❖ **µg Eq C / mg ES** : Microgramme Equivalent Catéchine Par Milligramme D'extrait Sec.
- ❖ **UV** : Ultra-violet
- ❖ **W<sub>8</sub>O<sub>23</sub>** : Oxyde bleu de tungstène
- ❖ **XO** : xanthine oxydase

## *Table de Matières*

Dédicaces	
Remerciements	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction .....	01

### *Première partie : Synthèse bibliographique*

#### *Chapitre I : généralités sur les épices*

1. Définition des épices .....	06
2. Historique des épices .....	07
3. Classification des épices .....	07
4. Utilisations des épices .....	09
4.1. Utilisation culinaire et nutritionnelle .....	09
4.2. Utilisation thérapeutique .....	10
4.3. Utilisation cosmétique .....	11
5. Epices, aromates et condiments .....	12
6. Composition chimique des épices .....	12
7. Les épices en Algérie .....	13

#### *Chapitre II : Epices étudiées*

1. Curcuma ( <i>Curcuma longa</i> L) .....	15
1.1. Définition .....	15
1.2. Historique .....	16
1.3. Etymologie .....	16
1.4. Systématique .....	17
1.5. Description botanique de la plante .....	17
1.6. Composition chimique .....	19
1.7. Effet thérapeutique .....	20



<b>2. Safran (<i>Crocus sativus L</i>)</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1. Introduction</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2. Historique</b> .....	<b>21</b>
<b>2.3. Etymologie</b> .....	<b>22</b>
<b>2.4. Systématique</b> .....	<b>22</b>
<b>2.5. Description botanique</b> .....	<b>23</b>
<b>2.6. Composition chimique</b> .....	<b>23</b>
<b>2.7. Effet thérapeutique</b> .....	<b>24</b>
<b>2.8. Autres utilisations</b> .....	<b>25</b>
<b>3. Paprika (<i>Capsicum Annuum L</i>)</b> .....	<b>25</b>
<b>3.1. Introduction</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2. Historique</b> .....	<b>26</b>
<b>3.3. Etymologie</b> .....	<b>26</b>
<b>3.4. Systématique</b> .....	<b>27</b>
<b>3.5. Description botanique</b> .....	<b>27</b>
<b>3.6. Composition chimique</b> .....	<b>29</b>
<b>3.7. Effet thérapeutique</b> .....	<b>30</b>

### *Chapitre III : Métabolites secondaires*

<b>1. Introduction</b> .....	<b>32</b>
<b>2. Classification des métabolites secondaires</b> .....	<b>32</b>
<b>2.1. Composés phénoliques</b> .....	<b>32</b>
<b>2.2. Composés azotés</b> .....	<b>34</b>
<b>2.3. Composés terpéniques</b> .....	<b>35</b>
<b>3. Rôle biologique</b> .....	<b>35</b>

### *Chapitre IV : Le stress oxydatif*

<b>1. Définition</b> .....	<b>39</b>
<b>2. Origine du stress oxydant</b> .....	<b>40</b>
<b>3. Les radicaux libres</b> .....	<b>41</b>
<b>4. Les principaux types des espèces réactives d'oxygène</b> .....	<b>42</b>
<b>4.1. L'anion superoxyde O<sub>2</sub><sup>•</sup></b> .....	<b>42</b>

4.2. Radical hydroxyle OH• .....	42
4.3 Peroxyde d'hydrogène H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	43
5. Les conséquences moléculaires du stress oxydatif .....	43
6. Les antioxydants .....	43
6.1. Définition .....	43
6.2. Classification des antioxydants .....	44
6.2.1. Les antioxydants naturels .....	44
A-Système endogènes .....	44
B-Systèmes exogènes .....	45
6.2.2. Les antioxydants synthétiques .....	47
7. Les maladies liées au stress oxydatif .....	47

## *Deuxième partie : Partie expérimentale*

### *Chapitre 1 : Matériel et méthodes*

1. But du travail .....	50
2. Matériel végétal .....	50
3. Préparation des extraits .....	51
4. Calcul des rendements d'extraction .....	51
5. Screening phytochimique .....	51
5.1. Les composés azotés .....	52
5.2. Les Composés phénoliques .....	52
5.3. Les Composés terpéniques .....	53
5.4. Les composés réducteurs .....	53
6. Dosage des composés phénoliques .....	53
6.1. Dosage des polyphénols totaux .....	53
6.2. Dosage des flavonoïdes totaux .....	54
7. Test de piégeage du radical libre DPPH (2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl) .....	55

## *Chapitre 2 : Résultats et interprétations*

<b>1. Détermination des caractéristiques et des rendements des extraits des épices .....</b>	<b>58</b>
<b>2. Tests phytochimiques .....</b>	<b>59</b>
<b>3. Dosage des composées phénoliques .....</b>	<b>60</b>
<b>4. Test de piégeage du radical libre DPPH.....</b>	<b>62</b>
<b>Discussion .....</b>	<b>64</b>
<b>Conclusion et perspectives .....</b>	<b>71</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>74</b>
<b>Résumés.....</b>	<b>92</b>

# Introduction

## Introduction

---

Les épices sont des substances végétales qui jouent un rôle très important dans la vie quotidienne de l'être humain, avec ses propriétés nutritionnelles, antioxydantes, antimicrobiennes et médicinales et en tant qu'agents aromatisants importants dans les aliments, les boissons et les produits pharmaceutiques, et aussi en tant qu'ingrédients dans les parfums et les cosmétiques **(Peter, 2006)**.

Les épices font partie des plantes médicinales, considérées comme des plantes aromatiques à saveur forte. Elles sont utilisées en petite quantité en cuisine comme conservateurs, assaisonnements ou colorants. Elles sont dérivées de différentes parties de la plante : l'écorce, les grains, les feuilles, les fruits et les rhizomes **(Manandhar, 1995)**.

L'investigation des épices représente un potentiel inestimable pour la découverte de nouvelles substances à caractère antioxydant, si l'on considère qu'elles peuvent contenir des centaines, voire des milliers de métabolites secondaires. Ces derniers pourraient être utilisés dans la prévention de certaines maladies **(Cowan, 1999)**.

Des études et des mémoires de fin d'étude ont été réalisés par des étudiants Master en biologie de la nutrition sur la valorisation de quelques épices utilisées dans la cuisine algérienne. Ces études portent sur une étude phytochimique et une évaluation de l'activité antioxydante des différents extraits préparés des épices utilisées dans la région de Tlemcen : rhizomes secs de *Curcuma longa* L., fruits de *Capsicum annuum* L., stigmates des fleurs de *Crocus Sativus* L et Rhizomes de *Zingiber officinale* **(Achour Talet et Kadder, 2017 ; Saigaa et Rahmaoui, 2018 ; Dehini, 2019 ; Ouasti et Saci, 2019)**.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à une étude comparative basée sur les résultats obtenus dans les travaux des Masters en biologie de la nutrition sur les tests phytochimiques, dosages des composés phénoliques, évaluation de l'activité antiradicalaire (piégeage du radical libre DPPH) des extraits préparés des rhizomes secs de *Curcuma longa* L., fruits de *Capsicum annuum* L. et stigmates des fleurs de *Crocus Sativus* L.

Notre travail sera réparti en deux parties :

- Une synthèse bibliographique répartie en quatre chapitres :
  - Chapitre 1 : Epices
  - Chapitre 2 : Epices étudiées
  - Chapitre 3 : Métabolites secondaires

## Introduction

---

- Chapitre 4 : Stress oxydant, radicaux libres et agents antioxydants
- Une partie expérimentale ; une étude comparative des résultats des tests phytochimiques et de recherche d'activité antioxydante des épices étudiées.

# **Première partie**

## **Synthèse Bibliographique**

# **Chapitre I : Généralités sur les épices**



## 1. Définition des épices

Le mot « épice » est né vers le XIIe siècle dans la langue française, de l'étymologie latine « species » qui signifie « espèce » (Arvy et Gallouin, 2003).

L'association française de normalisation **AFNOR** utilise le terme « épice » pour désigner des produits végétaux naturels, ou leurs mélanges, employés pour leur saveur et leur arôme dans l'assaisonnement des aliments. Le terme s'applique à la fois à la plante entière comme à ses parties comestibles (Arvy et Gallouin, 2003).

L'épice est une substance végétale, d'origine indigène ou exotique, aromatique ou d'une saveur chaude, piquante, employée pour rehausser le goût des aliments ou ajouter les principes stimulants qui y sont contenus (*Définition adoptée lors du premier Congrès international pour la répression des fraudes. Genève, 1908*) (Gayet, 2010).

Les épices contiennent des substances organiques appelés arômes qui stimulent les perceptions olfactives et gustatives. Chaque épice a un arôme et une saveur unique qui dérivent des composés phytochimiques appelés encore métabolites secondaires (Bernard, 2012). Elles sont utilisées en petite quantité en cuisine comme conservateur ou colorant (Heers, 2008).

Cette expression, désigne des fruits, comme « le poivre, les piments » ; des graines, comme « la noix de muscade » ; des feuilles, comme « le laurier » ; des boutons floraux, comme « le girofle » ; ou les seuls stigmates, comme « le safran » ; ou encore des rhizomes, comme « le gingembre et le curcuma » ; ou même des écorces, comme la « cannelle » (Fig. 1) (Navellier et Jolivet, 1965).



Figure 1 : Aspect de quelques épices (Bernard, 2012)

## 2. Histoire des épices

Il est impossible de retracer une histoire universelle sans parler des épices. Elles ont été la cause de conflits armés et à l'origine de la découverte du nouveau monde. Elles font partie de l'histoire de la médecine, de celle des cosmétiques, des religions et de leurs rituels et dans l'histoire des cuisines (**Srinivasan, 2005**).

Leurs commerces, aussi, est très ancien : les chinois, les égyptiens, les phéniciens, les perses échangeaient déjà des épices au moins 3000 ans avant Jésus-Christ. Une route des épices vers l'Inde existait déjà au temps des romains. A cette époque, le port d'Alexandrie était incontournable pour relier l'Orient à l'Occident (**Droniou-Cassaro, 2012**).

Au XXe siècle, avec l'industrialisation, le commerce de masse, le développement des voyages et les flux migratoires, les épices inondent les marchés occidentaux, asiatiques et africains et les saveurs exotiques sont réintroduites dans la gastronomie la plus fine (**Droniou-Cassaro, 2012**).

## 3. Classification des épices

Il n'est guère aisé de sélectionner des critères de classification des épices ; Celles-ci appartiennent à différentes familles végétales, et au sein de ces familles, différentes parties de la plante peuvent donner des épices classées dans des familles différentes (**Redhead, 1990**).

On peut classer les épices selon la partie de la plante dont elles sont tirées, ainsi elles peuvent provenir des graines, des fleurs, des fruits, des racines ou du bois (**Tableau 1**) (**Bernard, 2012**).

Tableau 1. Classification de quelques épices (Redhead, 1990)

Nom(s) commun(s)	Nom botanique	Partie de la plante utilisée
<b>Premier groupe : Epices fortes</b>		
Poivre noire et blanc	<i>Piper nigrum</i>	Fruit
Poivre de Cayenne	<i>Capsicum frutescens</i>	Fruit
Piment et paprika	<i>Capsicum annuum</i>	Fruit
Clous de girofle	<i>Eugenia caryophyllus</i>	Fleur
Gingembre	<i>Zingiber officinale</i>	Rhizome
<b>Deuxième groupe : Fruits et graines aromatiques</b>		
Muscade	<i>Myristica fragrans</i>	Graine
Piment	<i>Pimento dioica</i>	Fruit
Anis	<i>Pimpinella anisum</i>	Fruit
Fenugrec	<i>Trigonella foenum graecum</i>	Graine
Coriandre	<i>Coriandrums ativum</i>	Fruit
Cumin	<i>Cuminum cyminum</i>	Fruit
<b>Troisième groupe : Ecorces aromatiques</b>		
Cannelle	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	Ecorce
Casse	<i>Cinnamomum cassia</i>	Ecorce
<b>Quatrième groupe : Epices colorées</b>		
Paprika	<i>Capsicum annuum</i>	Fruit
Curcuma	<i>Curcuma domestica, Curcuma longa</i>	Rhizome

## 4. Utilisation des épices

Les épices et les aromates occupent une place importante dans les domaines culinaires, nutritionnels, pharmaceutiques et agro-industriels. Elles sont utilisées dans leurs états plantes entières ou coupées, fraîches ou séchées, ou sous forme de poudre ou sous forme des extraits (**Arvy et Gallouin, 2003**).

Les épices ont de nombreuses utilisations. Elles sont employées, soit sous leur forme naturelle comme condiment et en pharmacopée traditionnelle, soit par leurs extraits renfermant des principes actifs recherchés dans l'industrie pharmaceutique, cosmétique et alimentaire (**Bahorun, 1997**).

### 4.1. Utilisation culinaire et nutritionnelle

Les épices apportent de la variété et du gout aux denrées de base et aux sauces, ce qui excite l'appétit et permet de manger plus (**Redhead, 1990**).

Les épices étant utilisées en petite quantité, ne contribuent pas, d'un point de vue nutritionnel, au régime alimentaire, mais elles contiennent souvent des composés phénoliques qui permettent de protéger les denrées contre la dégradation microbienne (**Redhead, 1990**).

Les épices sont riches en vitamines et contiennent de nombreux minéraux qui ont un effet antioxydant et luttent contre le vieillissement des cellules. Mais, puisqu'elles sont utilisées en petites quantités, elles contribuent peu à l'apport en ces éléments nutritifs (**Borget, 1991**).

Des nombreuses épices conservent leur arôme plus longtemps lorsqu'elles sont entières. Il suffit de les moule en fonction de besoins, au fur et à mesure. Afin de retirer le maximum de saveur des épices. Il convient de les râper, les faire frire, les griller, les moule, les écraser, les émincer ou les infuser (**Bonnard et al., 2013**).

les épices sont utilisées comme aromates, essentiellement végétales, pour l'assaisonnement, la coloration et la conservation des aliments ou des boissons, certaines épices sont aussi utilisées comme suppléments diététiques, L'exemple de Curcuma «safran de l'Inde », riche en curcumine, qui est un colorant atoxique autorisé (E100), stable à la chaleur et peu sensible aux variations de pH. D'où leur large utilisation comme colorant alimentaire autorisé (E100) (**Beraoud, 1990 ; Wichtl et Anton, 2003**).

Certaines épices doivent être ajoutées en début de cuisson, d'autres ne doivent pas cuire, sous peine de perdre toutes leurs qualités. En règle générale, il faut ajouter les épices aux trois quarts de la cuisson (**Beraoud, 1990**).

#### *4.2. Utilisation thérapeutique*

Il a été rapporté que les épices ont divers effets bénéfiques sur la santé humaine notamment l'action anti-sclérotique ; antithrombotique ; anti-cancérogène ; anti-inflammatoire ; antiarythmique ; antirhumatismale ; gastroprotectrice et hypolipidémiant. En outre, les épices ont des effets radio protecteurs (protection contre les radiations) ; antiallergiques et antipaludiques.

Elles aident à réduire le stress oxydatif, inhibent l'oxydation des lipoprotéines de basse densité et la glycation des protéines (**Naidu et al., 2002 ; Dearlove et al., 2008 ; El Babili et al., 2010**).

Certaines épices ont un effet pharmaceutique ou thérapeutique calmant, diurétique ou stimulant le cœur. La médecine moderne a pu, entre-temps, confirmer quelques indications de la médecine ancienne censées guérir, comme l'influence de l'ail dans la prévention de l'athérosclérose ou celle de la gentiane sur la digestion (**Kurt Häfliger, 1999**)

Cet usage est justifié par des recherches scientifiques qui ont mis en évidence chez les épices divers types d'activités parmi lesquelles on peut citer :

- Activité antioxydante : qui se manifeste chez les épices simplement broyées mais qui est plus nette encore en émulsion aqueuse préparée à partir de ces poudres. Sous cette forme, le clou de girofle manifeste l'action antioxydante la plus forte de toutes les espèces testées (**Pruthi, 1980**).

- Activité de préservation : elle est le résultat d'une inhibition de la croissance de micro-organismes qui tient à la présence de composés tels que l'eugénol, l'aldéhyde cinnamique, la curcumine, d'une action spécifique de préservation des épices et des huiles essentielles et, enfin, d'une action de ces dernières sur la résistance des micro-organismes à la chaleur (**Pruthi, 1980**).

- Activité antimicrobienne : Dans la médecine indienne traditionnelle, le poivre noir, la cannelle, la muscade, les clous de girofle, le gingembre entre en proportions variables dans des préparations utilisées pour les divers troubles intestinaux (**Pruthi, 1980**).

Le tableau 02 résume quelques effets biologiques des épices.

**Tableau 02 : Effets biologiques des principales épices (Keith, 2006).**

Effets biologiques	Epices
Antioxydant	Toutes les épices, mais plus particulièrement la cannelle, clou de girofle, gingembre, origan
Anticancéreux (prévention)	poivre noir, clou de girofle, fenouil, gingembre, curcuma.
Contrôle des lipides sanguins	cannelle, coriandre, fenugrec, gingembre
Fluidifiant sanguin	Câpre, cannelle, coriandre, fenugrec, gingembre.
Contrôle de la glycémie	Cannelle, gingembre
Anti-inflammatoire	Feuille de laurier, poivre noir, gingembre, curcuma.
Antibactérien	Toutes les épices, mais plus particulièrement poivre noir, piment doux, cardamome, céleri, cannelle, clou de girofle, coriandre, cumin, fenouil, gingembre, noix de muscade, origan, romarin, sauge,
Immunomodulation	Poivre noir
Neutralisation de toxines	Curcuma

### 4.3. Utilisation cosmétique

Un grand nombre d'épices sont utilisés dans l'élaboration des parfums, produits de beauté et produits de toilette. Les plus utilisées sont le curcuma, la vanille, le clou de girofle, le romarin, le gingembre, la lavande, l'anis, la noix de muscade et la cannelle. Ces épices sont employées pour leurs propriétés antiseptiques et parfumant (**Mountagud, 2014**).

La parfumerie fait un certain usage des épices et plus précisément des huiles essentielles d'épices pour la fabrication de divers produits. Les huiles essentielles de piment de la Jamaïque sont utilisées dans la fabrication des lotions après-rasages (**Rodriguez, 1969**).

Le parfum que dégagent les clous de girofle est souvent utilisé en parfumerie. Il permet d'apporter une note orientale, boisée et épicée (**Ramalanjoana et Jourdan, 1962**).

L'essence de cannelle est utilisée pour certains parfums, mais les quantités doivent rester faibles étant donné les risques de sensibilisation de la peau. L'essence de curcuma n'est employée que dans des parfums bon marché, de type oriental (**Borget, 1991**).

## 5. Epices, aromates et condiments

L'épice est considérée comme une plante aromatique caractérisée par une forte saveur et ses propriétés spécifiques sont utilisées pour améliorer le goût des aliments.

Selon la 9<sup>ème</sup> édition de la pharmacopée française, les aromates sont définis comme des drogues végétales ou animales employées en l'état ou après avoir subi un traitement approprié à leur destination et ne comportant pas l'addition de substances étrangères. Un condiment est défini comme une préparation élaborée à partir d'un mélange d'épices, d'herbes aromatiques et d'autres ingrédients, qui relèvent la saveur des aliments crus ou cuits. Le condiment est souvent consommé en quantité importante avec un mets (Arvy et Gallouin, 2003).

## 6. Composition chimique des épices

Les épices comme tous les produits végétaux renferment de l'eau, des protéines, des lipides, des glucides (amidon et cellulose entre autres), mais contiennent en outre, des huiles essentielles qui sont responsables du parfum, de l'arôme, de l'odeur des épices (Borget, 1991).

Ce sont des sources de minéraux (phosphore, calcium, potassium et magnésium) (Okwu, 2001).

Le tableau 3 montre la composition de 100 g de diverses épices.

**Tableau 3 : Composition chimique (g pour 100 g) de diverses épices (Borget, 1991).**

Epices	Eau	Protides	Lipides	Huiles essentielles	Amidon + sucres	Cellulose
Poivre noir	11	13	8	1.5	41	14
Poivre blanc	11	13	7	1.6	55	7
Cannelle	8	4	2	1.1	25	33
Clous de girofle	9	4	8	14	16	8
Muscade	9	7	33	4.5	27	3
Gingembre	9	8	3	1.8	41	4
Curcuma	10	11	8	/	38	9
Cardamome	11	10	2	/	33	17

## 7. Les épices en Algérie

À l'instar des autres pays maghrébins, l'Algérie est une grande consommatrice d'épices.

Les besoins sont couverts en quasi-totalité par l'importation. La quantité moyenne importée entre 2010-2014 est estimée à 131 426 tonnes. Il est à noter que ces espèces sont en majorité d'origine méditerranéenne d'usage courant et font partie de la flore spontanée de l'Algérie bien qu'elles soient importées (**Ilbert et al., 2016**).

Les produits concernés sont : le poivre, les piments, la cannelle, le curcuma et le gingembre, pour lesquelles une demande accrue est enregistrée (**Ilbert et al., 2016**).

Les marchés des épices, qui sont occasionnels, se situent généralement dans les villes à la périphérie des frontières marocaines et tunisiennes : Tébessa et Maghnia (Tlemcen) (**Ilbert et al., 2016**).

Le marché des épices de Maghnia est le plus connu dans la région de Tlemcen. C'est un marché de référence, les gens viennent de 48 Wilaya pour acheter des épices de bonne qualité (**Benyakoub, 2016**).



## **Chapitre II : Les épices étudiées**

## 1. Curcuma (*Curcuma Longa L.*)

### 1.1. Définition

Le curcuma est connu comme « l'épice dorée » ainsi que « l'épice de la vie ». Il a été utilisé en Inde comme plante médicinale, et tenue sacrée depuis des temps immémoriaux. Le curcuma a de fortes associations avec la vie socioculturelle des habitants du sous-continent indien (Ravindran et al., 2007).

Le curcuma est probablement originaire d'Asie du Sud-Est, où de nombreuses espèces apparentées de *Curcuma* sont présentes sauvagement, bien que le curcuma lui-même ne soit pas connu dans la nature. Le curcuma est cultivé largement en Inde, suivi par le Bangladesh, la Chine, la Thaïlande, le Cambodge, la Malaisie, l'Indonésie et Philippines. À petite échelle, il est également cultivé dans la plupart des régions tropicales d'Afrique, d'Amérique et Îles de l'océan Pacifique. L'Inde est le plus grand producteur, consommateur et exportateur de curcuma (Ravindran et al., 2007).

Le curcuma est un ingrédient de cuisine indienne, asiatique et africaine. C'est une plante herbacée vivace de la famille des Zingibéracées, cultivé pour son rhizome charnu. Il est volontiers utilisé comme un succédané de safran, bien que l'unique similarité soit la couleur (Delachaux et Niestlé, 2013).

De nombreuses espèces de *Curcuma* ont une valeur économique, la plus importante étant *Curcuma longa*, connu sous le nom de curcuma dans le commerce (Fig. 2) (Ravindran et al., 2007).



Figure 2 : Rhizome, tranches et poudre de curcuma

## 1.2. Historique

L'Atharvaveda, le premier texte hindou en rapport avec la médecine, relate qu'il y a 6 000 ans le curcuma était utilisé pour « chasser » la jaunisse. **(Ravindran et al., 2007).**

Des écrits, dans l'un des plus vieux traités de médecine chinoise (2600 ans avant JC) : le Pen T'Sao de l'empereur Sheng Nung, mentionnaient déjà l'utilisation du curcuma, comme traitement contre les douleurs articulaires **(Penso, 1986).**

En 1280, dans son livre « les merveilles » ; Marco Polo retrace le transport du curcuma entre la chine et l'inde, et rapporte une ressemblance entre le curcuma et le safran. C'était la plus ancienne comparaison connue entre ces épices. Pendant ce siècle, les commerçants arabes ont desservi le marché européen depuis l'inde **(Hombourger, 2010 ; Jourdan, 2015).**

Un peu plus tard, lors du début de la colonisation de l'Inde par les anglais (XVe siècle), le Curcuma fut mélangé, entre autres, avec du cumin et de la coriandre pour former ce que l'on appelle le curry **(Jourdan, 2015).**

Quant à son utilisation médicinale ; Nicolas Lémercy, médecin et chimiste français, estime cette terra mérita comme « apéritive, capable de lever les obstructions du foie, de la rate, pour la jaunisse, pour la néphrétique » dans le dictionnaire ou traité universel des drogues simples de 1716. **(Delaveau, 1987).**

Le pays d'origine du curcuma n'est pas clairement identifié aujourd'hui. On peut penser qu'il est originaire d'Inde ainsi que les autres espèces du genre Curcuma mais il existe une théorie établissant que le Curcuma est originaire de Cochinchine (aujourd'hui représenté géographiquement par le sud du Vietnam) et qu'il aurait été exporté dans le Nord Est de l'Inde par des tribus Bouddhistes durant la période post Buddha **(Jourdan, 2015).**

## 1.3. Etymologie

Le curcuma, nom latin a été inventé par Linné dans son « espèce plantarum » en 1753, dérivé de Kourk-oum, un mot d'origine arabe qui signifie couleur jaune. Cela est dû à la couleur jaune proéminente de rhizome souterrain **(Salvi et al., 2000 ; Shirgurkar et al., 2001).**

Le nom anglais de cette épice turmeric provient du Latin Médiéval terramerrita devenu en Français Terre méritée **(Ravindran et al., 2007).**

Notons que sa couleur jaune intense le fait parfois nommer, bien à tort, safran cooli et safran des Indes (Delaveau, 1987).

En sanskrit il y a environ 46 synonymes de curcuma (Scartezzini et Speroni, 2000).

Le nom scientifique *Curcuma longa* fait allusion à sa forme allongée (Lecerf, 2012).

Le tableau 04 regroupe les différentes appellations du curcuma

**Tableau 4 : Différentes appellations de curcuma (Delaveau, 1987)**

Langue	Appellations
Arabe	Kourkom, كركم
Latin	Curcuma
Anglais	Turmeric
Chine	Jianghuany
India	Haldi

#### 1.4. Systématique

Selon la classification systématique de Carl Von Linné (naturaliste suédois du XVIIIe siècle).

Les taxonomies caractéristiques du *Curcuma longa* sont les suivantes :

- Règne : Plantae
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Liliopsida
- Ordre : Zingiberales
- Famille : Zingiberaceae
- Genre : *Curcuma*
- Espèce : *longa*

#### 1.5. Description botanique de la plante

C'est une plante herbacée, rhizomateuse, vivace et robuste. Elle peut atteindre 60 cm à 1 m de hauteur (Lahatsaravita, 2003 ; Pamplona, 2005 ; Pascal de Lomas, 2011).

Les feuilles sont oblongues, vertes, alternes, caduques et grandes, d'environ 60 cm de long pour 10 à 15cm de large. Elles présentent un pétiole engageant portant un limbe elliptique.

Pendant la saison sèche, ces feuilles dépérissent et laissent apparaître les tiges florales (**Fig.3**) (**Cheikh, 2012 ; Humbert, 1946 ; Lahatsaravita, 2003**).

Le rhizome est charnu, écailleux, tubéreux et aromatique. A maturité, il présente de nombreuses ramifications plus ou moins longues. Il est facilement distingué par sa couleur jaune orangé (**Cheikh, 2012**).

Les fleurs sont hermaphrodites en général, irrégulières. Elles ont des couleurs jaunes pâles et regroupées en inflorescences coniques sous forme d'épis, protégées par des grandes bractées à dominances blanches. Elles sont composées de quatre éléments :

- La calice, courte, cylindrique, finement dentée, comportant trois sépales pétaloïdes.
- La corolle à tube cylindrique et à segment ovale ou oblongue dont le postérieur est plus longue et plus concave.
- L'androcée est réduit en étamine fertile.
- Le gynécée possédant trois carpelles (**Fig. 3**) (**Cheikh, 2012**).



**Figure 3 : Illustrations de Curcuma Longa (Perry, 2008).**

### 1.6. Composition chimique

Une portion de 100 g en curcuma, fournit une énergie de 354 kcal. Elle renferme 11,4g de l'eau, 7,8g de protéine, 9,9 g de lipides, 64,9 g de glucides dont l'amidon représente 45 à 55% de la composition totale des glucides. Il renferme également 21,1g de fibres alimentaires 183mg de calcium, 193 mg de magnésium, 268 mg de phosphore, 41,4 mg de fer, des traces en vitamine A, 0,15 mg de thiamine, 0,23 mg de riboflavine, 5,14 mg de niacine, 39 mg de Folate, 25,9 mg de l'acide ascorbique et 44 mg de zinc (**Tableau 5**) (**Jansen et al., 2005**).

L'huile essentielle de curcuma qui représente de 3 à 5 %, est riche en ses quiterpènes, zingibérale et turmérone. Le curcuma renferme, aussi, des principes amers, résine, et des composés phénoliques dérivés de l'acide caféïque.

L'extraction du rhizome à l'alcool éthylique, à l'acétone ou au chlorure de méthylène donne 6 à 10% d'oléorésine, qui contient 35 à 45% de curcumine et de ses dérivés, la déméthoxy curcumine et la bisdéméthoxy curcumine, connues sous le nom collectif de curcuminoïdes. Ces composés donnent au curcuma sa couleur jaune orangé, alors que l'huile essentielle lui confère son arôme et sa saveur typiques (**Jansen et al., 2005**).

**Tableau 5 : Valeurs nutritionnelles et énergétique du *Curcuma Longa* L. (Jansen et al., 2005).**

Energie	354kcal	Minéraux		Vitamines	
L'eau	11,4 g	Calcium	183 mg	Vit B1	0,15mg
Protéine	7,8 g	Magnésium	193 mg	Vit B2	0,23 mg
Lipide	9,9 g	Phosphore	268 mg	Vit B3	5,14 mg
Glucide	64,9 g	Fer	41,4 mg	Vit B6	1,80 mg
Fibre	21,1 g	Zinc	44 mg	Vit B9	39 mg
Omega 9	3,12 g	Potassium	2525 mg	Vit C	26 mg
Omega 3	0,48 g	Manganèse	7,8 mg	Vit E	3,1 mg
Omega 6	1,69 g	Cuivre	603 mg	Vit K	13 4mg

### 1.7. Effet thérapeutique

Le curcuma est très riche en antioxydants « le principal étant la curcumine ». Il peut, donc, contribuer à la prévention des maladies cardiovasculaires et des maladies liées au vieillissement.

Il a des effets hépato protecteurs. Il est utilisé en cas de troubles hépatiques et de troubles gastro-intestinaux et comme antimicrobien grâce à la curcumine. Il protège la muqueuse gastrique et permet de traiter les ulcères de l'estomac.

Son action anti-inflammatoire soulage les rhumatismes, l'arthrite et les douleurs articulaires.

Le cancer du côlon est statistiquement moins présent dans les aires où il est consommé (Michel, 2017).

**Effet antioxydant préventif de la curcumine :** La curcumine, extraite du curcuma, est un puissant antioxydant qui apporte une protection efficace contre les lésions occasionnées par les radicaux libres. En 1995, des travaux scientifiques ont montré qu'une alimentation contenant de la curcumine diminuait le stress oxydatif. Des chercheurs indiens ont montré que la curcumine inhibe la peroxydation lipidique et neutralise les radicaux superoxydes et hydroxyles. (Motterlini et al., 2000).

Des chercheurs ont montré qu'un contact prolongé des cellules endothéliales d'une aorte de bovin avec de la curcumine renforçait la résistance cellulaire aux lésions oxydatives (Motterlini et al., 2000).

Dans une investigation séparée, les chercheurs ont découvert que la curcumine diminuait le stress oxydatif induit dans le foie de souris par du trichloréthylène. Ils en ont conclu que les effets bénéfiques de la curcumine semblaient dériver de sa capacité à freiner l'augmentation des niveaux cellulaires de peroxydation, un composant associé à l'utilisation de l'oxygène par les cellules.

Cet antioxydant serait plus actif que la vitamine E (Motterlini et al., 2000).

## 2. Safran (*Crocus sativus* L.)

### 2.1. Introduction

Le Safran est une épice extraite de la fleur d'un crocus (*Crocus Sativus* L.) obtenu par déshydratation de ses trois stigmates rouges (extrémités distales des carpelles de la plante), dont la longueur varie généralement entre 2,5 à 3,2 cm (Melnyk et al., 2010).

La récolte de fleurs et séparation des stigmates sont toujours effectués à la main dans la plupart des zones.

Le Safran également appelé « Or rouge », est la plus coûteuse épice dans le monde. Son prix est justifié par la noblesse du produit et contribue également à rémunérer un travail exigeant, strictement artisanal et respectueux de l'environnement. En effet, il faut 150000 fleurs de crocus pour obtenir seulement 1kg de safran sec (Melnyk et al., 2010 ; Palomares, 2015).

Le safran est caractérisé par un goût amer et un parfum proche de l'iodoforme ou du foin, causé par la picrocrocine et le safranal et la crocine, qui donne une tonalité jaune-or aux plats contenant du safran. Ces caractéristiques font du safran un ingrédient fortement prisé pour de nombreuses spécialités culinaires dans le monde entier, notamment dans la cuisine persane. Le safran possède également des applications médicinales (Figure 04) (Katzner, 2001 ; McGee, 2004).

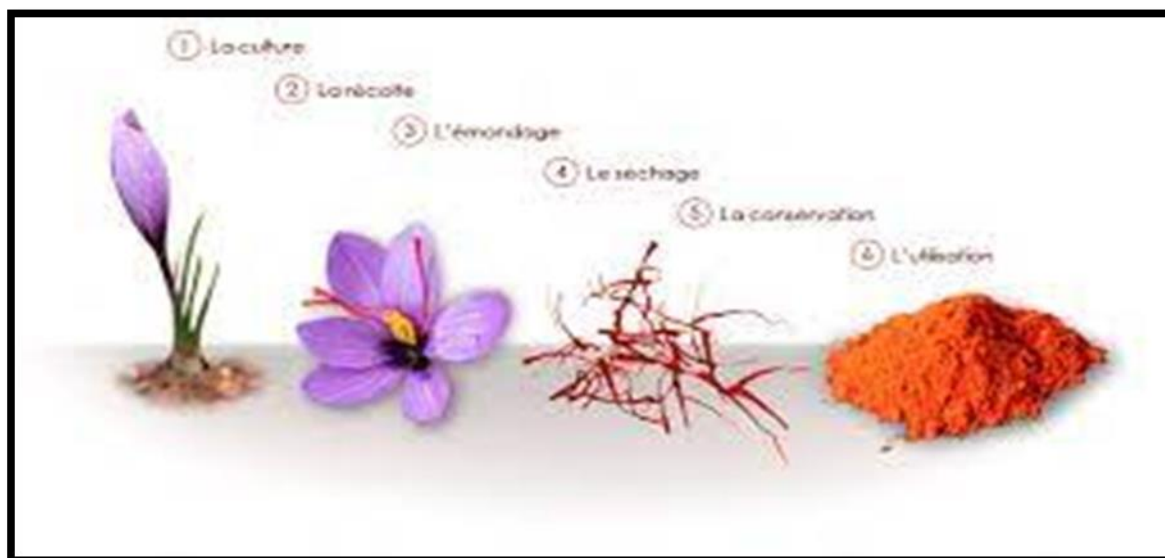


Figure 4 : Etapes de l'obtention de l'épice du Safran (Medjbar et Talbi, 2017).

## 2.2. Historique

L'histoire du safran dans la culture et les coutumes humaines date de plus de 3000 ans, il est peut être originaire de Grèce, d'Asie Mineure et Perse. Il est largement cultivé dans l'Est et la Méditerranée. (Deo, 2003 ; Kumar et al., 2009)

Le safran est cultivé comme épice depuis au moins 3500 ans en Egypte et au Moyen-Orient. (Fernandez et al., 2004), il était également utilisé pour colorer les lindeuls des momies (Carmona et al., 2006).



Étroitement lié à la religion et à la spiritualité, les Égyptiens utilisaient le safran pour aromatiser et colorer les aliments dans les fêtes religieuses ; les médecins des Pharaons le prescrivaient aussi pour tous les maux d'estomac. **(Chahine, 2014)**.

En raison de sa forte couleur et de son arôme, il était également utilisé pour les cosmétiques : Cléopâtre l'utilisait pour des traitements de phytothérapie et pour colorer les lèvres, les ongles et les cheveux.

Les Romains utilisaient cette épice dans des parfums et lors de nombreuses cérémonies : les rues de Rome furent recouvertes du safran lorsque Néron entra dans la ville **(Carmona et al., 2006)**.

Les anciennes civilisations mésopotamiennes utilisaient déjà cette précieuse épice comme assaisonnement, teinture pour le linge et lors de rites religieux. Tout au long de l'histoire, la couleur du safran a été considérée comme un symbole de lumière, de spiritualité et de sagesse **(Aramburu et al., 2006)**.

Le safran a ensuite été transmis aux Grecs et aux Romains, qui en ont fait différents usages dans l'art culinaire, en parfumerie, en teinture. Les Arabes, au IXe siècle, l'introduit en Afrique du Nord, puis en Espagne **(Chahine, 2014)**.

### 2.3. Etymologie

Le nom "safran" est dérivé du latin safranum, lui-même inspiré de l'arabe "zaafarân" dont la racine est porteuse d'une notion essentielle, la couleur jaune. En ce qui concerne le nom du genre, crocus, il vient du grec Krokos, qui veut dire "fil, filament", par allusion aux stigmates de la plante. Le terme "sativus", quand à lui, signifie "cultivé", car le *Crocus sativus*, par sa reproduction végétative, ne peut se multiplier sans la main de l'homme **(Dupont, 2001 ; Chahine, 2014)**.

### 2.4. -Systématique

*Crocus Sativus* L, est une plante appartenant à la famille iridacée, la ligne de Liliacée et du vaste genre crocus qui comprend plus de 80 espèces de plantes bulbeuses de petites taille. *Crocus sativus* est la seule espèce de Crocus produisant le safran **(Srivastava et al., 2010 ; Pitsikas, 2016)**.

**Règne :** Plantae

**Division :** Spermatophyte

**Sous-division :** Magnoliophyta

**Classe :** Liliopsida

**Sous –Classe :** Liliidae

**Ordre :** Liliales

**Famille :** iridaceae

**Genre :** *Crocus*

**Espèce :** *sativus*

### 2.5. Description botanique

Le safran est une plante vivace à bulbe dont les feuilles situées à la base, sont étroites, dressées, longues et entourées inférieurement de feuilles réduites.

De septembre à octobre, les fleurs sont violacées, apparaissant en même temps que les feuilles et dont les stigmates sont des filaments rouges oranges foncés (**Figure 5**) (**Michel, 2017**).



**Figure 5 : La fleur du *Crocus sativus* : 1 : pétales 2 : stigmates 3 : étamines 4 : bulbe (Chahine, 2014).**

### 2.6. Composition chimique

La composition du safran est très complexe. Il contient plus de 150 composés volatils et aromatiques. Le safran possède également plusieurs composés non-volatils, les principaux étant les caroténoïdes (**Lech et al., 2009**).

La lyophilisation peut être appliquée au safran, car aucune perte en composés volatils majeurs n'a été constatée. La détermination de la composition chimique du safran est délicate, car elle suppose une identification botanique correcte, des stigmates non adultérés et sans déchets floraux (**Basker, 1999 ; Moghaddasi, 2010**).

Des données moyennes de l'analyse chimique du safran sont indiquées ci-dessous :

- Glucides (12 à 15%) : glucose, fructose, gentibose, xylose et ramnose.
- Eau (9 à 14%)
- Cellulose (4 à 7%)
- Polypeptides (11 à 13 %)

- Lipides (3 à 8 %) : campestérol, stigmastérol et  $\beta$ -sitostérol.
- Matières minérales (1 à 1,5 %)
- Vitamines : B2 ou riboflavine (56,4 à 138  $\mu\text{g/g}$ ) et B1 ou thiamine (4,0 à 0,9  $\mu\text{g/g}$ ).
- Divers, non azotés (40%)
- Acides gras : acide palmitique, stéarique, oléique, et linoléique.
- Caroténoïdes :  $\alpha$ ,  $\beta$ , et  $\gamma$ -crocétine, crocine (10%), picrocrocine (4%),  $\alpha$  et  $\beta$ -carotène, lycopène, phytoène et zéaxanthine.
- Huiles essentielles (0,3 à 2,0%) : où domine le safranal (60%).

Les métabolites secondaires majoritaires du safran sont : la crocine, responsable de la couleur rouge-jaune, la picrocrocine responsable de la saveur et le safranal, composé volatil majoritaire, responsable de l'odeur et de l'arôme.

1) **La crocine** ( $\text{C}_{44} \text{H}_{64} \text{O}_{24}$ ), est un diester formé par la crocétine liée à chaque extrémité par un diholoside, le gentiobiose. Elle appartient à la famille des C20-caroténoïdes, rouge et soluble dans l'eau. C'est le métabolite biologiquement actif du safran et responsable de sa couleur (**Gutheil et al., 2012**).

2) **La picrocrocine** ( $\text{C}_{16} \text{H}_{26} \text{O}_7$ ), est un glycoside inodore et incolore, responsable de la saveur amère du safran. Le clivage des doubles liaisons adjacentes aux cycles de la zéaxanthine entraîne la formation d'une molécule de crocétine et de deux molécules de picrocrocine (**Schmidt et al., 2007**). Elle constitue également le précurseur du safranal (**Tarantilis et al., 1995**).

3) **Le safranal** (2, 6,6-triméthylcyclohexa-1,3-diène), est le composé majoritaire de la fraction volatile du safran. C'est une molécule organique se présentant sous forme d'huile essentielle volatile. Il est peu ou pas présent dans les stigmates frais, sa concentration dépend des conditions de séchage et de conservation du safran. Le safranal est un produit d'hydrolyse de la picrocrocine. (**Rodel et Petrzika, 1991**).

### 2.7. Effet thérapeutique

Le safran et ses constituants (Crocine, picrocrocine et safranal) présentent des propriétés bénéfiques différentes : antioxydantes, anticancéreuses, anticonvulsivants, anti-ischémiques, antigénotoxiques, antidotes, antiapoptotiques, antitussives, antidépresseurs, sédatifs et hypnotiques, hypolipidémiques, antalgiques et anti-inflammatoires (**Rahimi, 2015**).

Plusieurs applications traditionnelles du safran ont été reconnues, nous citons :

- Hypolipémiant : le safran est un complément traditionnel pour lutter contre l'excès du cholestérol.
- Antispasmodique : facilite la digestion, soulage l'aérophagie et les flatulences.
- Antioxydant : il augmente la défense de l'organisme.
- Sédatif : il est utilisé traditionnellement pour procurer un bon sommeil, pour soulager les douleurs menstruelles, pour soulager les poussés dentaires des nourrissons (Talbi et Madjber, 2017).

## 2.8. Autres utilisations

- **Le safran comme teinture** : Les colorants et les vêtements colorés (pigment principal de safran ; l'  $\alpha$ -crocine, un caroténoïde hydrosoluble). Le safran a été utilisé comme tache histologique, c'est-à-dire en tant que colorant pour le tissu (Srivastava et al., 2010)

- **Le safran comme parfum** : Un composé agréablement odoriférant, safranal, se développe pendant le processus de séchage, probablement par une dissociation enzymatique ou thermique du composé amer, picrocrocine (Srivastava et al., 2010)

- **Safran en nourriture** : Il remplit les fonctions d'une épice, en ajoutant son arôme faible, délicat, sa saveur agréable et sa magnifique couleur jaune pour améliorer la palatabilité (Srivastava et al., 2010)

- **En cuisine** Le safran est de plus en plus présent dans les cuisines. Il parfume avec subtilité les viandes et poissons, légumes, riz et pâtes, rehausse la saveur des desserts et apporte une couleur exceptionnelle, jaune or, aux plats. Le safran ne révèle jamais ses saveurs instantanément : il a besoin d'infuser une demi-heure minimum pour développer ses arômes. Le safran ne supporte ni la friture, ni l'ébullition prolongée. L'acidité optimise son goût, les corps gras le fixent. Le safran peut être mélangé avec d'autres arômes et épices (thym, ail, anis, cannelle, gingembre), il va alors agir comme exhausteur de goût (Hill, 2004)

## 3. Paprika (*Capsicum Annuum L*)

### 3.1. Introduction :

Le piment (capsicum) appartient à la famille des solanacées, laquelle inclut les tomates, la pomme de terre et les aubergines (Coon, 2003). Aujourd'hui, le genre *Capsicum* compte 5 espèces domestiquées (*C. pubescens*, *C. baccatum*, *C. annuum*, *C. chinense* et *C. frutescens*), et au moins 25 espèces sauvages (Stummel et Bosland, 2007).

Le poivron est le deuxième légume le plus consommé dans le monde, Il provient des régions tropicales et est très sensible aux basses températures, qui affectent son développement végétatif (**Guo, 2014**). Ces différentes couleurs sont déterminées par le stade de mûrissement. Le poivron est vert au stade immature. En mûrissant, il devient jaune, puis orange, puis rouge (**Nolte, 2012**).

Le paprika, produit des fruits déshydratés de l'espèce *Capsicum annuum* L., est l'un des plus anciens et des plus importants colorants alimentaires naturels largement utilisés en raison de sa forte teneur en caroténoïdes (**Topuz et al., 2009**). Il présente une valeur nutritive élevée et il constitue une source très riche en composés bioactifs comme la vitamine C, B et E, les polyphénols, les chlorophylles, les caroténoïdes et les sucres. (**Jadczak et Grzeszczuk, 2009**).

### 3.2. Historique

Le piment est originaire d'Amérique central et d'Amérique du Sud. On trouve la totalité des espèces sauvages (environ 25) dans cette région. Les formes cultivées ont été domestiquées aux temps préhistorique (**Gruben, 2004**).

Le piment est largement cultivé depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle, il a été déjà utilisé au Mexique 7000 à 50000 av. J.-C. et introduit en Europe occidentale au XVe siècle par Christophe Colomb, dès son premier voyage en 1493, et en Afrique et Asie à la faveur des voyageurs vers les comptoirs portugais et espagnols. Le bassin méditerranéen et l'Asie du Sud-Est ont constitué des centres secondaires de diversification. En Europe de l'Ouest, sa culture s'est répandue d'abord dans la péninsule ibérique, puis ce nouveau produit fut rapidement adopté en tant qu'épice appréciée par les marins notamment, en raison de ses propriétés antiscorbutiques (**Doré et Varoquaux, 2006**).

En 1846, Tresh a réussi de cristalliser le composé actif du piment piquant, et il a nommé la substance capsaïcine, dont sa structure a été déterminée par Nelson et Dowson dans le début de XX<sup>ème</sup> siècle (**Barceloux, 2009**). Aujourd'hui le piment est cultivé dans presque tous les pays du monde (**Del Medico, 2014**).

### 3.3. Etymologie

Le nom botanique du piment est *Capsicum* dérivé du latin *capsa* (**Couplan, 2012**), signifiant boîte ou étui. Cela décrit parfaitement le fruit du piment qui est une petite boîte contenant le placenta sur lequel sont rangées les précieuses graines. Il n'y a pas de pulpe ou de gel comme chez la tomate (**Paloix et al., 2003**). Il provient aussi du latin *pigmentum*, matière colorante, terme employé à propos de plantes condimentaires. Le sens actuel proviendrait de l'espagnol *pimiento*, de même origine, désignant ce végétal aux fruits brûlants (**Couplan, 2012**).

### 3.4. Systématique

La Classification botanique internationale pour Paprika est la suivante (Goetz et Le Jeune, 2012).

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous-classe : Asteridae

Ordre : Solanales

Famille : Solanaceae

Genre : *Capsicum*

Espèce : *annuum*

L'espèce *Capsicum annum* est maintenant la plus répandue et économiquement la plus importante de toutes les autres espèces cultivées dans le monde. Elle comporte beaucoup de variétés allant des plus douces aux plus fortes (Kumar et al., 2009).

### 3.5. Description botanique

*Capsicum annum* présente des fleurs blanches, solitaires, à corolle en tube court et étalée en roue à 5 lobes, succèdent des baies. Ces fruits, aux grains nombreux, sont de formes et de couleurs très divers en fonction des variétés. Le fruit ou poivron sont de couleur, d'abord, vert vire au rouge vif ou au jaune à maturité (Figure 6 et 7).

Le caractère piquant, voire brulant, d'un poivron « de même que pour tout capsicum » s'évalue en considérant sa teneur en capsaïcine (Figure 8) (Boullard , 2001).



Figure 6 : plante *Capsicum annuum* (Pegon, 2009).

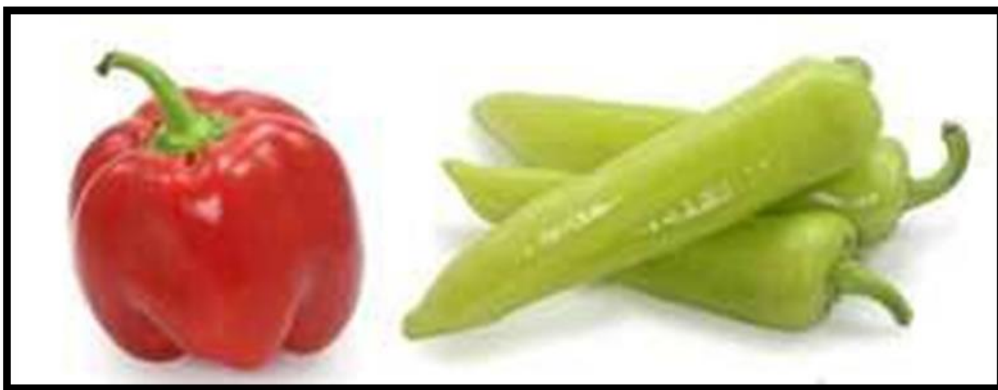


Figure 7 : Fruits de *Capsicum annuum* (Pegon, 2009)

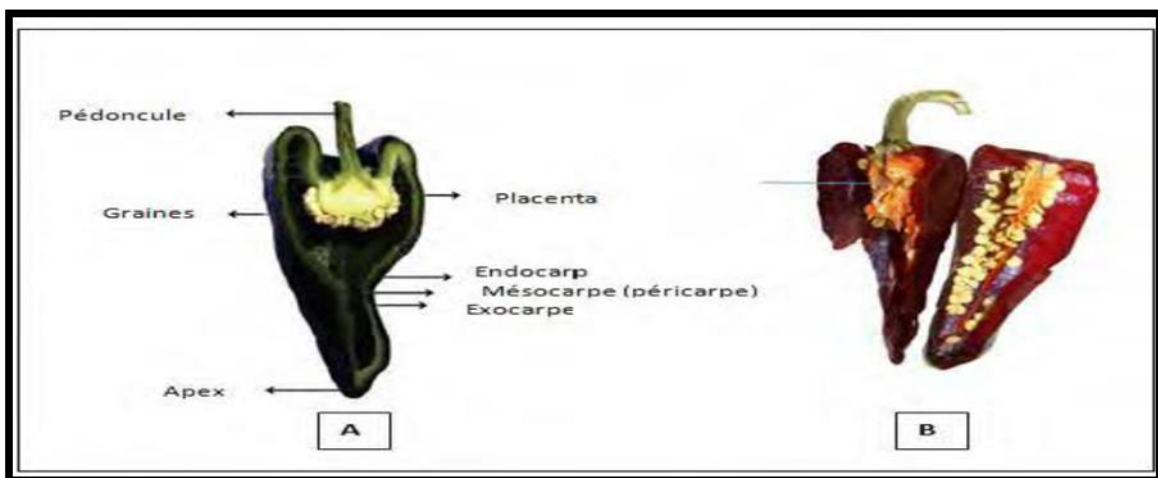


Figure 8 : Coupe longitudinale d'un piment A : piment vert frais ; B : piment rouge séché (Tellez Perez, 2013)

### 3.6. Composition chimique

Le poivre se caractérise par ses taux élevés en vitamine C, en provitamine A (carotène) et en calcium (Howard et al., 2000, Martí et al., 2011). Les fruits mûrs du poivre sont également riches en caroténoïdes. De plus, les fruits immatures ou mûrs contiennent une forte concentration de composés phénoliques (Howard et al., 2000 ; Wall et al., 2001).

Il contient aussi de nombreux produits chimiques, y compris l'eau, les acides gras, les huiles essentielles, les capsaïcinoïdes, la résine, les protéines, les fibres et les éléments minéraux (Rubio et al., 2002).

Le séchage entraîne une perte considérable de carotène et de thiamine et la disparition de presque toute la vitamine C. Les différences de cultivars, des conditions écologiques et culturelles, de stade de récolte ou de manutention après récolte expliquent une forte variation de la teneur en eau et de la composition chimique (Leung et al., 1968).

Le Tableau 06 montre la composition en nutriments du piment rouge

**Tableau 06 : Composition en nutriments du piment rouge (Charles, 2013).**

<i>Nutriments</i>	<i>Unité</i>	<i>Valeur pour 100 g</i>
<b>Eau</b>	G	8,05
<b>Energie</b>	Kcal	318
<b>Proteine</b>	G	12,01
<b>Lipides totaux</b>	G	17,27
<b>Carbohydate</b>	G	56,63
<b>Fibre</b>	G	27,2
<b>Sucres totaux</b>	G	10,34
<b>Calcium, Ca</b>	Mg	148
<b>Vitamine C</b>	Mg	76,4
<b>Vitamine B-6</b>	mg	2 450
<b>Vitamine B-12</b>	µg	/
<b>Vitamine A</b>	UI	41,610
<b>Vitamine D</b>	UI	/
<b>Vitamine E</b>	Mg	29,83
<b>Acides gras saturés</b>	G	3,260
<b>Acides gras monoinsaturés</b>	G	2,750
<b>Acides gras polyinsaturés</b>	G	8,370



Les principaux constituants chimiques du paprika sont résumés dans le tableau 7

**Tableau 07 : Principaux constituants chimiques du paprika (Goetz et Le Jeune, 2012)**

Familles de constituants chimiques	principaux constituants chimiques
Caroténoïdes	$\beta$ -carotène : Capsanthine, capsorubine (rouge) Cucubitène (jaune)
Capsaïcinoïdes : amides résultant de la combinaison de vanillylamine avec un acide gras conduisant à la capsaïcine	Capsaïcine Dihydrocapsaïcine, Homocapsaïcine
Huiles essentielles Huile grasse (9–17 %)	125 constituants dont les Alkylméthoxypyrazines
Stéroïdes	Capsicoside
Hétérosides diterpéniques	Capsianosides

### 3.7. Effet thérapeutique

➤ **Propriétés apéritives, anti-dyspeptiques et digestives** : depuis les années 90, les effets de la consommation de *C. annuum* sur le système digestif sont connus. La capsaïcine favorise d'abord la production d'acide gastrique stimulant l'appétit. Puis elle stimule la production de mucus dans l'estomac en réduisant les symptômes de la dyspepsie et protégeant les muqueuses gastriques des ulcères. Elle provoque finalement une augmentation du péristaltisme intestinale aidant à la digestion (Andrews, 1995).

➤ **Propriétés immunorégulatrices pancréatiques** : Plusieurs recherches *in vitro* et *in vivo* ont prouvé que la capsaïcine ralentit la prolifération des lymphocytes T mais aussi diminue la libération des facteurs de l'inflammation par les macrophages dans le pancréas. Dans le diabète de type 1, cette atténuation de l'activité immunitaire pourrait donc prévenir la destruction des cellules  $\beta$  des îlots de Langerhans sécrétrice d'insuline (Quave, 2011).

***Chapitre III :***  
***Les métabolites secondaires***

## 1- Introduction

A côté des métabolites primaires classiques (glucides, protides, lipides, acides nucléiques (Macheix et al., 2005), les métabolites secondaires sont des composés chimiques synthétisés par l'organisme de la plante, Ils sont nécessaires pour sa défense contre les agressions externes (Havsteen, 2002 ; Adom et al., 2003).

Les métabolites secondaires sont produits en très faible quantité. Il existe plus de 200.000 métabolites secondaires classés selon leur classe chimique. Cependant depuis plusieurs années, ces substances appelées encore phytoprotecteurs ou encore principes actifs ont des effets positifs sur la santé et sont l'objet de nombreuses recherches scientifiques (Bruneton, 1999).

Ils se retrouvent dans toutes les parties de plante, et selon leurs structures, on distingue trois classes : **les composés azotés (alcaloïdes), les composés phénoliques et les composés terpéniques.** Chacune de ces classes a des propriétés biologiques diverses : antioxydantes, antimicrobiennes, anti-inflammatoires, anticancéreuses etc... (Epifano et al., 2007 ; Li et al., 2007).

## 2- Classification des métabolites secondaires

### 2.1. Les composés phénoliques

On les trouve dans les plantes, depuis les racines jusqu'aux fruits. Leurs fonctions ne sont pas strictement indispensables à la vie du végétal, cependant ces substances jouent un rôle majeur dans les interactions de la plante avec son environnement (Richter, 1993).

L'élément structural fondamental qui les caractérise est la présence d'au moins un noyau phénolique à 6 carbones auquel est directement lié au moins un groupe hydroxyle (OH) libre ou engagé dans une autre fonction : éther, ester ou hétéroside (Fig. 9) (Bruneton, 1999 ; Balasundram, 2006).

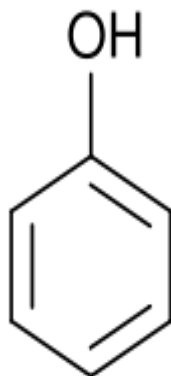


Figure 9 : Structure du noyau phénol (Herzi, 2013)

Les composés phénoliques des végétaux sont issus de deux grandes voies d'élaboration de cycles aromatiques, la voie shikimate (également responsable de la synthèse des acides aminés (Phe et Tyr) et la voie polyacétate, qui consiste en la condensation de molécules d'acétylcoenzyme A.

Cette biosynthèse a permis la formation d'une grande diversité de molécules qui sont spécifiques d'une espèce de plante, d'un organe ou d'un tissu particulière (**Richter, 1993**)

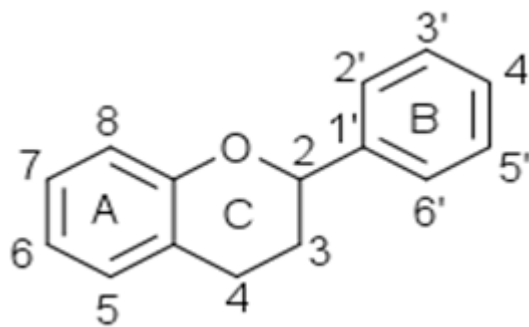
La classification des polyphénols est basée essentiellement sur la structure, le nombre de noyaux aromatiques et les éléments structuraux qui lient ces noyaux.

➤ **Acides phénoliques**

Les acides phénoliques sont des unités simples des composés phénoliques. Ils peuvent être présents à l'état libre, liés entre eux ou attachés aux autres molécules (glucides, protéines, etc.). On distingue deux acides phénoliques ; l'acide hydroxybenzoïque et l'acide cinnamique (**Haslam, 1998**).

➤ **Les flavonoïdes**

Ce sont des composés phénoliques à faible poids moléculaire, possèdent un noyau flavane. Ils sont largement distribués dans les feuilles, les graines, l'écorce et les fleurs (**Heim et al., 2002**). Ces composés sont considérés comme des puissants antioxydants, et piègeurs des radicaux libres réactifs et chélateurs d'ions métalliques (**Figure 10**) (**Rita et Farit , 2009**).



**Figure 10. Structure de base de flavonoïdes (Crozier et al., 2009)**

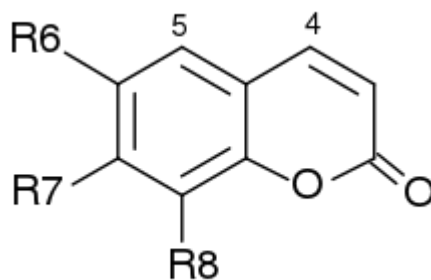
➤ **Les tannins**

Les tanins sont des composés polyphénoliques. Ils ont des propriétés de précipiter les alcaloïdes et les protéines. Ils sont capables de régénérer les tissus et favorisent la régulation de la circulation veineuse (**Khanbaba et Ree, 2001**). On distingue deux types des tanins selon leurs structures et leurs propriétés, les tannins hydrolysables et les tanins condensés. Les tannins protègent la cellule de la mort cellulaire programmée en réduisant les dommages de l'ADN (**Ray et al., 2000**).

➤ **Les coumarines**

Ce sont des hétérocycles oxygénés ayant comme structure de base le benzo-2-pyrone, isolées la première fois de *Coumarouna odorata* par Vogel en 1820. Aujourd'hui, près de 1000 composés coumariniques sont isolés dans plus de 800 espèces de plantes et dans les microorganismes.

En fonction de leurs structures on peut les classer en coumarines simples avec des substituants sur le cycle du benzène, les furanocoumarines, les pyranocoumarines (**Figure 11**) (**Ameziane, 2016**).



**Figure 11 : structure de base de coumarine (Igor, 2002)**

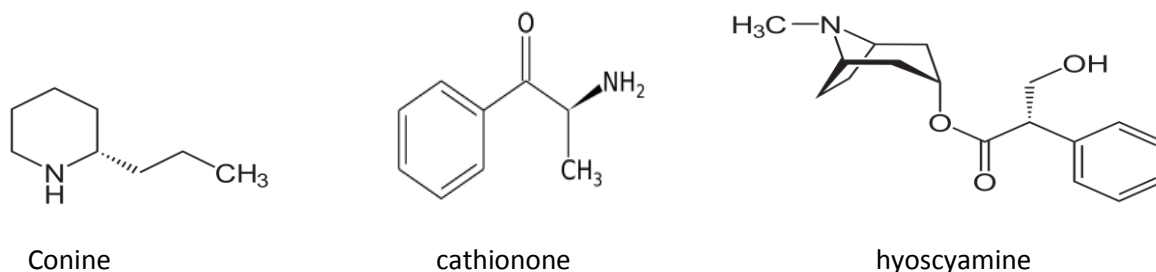
## 2-2. Les composés azotés (alcaloïdes)

Les alcaloïdes sont des principes organiques azotés plus ou moins basiques formant un groupe très large (**Iserin, 2001**), parfois complexes, donnant lieu à des réactions chimiques communes et manifestant une activité physiologique remarquable. Ils sont généralement combinés à des acides ou à des tanins qui se trouvent en solution dans le suc cellulaire. Les alcaloïdes sont abondants dans les tissus particulièrement actifs : régions de croissance, points végétatifs, zones de cicatrisation, bourgeons qui s'ouvrent, ovaires et ovules qui mûrissent (**Bézanger-Beauquesne, 1958**).

On distingue trois classes d'alcaloïdes (**Bruneton, 1999**).

- ❖ Alcaloïdes vrais : sont biosynthétiquement formés à partir d'un acide aminé et comporte un atome d'azote dans un système hétérocyclique, exemple : hyoscyamine.

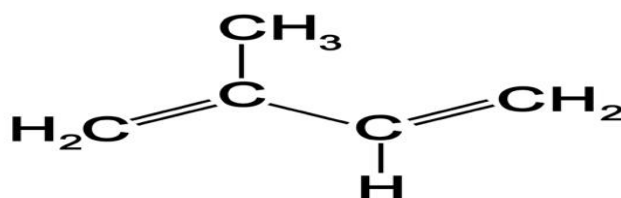
- ❖ Pseudo-alcaloïdes : représentent le plus souvent toutes les caractéristiques des alcaloïdes vrais, mais ne sont pas dérivés des acides aminés, exemple : conine.
- ❖ Proto-alcaloïdes : ils ne possèdent pas un azote intra-cyclique, ils ont une structure proche des amines, exemple : cathionone (**Figure 12**).



**Figure 12 : Exemples des classes des alcaloïdes (Tadeusz, 2007)**

### 2-3.Composés terpéniques

Le mot terpène signifie tous les composés possédant une structure moléculaire construite d'un monomère à 5 carbones appelé isoprène. Ils sont majoritairement d'origine végétale (**Malecky, 2008**). Les terpènes sont classés, selon le nombre de répétitions de l'unité de base isoprène en monoterpènes (C10), sesquiterpènes (C15), diterpènes (C20), sesterpènes (C25), triterpènes (C30) (**Figure 13**) (**Kabouche, 2005**).



**Figure 13 : Structure de la molécule d'isoprène (Calsamiglia et al., 2007).**

### 3- Rôle biologique

Les métabolites secondaires jouent un rôle très important dans plusieurs fonctions biologiques.

Ils sont connus non seulement en raison de leur rôle protecteur contre les effets nocifs de la lumière UV ou d'autres facteurs abiotiques, mais également en tant que défenseurs contre les herbivores et les microorganismes pathogènes. De plus, ils sont reconnus pour aider au processus de pollinisation et comme de signaux chimiques permettant à la plante de s'adapter à l'environnement (**Graglia et al., 2001**).

Les polyphénols jouent un grand rôle dans la quantité nutritive et hygiénique des aliments, certains d'entre eux ont des propriétés vitaminiques utilisées par l'industrie pharmaceutique.

Ils interviennent également dans la digestibilité des aliments, dans l'utilisation physiologique des protéines (avec lesquelles les tanins se combinent).

Des études ont démontré qu'une consommation importante d'antioxydants phénoliques pouvait être corrélée avec une baisse significative des décès par athérosclérose, en diminuant l'oxydation des LDL (**Frankel et al., 1995**).

Les polyphénols agiraient aussi en inhibant l'agrégation plaquettaire impliquée dans le phénomène de thrombose qui peut conduire à l'occlusion des artères. Ils sont actifs contre de nombreux cancers (colon, estomac, foie, sein, prostate, poumons, peau, vessie,...etc) à tous les stades de cancérogénèse.

Les polyphénols pourraient aussi exercer des effets protecteurs contre les maladies hormonodépendantes telle que l'ostéoporose en modulant la réponse aux oestrogènes endogènes (**Scalbert et Williamson, 2000**). Enfin, les composés phénoliques et en particulier, l'acide salicylique (acide hydroxybenzoïque) ont également des propriétés antiseptiques (**Ribereau, 1968**).

Le tableau 08 résume quelques activités biologiques des familles des composés phénoliques

**Tableau 08 : quelques activités biologiques des familles des composés phénoliques**

Polyphénols	Activités	Auteurs
Acides phénols (cinnamique et benzoïque)	Antibactériens Antifongiques Antioxydants	[Didry et al., 1982] [Ravn et al., 1984] [Hayase et Kato, 1984]
Coumarines	Vasoprotectrices et antiœdémateuses	[Mabry et Ulubelen, 1980]
Flavonoïdes	Antitumorales Anticarcinogènes Anti-inflammatoires Hypotenseurs et diurétiques Antioxydants	[Stavric et Matula, 1992] [Das et al., 1994] [Bidet et al., 1987] [Bruneton, 1993] [Aruoma et al., 1995]
Anthocyanes	Protection des veines et capillaire	[Bruneton, 1993]
Proanthocyanidines	Effets stabilisants sur le collagène Antioxydants Antitumorales Antifongiques Anti-inflammatoires	[Masquelier et al., 1979] [Bahorun et al., 1996] [De Oliveira et al., 1972] [Brownlee et al., 1992] [Kreofsky et al., 1992]
Tanins galliques et catéchiques	Antioxydants	[Okuda et al., 1983] [Okamura et al., 1993]

Les alcaloïdes sont utilisés dans le domaine médical et pharmaceutique comme analgésique, sédatif, anti-convulsif, anti-inflammatoire, antifongique, bactériostatique et anticancéreux (**Kabera et al., 2014**).

Les alcaloïdes sont utilisés comme antalgiques majeurs (morphine), antipaludéens (quinine), pour combattre l'excès d'acide urique (colchicine), comme substances paralysantes (curare, caféine), comme poisons (strychnine, nicotine), comme stupéfiants (cocaïne, mescaline), comme cholinergiques (pilocarpine) ou comme anticancéreux (vinblastine, vincristine) (**Lamnaouer, 2002**).

Les terpénoïdes sont largement utilisés dans le secteur de la nutrition humaine (des arômes ou saveurs ex : menthol extrait de la menthe) et l'industrie du parfum (ex : santalols) (**Van de Braak et Leijten, 1999**).

Les terpènes ont une large utilisation dans le domaine thérapeutique avec leurs propriétés antimicrobiennes, antifongiques, antiparasitaires, antivirales, antioxydantes, anti-allergènes, antispasmodiques, antihyperglycémiques, anti-inflammatoires et aussi anticancéreuses (**Paduch et al., 2007**).



# **Chapitre IV : Le stress oxydatif**

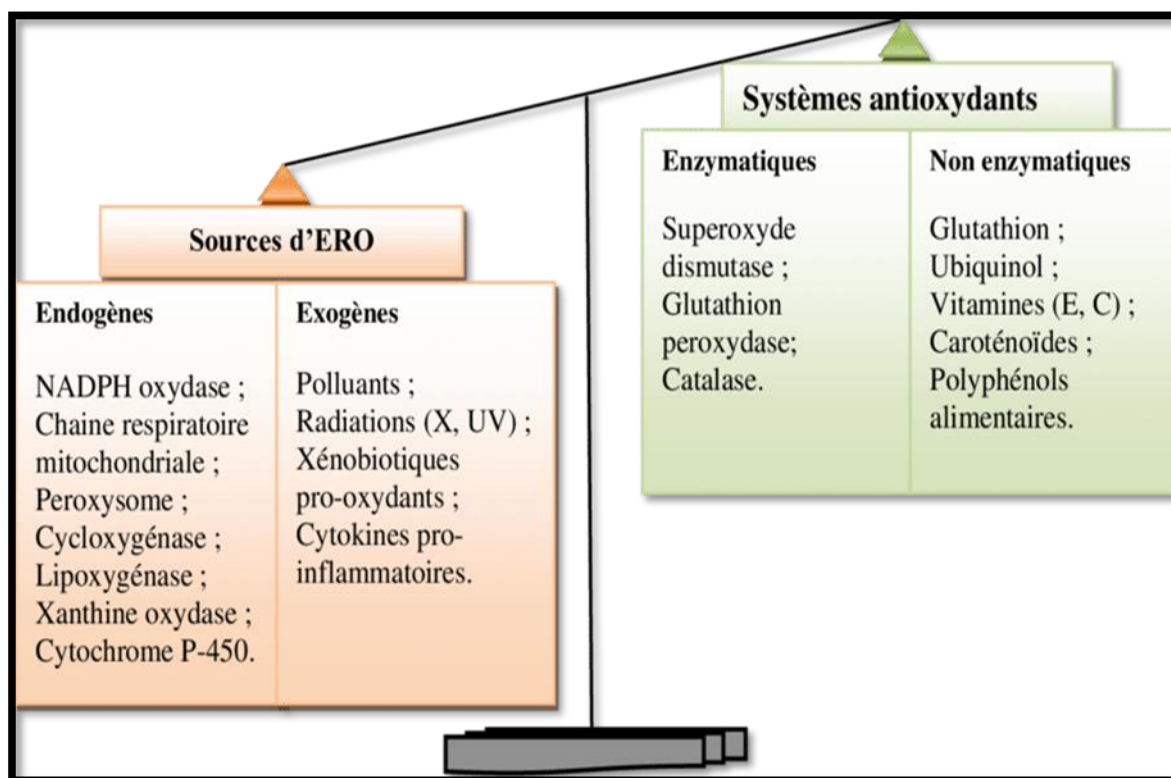
## 1. Définition

Depuis quelques années, le monde des sciences biologiques et médicales est envahi par un nouveau concept, celui du « stress oxydant », c'est-à-dire d'une situation où la cellule ne contrôle plus la présence excessive de radicaux oxygénés toxiques (**Favier, 2003**).

L'oxygène, molécule indispensable à la vie, est fortement impliqué dans l'initiation du stress oxydant caractérisé par un déséquilibre entre la production d'espèces oxygénées réactives (EOR) et la capacité du corps à les neutraliser (**Boyd et al., 2003**).

Un stress oxydatif survient lorsque l'équilibre est rompu en faveur des radicaux libres. Toutefois, une production excessive de ces molécules réactives ou une insuffisance des mécanismes antioxydants peut déséquilibrer la balance oxydant/antioxydant (**Figure 14**) (**Papzian et Roch, 2008**).

Le stress oxydatif correspond à un déséquilibre entre les systèmes pro-oxydants et antioxydants, en faveur des premières. Il est impliqué dans l'apparition de plusieurs maladies (**Atamer, 2008**)

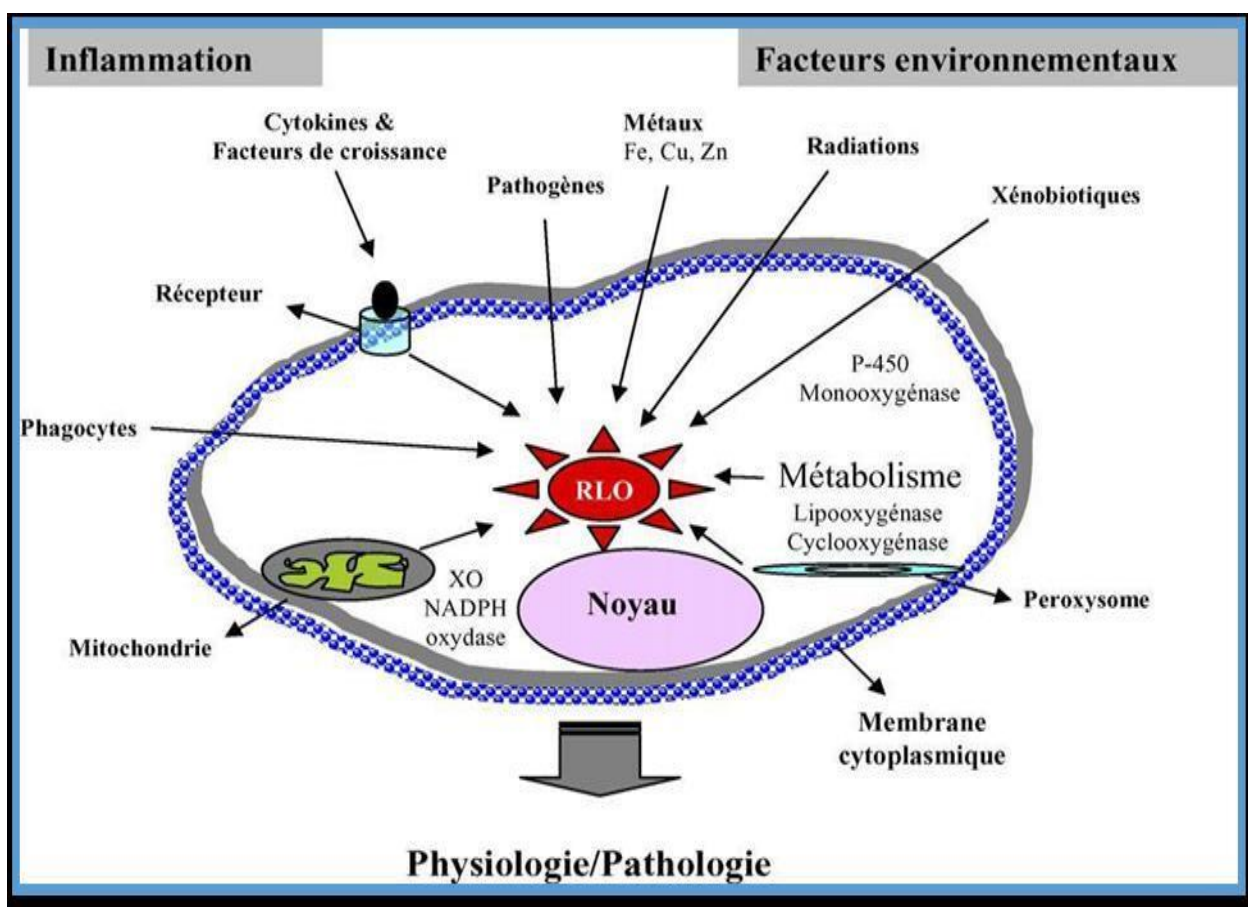


**Figure 14 : Déséquilibre de la balance entre pro-oxydants et antioxydants (Khokhar, Apenten 2003)**

## 2. Origine du stress oxydant

Le stress oxydant peut avoir divers origines, tels que la surproduction endogène d'agents prooxydants d'origine inflammatoire, une défaillance nutritionnelle ou de la carence en un ou plusieurs antioxydants apportés par la nutrition comme les vitamines ou les oligo-éléments (Favier, 2003).

De même, il peut être à l'origine d'une exposition environnementale à des facteurs prooxydants tels que, le tabac, alcool, médicaments, rayons ultraviolets (UV), pesticides, amiante, métaux toxiques, une mauvaise alimentation et la pollution (Figure 15) (Magder, 2006).



**Figure 15 : Origine extra- et intracellulaire des radicaux libres oxygénés (RLO) (XO : xanthine oxydase ; P-450 : cytochrome P-450) (Afonso et al., 2007).**

Les ERO (espèces réactives de l'oxygène) sont reconnus par leur caractère physiologique et physiopathologique (Lamprecht et al., 2004). Dans des conditions physiologiques, les ERO jouent le rôle de seconds messagers et participent activement à la signalisation cellulaire (prolifération cellulaire, immunité, inflammation, et vieillissement). C'est quand ils sont produits de manière incontrôlée puissantes qu'ils sont à l'origine de stress oxydant (Carrière et al., 2006).

### 3. Les radicaux libres

Un radical libre (RL) est une espèce chimique, molécule ou simple atome, capable d'avoir une existence indépendante (« libre») en contenant un ou plusieurs électrons célibataires (électron non apparié sur une orbitale). En effet, ce radical libre a tendance à remplir son orbitale en captant un électron pour devenir plus stable : il va donc se réduire en oxydant un autre composé (Goudable et Favier, 1997).

Dans les phénomènes du stress oxydant prenant place dans les milieux biologiques, les radicaux libres sont caractérisés par la présence d'un électron célibataire sur un atome d'oxygène ou d'azote, ceci leur confère la dénomination d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) ou de l'azote (ERA) (Figure 16) (Favier, 2003)

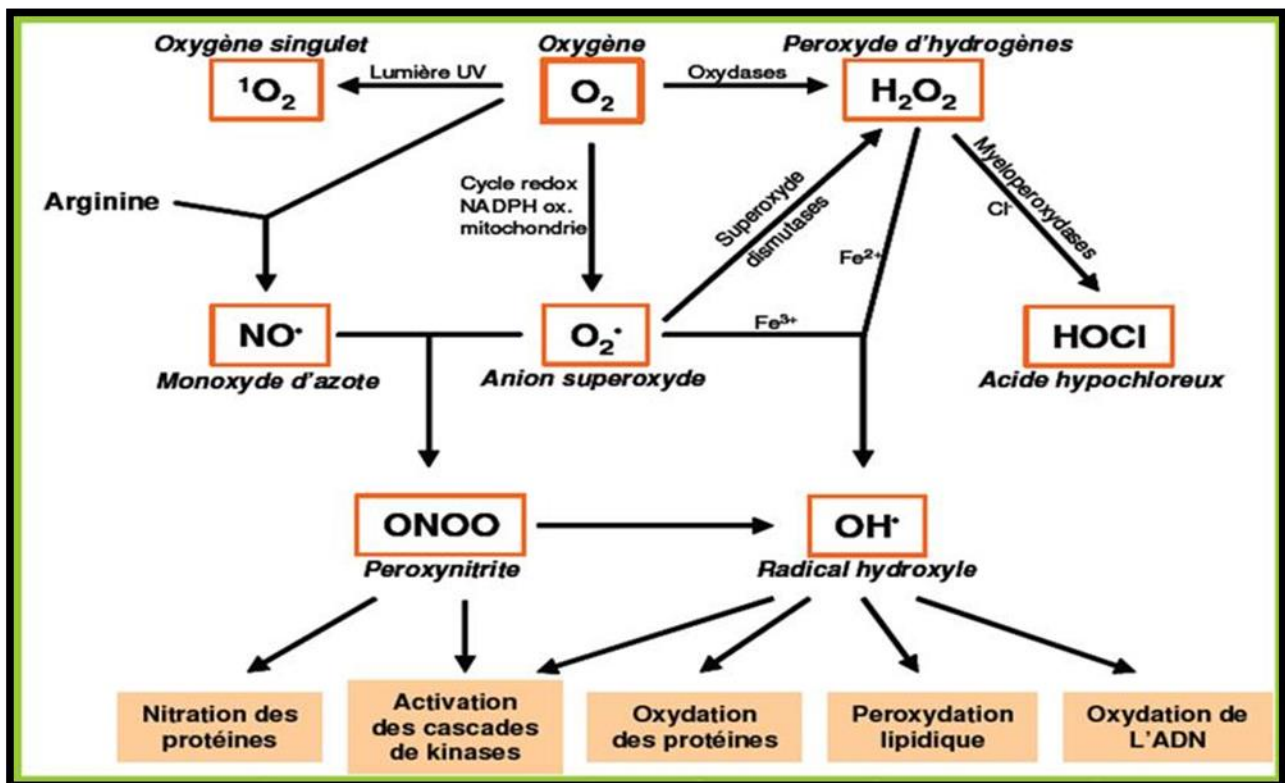


Figure 16 : Origine des différents radicaux libres oxygénés et espèces réactives de l'oxygène (Favier, 2003)

Les radicaux libres proviennent à la fois de sources endogènes (mitochondrie, réticulum endoplasmique, cellules phagocytaires...) et de sources exogènes (pollution, alcool, fumée de tabac, solvants industriels, pesticides et rayonnement) (Phaniendra et al., 2015).

Lorsque ces radicaux libres sont produits plus rapidement, ils ne peuvent être neutralisés par les systèmes de défense antioxydant ce qui permet le développement du stress oxydatif (Picchi, 2006).

#### **Un paradoxe : les radicaux libres sont-ils indispensables à la vie ?**

Le paradoxe des radicaux libres en biologie est qu'ils constituent des espèces extrêmement dangereuses, susceptibles d'engendrer un nombre considérable de maladies, tout en étant des espèces indispensables à la vie. Les radicaux libres remplissent en effet de très nombreuses fonctions utiles qui, à part la phagocytose, ils participent au fonctionnement de certaines enzymes, à la transduction de signaux cellulaires, à la défense immunitaire contre les agents pathogènes, à la destruction par apoptose des cellules tumorales, au cycle cellulaire, à la différenciation cellulaire, à la régulation de la dilatation capillaire, au fonctionnement de certains neurones et notamment ceux de la mémoire, à la fécondation de l'ovule, à la régulation des gènes, phénomène appelé contrôle redox des gènes (Favier, 2003).

### **4. Les principaux types des espèces réactives d'oxygène (ERO)**

Les EOR regroupant les radicaux libres comme l'ion superoxyde, l'ion hydroxyl, le peroxyde d'hydrogène, qui sont produites normalement dans les cellules durant le métabolisme.

Ce sont des molécules hautement réactives, toxiques et responsables de nombreux dommages vis-à-vis des constituants cellulaires de l'organisme (Govindarajan et al., 2005 ; Codoñer-Franch et al., 2011).

#### **4.1. L'anion superoxyde $O_2^{\bullet-}$**

C'est le radical le moins réactif mais le précurseur des autres espèces réactives d'oxygène, formé par la réduction mono électrique de l'oxygène (addition d'un seul électron) (Haioun et Hamoudi, 2015). Il n'est donc pas toxique par lui-même, sa toxicité indirecte peut être expliquées par la formation de radical hydroxyle  $OH^{\bullet}$ , de peroxynitrite  $ONOO^{\bullet}$  et surtout le peroxyde d'hydrogène  $H_2O_2$  (Moussard, 2002).

#### **4.2. Radical hydroxyle $OH^{\bullet}$**

Le radical hydroxyle ( $OH^{\bullet}$ ) est le radical libre le plus réactif et peut être formé à partir de l'anion superoxyde et le peroxyde d'hydrogène en présence des ions métalliques comme le cuivre ou le fer (Chaabi, 2008).

### 4.3 Peroxyde d'hydrogène H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Ce radical provient d'une réaction entre deux anions superoxyde qui met fin au processus radicalaire. Il s'agit d'un oxydant beaucoup moins puissant (**Halmi, 2015**).

## 5. Les conséquences moléculaires du stress oxydatif

La production excessive des radicaux libres provoque des lésions directes de molécules biologiques : oxydation de l'ADN, des protéines, de lipides et des glucides, mais aussi des lésions secondaires dues au caractère cytotoxique et mutagène des métabolites libérés notamment lors de l'oxydation des lipides (**Favier, 2003**).

## 6. Les antioxydants

### 6.1. Définition

On peut envisager sous le titre d'« antioxydants » au sens large, l'ensemble des molécules susceptibles d'inhiber directement la production, de limiter la propagation ou de détruire les espèces réactives de l'oxygène (**Sies, 1997**).

Les composés antioxydants sont définis comme toutes substances qui présentent à faible concentration par apport à celle du substrat oxydable, retardent ou inhibent significativement l'oxydation de ce substrat (**Halliwell, 1990**).

Les antioxydants sont des composés chimiques capables de retarder la peroxydation lipidique, sans effet sur les propriétés sensorielles et nutritionnelles du produit alimentaire.

Ils permettent le maintien de la qualité et d'augmenter la durée de conservation du produit. (**Halvorsen et al., 2006**).

Le maintien d'un niveau non cytotoxique des espèces réactives de l'oxygène ERO est assuré par des systèmes antioxydants. Un déficit ou un dysfonctionnement de ces systèmes engendre une augmentation des dommages tissulaires. Les antioxydants sont des systèmes enzymatiques ou non-enzymatiques (**Packer et al., 1997 ; Mates et al., 1999 ; Powers et Lennon, 1999 ; Dröge, 2002**).

## 6.2. Classification des antioxydants

### 6.2.1. Les antioxydants naturels

Les antioxydants naturels peuvent être endogènes ou exogènes, d'origine nutritionnelle :

#### A-Système endogènes

##### ➤ Système de défense enzymatique

L'organisme humain possède un système enzymatique, constitué principalement de trois enzymes : la superoxyde dismutase (SOD), la catalase et la glutathion peroxydase (GPx) (Avisar et al., 1989).

Ces enzymes ont une action complémentaire sur la cascade radicalaire au niveau du superoxyde et du peroxyde d'hydrogène, conduisant finalement à la formation d'eau et d'oxygène moléculaire (Marfak, 2003).

La superoxyde dismutase (SOD), est une enzyme qui élimine l'anion superoxyde par une réaction de dismutation. Elle produit de l'oxygène et du peroxyde d'hydrogène. Cette enzyme existe sous deux formes : une cytoplasmique nécessite comme cofacteur les ions de cuivre et de zinc (Cu Zn SOD) et l'autre mitochondriale utilise le manganèse comme cofacteur (Mn SOD) (Jacques et André, 2004).

La catalase est une enzyme peroxysomale assurant la dismutation du peroxyde d'hydrogène en eau et en dioxygène (Arora et al., 2002). C'est une enzyme indispensable pour la détoxification des radicaux libres durant le stress. Elle est formée de quatre chaînes polypeptidiques d'environ 500 acides aminés. Chacune d'elles possède un groupe hémique comprenant un atome de fer (Reid et al., 1981).

La glutathion peroxydase est une enzyme formée de quatre sous-unités contenant chacune un atome de sélénium incorporé dans une molécule de sélénocystéine. Elle est présente dans les liquides extracellulaires et dans les cellules au niveau du cytosol et des mitochondries. Elle assure la transformation des hydroperoxydes organiques, lipidiques notamment, de type R-OOH en R-OH (Valko et al., 2007).

##### ➤ Système de défense non enzymatique

Cette classe regroupe des composés endogènes de faible poids moléculaire qui peuvent être soit des produits de synthèse (glutathion) ou issus du métabolisme cellulaire (acide urique) (Kohen et Nyska, 2002).

Des protéines tel que la ferritine, l'albumine contribuent à leur tour dans la défense antioxydante secondaire en chélatant les métaux de transition permettant ainsi de prévenir la formation du radical hydroxyle via la réaction de fenton (**Martinez-Cayuela, 1995**).

Le coenzyme Q10, forme prédominante d'ubiquinone chez l'homme et l'animal, peut agir comme un antioxydant liposoluble, en complément de son rôle dans le métabolisme énergétique.

Sa fonction serait de stimuler un recyclage efficace de la vitamine E, plutôt que d'agir directement sur les radicaux libres (**Beyer, 1994**).

### **B-Systèmes exogènes**

Ce sont des antioxydants apporté par l'alimentation, représentés par les vitamines (E, C,  $\beta$  carotène), les oligo-éléments (sélénium, cuivre, zinc, manganèse) et les polyphénols.

#### ➤ **Les vitamines**

#### **Vitamine C, Vitamine E**

La vitamine C ou l'acide ascorbique est un antioxydant majeur présent dans tous les organes.

Elle est l'un des principaux antioxydants hydrosolubles présent dans les fluides intra et extracellulaire. Elle peut directement réagir avec des espèces réactives de l'oxygène comme (OH• et O<sub>2</sub>•).

Elle régénère la vitamine E à l'interface membrane/cytosol (**Nasri, 2014**).

La vitamine E ou  $\alpha$ -tocophérol, est un antioxydant liposoluble. Elle se localise entre les chaînes d'acides gras des phospholipides qui constituent les membranes et les lipoprotéines.

Le rôle essentiel de la vitamine E est de capter les radicaux peroxydés lipidiques ROO° qui propagent les chaînes de peroxydation (**Gardès et al., 2003**).

Les données cliniques ont prouvé que les patients d'Alzheimer obtiennent des avantages remarquables au traitement par la vitamine E (**Mohammedi, 2006**).

#### ➤ **Les caroténoïdes**

Les caroténoïdes ont une activité antioxydante capable de capter l'oxygène singulet (**Fardet et al., 2013**). Leur structure polyène leur permet d'absorber la lumière et de piéger les radicaux libres formés dans les tissus qui sont responsables des réactions destructives.



L'activité antioxydante de ceux-ci est liée à leur longue chaîne qui leur permet de réagir avec les radicaux  $\text{ROO}\cdot$ ,  $\text{HO}\cdot$ ,  $\text{O}_2\cdot^-$ ,  $\text{R}\cdot$  par simple addition électrophile et transfert d'électron (Valko et al., 2006).

Les plus importants sont : le  $\beta$ -carotène, l' $\alpha$ -carotène, le lycopène, la  $\beta$ -cryptoxanthine, la lutéine et la zéaxanthine. Ces molécules ont suscité l'intérêt grâce à leurs propriétés provitamine A et antioxydantes (Rao, 2007).

#### ➤ Les polyphénols

Ce sont d'excellents piègeurs des EOA (espèces oxygénées activées) et de très bons chélateurs des métaux de transition comme le fer et le cuivre (Haleng et al., 2007).

Les polyphénols possèdent des propriétés antioxydantes impliquées dans la prévention des diverses pathologies associées au stress oxydant telles que : le cancer, maladies cardio-vasculaires, ostéoporose, maladies inflammatoires, neurodégénératives et le diabète (Keerthi et al., 2014).

#### ➤ Les oligoéléments : Le zinc (Zn) Le cuivre (Cu) et Le Sélénium

Le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le manganèse (Mn), le sélénium (Se) et le fer (Fe) sont des métaux essentiels dans la défense contre le stress oxydant.

Le Zinc est un des cofacteurs essentiels de la superoxyde dismutase (SOD). Il protège les groupements thiols des protéines et il peut inhiber partiellement les réactions de formation d'espèces oxygénées induites par le fer ou le cuivre.

La prise de zinc conduit à long terme à l'induction de protéines antioxydantes comme les métallothionéines. (Mezzetti et al., 1998).

A concentration physiologique, le cuivre est le cofacteur d'enzymes comme la SOD, le cytochrome C oxydase, la dopamine  $\beta$ -hydroxylase. Cependant, en tant que métal de transition, il joue un rôle important dans le déclenchement de réactions de production d'EOA (réactions de Fenton) et peut lorsque sa concentration est élevée devenir pro-oxydant. (Halleng et al., 2007).

Le sélénium est un constituant de la glutathion peroxydase, enzyme qui joue un rôle intracellulaire antioxydant, voisin de celui de la vitamine E. Cet effet antioxydant est capital dans la détoxification des radicaux libres produits par le métabolisme cellulaire. Cet effet de détoxification serait responsable des effets anti-cancéreux et anti-âge (Chia-Fung et al., 1995).

### 6.2.2. Les antioxydants synthétiques

Ils sont utilisés pour empêcher les aliments gras de rancir et pour protéger les vitamines liposolubles (A, D, E et K) contre l'oxydation. Les antioxydants synthétiques sont généralement préparés au laboratoire, principalement à partir de composants chimiques. Ils sont utilisés en cosmétique et dans les huiles végétales, comme par exemple : le butylhydroxyanisole (BHA), le gallate de propyle (PG), l'acide nordihydroguaiaretique (NDGA)... **(Guo et al., 2006).**

A souligner que malgré leur grand pouvoir antioxydant, l'excès de ces antioxydants synthétiques peut être toxique **(Williams, 1994).**

## 7. Les maladies liées au stress oxydant

Le stress oxydant est impliqué dans de très nombreuses maladies comme facteur déclenchant ou associé à des complications de l'évolution.

La plupart des maladies induites par le stress oxydant apparaissent avec l'âge car le vieillissement diminue les défenses antioxydantes et augmente la production mitochondriale de radicaux **(Sohal et al., 2002).**

En faisant apparaître des molécules biologiques anormales et en sur-exprimant certains gènes, le stress oxydant sera la principale cause initiale de plusieurs maladies : cancer, cataracte, sclérose latérale amyotrophique, syndrome de détresse respiratoire aiguë, œdème pulmonaire, vieillissement accéléré.

Le stress oxydant est aussi un des facteurs potentialisant l'apparition de maladies plurifactorielles tel que le diabète, la maladie d'Alzheimer, les rhumatismes et les maladies cardiovasculaires **(Montagnier et al., 1998).**

## **Deuxième partie : Partie expérimentale**

# **Matériel et méthodes**

## 1. But du travail

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à une étude comparative basée sur les résultats obtenus des analyses phytochimiques, dosages des composés phénoliques et évaluation de l'activité antiradicalaire (piégeage de radical libre : DPPH), des extraits bruts hydrométhanoliques de trois épices largement consommées par la population de la région de Tlemcen (Ouest Algérie) : rhizomes secs de *Curcuma longa* L., fruits de *Capsicum annuum* L et les stigmates des fleurs de *Crocus Sativus* L.

L'étude est basée sur deux travaux expérimentaux réalisés par les étudiantes : **Dehini Bouchra (2019)** et **Ouasti Kheira et Saci Fatna (2019)** en vue de l'obtention du diplôme de master en «Biologie de la nutrition » dans les laboratoires de biochimie du département de biologie, faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université de Tlemcen, Algérie

Le travail a comporté deux volets :

### • Une étude phytochimique :

1- Préparation des différents extraits :

- Rhizomes de *Curcuma longa* L.
- Fruits de *Capsicum annum* L.
- Stigmates des fleurs de *Croccus sativus* L.

2- Tests phytochimiques sur les différentes préparations.

3- Dosage des composés phénoliques (polyphénols totaux, flavonoïdes).

### • Une étude biologique :

Evaluation de l'activité antiradicalaire par la technique du piégeage du radical libre DPPH, des extraits préparés.

## 2. Matériel végétal

Les rhizomes secs du curcuma (*Curcuma longa* L.) ont été achetés chez les herboristes de la région de Maghnia et Tlemcen, wilaya de Tlemcen (**Dehini, 2019 ; Ouasti et Saci, 2019**),

Ils ont été broyés en poudre à l'aide d'un mortier, puis conservés à une température ambiante et à l'abri de la lumière.

Les fruits du poivron rouge (*Capsicum annum*) ont été récoltés au stade maturité complète, le mois d'Août 2018 dans la région de Maghnia, Wilaya de Tlemcen.

Les fruits sont séchés à l'air libre pendant quelques semaines et broyés en poudre à l'aide d'un mortier, puis conservés à une température ambiante et à l'abri de la lumière (Dehini, 2019 ; Ouasti et Saci, 2019).

Les fleurs du Safran (*Crocus Sativus L.*) ont été récoltées dans la région El Aricha, wilaya de Tlemcen, le mois de novembre 2018.

Les stigmates ont été récupérés des fleurs, séchés à l'air libre et à l'abri de la lumière et conservés à une température de 4°C (Dehini, 2019 ; Ouasti et Saci, 2019).

### 3. Préparation des extraits

Les épices broyées ont été soumis à des extractions hydrométhanoliques par trois différents modes d'extractions (infusion, décoction et macération).

Les trois modes d'extractions ont été appliqués séparément sur les rhizomes du *Curcuma longa L.* et les fruits de *Capsicum annum L.*

La préparation des extraits de *Crocus sativus L.* a été faite sur 0,5 g des stigmates isolés, par deux extractions successives, en macération durant 48h suivie d'une décoction du marc obtenue durant 45min.

Le solvant des trois extraits de chaque épice obtenus est évaporé à sec dans une étuve à 35°C.

### 4. Calcul des rendements d'extraction

Les rendements ont été calculés en pourcentage par la formule suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = (M0/M1) \times 100$$

R(%) : rendement en pourcentage.

M0 : Masse en gramme du résidu sec obtenu après évaporation du solvant d'extraction.

M1 : Masse initiale en gramme d'épices séchées et broyée

### 5. Screening phytochimique

Le screening phytochimique met en évidence la présence des familles de molécules bioactives.

C'est un ensemble de tests qualitatifs utilisés pour connaître la composition chimique globale des extraits en utilisant des réactifs chimiques spécifiques (Kumar et al., 2010).

Les grands groupes chimiques, renfermés dans les extraits préparés des trois épices, ont été déterminés par des tests phytochimiques basés sur des réactions de coloration, de précipitation ainsi que par des examens sous lumière ultra violette. Ils ont pour but de détecter la présence ou l'absence des différents métabolites secondaires tel que les composés phénoliques, les composés azotés, les terpénoïdes et les composés réducteurs.

Les tests phytochimiques ont été réalisés selon les méthodes décrites par **Harbone (1998)** et **Bruneton (2009)**.

### **5.1. Les composés azotés (les alcaloïdes)**

La mise en évidence des alcaloïdes a été effectuée par une réaction de précipitation en présence des réactifs spécifiques des alcaloïdes (**Mayer et Wagner**).

Dans deux tubes à essai, ajouter 1ml de l'extrait, acidifier le milieu par quelques gouttes de HCl (2%) et ajouter 0,5 ml de réactif de Mayer dans le premier tube et 0,5 ml de réactif de Wagner dans le second tube.

L'apparition d'un précipité blanc ou brun respectivement, révèle la présence des alcaloïdes.

### **5.2. Les Composés phénoliques**

#### **➤ Les tanins**

La présence des tanins est mise en évidence par le mélange dans un tube à essai, de 0,25 ml d'une solution aqueuse de FeCl<sub>3</sub> (1%) avec 1 ml d'extrait à analyser. L'apparition d'une coloration verdâtre ou bleu-noirâtre après une incubation de 15 min à température ambiante indique la présence des tanins.

#### **➤ Les Flavonoïdes**

La recherche des flavonoïdes a été réalisée par l'ajout de 1 ml de chaque extrait avec 01 ml d'acide chlorhydrique concentré et quelques copeaux de magnésium. L'apparition d'une couleur rouge, orange ou rose indique leurs présences.

#### **➤ les Quinones libres**

La détection des quinones a été réalisée par l'addition de 1 ml de l'extrait avec 0,1 ml d'hydroxyde de sodium NaOH (1%). L'apparition d'une couleur qui vire au jaune rouge ou violet indique leurs présences.

### ➤ Les Anthraquinones

Une coloration violette apparaît après l'ajout de 1ml de l'extrait à 1 ml de  $\text{NH}_4\text{OH}$  (10 %) puis agitation, indique la présence des anthraquinones libres.

### ➤ Les coumarines : fluorescence UV

Dans deux tubes à hémolyse, introduire 1 ml de l'extrait à analyser, prendre le premier comme témoin et ajouter à l'autre 0,1 ml de  $\text{NH}_4\text{OH}$  (10 %).

Mettre deux taches sur un papier filtre et examiner sous la lumière UV (256 nm).

Une fluorescence intense indique la présence des coumarines.

## 5.3. Composés terpéniques

### ➤ Les saponines : Test de mousse

Dans un tube à essai, introduire 10 ml de l'extrait à analyser, agiter pendant 15 secondes et laisser le mélange au repos pendant 15 min. une hauteur à 1 cm d'une mousse persistante indique la présence de saponines.

### ➤ Terpénoïdes : Test de Slakowski

Dans un tube à essai, ajouter à 1ml d'extrait, 0,4 ml de chloroforme et 0,6 ml d'acide sulfurique concentré. La formation d'un anneau marron-rouge à l'interphase indique la présence des terpénoïdes.

## 5.4. Les composés réducteurs

La présence des composés réducteurs est mise en évidence par l'addition de 1 ml de liqueur de Fehling (0,5 ml réactif A et 0,5 ml réactif B) à 1 ml d'extrait à analyser et l'incubation de l'ensemble dans un bain marie bouillant pendant 8min. L'apparition d'un précipité rouge brique indique leur présence.

## 6. Dosage des composés phénoliques : Tests quantitatifs

### 6.1. Dosage des polyphénols totaux

#### • Principe

Le dosage des polyphénols totaux des extraits d'épices étudiées a été réalisé par la méthode décrite par Vermerris et Nicholson (2006).



Le principe de cette méthode est basé sur une réaction de coloration par le réactif « Folin\_cicalteu »,

**Le réactif « Folin\_cicalteu »**, de couleur jaune est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMO_{12}O_{40}$ ). Il est réduit lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxyde bleu de tungstène ( $W_8O_{23}$ ) et de molybdène ( $Mo_8O_{23}$ ), dont l'absorption maximum est comprise entre 700 et 760 nm

#### • Mode opératoire

Un volume de 0,1 ml d'extrait (1mg/ml) a été mélangé avec 2ml d'une solution de carbonate de sodium  $Na_2CO_3$  (2%). Après 5 min d'agitation, 0,1 ml du réactif Folin-cicalteu (1N) a été ajouté à la suspension.

Après 30 min d'incubation à l'abri de la lumière et température ambiante ; la lecture a été réalisée à 700 nm contre un blanc à l'aide d'un spectrophotomètre.

En parallèle, une gamme d'étalonnage a été préparée dans les mêmes conditions à partir d'acide gallique à différentes concentrations de 50 à 500  $\mu\text{g/ml}$ .

Les résultats obtenus sont exprimés en microgramme Equivalent d'acide gallique par milligramme d'extrait obtenu sec ( $\mu\text{g Eq AG /mg ES}$ ).

### 6.2. Dosage des flavonoïdes totaux

#### • Principe

Les teneurs en flavonoïdes contenus dans les extraits d'épices ont été réalisées par une méthode de dosage colorimétrique décrite par **Zhishen et al., (1999)**

Le principe de cette méthode repose sur l'oxydation des flavonoïdes en milieu alcalin en présence de trichlorure d'aluminium ( $AlCl_3$ ) et du nitrite de sodium  $NaNO_2$ .

Le trichlorure d'aluminium forme un complexe jaune avec les flavonoïdes et la soude forme un complexe de couleur rose qui absorbe dans le visible à 510 nm (**Ardestani et al., 2007**).

#### • Mode opératoire

Un volume de 250  $\mu\text{l}$  d'extrait (1mg/ml) a été mélangé avec 1 ml d'eau distillée et 75  $\mu\text{l}$  d'une solution de nitrite de sodium ( $NaNO_2$ ) à 15%. Après 6 min d'incubation, 75  $\mu\text{l}$  de chlorure d'aluminium ( $AlCl_3$ ) à 10% ont été ajoutés à la solution.

Après 6 min d'incubation, 1 ml d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 4% a été ajouté aux différents tubes et le volume total des tubes a été complété avec 2,5ml avec d'eau distillée.

Après 30 min. L'absorbance a été mesurée au spectrophotomètre à 510 nm contre un blanc.

Une courbe d'étalonnage a été réalisée dans les mêmes conditions opératoires en utilisant la catéchine comme standard à différentes concentrations de (20 à 500 µg/ml).

Les résultats obtenus sont exprimés en microgramme équivalent catéchine par milligramme d'extrait obtenu sec (µg Eq C /mg ES).

## 7. Test de piégeage du radical libre DPPH (2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl)

### • Principe

Pour étudier l'activité antiradicalaire des différents extraits, la méthode optée est celle qui utilise le radical DPPH (2,2-Diphényl-1-1picrylhydrazyl)

Le DPPH est un radical libre relativement stable de couleur violacée qui absorbe à 517nm.

En présence de composés antiradicalaires, le radical DPPH est réduit et change de couleur en virant au jaune dont l'intensité de la couleur est inversement proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans le milieu à donner des protons (**Figure 17**) (**Sanchez-Moreno, 2002**).

La lecture de l'absorbance est faite contre un blanc préparé pour chaque concentration à 517nm après 30 min d'incubation à l'obscurité et à température ambiante.

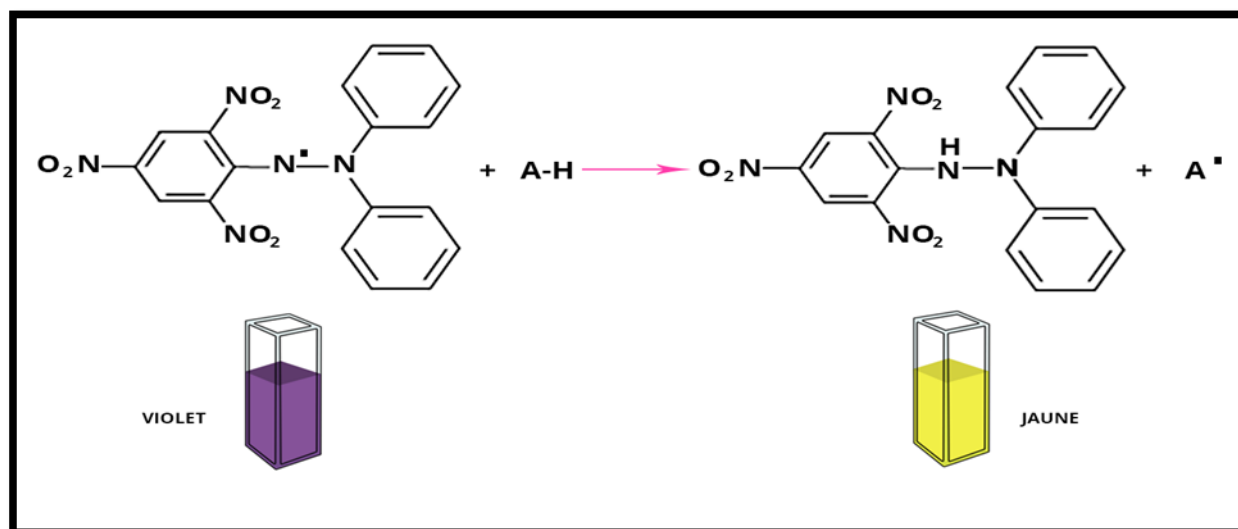


Figure 17 : Forme radicalaire et réduite du DPPH (Molyneux, 2004)

**• Mode opératoire**

L'effet de chaque extrait sur la réduction de DPPH a été réalisé selon le protocole décrit par (Atoui et al., 2005).

Un volume de 50µl de différentes concentrations des extraits a été ajouté à 1950µl de la solution du DPPH (à 0,025 mg/ml).

Le contrôle négatif est préparé, en parallèle, en mélangeant 50 µl du méthanol avec 1950 µl d'une solution méthanolique de DPPH à la même concentration utilisée.

Une gamme d'étalonnage d'acide ascorbique aux concentrations allant de 0,01 à 0,5 mg /ml a été utilisée comme contrôle positif. Après incubation pendant 30 minutes à température ambiante ; la lecture des absorbances a été effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre à 517nm.

Le pourcentage de réduction du DPPH est donné par la formule suivante

% P.I du DPPH :  $(A_{\text{à } t_0} - A_{\text{éch à } t_{30\text{min}}}) \times 100 / (A_{\text{cont à } t_0})$

% P.I du DPPH : pourcentage de réduction ou d'inhibition du DPPH.

Acont à t0 : absorbance du DPPH à t0.

Acont à t30 : absorbance à 30 min après incubation.

# **Résultats et interprétations**

## 1. Détermination des caractéristiques et des rendements des extraits des épices

Les épices séchées et broyées ont été préparées, dans un milieu hydrométhanolique ; mélange eau/méthanol : 30/70, par trois modes d'extraction : « infusion, macération et décoction ».

Après une extraction, Les extraits bruts récupérés après évaporation à sec ont été pesés pour déterminer le poids sec résultant.

Le rendement a été déterminé par rapport à la masse de l'épice sec. Les résultats ont été exprimés en pourcentage massique (**Tableau 09**).

**Le tableau 09** : Caractéristiques de chaque extrait préparé de trois épices étudiées (**Dehini, 2019 ; Ouasti et Saci, 2019**).

<i>Extraits d'épices</i>		<i>Rdt (%)</i>	<i>Aspect</i>	<i>Couleur</i>	<i>Solubilité</i>
<i>Rhizomes C. longa</i>	Décoction	8,28	Cristallisé/poudre	Marron foncé	Eau distillée et méthanol
	Infusion	3,32	Cristallisé/poudre	Marron	Eau distillée et méthanol
	Macération	6,67	Pâte	Marron foncé	Eau distillée et méthanol
<i>Fruits C. annum</i>	Décoction	42,84	Caramélisé	Marron foncée	Eau distillée et méthanol
	Infusion	41,02	Caramélisé	Marron foncée	Eau distillée et méthanol
	Macération	47,9	Caramélisé	Marron foncée	Eau distillée et méthanol
<i>Stigmates C. sativus</i>	Décoction	7,8	Cristallisé/poudre	Rouge brique	Eau distillée et méthanol
	Macération	30,50	Cristallisé/poudre	Rouge brique	Eau distillée et méthanol

D'après les résultats résumés dans le tableau 09, les rendements d'extractions des épices sont très variables (de 3,32 à 47,9%). Ils varient en fonction des modes d'extractions et le type d'épice étudiée.

Les préparations des extraits bruts hydrométhanolique par macération ont marqué les rendements les plus élevées (47,9% pour *C. annum* et 31% pour *C. sativus*), par rapport aux autres préparations.

Les extraits bruts hydrométhanoliques de fruits *C. annuum* ont enregistré les rendements les plus élevés (entre 41 et 48%), quel que soit le mode d'extraction, par rapport aux deux autres épices étudiées.

Par ailleurs, tous les extraits préparés ont présenté une bonne solubilité dans l'eau distillée et même dans le méthanol.

Il a été constaté aussi que l'aspect physique diffère d'une épice à l'autre, les trois extraits bruts préparés des Fruits de *C.annuum* ont présenté un aspect Caramélisé. Par contre, les deux extraits bruts infusion et décoction préparés des Rhizomes de *C. longa* sont récupérés sous forme de cristaux ou poudre. Contrairement, à l'extrait préparé par macération qui a présenté un aspect pâteux.

Les extraits bruts préparés à partir du Stigmates des fleurs de *C. sativus* sont présenté sous forme des cristaux ou poudre.

## 2. Tests phytochimiques

Les tests phytochimiques ont pour but de détecter les familles de composés caractérisés dans les épices étudiées par des réactions qualitatives, Ces derniers sont basés sur des phénomènes de précipitation ou de coloration par des réactifs spécifiques à chaque famille de composés.

Les résultats des tests phytochimiques des extraits bruts hydrométhanoliques préparés par infusion, décoction ou macération des épices sont représentés dans le tableau 10

**Tableau 10** : Résultats des tests phytochimiques des extraits préparés (Dehini, 2019 ; Ouasti et Saci, 2019).

Métabolites secondaires	Fruits de <i>C. annuum</i>			Rhizomes de <i>C. Longa</i>			Stigmates des fleurs de <i>C. sativus</i>	
	Infu.	Déc.	Mac.	Infu.	Déc.	Mac.	Déc.	Mac.
Tanins	+	-	+	+	+	+	-	+
Flavonoïdes	-	+	-	+	+	+	+	-
Quinones	-	-	-	+	+	+	-	+
Antraquinones	-	-	-	+	+	+	-	-
Coumarines	+	+	+	+	+	+	-	-
Saponines	-	+	-	+	+	-	-	-
Terpénoïdes	+	+	+	+	+	+	-	+
Alcaloïdes : Mayer	-	+	-	+	+	+	-	-
Alcaloïdes : Wagner	-	+	+	+	+	+	-	-
Composées réducteurs	+	+	+	-	+	+	+	+

*Infu* : infusion ; *Déc* : Décoction ; *Mac* : Macération. (+) : positif ; (-) : Test négatif.

D'après les résultats obtenus, la composition phytochimique des trois épices est variable. Elle varie selon l'espèce analysée et le mode d'extraction.

L'analyse phytochimique des différents extraits préparés des rhizomes de *Curcuma Longa* ont révélé la présence de tous les métabolites secondaires recherchés : Tanins, flavonoïdes, Quinones, Anthraquinones, coumarines, terpénoïdes, saponines, alcaloïdes et composées réducteurs.

Par ailleurs, les tests phytochimiques réalisés sur les différents extraits préparés des Stigmates des fleurs de *Crocus sativus* ont révélé la présence des tanins, flavonoïdes, quinones, terpénoïdes et composés réducteurs. Tandis que les saponines, les anthraquinones, les coumarines, les alcaloïdes sont absents dans ces extraits.

Les extraits préparés des fruits de *Capsicum annum* ont marqué la présence des tanins, flavonoïde, coumarines, terpénoïdes, saponines, alcaloïdes, et composées réducteurs. Alors que les quinones et les anthraquinones sont complètement absentes dans ces extraits quel que soit le mode d'extraction.

### 3. Dosage des composées phénoliques

Le dosage des polyphénols totaux et des flavonoïdes a été réalisé par des méthodes colorimétriques.

Les teneurs en polyphénols totaux obtenues sont exprimées en  $\mu\text{g}$  équivalent d'acide gallique par mg d'extrait sec ( $\mu\text{g}$  EAG/mg ES).

Les teneurs en flavonoïdes sont exprimées en  $\mu\text{g}$  équivalents catéchine par mg d'extrait ( $\mu\text{g}$  EC/mg ES), en utilisant les équations de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage.

Les résultats sont regroupés dans les tableaux 11 et 12.

**Tableau 11** : La moyenne des teneurs en polyphénols totaux des extraits des rhizomes *C. longa*, fruits *C.annuum* et stigmates *C. sativus* (Dehini, 2019 ; Ouasti et Saci, 2019).

<i>Epices étudiées</i>		<i>Polyphénols totaux (µg EAG/mg ES)</i> <i>Moyenne ± écart type (n=4)</i>		<i>Moyenne des teneurs en polyphénols totaux ± Ecart type µg EAG/mg ES</i>
<i>Extraits</i>	<i>Mode d'extraction</i>	<i>Dehini, 2019</i>	<i>Ouasti et Saci 2019</i>	
<i>Fruits Capsicum annuum</i>	<i>Infusion</i>	235 ± 20	405±0,11	320 ± 10,05
	<i>Décoction</i>	135 ± 25	170±0,10	152,5± 12,55
	<i>Macération</i>	250 ±20	320±0,16	285± 10,08
<i>Rhizomes Curcuma Longa</i>	<i>Infusion</i>	50 ±10	115±0,05	82,5± 5,03
	<i>Décoction</i>	90±25	93±0,05	91,5± 12,53
	<i>Macération</i>	40 ±30	105±0,05	72,5± 15,03
<i>Stigmates fleurs Crocus sativus</i>	<i>Décoction</i>	25 ±9	25±0,02	25± 4,51
	<i>Macération</i>	60 ±15	110±0,04	85± 7,52

**Tableau 12** : La moyenne des teneurs en flavonoïdes des extraits des rhizomes *C. longa*, fruits *C.annuum* et stigmates *C. sativus* (Dehini, 2019 ; Ouasti et Saci, 2019).

<i>Epices étudiées</i>		<i>Flavonoïdes (µg EAC/mg ES)</i> <i>Moyenne ± écart type (n=4)</i>		<i>Moyenne des teneurs en Flavonoïdes ± Ecart type µg EAC/mg ES</i>
<i>Extraits</i>	<i>Mode d'extraction</i>	<i>Dehini, 2019</i>	<i>Ouasti et Saci 2019</i>	
<i>Fruits Capsicum annuum</i>	<i>Infusion</i>	33,33 ±19,66	30±0,05	31,67± 9,86
	<i>Décoction</i>	18,66 ±6,66	15±0,01	16,83± 3,34
	<i>Macération</i>	32,66 ±20	45±0,05	38,83± 10,03
<i>Rhizomes Curcuma Longa</i>	<i>Infusion</i>	18 ± 6,00	25±0,02	21,50± 3,01
	<i>Décoction</i>	20 ± 9,00	30±0,02	25,00± 4,51
	<i>Macération</i>	13,33 ± 7,00	5±0,014	9,17± 3,51
<i>Stigmates fleurs Crocus sativus</i>	<i>Décoction</i>	10 ± 6,66	1,5±0,004	5,75± 3,33
	<i>Macération</i>	4,66 ± 1,66	5±0,01	4,83± 0,84



D'après les résultats représentés dans les tableaux 11 et 12 des moyennes des teneurs en composés phénoliques des trois épices étudiées, des teneurs très élevées en polyphénols totaux et en flavonoïdes ont été enregistrées dans les extraits bruts préparés des Fruits de *Capsicum annuum*, par rapport aux deux autres épices étudiées, rhizomes de *C. longa* et stigmates fleurs de *C. sativus*.

De même, les extraits préparés des stigmates des fleurs de *C. sativus* ont présenté les teneurs les plus faibles en polyphénols totaux et en flavonoïdes.

Par rapport aux modes d'extraction, les extraits préparés par infusion et macération ont été montrés très riches en composés phénoliques.

L'extrait brut préparé par infusion des fruits de *C. annuum* a noté la teneur la plus élevée en polyphénols totaux d'ordre de  $320 \pm 10,05 \mu\text{g EAG/mg ES}$ . Par ailleurs, l'extrait brut préparé par macération de la même épice a enregistré la teneur la plus élevée en flavonoïdes d'ordre de  $38,83 \pm 10,03 \mu\text{g EAG/mg ES}$ .

#### 4. Test de piégeage du radical libre DPPH

Le pouvoir des extraits préparés des trois épices étudiées sur le piégeage de radical libre DPPH a été étudié.

Les résultats obtenus sont présentés sous forme de graphes de pourcentage de réduction du radical libre DPPH en fonction des concentrations des extraits bruts ou de l'acide ascorbique (témoin positif).

L'absorbance a été effectuée par spectrophotométrie à 517 nm. A partir des valeurs obtenues, les pourcentages d'inhibition ont été calculés.

A partir des courbes des régressions logarithmiques des pourcentages d'inhibition en fonction des concentrations des extraits, la valeur de  $CI_{50}$  a été calculée. Elle est inversement proportionnelle à la capacité antioxydante d'un composé, car elle reflète la quantité d'antioxydant requise pour neutraliser 50% de la concentration initiale du radical libre dans le milieu.

Les  $CI_{50}$ , représentent les concentrations nécessaires pour réduire 50% du radical libre DPPH (mg/ml) de l'acide ascorbique et des différents extraits étudiés. Les valeurs sont résumées dans le (Tableau 13).

Plus la valeur d' $IC_{50}$  est faible, plus l'activité antiradicalaire d'un composé est appréciable.

**Tableau 13** : Valeurs des CI<sub>50</sub> de l'acide ascorbique et les différents extraits hydrométhanoliques des rhizomes de *C. longa*, fruits de *C. annuum* et stigmates de *C. sativus* (Ouasti et Saci, 2019)

Epices	Mode d'extraction	CI <sub>50</sub> (mg/ml)
<i>Rhizomes Curcuma Longa</i>	Infusion	1,29
	Décoction	1,47
	Macération	0,41
<i>Fruits Capsicum annuum</i>	Infusion	1,79
	Décoction	0,74
	Macération	2,51
<i>Stigmates fleurs Crocus sativus</i>	Macération	1,37
<b>CI 50 de l'acide ascorbique est d'ordre de 0,01mg/ml</b>		

D'après les résultats obtenus, il a été constaté que l'extrait brut hydrométhanolique préparé par macération de *C. longa* et la décoction de *C. annuum* ont présenté l'activité antiradicalaire la plus puissante par rapport aux autres extraits, avec des valeurs de CI<sub>50</sub> d'ordre de 0,41 mg/ml et 0,74mg/ml, respectivement. Mais cette activité reste plus faible par rapport à celle de l'acide ascorbique qui a enregistré une CI<sub>50</sub> d'ordre de 0,01 mg/ml dans les mêmes conditions.

# Discussion

## Discussion

---

L'intérêt porté à la protection de la santé humaine a conduit au recours aux produits naturels.

Ces derniers, requièrent un intérêt scientifique renouvelé par l'étude des principes actifs qu'ils contiennent.

Ces dernières années, l'intérêt porté aux antioxydants naturels, en relation avec leurs propriétés thérapeutiques, a augmenté considérablement (**Sanchez, 2002 ; Huang et Prior, 2005**).

Un grand nombre d'épices sont employées en médecine traditionnelle. Ces épices renferment de nombreux métabolites secondaires, qui font l'objet de nombreuses recherches. Ceci est notamment le cas des composés phénoliques et des huiles essentielles qui sont largement utilisés en thérapeutique, comme des agents préventifs de plusieurs maladies associées au stress oxydant (**Farag et al., 1989**).

La population algérienne est une grosse consommatrice d'épices. Les besoins sont couverts en quasi-totalité par l'importation. La quantité moyenne calculée sur la base des cinq années (2010-2014) avoisine annuellement à 131 426 tonnes. Il est à noter que ces espèces de plantes sont en majorité d'origine méditerranéenne d'usage courant et font partie de la flore spontanée de l'Algérie bien qu'elles soient importées. Les pays producteurs fournisseurs de l'Algérie sont principalement : la Chine, l'Inde, le Pakistan, la Turquie et surtout la Tunisie, le Maroc et l'Egypte (**Ilbert et al., 2016**).

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à une étude comparative et analyse qualitative phytochimique avec dosage des polyphénols totaux, des flavonoïdes et évaluation d'activité antioxydante des extraits bruts hydrométhanoliques, de trois épices largement utilisées dans la région de Tlemcen ouest Algérie : rhizomes secs du curcuma (*Curcuma longa* L), fruits du poivron rouge (*Capsicum annum* L.) et les stigmates des fleurs du Safran (le *Crocus Sativus* L.).

Le curcuma est un ingrédient de cuisine indienne, asiatique et africaine. C'est une plante herbacée vivace de la famille des Zingibéracées, cultivée pour son rhizome charnu.

Il est volontiers utilisé comme un succédané de safran, bien que l'unique similarité soit la couleur (**Delachaux et Niestlé, 2013**).

Le Poivre ou Poivron rouge (*Capsicum annum* L.) est un fruit cultivé dans de nombreux pays du monde. Il est l'un des plus anciens et des plus importants colorants alimentaires naturels largement utilisés en raison de sa forte teneur en caroténoïdes. (**Topuz et al., 2009**).

## Discussion

---

Il présente une valeur nutritive élevée et il constitue une source très riche en composés bioactifs comme la vitamine C, B et E, les polyphénols, les chlorophylles, les caroténoïdes et les sucres. (**Jadczak et Grzeszczuk, 2009**).

Le safran (*Crocus sativus L*) est l'épice la plus chère du monde, et c'est l'un des 85 espèces du genre *Crocus*. Il est originaire d'Asie Mineure, et il est cultivé dans les pays méditerranéens. Le safran contient principalement certains constituants chimiques responsables de la couleur, de la saveur et de l'arôme. Certains de ses composants ont des propriétés cytotoxiques anti-cancérogènes et anti-tumorales (**Kumar et al., 2009**).

D'après les résultats obtenus, la composition phytochimique des trois épices est variable.

Elle varie selon l'espèce analysée et le mode d'extraction.

L'analyse phytochimique des différents extraits préparés des rhizomes de *Curcuma longa* ont révélé la présence quasi complète de tous les métabolites secondaires recherchés : Tanins, flavonoïdes, Quinones, Anthraquinones, coumarines, terpénoïdes, saponines, alcaloïdes et composés réducteurs.

Les extraits fruits de *Capsicum annuum* sont très riches en terpénoïdes alors que les quinones et les anthraquinones sont complètement absentes dans ces extraits quel que soit le mode d'extraction.

Par ailleurs, les tests phytochimiques réalisés sur les différents extraits préparés des Stigmates des fleurs de *Crocus sativus* ont révélé la présence des tanins, flavonoïdes, quinones, terpénoïdes et les composés réducteurs tandis que les saponines, les anthraquinones, les coumarines, les alcaloïdes sont absents dans ces extraits.

Ces résultats sont comparables à ceux publiés dans la littérature et dans les travaux suivants :

**Dhulipalla et al., (2016), Oghenejobo et al., (2017), Poonam et al., (2017)** ont révélé la présence des tanins, alcaloïdes, phénols, stéroïdes, flavonoïdes, phlobatannine, glycosides cardiaques, terpénoïdes, triterpènes, saponines dans les extraits préparés de *Curcuma longa*.

**Wahua et al., (2014)** ont révélé la présence des métabolites secondaires suivants : Alcaloïdes, saponines, tanins, phlobatannine, flavonoïdes, anthraquinones combinées, Anthraquinones libres et glycosides cardiaque dans les extraits préparés des fruits de *Capsicum Annuum*.

**Vijender et al., (2011)** ont détecté la présence d'alcaloïdes, de flavonoïdes, de glucosides, de tanins, de terpénoïdes, de phénols, de stéroïdes et de saponines pour différents extraits de pétales de *Crocus sativus*.

## Discussion

---

**Boukri (2014)** a montré la richesse du *Curcuma longa* en alcaloïdes, tanins, flavonoïdes, glycosides cardiaques, anthraquinones, composés volatiles, terpénoïdes

**Djeriri et Douzi (2017)** ont montré dans leurs travaux la richesse des stigmates du *Crocus sativus* en flavonoïdes, tanins, terpénoïdes, avec la présence des composés réducteurs et l'absence de coumarines et des anthraquinones dans les extraits.

Ces résultats de screening phytochimique sont en concordance avec les résultats des études récentes qui révèlent la présence des principaux métabolites secondaires dans les extraits préparés de *Capsicum annuum*, *Crocus sativus* et *Curcuma Longa* (**Karimi, 2010 ; Boukri, 2014 ; Achour Talet et Keddar, 2017 ; Saigaa et Rahmaoui, 2018**).

Les rendements d'extractions des épices sont très variables (de 3,32 à 47,9%). Ils varient en fonction des modes d'extractions et le type d'épice étudiée.

Les préparations des extraits bruts hydrométhanolique par macération ont marqué les rendements les plus élevées (47,9% pour *C. annuum* et 31% pour *C. sativus*), par rapport aux autres préparations.

Les extraits bruts hydrométhanoliques de fruits *C. annuum* ont enregistré les rendements les plus élevés (entre 41 et 48%), quel que soit le mode d'extraction, par rapport aux deux autres épices étudiées.

Il est difficile de comparer ces résultats avec ceux de la bibliographie de manière générale.

En effet, le rendement d'extraction n'est que relatif. Il dépend des plusieurs conditions qui peuvent influencer les performances de l'extraction, tel que : les conditions de manipulation, la température, la nature du solvant et la méthode d'extraction (**Lee et al., 2003**).

Le méthanol reste le solvant de choix pour extraire le maximum de molécules biologiquement actives comme les antioxydants d'une espèce végétale (**Sun et al., 2007**).

Les composés phénoliques constituent le groupe principal qui contribue à l'activité antioxydante des végétaux, épices, fruits, céréales et d'autres matériels à base de plantes (**Tachakittirungrod et al., 2007**).

Ces composés possèdent diverses activités biologiques telles que l'activité anti- inflammatoire, antibactérienne, antivirale, antiallergique, anti thrombotique et vasodilatatrice qui peuvent être reliées à leur activité antioxydante (**Gulcin et al., 2010**).

Les flavonoïdes jouent un rôle positif dans le traitement des maladies cardiovasculaires et neurodégénératives (**Bruneton, 1999**).

## Discussion

---

C'est la raison pour laquelle, le dosage des polyphénols totaux et flavonoïdes totaux des trois épices investiguées a été effectué dans cette étude.

Les teneurs en polyphénols totaux dans les extraits hydrométhanoliques des épices étudiées ont été déterminées par la méthode au réactif de Folin-Ciocalteu. Les teneurs en polyphénols totaux varient largement dans les extraits (de 25 à 320 µg EAG/mg ES).

Les Fruits de *Capsicum annuum* possèdent la meilleure teneur en polyphénols totaux suivie par l'extrait préparé des rhizomes de *Curcuma Longa* et des stigmates des fleurs de *Crocus sativus*, respectivement.

Les teneurs en flavonoïdes totaux dans les extraits hydrométhanoliques des épices étudiées ont été déterminées par la méthode d'oxydation des flavonoïdes en milieu alcalin par le nitrite de sodium (NaNO<sub>2</sub>) et le chlorure d'aluminium (AlCl<sub>3</sub>). Les teneurs en flavonoïdes totaux varient largement dans les extraits (de 4,83 à 38,83µg EC/mg ES).

Les Fruits de *Capsicum annuum* possèdent la meilleure teneur en flavonoïdes totaux suivie par l'extrait préparé des rhizomes de *Curcuma Longa* et des stigmates des fleurs de *Crocus sativus*, respectivement.

Les meilleures teneurs en polyphénols et en flavonoïdes dans les extraits de rhizomes *C. Longa* sont celles préparés par décoction (91,5± 12,53µg EAG/mg ES et 25,00 ± 4,51 EC/mg ES, respectivement).

Pour *C. annuum*, les taux le plus élevés en polyphénols et en flavonoïdes ont été enregistrés dans l'extrait brut préparé par infusion (320 ± 10,05 µg EAG/mg ES et 38,83 ± 10,03 µg EC/mg ES, respectivement).

Dans les stigmates *C. sativus*, les taux en polyphénols totaux et en flavonoïdes enregistrés ont été faibles par rapport aux deux autres épices étudiés.

Les teneurs en polyphénols totaux et en flavonoïdes dans les extraits de rhizomes *C. Longa* sont nettement supérieurs à celles enregistrées dans les travaux de **Boukri (2014)**, **Achour Talet et Keddar (2017)**, mais reste plus faible que celles des extraits de **Latreche et Temame (2020)**. Cette différence qui peut être liée à la nature du solvant utilisé.

Les teneurs en polyphénols totaux et en flavonoïdes dans les extraits de *Capsicum annuum* sont nettement supérieurs à celles mesurées dans les travaux de **Saigaa et Rahmaoui, 2018** qui sont de l'ordre de (76,66 µg EC/mg MS) par macération, (59,99 µg EC/mg MS) par infusion et (53,33 µg EC/mg MS) par décoction.

## Discussion

---

Le contenu en polyphénols et des flavonoïdes varie dans les différents types de piments selon la maturité du piment, des facteurs génétiques de la plante et des conditions environnementales (**Lee et al., 1995 ; Materska et Perucka, 2005 ; Oboh et Rocha, 2007**).

Les teneurs en polyphénols totaux dans un extrait de stigmates de *Crocus sativus* sont faibles par rapport à celles rapportées dans les travaux réalisés par (**Benmostefa et Guellil, 2017**), qui ont enregistré un taux de polyphénols d'ordre de 113 µg EC/mg MS pour un extrait préparé par infusion.

**Kaur et Kapoor (2002)** et **Maizura et al., (2011)** ont enregistré des teneurs en polyphénols totaux dans les différents extraits préparés de *Curcuma longa* de l'ordre de  $175,5 \pm 7,2$  mg Eq AG/100 g et 67,89 mg Eq AG /100 g d'extrait.

Les travaux de **Gayatri et Rajani Kanta (2011)** ont révélé une teneur en polyphénols dans les extraits méthanoliques, aqueux et éthanoliques préparés à partir des rhizomes de *Curcuma longa* avec des valeurs de 158 (mg/g), 68(mg/g), 215(mg/g), respectivement.

**Kim, Il-Suk et al., (2011)** ont obtenu une quantité estimée de  $324,08 \pm 4,34$  µg /g de flavonoïdes en effectuant une extraction à l'eau chaude des différents extraits préparés de *Curcuma longa*.

Les travaux de **Rahim et al., (2012)**, qui ont noté des teneurs en polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux, comprises entre 0,739 et 1,291 µmol Eq AG/g échantillon frais et 0,306 à 0,551 µmol Eq Q (quarcétine)/ g échantillon frais, respectivement, dans les différents extraits préparés de *C. annuum*.

Les travaux de **Gismondi et al., (2012)** ont révélé une teneur en polyphénols dans les extraits méthanoliques et aqueux préparés à partir du stigmate de *C. sativus*. L, avec des valeurs de 53,52 µg / mg de ES et 31,46 µg / mg de ES, respectivement.

On ne peut pas estimer la cause principale de cette variation des teneurs en métabolites secondaires d'une espèce à l'autre. Elle peut être reliée aux conditions climatiques dures des endroits où elles poussent, facteurs extrinsèques (température élevée, grande exposition au soleil, sécheresse et salinité, le pH, les pratiques culturelles, la maturité à la récolte et les conditions de stockage), facteurs intrinsèques (génétiques) qui stimulent la biosynthèse des métabolites secondaires comme les polyphénols et les flavonoïdes (**Podsdek, 2007 ; Falleh et al., 2008 ; Cheurfa et Allem, 2016**).

L'effet du traitement de pré-extraction (irradiation ionisante), la date de la récolte, la méthode d'extraction, les solvants utilisés d'extraction, influencent, aussi sur la concentration des composés phénoliques totaux dans les extraits (**Perez et al., 2007 ; Akowuah et al., 2009 ; Tirichine, 2010**).



## Discussion

---

Dans notre étude, la différence entre les trois modes d'extractions utilisés (décoction, infusion et macération) est liée spécialement au changement de la température. Ce facteur a influencé sur les teneurs en polyphénols et flavonoïdes.

L'activité antiradicalaire permet de déterminer la concentration qui correspond à 50% d'inhibition (IC<sub>50</sub>). La valeur de CI<sub>50</sub> la plus faible correspond à la concentration de l'extrait la plus efficace (**Bourgou et al., 2016**).

Dans cette étude, l'extrait brut hydrométhanolique préparé par la macération de *C. longa* et la décoction de *C. annuum* ont présenté l'activité antiradicalaire la plus puissante par rapport aux autres extraits, avec des valeurs de CI<sub>50</sub> d'ordre de 0,41 mg/ml et 0,74mg/ml, respectivement.

Cette activité reste plus faible par rapport à celle de l'acide ascorbique qui a enregistré une CI<sub>50</sub> d'ordre de 0,01 mg/ml dans les mêmes conditions.

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés dans les travaux de :

**Guillouty, (2016)** a mis en évidence par le test du DPPH que les feuilles du *Curcuma longa* L possèdent une activité antioxydante donneur d'hydrogène avec une valeur de CE50 de 1,03 mg/ml. Cependant le rhizome semble bien plus riche en antioxydants que les feuilles.

**Tanvir et al., (2017)** ont montré dans leur études du pouvoir antioxydant des extraits des variétés de *Curcuma longa* de Bangladesh, basant sur les valeurs CI<sub>50</sub>, que les extraits éthanoliques présentaient des activités de piégeage plus élevées que les extraits aqueux correspondants, indiquant l'influence du solvant sur la mesure des propriétés antioxydantes.

**Zaki et al., (2017)** ont évalué l'activité antiradicalaire des extraits préparés des fruits *Capsicum annuum* cultivés dans trois régions Marocaines différentes par les tests DPPH et ABTS, avec des valeurs de (CI<sub>50</sub> = (0,26 mg/ml) et (0,043mg/ml) respectivement, révélant un pouvoir antioxydant important mais qui reste plus faible que celui de l'acide ascorbique.

**Sariri et al., (2011)** : Un extrait méthanolique de fleurs de *Crocus sativus* a été préparé et son activité antioxydante évaluée par l'activité de piégeage des radicaux 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl (DPPH), Les résultats ont montré que la valeur IC<sub>50</sub> était de 0.841mg/ml, environ 11 fois inférieure à celle de l'acide ascorbique.

# **Conclusion et perspectives**

## Conclusion et perspectives

---

L'objectif principal de ce travail est la valorisation de quelques épices caractérisées par des vertus médicinales. Il se base sur l'évaluation des teneurs en polyphénols totaux et en flavonoïdes des extraits bruts hydrométhanoliques de trois épices les plus utilisées dans la région ouest algérienne : les rhizomes de *Curcuma longa* (curcuma), les fruits de *Capsicum annuum* L. (Paprika) et les stigmates des fleurs de *Crocus sativus* L (Safran).

À la lumière des résultats obtenus des deux travaux expérimentaux réalisés, nous avons tiré les conclusions suivantes :

- Les rendements d'extraction des différentes préparations des différents extraits bruts hydrométhanoliques des trois épices étudiés ont été variables entre 3,32% et 47,9%.
- Le meilleur rendement est donné par l'extrait brut préparé par macération des Fruits de *Capsicum annuum* d'ordre de 47,9%, Par rapport aux deux autres épices étudiées.
- Un screening phytochimique, en tant qu'analyse qualitative, a mis en évidence la richesse de ces trois épices en métabolites secondaires.
- L'extrait brut hydrométhanolique des fruits de *Capsicum annuum* a présenté les teneurs les plus élevées en polyphénols totaux et en flavonoïdes, de l'ordre de  $320 \pm 10,05 \mu\text{g EAG/mg ES}$  et  $38,83 \pm 10,03 \mu\text{g EAG/mg ES}$ , respectivement.
- Il a été constaté que l'extrait brut hydrométhanolique préparé par la macération de *C. longa* et la décoction de *C. annuum* ont présenté l'activité antiradicalaire la plus puissante par rapport aux autres extraits, avec des valeurs de  $CI_{50}$  d'ordre de 0,41 mg/ml et 0,74mg/ml, respectivement. Mais cette activité reste plus faible par rapport à celle de l'acide ascorbique qui a enregistré une  $CI_{50}$  d'ordre de 0,01 mg/ml dans les mêmes conditions.

L'ensemble de ces résultats obtenus, *in vitro*, ne constitue qu'une première étape dans la recherche des substances naturelles qui ont une activité antioxydante. Il serait intéressant de réaliser d'autres techniques et méthodes comme :

- Déterminer les conditions idéales de traitement et de conservation des épices pour assurer une bonne qualité et éviter l'oxydation des molécules bioactives.
- Identifier des principes actifs responsables de ces activités pharmacologiques, avec la détermination des conditions optimales pour l'extraction de ces principes actifs.
- Rechercher des nouvelles molécules bioactives naturelles à partir des épices.

## Conclusion et perspectives

---

- Séparation, isolement et identification des molécules bioactives dans les trois épices par méthodes chromatographiques et spectrales.
- Etude et dosage d'autres familles de métabolites secondaires.
- L'évaluation de l'activité antioxydante par autres méthodes par exemple : ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) et ABTS (sel d'ammonium de l'acide 2,2'-azinobis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonique).
- Recherche d'autres activités biologiques, antimicrobiennes, antiinflammatoires.
- Evaluer les seuils de toxicité et d'efficacité de chaque épice.

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

- **Achour Talet, A et Kadder I, (2017)** Dosage des composés phénoliques et recherche d'activité antiradicalaire d'extraits aqueux préparés de *Curcuma longa* L. et *Zingiber officinale* (Rosc.) mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de Master en Biologie. Université Abou bakr Belkaïd – Tlemcen.
- **Adom K, K., Liu, R.H. (2003).** Antioxidant activity of grains. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 50: 6182–6187.
- **Afonso, V., Champy, R., Mestrovic, D., Collin, P., Lomri, A. (2007).** Reactive oxygen species and superoxide dismutases: role in joint diseases. *Revue du Rhumatisme*. 74 :636–643.
- **Akouwah, GA., Mariam, A., Chin, JH. (2009).** The effect of extraction temperature on total phenols and antioxidant activity of *Gynura procumbens* leaf. *Pharmacogn Mag*. 5: 81-85
- **Ameziane, A. (2016)** Recherche d'effet hémolytique et évaluation de l'activité antioxydante des extraits de la partie aérienne de *Portulaca oleracea* (L.). Mémoire de master Biochimie appliquée, Université de Tlemcen
- **Andrews, J. (1995).** Peppers: the domesticated Capsicums. University of Texas Press, Austin.
- **Aramburu, J., Katherine, D., Anais, E., Jordi, M., Beatriz, M., Veronica, S., Cristina, L. (2006).** Regulation of the hypertonic stress response and other cellular functions by the Rellike transcription factor NFAT5, *biochemical pharmacology* 72: 1597– 1604.
- **Ardestani, A., Yazdanparast, R. (2007)** Inhibitory effects of ethyl acetate extract of *Teucrium polium* in vitro protein glycoxydation. *Food and chemical toxicology*.45: 2402-2411.
- **Arora, B and R, Puranik. (2002).** “A review of corporate social responsibility in India. Development, *Journal o Society of International Development*, Vol. 47, No. 3: 93–100.
- **Arvy, M., Gallouin, F. (2003).** Epices, aromates et condiments. Belin Ed: 216-219.
- **Assayed, M.E. (2010)** Radioprotective effects of black seed (*Nigella sativa*) oil against hemopoietic damage and immunosuppression in gamma-irradiated rats. *Immunopharmacology and Immunotoxicology* .32:284-296.
- **Atamer, A. (2008).** The importance of paraoxonase 1 activity, nitric oxide and lipid peroxidation in hepatosteatosis 36:771-776.
- **Atoui, A. K., Mansouri, A., Boskou, G., Kefalas, P. (2005).** Tea and herbal infusions: Their antioxidant activity and phenolic profile. *Food Chem*. 89: 27–36.
- **Avissar, N., Whitin, J.C., Allen, P, Z. (1989).** Plasma selenium-dependent glutathione peroxidase. *Biol. Chem*. 2: 15850-15855.

## Références bibliographiques

---

- **Bahorun, T, (1997).** Substances naturelles actives: La flore Mauricienne, une source d'approvisionnement potentielle. Food and Agricultural Research council, Réduit, Mauritius, Université de Maurice, pp 83-94.
- **Balasundram, N., Sundram, K., Samman, S. (2006).** Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. Food Chemistry, 99: 191- 203.
- **Barceloux, D. G. (2009)** Pepper and Capsaicin (Capsicum and Piper Species). Dis Mon. 55:380-390
- **Basker, D. (1999)** Saffron; Medicinal and Aromatic Plants: Industrial Profiles. 8:45-52
- **Benmostefa, I ; Guellil, Z. (2017)** Dosage des polyphénols de la fleur de crocus sativus L. mémoire de master alimentation et nutrition. Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.41-42
  
- **Benyakoub, R M. (2016)** Maghnia, la reine des épices. El Watan.
- **Beraoud, S. M., (1990).** Toxicological aspects of antioxidants used as food additives. Ed. Hudson .B.J.F. Food Antioxydants. : 253-307.
- **Bernard, A. (2012).** Les épices c'est malin, cannelle clou de girofle, poivre...leurs bienfait et toutes leurs utilisation méconnues pour la santé, la beauté et la maison, p.16.
- **Beyer, R. E., (1994).** The role of ascorbate in antioxidant protection of biomembranes, Interaction with vitamin E and coenzyme Q.J Bioenerg Biomembr. ; 26, 349-358.
- **Bézanger-Beauquesne, L (1958).** Les alcaloïdes dans les plantes, Revue de biochimie végétale Pages 266-291
- **Bonnard, S., Dehove, X., L'hostis, P., Moulin, P., Pasquin, V., Sochas, G.,(2013) .** Technologie culinaire term bac pro cuisine. France. Delagrave. 160 p
- **Borget, M. (1991).** Les plantes tropicales à épices. Editions Maisonneuve et Larose. Paris, 182 p. (Collection ; Le Technicien d'Agriculture Tropicale, vol. 15)
  
- **Boukri N, (2014).** Contribution à l'étude phytochimique des extraits bruts des épices contenus dans le mélange Ras-el-hanout. Mémoire de master, université Kasdi Merbah, Ouargla, 99p.
  
- **Boullard, B (2001).** Plantes médicinales du monde ; Croyances et réalités , dictionnaire, éditions Estem :636

## Références bibliographiques

---

- **Bourgou, S., serairibeji, R., Medini, F., Ksouri, R. (2016).** Effet du solvant et de la méthode d'extraction sur la teneur en composés phénoliques et les potentialités antioxydantes d'Euphorbia helioscopia. *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology* 28(12) : 1649-1655.
- **Boyd, B., Ford, C., Koepke Michael, C., Gary, K., Horn, E., Mc Analley, S., McAnalley, B. (2003).** Étude pilote ouverte de l'effet antioxydant d'Ambrotose AOTM sur des personnes en bonne santé. *Glyco Science & Nutrition*.4 (6) : 7.
- **Bruneton, J. (1999).** Pharmacognosie : Phytochimie, Plantes Médicinales. 3ème édition, Lavoisier Techniques & Documentation, Paris.
- **Bruneton, J. (2009)** Pharmacognosie : phytochimie, plantes médicinales. 4e Edition : Lavoisier ; Paris. P.1269 -1288
- **Calsamiglia, M., Busquet, M., Cardozo, PW., Castillejos, L., Ferret, A. (2007)** review: Essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation .*Journal of Dairy Science*. 90:2580-2595.
- **Carmona, M., Zalacain, A., Alonso, G. L. (2006).** The chemical composition of saffron: color, taste and aroma (First ed.), Albacete, Editorial Bomarzo SL (2006): 57-62.
- **Carriere, A., Galinier, A., Fernander, Y., Carmona, MC., Penicaud, L., Casteilla, L. (2006).** les espèces actives de l'oxygène : le yin et le yang de la mitochondrie. *Med. Sci ; 22 ; 4753*
- **Chaabi, M. (2008).** Etude phytochimique et biologique d'espèces végétales africaines, diplôme de doctorat en Pharmacognosie. : 168, 169
- **Chahine, N. (2014).** Effet protecteur du safran contre la cardiotoxicité de la doxorubicine en condition ischémique (Doctoral dissertation, Reims).
- **Charles, D.J. (2013).** Antioxidant Properties of Spices, Herbs and Other Sources. © Springer Science+Business Media New York. pp 25-193.
- **Cheikh Ali Z. (2012).** Études chimiques et biologiques d'Aframomum sceptrum Zingiberaceae) et de la curcumine. Thèse Doctorat. Université Paris-Sud : 46.



## Références bibliographiques

---

- **Cheurfa et Allem, (2016).** Évaluation de l'activité anti-oxydante de différents extraits des feuilles d'Aloysia triphylla (L'Hérit.) d'Algérie in vitro. *Phytothérapie*. 14(3) :181-187. Faculté des Sciences, Département de Biologie, Université Chlef , Algérie
- **Chia-Fung, K., Shun, C., Burgess, JR. (1995).** Deficiency of vitamin E and in rat lung and liver. *The journal of nutrition*, 125(6), 1419-1429 selenium enhances calcium-independent phospholipase A2 activity
- **Codoñer-Franch, P., Valls-Bellés, V., Arilla Codoñer, A., Alonso-Iglesias, E. (2011).** Oxidant mechanisms in childhood obesity: the link between inflammation and oxidative stress. *Translational Res.*, 158(6): 369-384
- **Coon, D. (2003).** Chile peppers: heating up Hispanic foods. *Food Tech*, 57 (1): 39-43
- **Couplan, F. (2012).** Les plantes et leurs noms : Histoires insolites. Editions Quae. pp 153- 154.
- **Cowan, N.M. (1999).** Plant products as antimicrobial agents. *Clinical Microbiology Reviews*.12 (4):564-582.
- **Crozier, A., Jaganathb, I.B. et Cliffordc, M.N. (2009).** Dietary phenolics: Chemistry, bioavailability and Effects on Health. *Natural Product Reports*, 26 (8): 965–1096.
- **Dearlove, R.P.,Greenspan, P., Hartle, D.K., Sanson, R.B., Hargrove, J.L.(2008)** inhibition of protein glycation by extracts of culinary herbs and spices .*J.Mes Food* .11 :275-281
- **Dehini, B. (2019).** Dosage des polyphénols et extraction des colorants naturels de trois épices : rhizomes de *Curcuma longa* L., fruits de *Capsicum annum* L. et les stigmates des fleurs de *Crocus Sativus* L. Master En Biologie de la nutrition. Université de Tlemcen Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers. (Algérie)
- **Delachaux et Niestlé, (2013)** 500 plantes comestibles ; histoire, botanique, alimentation, édition française : 276. Paris
- **Delaveau, P. (1987).** Les épices. Histoire, description et usage des différents épices, aromates et condiments. Paris : Albin Michel : 130-136.
- **Del Medico, B. (2014).** Cultiver piments dans votre jardin potager ou sur le balcon : Par variété inoffensif, comme Bell et Poblano, à ceux de l'enfer, comme Fatali, Habanero, Jolokia et Trinidad Scorpion Moruga. 2<sup>ème</sup> édition. pp13.
- **Deo, B. (2003).** Growing saffron—the world's most expensive spice. *Crop and Food Research Broad Sheet* 20, New Zealand Institute for Crop and Food Research.

## Références bibliographiques

---

- **Dhulipalla Naga Harish , N., Vinutha<sup>1</sup>, PVV., Siva Krishna<sup>1</sup>, Anusha , A., Ravi Kumar and Rizwana Shaik (2016)**, Phytochemical Evaluation Curcuma Longa and Curcumin, International journal of pharmaceutical and chemical sciences ISSN: 2277-5005.
- **Djeriri, R et Douzi, F.Z. (2017)**.Tests phytochimiques sur la fleur de crocus sativus L. mémoire de master alimentation et nutrition. Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.
- **Dore, C. et Varoquaux, F. (2006)**. Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Collection Savoir faire. Editions Quae. pp 543.
- **Droge, W. (2002)**. Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiol Rev*, 82(1) : 47-95.
- **Droniou, M., Cassaro. (2012)**. Document réalisé par les symposiarques : utilisation médicaments. Désinfectants. Encens. stimulants et même agents aphrodisiaques. : 33
- **Dupont, J. (2001)**. Dimensions culturelles et culturelles du safran en France. *Empan*. 41:34
- **El Babili, F., Bouajila, J., Souchard, J.P., Bertrand, C., Bellvert, F., Fouraste, I., Moulis, C., Valentin, A. (2011)** Oregano: Chemical analysis and evaluation of its antimalarial, antioxidant, and cyto-toxic activities. *J. Food Sci.*76:512–518.
- **Epifano, F., Genovese, S., Menghini, L., Curini, M. (2007)**. Chemistry and pharmacology of oxyprenylated secondary plant metabolites, Review. *Phytochemistry*. 68: 939- 953.
- **Falleh, H., Ksouri, R., Chaieb, K., Karray Bouraoui, N., Trabelsi, N., Boulaaba, M., Abdelly, C.2008**. Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities .*C. R. Biologies*. 331: 372-379.
- **Farag, R. S., Daw, Z.Y., Hewedi, F M., El- Baroty, G. S. A., (1989)**. Antimicrobial activity of some Egyption spice essential oils *J. Food Prot.*, 52: 665-667.
- **Fardet, A., Souchon, I., Dupont, D., (2013)** Structure des aliments et effets nutritionnels. Editions Quae. 241
- **Favier, A. (2003)**. Le stress oxydant. Intérêt conceptuel et expérimental dans la Compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité Chimique* ; 108-115.
- **Fernandez, J.A. (2004)**. Biology, biotechnology and biomedicine of saffron (*Crocus sativus* L.). Recent research developments in plant science , 2: 127-159
- **Frankel, E N., Water house, A L., Teissedre, P L. (1995)**. *Agric. Food. Chem.*, 43,221-235 p.
- **Gardès-Albert, M., Dominique Bonnefont-Rousselot., Zohreh Abedinzadeh, Z et Daniel Jore, D. (2003)**. Espèces réactives de l'oxygène : Comment l'oxygène peut-il devenir toxique ? *L'actualité chimique*. : 91-96

## Références bibliographiques

---

- **Gayatri, N., Rajani Kanta, S. (2011).** Evaluation in comparative antioxidant activity of *Curcuma longa* & *Curcuma aromatic* Department of Botany, B.J.B. (A) College, Bhubaneswar - 751 014, Orissa, (INDIA) .
- **Gayet, M. (2010).** Grand traité des épices. Préfacé par Yves Coppens. Edition le Sureau. 232p
- **Gismondi, A., Serio, M., Canuti, L., Canini, A. (2012).**Biochemical, antioxidant and antineoplastic properties of Italian saffron (*Crocus sativus* L.).*American Journal of Plant Sciences*, 3(11), 1573
- **Goetz, P., Le Jeune, R. (2012)** *Capsicum annum* et *Capsicum frutescens* Piment. Springer-Verlag France. *Phytothérapie*.10 :126–130.
- **Govindarajan , R., Vijayakumar, M., Pushpangadan, P. (2005)** Antioxidant approach to disease management and the role of 'Rasayana' herbs of Ayurveda. *Review Ethnopharmacol.* 3 ; 99(2) :165-78.
- **Goudable, J. & Favier, A. (1997).** Radicaux libres oxygénés et antioxydants. *Nutrition Clinique et Métabolisme* 11,115-120.
- **Graglia, E., Jonasson, S., Michelsen, A., Schmidt, IK (2001).** Effects of shading, nutrient application and warming on leaf growth and shoot densities of dwarf shrubs in two arctic-alpine plant communities. *Ecoscience* 4: 191–198.
- **Gruben, G T H et Denton, OA. (2004).** Légumes. Volume 2 de Ressources végétales de l’Afrique tropicale. PROTA. Pays-Bas.pp 173-174
- **Guillouty, A. (2016).** plantes médicinales et antioxydants, thèse de doctorat en pharmacie, université Toulouse III Paul Sabatier faculté des sciences pharmaceutiques.
- **Gulcin, I., Oktay, M., Kufreviöglu, OI., Aslan, A. (2002)** Determination oxidant activity of lichen *Cetrariaislandica* (L) Ach. *J. Ethnopharm.* 79(3): 325-329.
- **Gulcin, I., Huyut, Z., Elmastas, M., Aboul-Enein, H.Y. (2010).** Radical Scavenging and Antioxidant Activity of Tannic Acid. *Arabian Journal of Chemistry.* 3: 43-53.
- **Guo, L., Mekuria, G., Burr, M., Collins, G., Sedgley, M. (2006)** Selection of determination of fire synthetic antioxydants in edible vegetable oil by GC-MS Analytical and Bioanalytical Chemistry.); 386(6), 1881-1887.

## Références bibliographiques

---

- **Guo, Wei-Li., Chen, R., Du, X., Zhang, Z., Yin, Y., Hui Gong, Z., Yin Wang, G.(2014)** Reduced tolerance to abiotic stress in transgenic Arabidopsis overexpressing a Capsicum annuum multiprotein bridging factor 1. BMC Plant Biology volume 14, Article number: 138
- **Gutheil, W.G., Reed, G., Ray, A., Anant, S., Dhar, A. (2012).** Crocetin: an agent derived from saffron for prevention and therapy for cancer. Curr Pharm Biotechnol. 13(1):173-9.
- **Häfliger K. (1999).** Epices Herbes Graines. P : 4-14.
- **Haïoun, A., Hamoudi, F. Z. (2015).** Activité antioxydante et anti-inflammatoire de la plante médicinale Algérienne Anethum graveolens et leur effet cardioprotectrice contre la toxicité, Diplôme de Master en Toxicologie et Santé. : 16
- **Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J. O., Charlier, C., & Chapelle, J. P. (2007).** Le stress oxydant. Revue Médicale de Liège. ; 62(10) : 628-38.272
- **Halliwell, B. (1990).** How to characterize a biological antioxidant, Free Radic Res Commun, 9: 1-3.
- **Halmi, S. (2015).** Etude botanique et phytochimique approche biologique et pharmacologique d'opuntia ficus, diplôme de doctorat, biotechnologie végétale, 17- 25
- **Halvorsen, B. L., Carlsen M.H., Philip K M., Bohlen S K., Holte K., Jacobs D R., Blomhoff J.R. (2006).** Content of redox-active compounds (antioxidants) in foods consumed in the United States Am J Clin Nutr. 84; 95-135.
- **Harborne, A. J. (1998).** Phytochemical methods a guide to modern techniques of plant analysis. Springer Science & Business Media.
- **Herzi, N. (2013)** Extraction et purification de substances naturelles : comparaison de l'extraction au CO<sub>2</sub>-supercritique et des techniques conventionnelles. Institut National Polytechnique de Toulouse
- **Haslam, E. (1998)** Practical polyphenols: from structure to molecular recognition and physiological action. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 65
- **Havsteen, B.H. (2002).** The biochemistry and medical signification of the flavonoids. Pharmacoly Therapy, 96(2): 67-202.
- **Heers, J. (2008).** Rôle historique des épices et des aromates. Terre et vie N°96.
- **Heim, K.C., Tagliaferro, A.R., Bobilya's, D J.(2002)** Flavonoid antioxidants: Chemistry, metabolism and structure-activity relationships The Journal of nutritional biochemistry 13(10):572-584
- **Hill, T. (2004).** The Contemporary Encyclopedia of Herbs and Spices: Seasonings for the Global Kitchen, Wiley : 272, ISBN 0-471-21423-X

## Références bibliographiques

---

- **Hombourger, C. (2010).** Le Curcuma, de l'épice au médicament (Doctoral dissertation, UHP- Université Henri Poincaré).
- **Howard L. R., Talcott S.T., Brenes C. H, Villalon B. (2000)** Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *J Agric Food Chem.* 48:1713–20
- **Huang, D., Ou, B., Prior, R. L. (2005).** The chemistry behind antioxidant capacity assays. *J. Agric.Food. Chem,* 53: 1841-1856.
- **Humbert, H (1946)** Flore de Madagascar et des Comores (Plantes vasculaires) ; Ed. Imprimerie officielle Antananarivo
- **Igor, P. (2002).** Etude des activités biologique de *Fagara zanthoxyloïdes lam* (Rutaceae).
- **Ilbert, H., Hoxha, V., Sahi, L., Courivaud, A., Chailan, C. (2016),** Le marché des plantes aromatiques et médicinales : analyse des tendances du marché mondial et des stratégies économiques en Albanie et en Algérie. *Options méditerranéennes, série B : études et recherches* Numéro 73. Montpellier
- **Iserin, P (2001)** Larousse encyclopédie des plantes médicinales. Identification, Préparations, soins. 2nd édition, Dorling Kindersiey Limited, Londres.
- **Jacques, B and André, R. (2004).** Biochimie métabolique Ed ellipses .Paris. : 217-219, 220-223-225.
- **Jadczak, D., Grzeszczuk, M. (2009).** The estimation of yielding and biological value of some cultivars of sweet pepper grown in the climatic conditions of western Pomeranian region of Poland. *Acta Hort.* 830, 369-376
- **Jansen, P. C, M., Grubben, G, J, H., Cardon, D. (2005)** Ressources végétales de l'Afrique tropicale 3. Colorants et tanins. Wageningen. Pays-Bas : PROTA : 238.
- **Jordan, J. (2015).** Curcuma et curcumine : de l'histoire aux intérêts thérapeutiques. Thèse doctorat université de CAEN. 141p.
- **Kabera, J., Semana, E., Mussa, A., He, X. (2014).** Plant secondary metabolites: biosynthesis, classification, function and pharmacological properties. *The Journal of Pharmacy and Pharmacology;* 2: 377-392.
- **Kabouche, A. (2005).** Etude phytochimique de plantes médicinales appartenant à la famille des Lamiaceae.
- **Karimi, E., Oskoueian, E., Hendra, R., Jaafar, H. Z. (2010).** Evaluation of *Crocus sativus* L. stigma phenolic and flavonoid compounds and its antioxidant activity. *Molecules,* 15(9), 6244-6256.
- **Katzer, G. (2001),** Saffron (*Crocus sativus* L). Gernot Katze's Spice Pages.

## Références bibliographiques

---

- **Kaur, C & Kapoor, HC (2002)** Anti-oxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables. International Journal of food Science and technology
- **Keerthi M., Lakshmi Prasanna J., Santhosh Aruna M., Rama Rao N. (2014)** Review on polyphenols as nature's gift. Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. 4: 445-455.
- **Keith, S. (2006)**. Propriétés des principales épices. Nutrition Journal, 11
  
- **Khanbaba, K., Ree, T, R. (2001)** .Tannins: Classification and Definition. Journal of Royal Society of Chemistry, 18: 641-649.
- **Khokhar, S., Apenten, R. K. O. (2003)**. Iron binding characteristics of phenolic compounds: some tentative structure–activity relations. Food Chemistry. 81:133–140. Faculty Of Life & Health Sciences
- **Kim, Il-Suk., Yang , Mi-Ra., Lee, Ok-Hwan., Kang, Suk-Nam. (2011)** Antioxidant activities of hot water extracts from various spices. Int J Mol Sci ,12(6) :4120-31.
- **Kohen, R and Nyska, A. (2002)** Oxidation of biological systems: oxidative stress phenomena, antioxidants, redox reactions, and methods for their quantification. Review Toxicol Pathol : 30(6):620-50
- **Kumar, R., Singh, V., Devi, K., Sharma, M., Singh, M.K., Ahuja, P.S. (2009)**. State of art of saffron (*Crocus sativus* L.) Agronomy: a comprehensive review. Food Rev. Int., 25: 44–85.
  
- **Kumar, U., Kumar, B., Bhandari, A., Kumar, Y. (2010)**. Phytochemical investigation and comparison of antimicrobial screening of clove and cardamom. International journal of pharmaceutical science and research. (1).138-147.
  
- **Lahatsaravita, B.A. (2003)**. Etudes comparatives des compositions chimiques des huiles essentielles de feuilles et de rhizome de *Curcuma longa* L. ; Mémoire DEA ; Facultés des sciences ; Université d'Antananarivo ; 99 p.
- **Lamprecht, M., Greilberger, J., Oettl, K. (2004)**. Analytical aspects of oxidatively modified substances in sport and exercises. Nutrition ; 20 (7-8) : 728-730
- **Lamnaouer, D. (2002)**. Plantes médicinales du Maroc : Usages et toxicité.
  
- **Latreche, A et Temame, H (2020)**. Optimisation de l'extraction de l'huile des extraits de l'huile de curcuma et évaluation de son activité antioxydante, Mémoire Master Sciences Biologiques Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi Bordj Bou Arreridj

## Références bibliographiques

---

- **Lecerf, J. M. (2012).** Effets métaboliques du Curcumin (obésité, lipides circulants, insulino-résistance, diabète et athérosclérose). *Phytothérapie*, 10 (2), 100-104.
- **Lech, K., Witowska-Jarosz, J., Jarosz, M. (2009)** Saffron yellow: characterization of carotenoids by high performance liquid chromatography with electrospray mass spectrometric detection. *J Mass Spectrom.* 44 (12):16617.
- **Lee, K.W., Kim, Y.J., Lee, H.J., Lee, C.Y. (2003).** Cocoa has more phenolic phytochemicals and higher antioxidant capacity than teas and red wines. *J. Agric Food Chem*, 51:7292.
- **Lee, Y., Howard, L. R., Villalon, B. (1995).** Flavonoid and ascorbic acid content and antioxidant activity of fresh pepper (*Capsicum annuum*) cultivars. *IFT Abstract*, 55, 79.
- **Leung, W.T.W., Busson, F., Jardin, C. (1968)** Food composition table for use in Africa.FAO. Rome, Italy.306.
- **Li, H.B., Cheng, K.W., Wong, C.C., Fan, K.W., Chen, F., Tian, Y. (2007).** Evaluation of antioxidant capacity and total phenolic content of different fraction of selected microalgae. *Food Chemistry*, 102: 771-776.
- **Macheix, J. J., Fleuriet, A., Jay-Allemand, C. (2005)** Les composés phénoliques des végétaux. Un exemple de métabolites secondaires d'importance économique, Lausanne, Presses Polytechniques et universitaires romandes, 192 p. (Collection Biologie) ISBN : 2 88074 625 6 47
- **Magder, S. (2006).** Reactive oxygen species: Toxic molecules or spark of life, *Crit care*, 10: 208-216.
- **Maizura, M., Aminah, A., and Wan Aida, W. M.(2011)** . School of Chemical Sciences and Food Technology, Faculty of Science and Technology, University Kebangsaan Malaysia, *Food Research Journal* 18: 529-534.
- **Malecky, M. (2008).** 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, 9 : 13-19, 20, 27.
- **Manandhar, N.P., (1995).** Substitute spice in Nepal. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*.3; 7-77
- **Marfak, A (2003).** Thèse de doctorat Radiolyse Gamma des flavonoïdes ; Etude de leur réactivité avec des radicaux issus des alcools. : 6-7-10.
- **Martí, M.C., Camejo, D .,Vallejo, F., Romojaro, F., Bacarizo, S., Palma, J.M., Sevilla, F., Jiménez, A. (2011)** Influence of fruit ripening stage and harvest period on the antioxidant content of sweet pepper cultivars. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 66, 416–423
- **Martínez-Cayuella, M. (1995)** Oxygen free radicals and human disease. *Biochimie.* 77: 147-161.

## Références bibliographiques

---

- **Materska, M., Perucka, I. (2005).** Antioxidant Activity of the Main Phenolic Compounds Isolated from Hot Pepper Fruit (*Capsicum annuum* L.) *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53(5) :1750-6. University of Life Sciences in Lublin
- **Mates, J., Pérez-Gómez, C., De Castro, IN. (1999)** Antioxidant enzymes and human diseases. *Clinical Biochemistry* 32(8):595-603.
- **McGee, H. (2004),** *On Food and Cooking: The Science and Lore of the Kitchen*, Scribner, New York p. 423, ISBN 1-4165-5637-0.
- **Medjbar, W et Talbi, L (2017).** Qualité physico-chimique du safran Algérien. université Bejaia.
- **Melnyk, JP., Wang, S., Marcone, MF. (2010).** Chemical and biological properties of the world's most expensive spice: Saffron. *Food*, 2010, 43 (8), pp. 1981-1989.
- **Mezzetti, A., Pierdomenico, SD., Costantini, F., Romano, F., De Cesare, D., Cucurullo, F., Imbastaro, T., Riario-sforza, G., Di Giacomo, F., Zuliani, G., Fellin, R. (1998).** Copper/zinc ratio and systemic oxidant load: effect of aging and aging-related degenerative diseases. *Free radical biology medicine journal*. Vol 25(6), pp.676-681
- **Michel Pierre, (2017)** la bible des plantes qui soignent, édition chéne : 671.
- **Moghaddasi, M. (2010).** Saffron; chemicals and medicine usage. *Journal of Medicinal Plants Research*.4 (6):427430.
- **Mohammedi, Z. (2006),** Etude du pouvoir antimicrobien et antioxydant des huiles essentielles et flavonoïdes de quelques plantes de la région de Tlemcen, Thèse pour l'obtention du diplôme de magister Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen
- **Molyneux, P. (2004)** the use of the stable free radical diphenyl picryl hydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J. Sci. Techno.* 26(2) : 211-219
- **Montagnier, L., Olivier, R., Pasquier, C. (1998).** *Oxidative stress in cancer, AIDS and neurodegenerative diseases*, Marcel Dekker, New York.
- **Motterlini, R., Foresti, R., Bassi, R., Green CJ. (2000)** Curcumin, an antioxidant and anti-inflammatory agent, induces heme oxygenase-1 and protects endothelial cells against oxidative stress. *Free Radic Biol Med*: 28 (8):1303-12.
- **Mountagud, F. (2014).** Epices, cosmétiques et allergies. American College of Allergy, Asthma & Immunology. P02.
- **Moussard, C (2002).** *Biochimie structurale et métabolique*. Ed Masson85
- **Naidu, A .K., Thippeswamy, N.B. (2002)** Inhibition Of human low density lipoprotein oxidation by active principles from spices. *Mol .Cell. Biochem*; 229:19-23.



## Références bibliographiques

---

- **Nasri, I. et Hadje Brahim, M. (2014).** Apport des thérapeutiques antioxydantes dans le traitement du diabète, diplôme de master en biologie animal. : 22- 25
- **Navellier, P ; Jolivet, H. (1965).** Epices, aromates, herbes et condiments. Modificateurs des caractères organoleptiques des denrées. Annale de la nutrition et de l'alimentation, 19 (5), 449-480.
- **Nolte, (2012).** Poivron ; calories et valeur nutritionnelle, Fiches nutritionnelles ; Aprifel
- **Oboh, G ; Rocha, JB. (2007)** Hot Pepper (*Capsicum* spp) protects brain from sodium nitroprusside- and quinolinic acid-induced oxidative stress in vitro. *J Med Food*. 11: 349-355.
- **Oghenejobo, M., Opajobi, OA., Bethel, US., Uzoegbu, U. ( 2017)** Antibacterial evaluation, phytochemical screening and ascorbic acid assay of turmeric (*Curcuma longa*), *MOJ Bioequivalence & Bioavailability*, Volume 4 Issue 2.
- **Okwu, D.E. (2001).** Evaluation of chemical composition spices and flavouring agents. *Global Journal Pure Applied Science*. 7: 455-459.
- **Ouasti, k et Saci, F (2019).** Etude phytochimique et recherche d'effets antioxydants de trois Épices : rhizomes secs de *Curcuma longa* L., fruits de *Capsicum annuum* L. et les stigmates des fleurs de *Crocus Sativus* L. Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen
- **Packer, L., Tritschler, HJ., Wessel, K. (1997).** Neuroprotection by the Metabolic Antioxidant Alpha-Lipoic Acid. *Free Radic Biol Med* 22, 359-378
- **Paduch, R., Kandefer-Szerszen, K., Trytek M., Fiedurek, J. (2007).** Terpenes: substances useful in human healthcare. *Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis*. 55(5): 315-327.
- **Paloix, A., Daubeze, A.M., Pochard, E. (2003)** Piments. In : Pitrat M. Et Foury C. Histoires de légumes : des origines à l'orée du XXIe siècle. Editions INRA, Paris. 279- 283.
- **Palomares, C (2015).** Le safran, précieuse épice ou précieux médicament. Thèse de doctorat en pharmacie. Université de Lorraine
- **Pamplona – Roger, G. (2005).** Guides des plantes médicinales, bibliothèque éducation et santé ; Ed. Safeliz ; Espagne ; Vol 1 et 2 ; 796 p.
- **Papazian, L et Roch, A. (2008)** le syndrome de détresse respiratoire aigüe. 1er édition : Springer-ver lang paris ; 250.
- **Pascale De Lomas, P. (2011)** Mes petites recettes magiques au curcuma ; Ed.s ; 205p
- **Pegon, J. (2009).** Des piments a la capsaïcine : quel impacts sur la santé ? Thèse doctorat Université Strasbourg. France

## Références bibliographiques

---

- **Penso, G. (1986).** Les plantes médicinales dans l'art et l'histoire. Paris. Roger Da Costa.
- **Perez, M.B., Calderon, N.L., Croci, C.A. (2007).** Radiation-induced enhancement of antioxidant activity in extracts of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Food Chem.* 104: 585, 592.
- **Perry, M.C. (2008).** Evaluation de la curcumine comme agent anti-cancéreux dans le traitement des tumeurs cérébrales. Mémoire Chimie Montréal
- **Peter, Y., Wong, Y., David, D., Kitis. (2006).** « Studies on the dual antioxidant and antibacterial properties of parsley (*Petroselinum crispum*) and cilantro (*Coriandrum sativum*) extracts ». *Food Chemistry.* vol. 97. No 3. pp 505-515.
- **Phaniendra, A., Jestadi, DB., Periyasamy, L. (2015).** Free radicals: properties, sources, targets, and their implication in various diseases. *Review Indian J Clin Biochem* ; 30(1) :11-26
- **Picchi, A. (2006)** .Tumor necrosis factor-alpha induces endothelial dysfunction in the prediabetic metabolic syndrome. *Circ. Res.* 99: 69-77 p.
- **Pitsikas, N (2016).** Constituents of saffron (*Crocus sativus* L.) as potential candidates for the Treatment of Anxiety Disorders and Schizophrenia .*Molecules*,21(3),303
- **Podsedek, A. (2007).** Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT.* 40:1-11.
- **Poonam Chauhan, Kruti Keni and Raxita Patel (2017).** Investigation of phytochemical screening and antimicrobial activity of *Curcuma longa*. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, Volume 4, Issue 4.
- **Powers, S.K ; Lennon, SL (1999)** Analysis of cellular responses to free radicals: focus on exercise and skeletal muscle. *Proc Nutr Soc* 58: 1025-1033
- **Pruthi, J.S. (1980).** Spices and condiments: chemistry, microbiology, technology. *Revue: Advances in food research.* Supplement (USA), 449 p.
- **Quave, A (2011).** Medicinal Plant Monographs E-book
- **Raghavan, S. (2007)** Handbook of spices, seasonings, and flavorings. 2nd Ed. CR Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- **Rahim, RA., Mat, I.(2012)** Phytochemical contents of *capsicum frutescens* (Chili Padi), *capsicum annum* (Chili Pepper) and *capsicum annum* (Bell Peper) aqueous extracts *International conference on Biological and life sciences.* volume 40 pages 164-167. University Sains Malaysia.
- **Rahimi, M. (2015).** Chemical and Medicinal Properties of Saffron. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences.* Vol 4: 69-81

## Références bibliographiques

---

- **Ramalanjoana, G et Jourdan, E (1962).** L'essence de girofle à Madagascar. Technologie, distillation, emballage. Agr. Trop. n° 12, pp. 1053-1083.
- **Rao, A. (2007)** Carotenoids and human health. Pharmacological Research. 55: 207– 216.
- **Ravindran, P. N., Nirmal Babu, K ., Sivaraman, K. (2007)** Turmeric, The genus Curcuma. CRC Press, 504 Pages 83 B/W Illustrations
- **Ray, S. D., Wong, V., Rinkovsky, A., Bagchi, M., Raje, R. R. and Bagchi, D. (2000)** Unique organoprotective properties of a novel IH636 grape seed proanthocyanidin extract on cadmium chloride-induced nephrotoxicity, dimethylnitrosamine (DMN)- induced splenotoxicity and mocap-induced neurotoxicity in mice. Res. Commun. Mol. Pathol. Pharmacol. 107:105-128.
- **Redhead, J. (1990).** Utilisation des aliments tropicaux : sucres, épices et stimulants. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture : 19- 46.
- **Reid, T.J., Murthy, M.R., Sicignano, A., Tanaka, N., Musick, W.D., Rossmann, M.G., (1981)** structure and heme environment of beef liver catalase at 2.5 Å solution. Proc .Natl. Acad .sci .78, 4767-4771.
- **Ribèreau-gayon, P. (1968).** Les composés phénoliques des végétaux. Edition : Dunod. Paris. P. 225
- **Richter, G. (1993)** Composés phénoliques in Métabolisme des végétaux : physiologie et biochimie. Ed Presse polytechnique et universitaire romande. pp : 317-339.
- **Rita, N and Farit, A. (2009)** Natural polyphenols as anti-oxydant, anti-inflammatory, antiangiogénic agents in the metabolic syndrome. In Oxydative Stress, Inflammation and Angiogenesis. Ed Springer Science, Business Media B.V. Université de Porto: Portugal.147-180.
- **Rödel, W & Petrzika, M. (1991).** Analysis of the volatile components of saffron. Journal of Separation Science, 14(11), 771-774
- **Rodriguez, D.W. (1969).** Pimento, a short economic history. Minist Agric Jamaica .Commod. Bull n 3.
- **Rubio, C., Hardisson A., (2002) Enrique M.P., Baez A., Martin M., Alvarez R.,** Eur.Food Res Technol. 214, 501-504.
- **Saigaa, S., Rahmaoui, F. (2018).** Dosage des polyphénols et recherche d'activité antiradicalaire et antioxydante de fruits Capsicum annum.
- **Salvi, N. D., George, L., Eapen, S. (2000).** Direct regeneration of shoots from immature inflorescence cultures of turmeric. Plant cell, tissue and organ culture, 62(3) : 235-238
- **Sanchez-Moreno C., Larrauri J.A., Saura-Calixto F. (1998)** Sci Food. Agr. 76: 270.

## Références bibliographiques

---

- **Sanchez-Moreno, C. (2002)** Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. *Food Sci Technol Int* 8: 121–137.
- **Sariri, R., Sabbaghzadeh, R., Poumohamad, F. (2011)** .In-Vitro Antioxidant and Anti-Tyrosinase Activity of Methanol Extracts from Crocus Sativus Flowers. Department of Microbiology, Islamic Azad University, Lahijan Branch, Lahijan, Iran
- **Scalbert, A., Williamson, G. (2000)**. Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *J.Nutri*, 130: 2073- 2085
- **Scartezzini, P., Speroni, E. (2000)** Review on some plants of Indian traditional medicine with antioxidant activity. *Ethno Pharmacol* 71(1-2):23-43
- **Schmidt, M., Betti, G., Hensel, A. (2007)**.Saffron in phytotherapy: pharmacology and clinical uses. *WMW Wien Med Wochenschr* , 157(13), 315-319.
- **Shirgurkar, M. V., John, C. K., Nadgauda, R. S. (2001)**. Factors affecting in vitro microrhizome production in turmeric. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 64(1) :5-11.
- **Sies, H. (1997)** Oxidative stress: oxidants and antioxidants. *Experimental physiology*, 82, 291-295.
- **Sohal, R.S., Mockett, R.J., Orr, W.C.N (2002)** Mechanisms of aging: an appraisal of the oxidative stress hypothesis, *Free Rad. Biol. Med.*33 (5): 575
- **Srinivasan, K. (2005)**. Role of spices beyond food flavouring: nutraceuticals with multiple health effects. : 21- 167-188.
- **Srivastava, R., Ahmed, H., Dixit, R.K. (2010)**.Crocus sativus L. :a comprehensive review ; pharmacognosy reviews,4(8),200
- **Stummel, R., Bosland, PW (2007)** Ornamental pepper « *Capsicum annum* » N.O. Anderson (Ed). *Flower Breed and Genet*, 561-599.
- **Sun, T., Powers, J.R., Tang, J. (2007)**. Evaluation of the antioxidant activity of asparagus broccoli and their juices. *Food Chemistry*. 105: 101-106.
- **Tachakittirungrod, S., Ikegami, F., Okonogi, S. (2007)**. Antioxidant Active Principles Isolated from Psidium guajava Grown in Thailand. *Scientia Pharmaceutica (Sci. Pharm)*. 75:179-193.
- **Tadeusz Aniszewski, (2007)**. Alkaloids – secrets of life, Alkaloid chemistry, Biological significance, Applications and Ecological Role, Elsevier.
- **Talbi, I., Medjbar, W, (2017)**.Qualité physico- chimique du safran Algérien. Université A. MIRA - Bejaïa Faculté des Sciences Exactes Département de Chimie diplôme master

## Références bibliographiques

---

- **Tanvir, E. M. ., Sakib Hossen Md., Fuad Hossain Md., Afroz, R ., Hua Gan, S ., Ibrahim Khalil, Md and Karim,N. ( 2017)** Antioxidant Properties of Popular Turmeric (*Curcuma longa*) Varieties from Bangladesh. Polyphenols and Food Quality, Special issue
- **Tarantilis, P. A., Tsoupras, G., & Polissiou, M. (1995).** Determination of saffron (*Crocus sativus* L.) components in crude plant extract using high-performance liquid chromatography-UV-visible photodiode-array detection-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 699(1-2), 107-118.
- **Tellez-Perez, C. (2013)** Valorisation de la production agricole mexicaine par préservation et séchage par autovaporisation instantanée ; cas du piment vert. *Génie des Procédés Industriels*. L'université de la rochelle
- **Topuz, A., Feng, H., Kushad, M., (2009)** *Food Sci. Technol.*, 4216671673.
- **Tirichine, HS (2010).** Etude ethnobotanique, activité antioxydante et analyse phytochimique de quelques cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) du Sud-Est Algérien : Université Ahmed Ben Bella d'Oran1 Es Senia.
- **Valko, M., Rhodes, C J B., Moncol, J., Izakovic, M., Mazur , M., (2006).** Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer.*Chemico-Biological Interactions*.160:1-40.
- **Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, MT, Mazur, M and Telser, J. (2007).** Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease.*Int J Biochem Cell Biol*, 39(1), 44-84
- **Van de Braak, S.A.A.J., Leijten, G.C.J.J. (1999).** Essential oils and oleoresins, CBI, center for the promotion of imports from developing countries, Rotterdam.
- **Vermerris, W; Nicholson, R. (2006).** Isolation and Identification of Phenolic Compounds. *Phenolic Compound Biochemistry*. 151-191. Published by Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- **Vijender Kumar, Bhat ZA, Dinesh Kumar, Shah MY, Chashoo IA, Khan NA (2011).** Physicochemical and Preliminary Phytochemical Studies on Petals of *Crocus sativus* 'Cashmerianus'.*Pharmacognosy Journal* , July 2011 , issue 23
- **Wahua, C., Okoli, B. E., Edwin-Wosu , N. L. (2014).** Morphological, anatomical, cytological and phytochemical studies on *Capsicum annum* Linn. (*Solanaceae*) .*European Journal of Experimental Biology*, 4(1):464-471
- **Wall, M.M., Waddell, C.A., Bosland, P.W. (2001)** Variation in beta-carotene and total Carotenoid content in fruits of *Capsicum*. *Hort Science*, 36, 746–749
- **Wichtl, M ; Anton, R (2003).** *Plantes thérapeutiques*. 2e édition, Paris : 692.

## Références bibliographiques

---

- **Williams, G .M. (1994)**, Interventive prophylaxie of liver cancer. *European Journal of Cancer Prevention*. 3, 89-99.
- **Zaki, N., Hasib, A., Dehbi, F., El Batal, H., Hakmaoui, A., Meftah, H., Hanine, H., Latreche, H., Ouatmane, A. (2017)**. Caractéristiques physicochimiques, nutritionnelles et antioxydantes du paprika produit par procédé semi-industriel à partir de la Niora (*Capsicum annum* L.) cultivée dans trois régions Marocaines, *Nature & Technology Journal*. Vol. B : Agronomic & Biological Sciences. 19: 01-12:
- **Zhishen, J., Mengcheng, T., Jianming, W. (1999)**. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*. 64: 555 –559.

## المخلص

تعتبر التوابل حاليًا من المكونات الأساسية في فن الطبخ، يتم استهلاكها بشكل شائع في النظم الغذائية البشرية وفي الصناعة وكذلك في الطب التقليدي.

يعتمد هذا العمل على دراسة مقارنة للنتائج التي تم الحصول عليها من العمل التجريبي الذي تم إجراؤه على الاختبارات الكيميائية النباتية، وقياس تركيز المركبات الفينولية وتقييم النشاط المضاد للأكسدة (محاصرة الجذور الحرة DPPH) للمستخلصات المحضرة من جذور الكركم الجافة، ثمار الفلفل الأحمر ووصمات أزهار الزعفران.

كشف الفحص الكيميائي النباتي للمستخلصات المحضرة عن ثراء جذور نبات الكركم من العفص، الكومارين والفلافونويد وثمار الفلفل الأحمر من الكومارين والتربينويدات والمركبات المرجعة إضافة إلى وجود العفص، الكينون، التربينويدات، المركبات المرجعة والفلافونيدات في المستخلصات المحضرة من وصمات أزهار الزعفران

تم تسجيل مستويات عالية جدا من البوليفينول الكلي والفلافونويد في المستخلصات الخام المحضرة من ثمار الفلفل الحمراء مقارنة مع البهارات الأخرى المدروسة.

كما أظهر تقييم النشاط المضاد للجذور الحرة أن المستخلصات المحضرة عن طريق نقع الكركم وبواسطة الغليان للفلفل الأحمر نشاط مضاد للجذور الحرة على الجذور الحرة DPPH مع قيم  $IC_{50}$  بترتيب 0.41 مجم / مل و 0.74 مجم / مل على التوالي. لكن هذا النشاط لا يزال منخفضًا مقارنةً بحمض الأسكوربيك الذي سجل  $IC_{50}$  بحوالي 0.01 مجم / مل في نفس الظروف.

**الكلمات المفتاحية:** التوابل، الكركم، الفلفل الأحمر، الزعفران، الاختبارات الكيميائية النباتية، المركبات الفينولية، النشاط المضاد للجذور الحرة، DPPH.

## *Résumé*

Les épices sont considérées, actuellement, comme des constituants indispensables à l'art culinaire. Elles sont couramment consommées dans les régimes alimentaires humains, en industrie et aussi en médecine traditionnelle.

Ce travail est basé sur une étude comparative des résultats obtenus à partir des travaux expérimentaux réalisés sur les tests phytochimiques, les dosages des composés phénoliques et évaluation de l'activité antiradicalaire (piégeage du radical libre DPPH) des extraits préparés des rhizomes secs de *Curcuma longa* L., fruits de *Capsicum annuum* L. et des stigmates des fleurs de *Crocus sativus* L.

Le screening phytochimique des extraits préparés a révélé la richesse des rhizomes de *C. longa* en tanins, coumarines, terpénoïdes et flavonoïdes; la richesse des fruits de *C. annuum* en coumarines, terpénoïdes, composés réducteurs et la présence des tanins, quinones et terpénoïdes, composés réducteurs et flavonoïdes dans les extraits préparés des stigmates des fleurs de *C. Sativus*.

Des teneurs très élevées en polyphénols totaux et en flavonoïdes ont été enregistrées dans les extraits bruts préparés des Fruits de *C. annuum*, par rapport aux deux autres épices étudiées.

L'évaluation de l'activité antiradicalaire a montré que l'extrait préparé par macération de *C. longa* et décoction de *C. annuum* ont présenté l'activité antiradicalaire la plus puissante sur le radical libre DPPH, avec des valeurs de CI50 d'ordre de 0,41 mg/ml et 0,74mg/ml, respectivement. Mais cette activité reste faible par rapport à celle de l'acide ascorbique qui a enregistré une CI50 d'ordre de 0,01 mg/ml dans les mêmes conditions.

**Mots clés :** Epices, *Curcuma longa*, *Capsicum annuum*, *Crocus sativus*, tests phytochimiques, composés phénoliques, activité antiradicalaire, DPPH.



## *Abstract*

Spices are currently considered essential constituents in the art of cooking. They are commonly consumed in human diets, in industry and in traditional medicine.

This work is based on a comparative study of the results obtained from the experimental work carried out on phytochemical tests, assays of phenolic compounds and evaluation of the anti-free radical activity (trapping of the free radical DPPH) of the extracts prepared from "dry rhizomes of *Curcuma longa* L., fruits of *Capsicum annuum* L. and the stigmas of flowers of *Crocus sativus* L.

The phytochemical screening of the prepared extracts revealed the richness of *C. longa* rhizomes in tannins, coumarins, terpenoids and flavonoids, the richness of *C. annuum* fruits in coumarins, terpenoids, reducing compounds and the presence of tannins, quinines, terpenoids, reducing compounds and flavonoids in the extracts prepared from the stigmas of flowers.

Very high contents of total polyphenols and flavonoids were recorded in the crude extracts prepared from the fruits of *C. annuum*, compared to the other two spices studied.

The evaluation of the anti-free radical activity showed that the extract prepared by maceration of *C. longa* and decoction of *C. annuum* exhibited the most potent anti-free radical activity on the free radical DPPH, with IC<sub>50</sub> values of order 0.41 mg / ml and 0.74 mg / ml, respectively. But this activity remains low compared to that of ascorbic acid, which recorded an IC<sub>50</sub> of around 0.01 mg / ml under the same conditions.

**Keywords:** Spices, *Curcuma longa*, *Capsicum annuum*, *Crocus sativus*, phytochemical tests, phenolic compounds, anti-free radical activity, DPPH