

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT  
جامعة عمار ثليجي بالأغواط  
FACULTE DES SCIENCES  
كلية العلوم  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE  
قسم البيولوجيا



## MEMOIRE DU MASTER

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

*Filière : Sciences Biologiques*

*Option : Biochimie Appliquée*

### *Thème*

*Evaluation de l'activité antioxydante des  
polyphénols de quelques épices commercialisées*

Présenté par

**Merigui Zahia & Mekhalet Souria**

**Le 04/07/2022**

Devant le jury

Présidente	Mme. Benchikh Imen	MCB Université de Laghouat
Examinatrice	Mme. Benguechoua Madjda	MCA Université de Laghouat
Encadrante	Mme. Nia Samira	MCB Université de Laghouat

**Année universitaire 2021-2022**

# *Remerciement*

*Tout d'abord, nous remercions Dieu, notre cher Maître du Ciel et de la Terre, qui nous a donné la force, la détermination et la volonté dans nos vies pour compléter nos études, et pour commencer et accomplir cette œuvre.*

*En particulier, nous tenons à exprimer notre gratitude à notre éminente enseignante, Mme N'ia Samira, pour son bon leadership dans notre travail. Nous la remercions également de nous avoir donné une grande confiance du début à la fin des travaux*

*Nous remercions sincèrement le distingué Comité en leur nom d'avoir accepté de juger et d'examiner notre travail*

*Nous tenons à remercier les membres qui travaillent dans le laboratoire*

*Merci à tous ceux qui ont contribué au développement de ce travail de près ou de loin*

# *DEDICACE*

*Je dédie ce travail :*

*En premier lieu, nous remercions notre Dieu, notre  
miséricorde qui nous a donné la force et la patience pour  
accomplir cette œuvre*

*Ma force et mon abri sûr et mon soutien*

*À mon cher père*

*Ma petite amie, ma héroïne, mon premier professeur*

*À ma chère mère*

*À mes chères sœurs : Rekaïa et son mari, Meriem et son  
mari, Samia.*

*À mon cher frère : Youcef*

*Aux petites enfants : Aya, Iness, Abdou*

*À ma collègue Souria qui contribue à ce travail*

*À mon éminente professeure Nïa Samira, Dieu l'a  
récompensée de tous ses efforts*

*À tous mes professeurs dans ma vie scolaire sans exception*

*Zahia*

*Merci*

# *DEDICACE*

*À l'aide d'Allah tout puissant, qui m'a tracé le chemin de  
ma vie et m'a donné la force et le courage pour réaliser cet  
humble travail*

*que je dédie:*

*À mon chère père Mohammed, qui m'a soutenu tout au  
long des dernières années scolaires pour atteindre mes  
objectifs*

*À la source de la vie et la personne qui m'a donné une vie  
que ni lieu ni temps ne peuvent répéter, ma mère Fatna*

*À mes chères frères: Ali, Azzedine, Makhlouf et Oussama*

*À mes chères sœurs: Aïda, Chaïma et la femme de mon  
frère Dhaïba*

*À toute la famille: Mekhalet*

*À toute mes amies surtout ma chérie MERIGUI Zahia,  
mon binome*

*À mon chère enseignante madame Nia Samira*

*À toute la promotion de Biochimie appliquée*

*Souria*

*Merci*

## Résumé :

Les épices font partie des plantes qui sont capables de produire plusieurs molécules bioactives. A cet effet nous sommes intéressés à l'étude de l'activité antioxydante des polyphénols des deux mélanges d'épices. L'extraction des polyphénols par deux solvants de différentes polarités (Dichlorométhane et Méthanol) nous a permis de calculer le rendement de chaque extrait pour chaque échantillon dont les rendements les plus remarquables sont ceux des extraits dichlorométhaniques. La quantification des polyphénols et des flavonoïdes par le réactif de Folin-Ciocalteu et le trichlorure d'aluminium respectivement révèle que l'extrait de l'épice Tajine obtenu par le dichlorométhane est le plus riche en polyphénols et en flavonoïdes. L'évaluation de l'activité antioxydante par le test DPPH révèle que les extraits étudiés montrent des propriétés antioxydantes remarquables surtout l'extrait dichlorométhanique de l'épice Tajine.

**Mots clés :** l'activité antioxydante, mélanges d'épices (viande et tajine), polyphénols, flavonoïdes et test DPPH.

## الملخص :

تعتبر التوابل من بين النباتات القادرة على إنتاج العديد من الجزيئات النشطة بيولوجيا. لهذا الغرض، نحن مهتمون بدراسة النشاط المضاد للأوكسدة للبوليفينول في خليطي التوابل. سمح لنا استخراج البوليفينول بواسطة مذيبين من الاستقطابات الاحترامية (ثنائي كلوروميثان و الميثانول) بحساب محصول كل مستخلص لكل عينة التي من أبرز غلاتها تلك مستخلصات ثنائي كلوروميثان. يكشف القياس الكمي للبوليفينول والفلافونويد بواسطة كاشف فولين-سيكالتيو و ثلاثي كلوريد الألمنيوم، على التوالي، أن مستخلص توابل الطاجين الذي تم الحصول عليه بواسطة ثنائي كلوروميثان هو الأغنى بالبوليفينول والفلافونويد. يكشف تقييم النشاط المضاد للأوكسدة من خلال اختبار DPPH أن المستخلصات المدروسة تظهر خصائص ملحوظة لمضادات الأوكسدة خاصة المستخلص ثنائي الكلوروميثاني لتوابل الطاجين.

**الكلمات المفتاحية :** النشاط المضاد للأوكسدة، خلأط بعض التوابل (اللحم والطاجين)، البوليفينول، الفلافونويد و اختبار DPPH.

## Abstract :

Spices are among the plants that are capable of producing several bioactive molecules. For this purpose we are interested in studying the antioxidant activity of the polyphenols of the two spice mixtures. The extraction of polyphenols by two solvents of deferential polarities (Dichloromethane and Methanol) allowed us to calculate the yield of each extract for each sample whose most remarkable yields are those of dichloromethanic extracts. Quantification of polyphenols and flavonoids by the Folin-Ciocalteu reagent and aluminum trichloride, respectively, reveals that the extract of the Tajine spice obtained by dichloromethane is the richest in polyphenols and flavonoids. The evaluation of antioxidant activity by the DPPH test reveals that the studied extracts show remarkable antioxidant properties especially the dichloromethanic extract of the Tajine spice.

**Keywords :** antioxidant activity, spice mixtures (meat and tajine), polyphenols, flavonoids and test DPPH

# Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

**Introduction générale**..... 01

## Partie bibliographique

### I. Généralité sur les épices

1. Histoire des épices.....	03
2. Définition.....	03
3. Classification des épices.....	04
4. Domaines d'utilisation des épices.....	07
4.1. Usage nutritionnelle.....	07
4.1.1. Usage en agroalimentaire.....	07
4.1.2. Usage en industrie alimentaire.....	07
4.2. Usage culinaire.....	08
4.3. Usage médicinale.....	09
4.4. Usage en cosmétique.....	10

### II. Les composés phénoliques

1. Définition.....	13
2. Classification.....	13
2.1. Acides phénoliques.....	13
2.1.1. Acides hydroxy cinnamiques.....	13
2.1.2. Acides hydroxy benzoïques.....	14
2.2. Les lignanes.....	14
2.3. Les coumarines.....	15
2.4. Les stilbènes.....	15
2.5. Les flavonoïdes.....	15
2.6. Les tannins.....	19

### III. Activité antioxydante

1. Définition.....	20
2. Stress oxydatif.....	21
2.1. Définition.....	21
2.2. Les conséquences de stress oxydatif.....	21
2.3. Les maladies liées au stress oxydatif.....	22
3. Radicaux libres.....	22
3.1. Définition.....	22
3.2. Rôles biologiques des radicaux libres.....	23
4. Les antioxydants.....	23
4.1. Définition.....	23
4.2. Classification des antioxydants.....	24
4.2.1. Les antioxydants naturels.....	24
4.2.2. Les antioxydants synthétiques.....	28
4.3. Mécanisme d'action des antioxydants.....	29

### Matériels et méthodes

1. Matériels.....	31
1.1. Matières végétales.....	31
1.2. Produits chimiques.....	31
1.3. Les matériels du laboratoire.....	31
2. Méthodes d'extraction des composés phénoliques.....	32
2.1. Principe d'extraction.....	32
2.2. Protocole d'extraction.....	32
2.3. Calcule de Rendement.....	32
3. Dosage des phénols totaux.....	34
3.1. Principe.....	34
3.2. Mode opératoire.....	34
3.3. La courbe d'étalonnage de l'acide gallique.....	34
4. Dosage des flavonoïdes.....	35

4.1. Principe.....	35
4.2. Mode opératoire.....	35
4.3. La courbe d'étalonnage de la quercétine.....	35
5. Evaluation de l'activité antioxydante par le test DPPH.....	35
5.1. Principe.....	35
5.2. Mode opératoire.....	36
5.3. La courbe d'étalonnage.....	36
<b>Résultats et Discussions.....</b>	<b>38</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>52</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>53</b>

## Liste des abréviations

**ADN** : Acide désoxyribonucléique

**AGPI** : Acides gras poly-insaturés

**ARN** : Acide ribonucléique

**BHA** : Le butylhydroxyanisole

**BHT** : Le butylhydroxytoluène

**CAT** : Catalase

**CP** : Composé phénolique

**Da** : Dalton

**DCM** : Dichlorométhane

**DPPH** : Le 2,2-diphényl 1-picrylhydrazyle

**EAG** : Equivalente acide gallique

**EC<sub>50</sub>** : Efficient concentration

**EOA** : Espèces oxygénées activées

**EQ** : Equivalente quercétine

**ER** : Espèces réactives

**ERN** : Espèces réactives du nitrogène

**ERO** : Les espèces réactives d'oxygène

**GPx** : La glutathion peroxydase

**GSH** : Le glutathion

**LDL** : Lipoprotéine de basse densité

**MS** : Matière sèche

**NO°** : Monoxyde d'azote (Nitric oxide)

**NO•** : L'oxyde nitrique

**NOS** : Les oxydes nitriques synthèses (Nitric oxide synthase)

**O<sup>°2-</sup>** : Le radical superoxyde

**O<sub>2</sub><sup>-</sup>** : L'ion superoxyde

**O<sub>2</sub><sup>•-</sup>** : L'anion superoxyde

**OH•** : Radical hydroxyle

**OMS** : L'organisation mondiale de la santé

**PAs** : Pro anthocyanidines

**PG** : Propyle gallate

**PH** : Le potentiel hydrogène

**R•** : Radical d'acide gras

**RL** : Radical libre

**RNS** : Les espèces réactives azotées oxydantes

**RO<sup>°</sup>-** : Les radicaux alkoxy

**ROO<sup>°</sup>-** : Les radicaux peroxy

**ROOH** : Hydroperoxyde lipidique

**ROS** : Les espèces réactives oxygénées

**SOD** : Superoxyde dismutase

**TBHQ** : Tétrabutylhydroquinone

**UV visible** : Spectroscopie ultraviolet-visible

## Liste des figures

<b>Figure 01</b> : Quelques espèces d'épices.....	04
<b>Figure 02</b> : Structure de l'acide hydro cinnamiques et certaines de ses formulations....	14
<b>Figure 03</b> : Structure de l'acide benzoïque et certaines de ses formulations.....	14
<b>Figure 04</b> : Structure des stilbènes et certaines de ses formulations.....	15
<b>Figure 05</b> : Structure de base des flavonoïdes.....	16
<b>Figure 06</b> : La structure de tannins hydrolysables.....	20
<b>Figure 07</b> : La structure de tannins condensés.....	20
<b>Figure 08</b> : Balance radicaux libres /antioxydants.....	21
<b>Figure 09</b> : Structure tridimensionnelle de la superoxyde dismutase (SOD).....	24
<b>Figure 10</b> : Structure tridimensionnelle de la catalase (CAT).....	25
<b>Figure 11</b> : Structure tridimensionnelle de la glutathion peroxydase.....	26
<b>Figure 12</b> : Structure chimique de la vitamine C.....	26
<b>Figure 13</b> : Structure chimiques des vitamines E.....	27
<b>Figure 14</b> : Structure de La $\beta$ -carotène.....	27
<b>Figure 15</b> : Structures chimiques de quelques antioxydants synthétiques.....	29
<b>Figure 16</b> : Aperçu des espèces oxygénées activées (EOA) dérivant de l'oxygène et systèmes de protection permettant de limiter l'effet toxique de ces espèces. GSH: glutathion, Cl <sup>-</sup> : anion chlorure; MPO: myéloperoxydase, SOD: superoxyde dismutase, Se-GPx: glutathion peroxydase sélénio- dépendante.....	30
<b>Figure 17</b> : Représentation schématique des étapes d'extraction des composés phénoliques.....	33
<b>Figure 18</b> : La réduction du radical libre DPPH.....	36
<b>Figure 19</b> : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique (mg/ml).....	39
<b>Figure 20</b> : Courbe d'étalonnage de la quercétine (mg/ml).....	41
<b>Figure 21</b> : Histogrammes de les teneurs en phénols totaux et en flavonoïdes de quatre échantillons (Tajine par DCM-Viande par DCM-Tajine par MeOH-Viande par MeOH).....	43
<b>Figure 22</b> : Représentation graphique de corrélation entre les phénols totaux et les Flavonoïdes.....	44
<b>Figure 23</b> : Courbe du pourcentage d'inhibition de l'extrait de tajine par DCM en fonction des concentrations.....	45
<b>Figure 24</b> : Courbe du pourcentage d'inhibition de l'extrait de viande par DCM en	

fonction des concentrations.....	45
<b>Figure 25</b> : Courbe du pourcentage d'inhibition de l'extrait de tajine par MeOH en fonction des concentrations.....	46
<b>Figure 26</b> : Courbe du pourcentage d'inhibition de l'extrait de viande par MeOH en fonction des concentrations.....	46
<b>Figure 27</b> : Courbe du pourcentage d'inhibition de standard (Quercétine) en fonction des concentrations.....	47
<b>Figure 28</b> : Courbe du pourcentage d'inhibition de standard (Vitamine C) en fonction des concentrations.....	47
<b>Figure 29</b> : Classement croissant des valeurs $EC_{50}$ des extraits et standards.....	48
<b>Figure 30</b> : Représentation graphique de la corrélation entre l'activité antioxydante (les valeurs d' $EC_{50}$ ) et la teneur en phénols totaux.....	50
<b>Figure 31</b> : Représentation graphique de la corrélation entre l'activité antioxydante (les valeurs d' $EC_{50}$ ) et la teneur en flavonoïdes.....	50

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b> : Les différentes bases de classification des épices.....	05
<b>Tableau 02</b> : Utilisation des épices dans la cuisine.....	09
<b>Tableau 03</b> : Quelques utilisations et avantages des épices en générale.....	11
<b>Tableau 04</b> : Structure des différentes classes de flavonoïdes.....	16
<b>Tableau 05</b> : Les principaux modes d'action de quelques antioxydants.....	29
<b>Tableau 06</b> : La couleur et le rendement des extraits bruts.....	38
<b>Tableau 07</b> : Teneurs en phénols totaux .....	40
<b>Tableau 08</b> : Teneurs en flavonoïdes .....	42
<b>Tableau 09</b> : Résultats de test DPPH .....	48

# *Introduction générale*

## Introduction générale

---

Au fil du temps, les êtres humains comptent sur des domaines naturelles (comme l'agriculture ou l'industrie) pour subvenir à leurs besoins simples, y compris la nourriture, le logement, les vêtements et aussi leurs besoins médicaux. La nature est l'amie de l'homme, en particulier des plantes, qui possèdent des caractéristiques médicales et thérapeutiques.

En générale, avant l'exploration des médicaments chimiques, les gens utilisaient l'herbe comme un médicament, et jusqu'à présent, le corps humain répondait mieux aux traitements médicaux avec les plantes que les autres. Aujourd'hui, les traitements basés sur les plantes sont les plus répandus dans le monde avec leurs résultats efficaces (**Iserin, 2001**).

Les plantes médicinales sont des drogues végétales utilisées dans la médecine traditionnelle, elles sont la matière première des molécules pour le développement de futurs médicaments. Les statistiques de l'OMS confirment que la majorité des personnes dans le monde continuent de compter sur des plantes médicinales pour les soins de santé. Les recherches sur les bienfaits de ces plantes se poursuivent (**Derwich et al., 2010**). En fait, il y a environ 80 000 espèces de plantes médicinales, elles sont utilisées depuis mille ans (**Cunningham, 1993 ; Agisho et al., 2014**). L'usage de la médecine traditionnelle en Algérie a été très répandu et a entraîné le développement du pays. En effet, l'Algérie est aujourd'hui un importateur net de plantes médicinales et importateur basé sur des plantes hébraïques, médicales, des épices et des huiles essentielles (**Rabbas et al., 2012**).

De nos jours, il y a des éléments chimiques qui sont responsables des caractéristiques des plantes médicinales : les quinones, les polyphénols, polyterpènes et stéroïdes, les flavonoïdes, les tanins, les saponosides, les protéines, les glucides et les alcaloïdes (**Kémajou et al., 2012**). Donc, nous reconnaissons que les principes actifs des plantes médicinales sont liés aux produits des métabolites secondaires, qui sont utiles en thérapeutique et pour le traitement, comme les antioxydants qui défendent contre le stress oxydatif (**Bourgaud et al., 2001**).

En ce moment, l'étude de l'activité antioxydante des plantes est importante pour préserver notre santé et même traiter différentes maladies et combattre les radicaux libres avec des sources naturelles. Les herbes et les épices sont des sources d'antioxydants, qui peuvent être employés pour se protéger contre les effets du stress oxydant (**Meta et al., 2007**).

## Introduction générale

---

Les épices sont des plantes médicinales, et ces épices font partie de plantes aromatiques avec une saveur forte. Elles sont utilisées dans les traitements, comme agents protecteurs. Ces dernières ont des propriétés cosmétiques et médicales, y compris les antioxydants et anti-inflammatoire (Shiva Rani et al., 2013).

De nombreux mélanges d'épices tel que "Epices de Tajine" et "Epices de Viande" sont largement utilisées dans les plats traditionnels algériens. Ces mélanges sont usuellement composé de : cumin, canne, thym, romarin, le poivre noir pour les épices de viande et gingembre, cannelle, curcuma, laurier pour les épices de tajine.

L'objectif de ce travail est de déterminer les quantités des phénols et flavonoïdes et d'évaluer l'activité antioxydante de diverses épices « Tajine » et « Viande ».

Notre travail est divisé en trois parties. La premier partie consiste à les principales informations sur les épices, la notion des composés phénoliques et de l'activité antioxydante : stress oxydatif, les radicaux libres et les antioxydants, sous forme d'une synthèse bibliographique.

Dans la seconde partie, le matériel et la méthodologie de travail et la troisième partie, les principaux résultats obtenues suivis des discussions. On termine notre travail par une conclusion.

# *Synthèse bibliographique*

# Synthèse bibliographique

---

## I. Généralité sur les épices

### 1. Histoire des épices

Le mot « épice » du latin « spices » signifie espèce ou substance. Et aussi signifie une substance aromatique d'origine végétale. (**Droniou-Cassaro, 2012**).

La consommation d'épices remonte au IV<sup>ème</sup> siècle avant J-C, selon les historiens. En 2000 avant J-C son commerce s'est développé au Moyen-Orient, elle faisait partie des produits plus cher et sont semblables au commerce de l'Or des pierres précieuses.

Dans l'antiquité les épices sont étaient consommées pour la nutrition, la médecine et la parfumerie par les Assyriens et elles servaient aussi à embaumer les morts (par les Egyptiens). Les premiers à l'apporter à l'ouest de l'Inde et de la Chine sont les commerçants arabes, ils contrôlent la route des épices sur le côté Est et les Portugais sur le côté Ouest.

Au XV<sup>ème</sup> siècle les navigateurs portugais se sont impliquées dans ce commerce productif et puis les Anglais et les Hollandais sont intéressés les épices en créant des entreprises sur le côté asiatique (au XVII<sup>ème</sup> siècle), après la stabilité de France en Inde en 1654 ont développé la culture des épices dans leur colonies de l'océan Indien et de la mer des Antilles.

Les prix des épices ont diminués à la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle mais les Anglais dominaient son marché. Leur commerce s'est très largement multipliée au XIX<sup>ème</sup> siècle, aujourd'hui elles sont devenues un ingrédient ordinaire de l'art culinaire (**Michel Tournier, 1999**).

### 2. Définition

Les épices font partie intégrante de la vie humaine depuis de nombreuses années et sont utilisées aux niveaux domestique et industriel. L'épice originale provient d'Europe, d'Afrique et d'Asie (en Inde) (**Ahmad, R. S et al., 2021**), l'Inde produit une variété d'épices basées sur l'agriculture locale depuis des siècles (**Kadam DD et al., 2015**). Les épices sont obtenues à partir de plantes non ligneuses et à fleurs. Elles sont obtenues à partir de la partie sèche de la plante, comme la racine rampante, les feuilles, les fruits et les noix, ect (**Ahmad, R. S et al., 2021**). Les épices sont les principaux ingrédients dans la préparation des aliments, ainsi que son rôle dans la saveur et la coloration. Elles sont la

## Synthèse bibliographique

---

base des saveurs et une partie importante de la nourriture, qui définissent les cultures des pays du monde entier (**Berkeley W, 2013**). On les utilise en petites quantités dans la cuisine, comme suit : graines séchées, fruits, racines, écorces, substances végétales. Il a confirmé une activité essentielle d'épices qui a conduit à l'intensification des industries scientifiques et de la recherche (**Kadam DD et al., 2015**).

Il y a beaucoup de mélange d'épices. Parmi ces mélanges «Tajine et Viande» qui sont originaires d'Afrique du Nord sur la base de cumin, canne, thym, romarin, le poivre noir (épices de viande), gingembre, cannelle, curcuma, laurier (épices de tajine), et très utilisées dans la cuisine Algérienne. Les épices sont d'excellentes sources des composés phénoliques ayant des fonctions bioactives (**Ahmad, R. S et al., 2021**).



**Figure 01** : Quelques espèces d'épices (**Droniou, 2012**).

### 3. Classification des épices

Les épices sont classées en fonction de leurs caractéristiques morphologiques des plantes et aussi en fonction de leurs propriétés organoleptique, c'est-à-dire en se basant sur la couleur, l'odeur et la saveur (**Richard, 1987**). Elles sont classées en plusieurs groupes en fonction de la saveur ou de la taxonomie. Côté de saveur, les épices sont classées en 4 groupes (Selon le degré de goutte) : Epices chaude (poivre noir et blanc, poivre, moutarde), épices douces (coriandre, paprika), épices aromatiques (cumin, cannelle, clou de girofle, fenouil à l'aneth, muscade) et herbes et légumes aromatique (basilic, laurier, marjolaine, thym). Ces épices sont les plus utilisées dans l'alimentation. Côté de taxonomie, les épices entrent dans la catégorie Angiosperme (plante avec une fleur) (**Embuscado, 2019**). La classification des épices est basée sur l'analogies botaniques (**Ahmad, R. S et al., 2021**) et aussi en fonction de la partie de la plante à partir de laquelle elles sont extraites (**Redhead**

## Synthèse bibliographique

J, 1990), par exemple : piment forte, blanc sec et noir, racine de gingembre, graines de moutarde (Ahmad, R. S et al., 2021). Ces différentes parties de la plante peuvent donner des épices qui sont classées en plusieurs familles (Tableau 01).

**Tableau 01** : Les différentes bases de classification des épices (P Chhetri et al., 2018).

Les bases de classification	Classes	Epices
Cotylédons	Dicotyledoneae	Piment, paprika, rouge poivre, estragon, cubeba, poivre long, poivre, muscade, feuille de laurier, cassia, cannelle, moutarde, wasabi, piment de la Jamaïque, clou de girofle, anis, carvi, coriandre, cumin, aneth, fenouil, persil
	Monocotyledoneae	Ail, oignon, safran, cardamome, gingembre, curcuma, vanille
La famille (Des exemples)	Zingiberaceae	Grande cardamome, petite cardamome, gingembre, curcuma, grand galanga
	Solanaceae	Piments
	Apiaceae	Coriandre, cumin, fenouil, céleri, anis, carvi, aneth, ail, parsely, asafoetida
	Rutaceae	Feuilles de cari
	Lamiaceae	Menthe, hysope, marjolaine, basilic, romarin, sauge, sarriette, thym, origan
	Iridaceae	Safran
	Orchidaceae	Vanille
	Myrtaceae	Clou de girofle, piment de la Jamaïque
	Asteraceae	Estragon
L'importance économique	Epices majeures	Poivre noir, piments, petite cardamome, gingembre, curcuma
	Epices mineures	Sauf les 5 épices ci-dessus toutes les autres épices sont regroupées sous mineures épices
L'origine et la saveur	Epices piquantes	Poivre, gingembre, piments, moutarde, ail, feuilles de laurier, origan, oignon
	Fruits aromatiques	Cardamome, fenugrec, cumin, muscade

## Synthèse bibliographique

	Ecorce aromatique	Cannelle et cassia
	Epices phénoliques	Clous de girofle, piments de la Jamaïque
	Epice colorées	Paprika, safran, curcuma
Le degré du gout	Epices chaudes	Capsicum, noir et blanc poivrons, gingembre, moutarde
	Epices douces	Paprika, coriandre
	Epices aromatiques	Piments de la Jamaïque, cardamome, cassia, cannelle, clou de girofle, cumin, aneth, fenouil, fenugrec, macis, muscade
	Herbes	Basilic, laurier, aneth, feuilles, marjolaine, estragon, thym
	Légumes aromatiques	Oignon, ail, céleri
Les habitudes de croissance	Herbes	Ajowan, coriandre, cumin, tenet, fenugrec, piments, persil
	Arbustes	Romarin, piments (piments vivaces), grenade
	Arbres	Muscade, clou de girofle, cannelle, tamarin, garcinia, poivre japonais
	Grimpeurs	Poivre noir, poivre à queue, vanille
	Herbes vivaces / Herbes rhizomateuses	Cardamome, gingembre, curcuma, gingembre de mangue, gingembre japonais, galanga, asafoetida
La saison de croissance	Epices annuelles	Coriandre, cumin, fenouil, fenugrec, ajowan et cumin noir, anis, moutarde, piment
	Epices bisannuelles	L'oignon et persil
	Epices vivaces	Cardamome, curcuma, gingembre, poivre noir, safran, clou de girofle, muscade, asafoetida et la cannelle
La partie de la plante utilisée	Feuilles	Coriandre, céleri, feuille de cari, menthe, persil, tejpat, hysope, feuille de laurier, lovage, marjolaine, basilic, romarin, sauge, sarriette, thym, origan, estragon
	Ecorce	Cannelle, cassia, tejpat
	Rhizome	Gingembre, curcuma,

## Synthèse bibliographique

---

	Fruits	Poivre, cardamome, piment, coriandre, cumin, fenouil, céleri, anis, ajowan, caramel, aneth, poivre long, anis étoilé, piment de la Jamaïque, tamarin
	Graines	Cardamome, fenugrec, moutarde, grenade, muscade, graines de pavot
	Bulbe	Ail
	Gousse	Vanilla
	Stigmatisation	Safran
	Racine	Raifort, angélique, lovage

### 4. Domaines d'utilisation des épices

Les épices sont concentrées dans la méditerranéenne. Leurs utilisations varient selon chaque région et sa culture. Les principales utilisations des épices sont multiples pour différents domaines : Saveur, momification (en Egypte), encens, antidote contre les toxines (**Ravindran et Pillai, 2004**) couleurs naturelles, antimicrobiens, antioxydants et aussi dans les produits pharmaceutiques, cosmétiques et parfums (**Elizabeth J et al., 2017**). Elles sont inclus dans les secteurs alimentaire (l'agroalimentaire et l'industrie alimentaire) et pharmacopée (médicinale) (**Ravindran et Pillai, 2004**).

#### 4.1. Usage nutritionnelle

##### 4.1.1. Usage en agroalimentaire

Les épices ajoutent une variété de saveurs aux aliments, elles ont des ingrédients spéciaux qui ajoutent cette saveur, parmi aux : thymol, carvacrol et gingérol, ect. Non seulement l'épice a des élément qui ajoutent de la saveur à la nourriture, mais il y a quelques épices sont riches en éléments qui ajoutent les couleurs, tels que : curcumine, caroténoïdes et flavonoïdes. Généralement on utilise paprika, safran, curcuma comme colorants naturels pour les aliments (**Peter, 2004**).

##### 4.1.2. Usage en industrie alimentaire

Le rôle des épices consiste à réduire la proportion de sel, de gras et de sucre dans les aliments, tels que : basilic, marjolaine, estragon, coriandre et thym. Les épices sont riches en vitamines A, E, D, K, C et B (dans le persil et aneth), B et PP (dans l'oignon).

## Synthèse bibliographique

---

Elles sont riches en antimicrobiens qui éliminent les bactéries pathogènes et augmentent la qualité des produits alimentaires, comme : origan, clou de girofle, ail, coriandre, cannelle, romarin, citronnelle, sauge et vanilline, et aussi pour empêcher la croissance de microorganismes indésirables dans les aliments qui peuvent causer une intoxication alimentaire et des maladies. Il y a quelques épices ajoutées aux aliments gras pour prévenir les allergies oxydatives qui causent des dommages aux aliments, tels que : sauge, thym, origan, gingembre, romarin, poivre noir, clou de girofle, poivron rouge, marjolaine, basilic, fenouil, persil, cumin, cannelle, ail et coriandre (Leja KB et Czaczyk K, 2016). Donc les épices inhibent les réactions d'oxydation dans les aliments et prolongent leur durée de conservation, ce sont des antioxydants efficaces (Shylaja et Peter, 2004). Les gens préfèrent ne pas consommer d'aliments contenant des agents de conservation, il y a donc un intérêt croissant à produire des composés naturels pour préserver les aliments, comme les herbes et les épices (Leja KB et Czaczyk K, 2016).

### 4.2. Usage culinaire

On utilise quelques épices ou bien mélange des épices en petite quantité dans la cuisine comme conservateurs des aliments et donnent de la saveur aux aliments et aux boissons. Elles sont des pigments naturels, et résistent également aux changements de PH. Les utilisations de base des épices dans la cuisine sont : la saveur, conservation, antioxydant et la coloration. Leurs utilisations entraînent aussi des effets secondaires réduire le sel et le sucre, améliorer la texture et prévenir les dommages alimentaires (Tableau 02) (Peter, 2001).

## Synthèse bibliographique

Tableau 02 : Utilisation des épices dans la cuisine (Oiyé SO et Muroki NM, 2002).

Utilisation dans la cuisine	Les épices
Boissons	Anis, basilic, laurier, cardamome, cannelle, girofle, gingembre, romarin, thym
Fromage	Anis, basilic, carvi, cardamome, coriandre, ail, moutarde, oignon, origan, romarin, paprika, poivre, sauge, thym
Poissons	Basilic, laurier, ail, moutarde, oignon, origan, romarin, paprika, poivre, sauge, thym
Viande	Basilic, laurier, carvi, girofle, coriandre, cumin, gingembre, oignon, origan, romarin, paprika, poivre, sauge, thym
Vinaigrettes	Basilic, carvi, cardamome, coriandre, ail, moutarde, oignon, origan, romarin, paprika, poivre, sauge, thym
Sauces	Basilic, laurier, carvi, cannelle, girofle, gingembre, ail, moutarde, oignon, origan, romarin, paprika, poivre, sauge, thym
Légumes	Anis, basilic, laurier, carvi, coriandre, cumin, moutarde, oignon, origan, romarin, paprika, poivre, sauge, thym
Plats d'œufs	Basilic, carvi, cumin, moutarde, oignon, origan, romarin, paprika, poivre, sauge, thym
Volaille	Basilic, laurier, carvi, cumin, gingembre, ail, moutarde, oignon, origan, romarin, paprika, poivre, sauge, thym
Produits sucrés	Anis, basilic, laurier, carvi, coriandre, cardamome, cannelle, girofle, cumin, gingembre, romarin, sauge
Soupes	Anis, basilic, laurier, carvi, cardamome, girofle, coriandre, ail, moutarde, gingembre, oignon, origan, romarin, paprika, poivre, sauge, thym

### 4.3. Usage médicinale

Dans les temps anciens, la plupart des médicaments étaient végétaliens. Malgré l'émergence et l'exploration des médecines synthétiques, l'intérêt pour les traitements naturels a augmenté jusqu'à présent en raison de sa grande efficacité (Leja KB et Czaczyk K, 2016). Les épices et les herbes aromatiques sont connues pour leurs propriétés médicinales et leur propriétés thérapeutiques. Elles ont de nombreux avantages en médecine, en particulier dans la médecine traditionnelle. Ainsi, elles sont utilisées pour traiter des maladies, parmi ces traitements : « aromathérapie » (Ravindran et Pillai, 2004). Les épices sont la base de la médecine populaire utilisée dans les doses orthodoxes, elles comprennent : cumin, gingembre, curcuma, les herbes et les épices sont utilisées dans de plusieurs médicaments et suppléments dans ce qui est connu comme une « Pharmacie verte ». Ce sont plus efficace et sûr que les produits pharmaceutiques (Leja KB et Czaczyk K, 2016). Les épices sont utilisées dans les traitements des troubles gastro-intestinaux, comme agent actif contre le cancer, agent anti-inflammatoire et

## Synthèse bibliographique

---

antimicrobienne, activité anti-protéase qui inhibe l'action du VIH (**Droniou et Cassaro, 2012**), la digestion (**Elizabeth J et al., 2017**), le traitement des infections bactériennes, la démence d'Alzheimer, les ulcères d'estomac, la prévention et le traitement du cancer et les maladies cardiovasculaires, ect (**Leja KB et Czaczyk K, 2016**). Elles sont très efficaces dans la lutte contre les maladies et également utilisées en massage, relaxation et douleur réduite (**Li, 2006**).

Toutes les épices sont efficaces contre l'indigestion, cardamome (un stimulant léger), cannelle (démontre une action antimicrobienne), clou de girofle (soulagement de la douleur), ail (utile pour prévenir les maladies et le cancer), gingembre (utile pour traiter l'arthrite), poivron rouge (contient une substance analgésique), curcuma (utile pour traiter l'arthrite et le diabète) (**Leja KB et Czaczyk K, 2016**), curcuma (pour l'Alzheimer) (**Collin, 2006 ; Li, 2006**), romarin (pour rhumatisme) et l'oignon (pour hypoglycémie) (**Li, 2006**).

Les épices sont utilisées dans la pharmacie sur les formes suivantes : injections, teintures, extraits liquides, sirop, huiles, onguents et poudres, ect (**Elizabeth J et al., 2017**), les composés végétaux ont des nombreuses applications industrielles et médicales, cependant, certains peuvent prouver il a des effets toxiques lorsqu'il est utilisé industriellement. Par exemple : la consommation d'environ 12 cuillères à café de muscade provoque la délire, les hallucinations et l'anxiété. En outre, lorsque la consommation des feuilles de laurier en abondance provoque l'intoxication. Par conséquent, il faut faire attention au moment de choisir à utiliser les épices dans cette domaine (**Leja KB et Czaczyk K, 2016**).

### 4.4. Usage en cosmétique

Les composés naturelles affectent les processus biologiques qui se produisent dans la peau pour fournir des nutriments pour la santé du corps, tels que : les vitamines, les antioxydants, les huiles essentielles et les protéines (**Leja KB et Czaczyk K, 2016**). Les épices sont utilisées dans les parfumes, les cosmétiques et les détergents. Elles sont des ingrédients essentiels en cosmétique comme agents désinfectants, injections, rafraîchissements, lotions pour les yeux, shampooing, crèmes de beauté, ect (**Peter, 2001**).

## Synthèse bibliographique

**Tableau 03** : Quelques utilisations et avantages des épices en générale (Sachan AK et al., 2018).

<b>Epices</b>	<b>Utilisations</b>	<b>Avantages</b>
Asafoetida ( <i>Hing</i> )	Il est utilisé pour assaisonner les aliments en particulier les collations et a des usages médicaux.	Un bon remède contre la coqueluche et les maux d'estomac causés par le gaz.
Feuille de laurier ( <i>Tez Patta</i> )	En cuisine pour ajouter une saveur particulière à la nourriture. Il a également des propriétés médicinales.	L'huile de laurier possède des antifongiques et antibactériens
Cardamom ( <i>Elaichi</i> )	Dans tous les plats indiens et d'autres plats sucrés, il est utilisé pour donner une bonne saveur et odeur. Il est également largement utilisé dans le secteur pharmaceutique	Aide à contrôler la mauvaise haleine et le trouble digestif. Une cardamome entière mâchée est bonne pour faire face à diabète.
Piment ( <i>Lal Mirch</i> )	C'est un ingrédient principal utilisé pour ajouter une saveur chaude à l'aliment	Les antioxydants présents dans le piment aident à faire face cholestérol. Il aide également à brûler les calories
Cannelle ( <i>Dalchini</i> )	L'assaisonnement alimentaire et la préparation de masalas et a également des utilisations médicales.	Il soutient la production naturelle d'insuline et réduit le cholestérol sanguin.
Clou de girofle ( <i>Laung</i> )	Comme ingrédient de cuisson pour assaisonner ou préparer des Masalas.	L'huile de clou de girofle est bénéfique pour faire face aux maux de dents et gencives douloureuses. Il est également un remède bénéfique pour les douleurs thoraciques, la fièvre, les problèmes digestifs, la toux et le rhume.
Coriandre ( <i>Dhaniya</i> )	Les feuilles de coriandre ainsi que les graines de coriandre sont utilisées en cuisine. Il a également quelques utilisations médicinales.	Il peut être utilisé à l'extérieur sur les articulations endolories et rhumatisme. Il est également bon pour faire face à la montée de la gorge, allergies, problèmes digestifs, rhume des foins, etc.
Cumin ( <i>Zeera</i> )	Pour la cuisson et possède également des propriétés médicinales.	C'est une bonne source de fer et maintient le système immunitaire sain. L'eau bouillie avec des graines de cumin est bon pour faire face à la dysenterie.
Feuilles de cari ( <i>Curry Patta</i> )	Comme ingrédient principal pour assaisonner dans certains pays. Il a de nombreuses utilisations médicinales.	Ces feuilles sont bénéfiques pour réduire la glycémie. Chaque partie de la plante offre un certain avantage ou l'autre. Les feuilles séchées sont largement utilisés dans la médecine.

## Synthèse bibliographique

Fenugreek ( <i>Methi</i> )	Il est principalement utilisé comme un légume à feuilles vertes et les graines sont utilisées pour assaisonner et préparer Masalas. Il a également des utilisations médicinales	Thé de graines de fenugrec ou fudge sucré est bon pour augmenter le lait maternel. Il est également utile pour traiter le diabète et abaisser le cholestérol.
Ail ( <i>Lassan</i> )	à la fois pour la cuisson et à des fins médicinales	Il est utile pour faire face à la toux et le rhume. Il a également propriétés antibiotiques.
Gingembre ( <i>Adrak</i> )	Donner une saveur spécifique aux aliments et a de nombreux usages médicaux.	Aide à éviter les problèmes digestifs. Il est bénéfique pour faire face à la toux et au rhume.
Moutarde ( <i>Rye</i> )	L'assaisonnement ainsi que les légumes à feuilles vertes. L'utilisation de l'huile de moutarde est vaste en Inde, mais il est interdit dans certains pays.	L'huile de moutarde est bonne pour le massage du corps et même pour obtenir de bons cheveux. Il se compose d'acides gras oméga-3. Il est une excellente source de fer, zinc, manganèse, calcium, protéines, etc.
Muscade ( <i>Jaiphal</i> )	Il est utilisé sous forme de poudre pour la garniture et aussi pour la préparation de masala. Il est utilisé dans les savons, parfums et shampoing. Il peut également être utilisé à des fins médicinales.	Il est bénéfique pour les traitements de l'asthme, du cœur trouble et mauvaise haleine
Poivre ( <i>Kaali Mirch</i> )	Il est largement utilisé en cuisine, en particulier pour la garniture. Il a de nombreux usages médicaux aussi.	Il aide à faire face au rhume, à la toux, aux infections, etc. Il aide à traiter les douleurs musculaires et les problèmes digestifs
Safran ( <i>Zaffran/Kesar</i> )	Pour la cuisson ainsi que dans les produits de beauté. Il est principalement utilisé dans les plats sucrés. Il a de bonnes propriétés médicinales	Il aide à faire face aux maladies de la peau. C'est un bon remède pour la toux, le rhume et l'asthme
Anis étoilé ( <i>Chakra Phool</i> )	Il est utilisé en cuisine et à des fins médicinales.	L'huile d'anis étoilé est bénéfique pour les rhumatismes. Elle est utile pour la digestion et éviter la mauvaise haleine.
Curcuma ( <i>Haldi</i> )	Dans la cuisine et les produits de soins de la peau. Il a une large gamme d'utilisations médicinales.	Il aide à traiter les problèmes de peau. Poudre de curcuma peut être utilisé pour guérir les coupures et les blessures. Il rend également faire face au diabète plus facilement.

## II. Les composés phénoliques

### 1. Définition

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaire. «les composés phénoliques» cette description générale se réfère à les mono (la présence d'une fonction phénolique), les di (deux fonctions phénoliques) et polyphénol (existence de plusieurs phénols) (**Hassaine, 2020**). Plus de 1000 molécules bioactives ont été identifiées, y compris le terme phénol, le noyau phénolique est la composante de base qui forme la structure (au moins une), il est composé de 6 carbone (cycle benzénique) qu'il est directement touché au moins avec un ensemble d'hydroxyles (OH) soit libre au lié avec d'autre fonctions (éther, ester au hétérosides) (**Benhammou, 2012**). Les composés phénoliques situés dans la tiges, feuilles, graines et racines. Au niveau cellulaire, les vacuoles et la paroi contiennent les composés phénoliques. Ce dernier est combinés avec des sucres et des acides organiques de sorte que leur solubilité augmente, réduisant ainsi leur toxicité cellulaire. la lignine et les flavonoides sont associés aux structure pariétales (**Labani, 2022**).

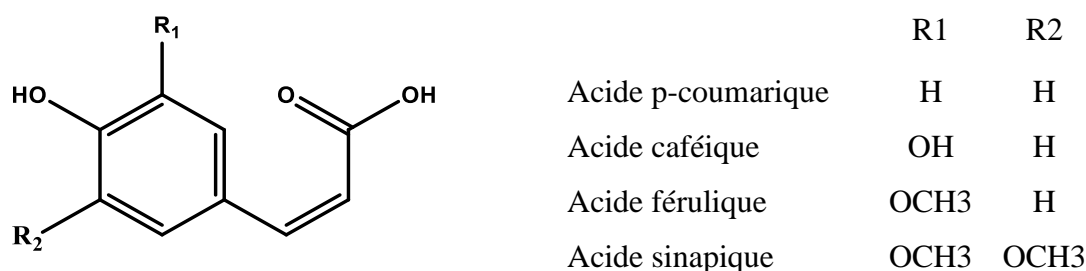
### 2. Classification

#### 2.1. Acides phénoliques

Quelques composés organiques de grande importance en biochimie, contenant au moins la fonction de carboxyle et d'hydroxyle phénolique appelé «acide phénolique». Ce terme est utilisé dans la chimie des plantes uniquement sur les dérivés d'acide benzoïque et d'acide cinnamique (**Saidi, 2019**).

##### 2.1.1. Acides hydroxy cinnamiques

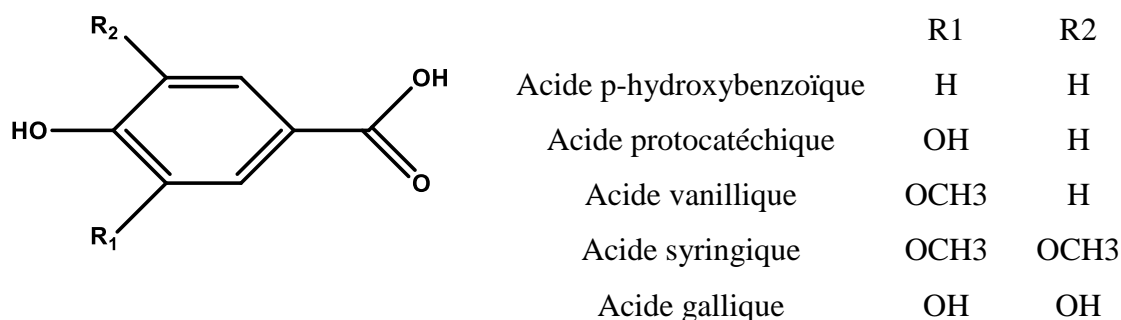
Les acides hydroxy cinnamiques dérivent de la structure de l'acide cinnamique, ils sont très importants, ils ont une structure (C6-C3). Les éléments importants pour la réaction chimique de ces molécules sont le degré d'hydroxylation de cycle benzoïque et leur possibilité de leur modifier par rétroaction secondaire. L'ester d'acides quiniques, acide shikimique et acide tartrique sont les formes sur lesquelles les acides cinnamique sont présents dans les plantes (**Saidi, 2019**).



**Figure 02** : Structure de l'acide hydro cinnamiques et certaines de ses formulations (Khater, 2011).

### 2.1.2. Acides hydroxy benzoïques

L'acide benzoïque est l'acide à partir duquel l'acide hydroxy benzoïque dérive de sorte qu'il a une formule (C6-C1) qui consiste à: p-hydroxy benzoïques, vanillique, gentistique, gallique, salicylique, protocatéchique et syringique. Après hydrolyse alcaline des molécules végétales (notamment la lignine et de quelque tannins), ces acides sont libérés. La forme sous laquelle il existe est soit un ester méthylique, soit un glycosylé (Macheix JJ et al., 2005).



**Figure 03** : Structure de l'acide benzoïque et certaines de ses formulations (Khater, 2011).

### 2.2. Les lignanes

la condensation des unités (C6-C3) en phénylpropaniques permet les lignanes. Elle se caractérise par l'expansion de sa distribution végétale, ainsi environ soixante-dix familles ont été isolées contient des centaines de ces molécules (Benhammou, 2012). La dimérisation de trois alcools (alcool p-coumarique, alcool coniférique et alcool sinapique) donne les lignanes ceci par une réaction de couplage radicalaire. Le résultat de la polymérisation des unités des lignanes (C6-C3) est la lignine, cette dernière avec une

## Synthèse bibliographique

structure très complexe. Après la cellulose, c'est le deuxième bio polymère abondant sur Terre. Elle est responsable de la dureté du bois (Saidi, 2019).

### 2.3. Les coumarines

Les coumarines sont un groupe de composés bien connus appartenant à benzopyrones. Elles sont dérivées de (C6-C3) et toutes remplacées en C7 par un hydroxyle. Les coumarines dérivent du métabolisme de la phénylalanine et ceci est fait par l'acide cinnamique, l'acide p-coumarique. Dans le cas de la nature, elles sont libres ou bien associées avec des sucres. Son rôle est de donner au foin cette odeur distinctive (Bouhaddouda, 2016).

### 2.4. Les stilbènes

Ce sont des composés phénoliques (Meguellati, 2019). La structure des individus de cette famille est (C6-C2-C6), ces composés sont dans notre alimentation en petites quantités. Les plantes produisent les pour réagir aux pathogènes fongiques, viraux et bactériens (ce sont des phytoalexins). Les raisins, les arachides et le soja sont les principales sources de stilbènes. Lors de l'étude des activités biologiques des plantes médicinales, la propriété anticancéreuse du resvératrol a été mise en évidence qui est la plus célèbre de ces molécules, cette dernière a été largement étudiée (Bouhaddouda, 2016).

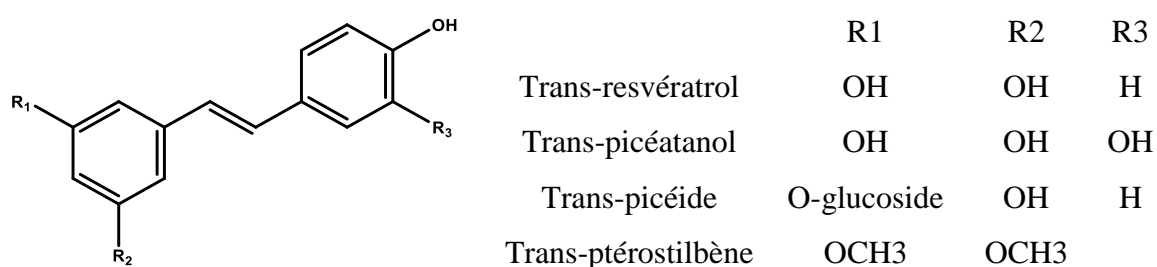


Figure 04 : Structure des stilbènes et certaines de ses formulations (Khater, 2011).

### 2.5. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des particules appartenant au polyphénols, ils sont une grande famille caractérisés par la multiplicité de ses activités biologiques. Ils sont divisés selon le nombre, la nature de substitution et l'emplacement de la liaison entre le noyau A et

## Synthèse bibliographique

l'hétérocycle C en plusieurs sous classes, qui sont les suivants : flavanols, flavanones, flavons, isoflavonoïdes et anthocyanes (Labbani, 2022). Les flavonoïdes sont responsables de la protection contre les prédateurs, la pigmentation, attirant les pollinisateurs, la croissance et la protection contre les rayons UV dans la plante. La structure de base de tous ces composés à 15 carbones (C6-C3-C6), deux cycles benzodiques sont liés par une chaîne à trois carbones (chaîne aliphatique) (Tabart, 2011). Les polyphénols qui sont abondamment disponibles dans notre alimentation sont les flavonoïdes (Meguellati, 2019).

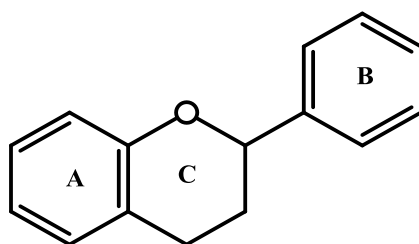
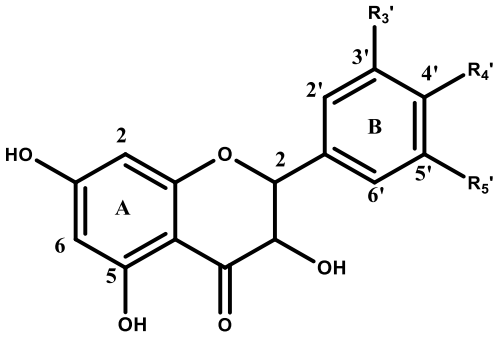
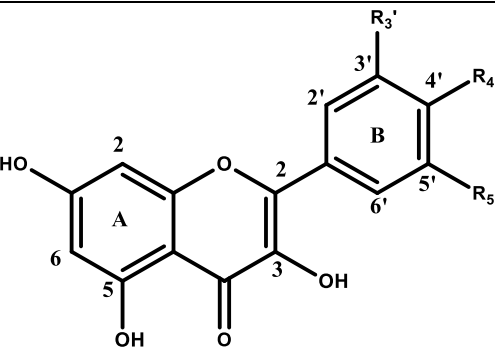
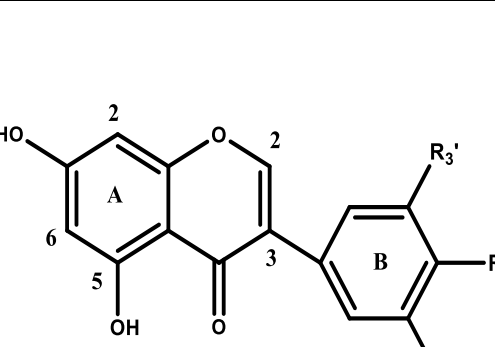


Figure 05 : Structure de base des flavonoïdes (Labbani, 2022).

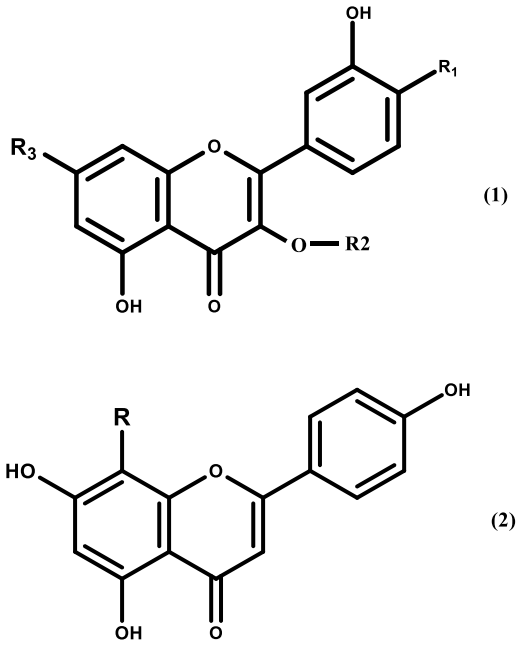
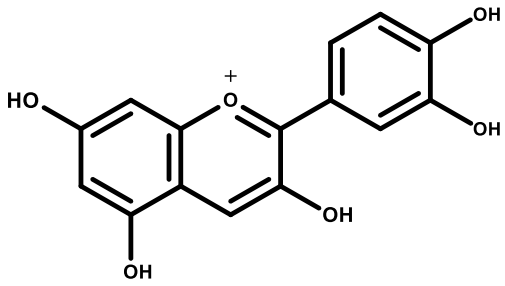
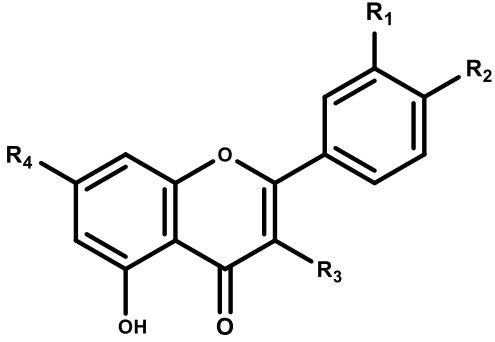
Tableau 04 : Structure des différentes classes de flavonoïdes (Belkheiri et Baghiani, 2017).

Classes	Structure chimique	Caractéristiques
Chalcones et Aurones		<p><b>-Chalcones (1)</b> : présentent un chénon tri carboné cétonique <math>\alpha</math>-<math>\beta</math>- insaturé (Markhan, 1982) <b>-Aurones (2)</b> : l'hétérocycle comprend deux atomes de carbone. (Harbore, 1994)</p>

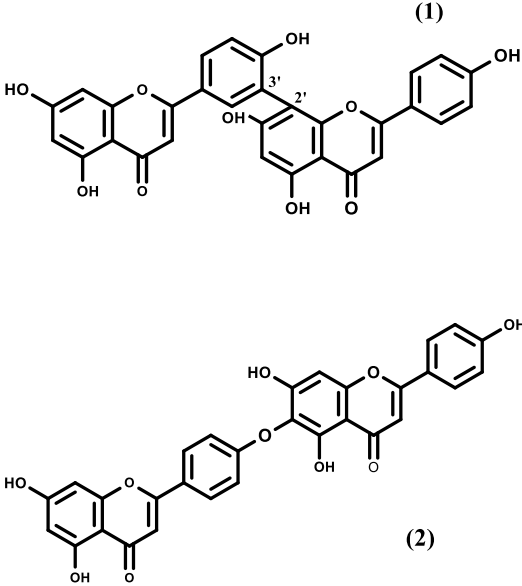
## Synthèse bibliographique

<p>Flavanones et Flavanonols</p>		<p><b>-Flavanones et Flavanonols</b> : caractérisés par l'absence de la double liaison C2-C3 (Lee et al., 1994).</p> <p><b>-Les Flavanonols</b> diffèrent des <b>flavanones</b> par la présence de groupement hydroxyles en C3 (Pierpoint, 1986 )</p>
<p>Flavones et flavonols</p>		<p><b>-Flavones et Flavonols</b> : caractérisés par la présence de la double liaison C2-C3 (Formica et Regelson, 1995).</p> <p><b>-Flavonols</b> : possèdent en plus un groupement hydroxyle en C3 (Formica et Regelson, 1995).</p>
<p>Isoflavonoïdes</p>		<p><b>-Isoflavonoïdes</b> : caractérisées, par un enchainement en C15, mais qui est ici réarrangé selon un motif 1,2-diphényl propanique (Bruneton, 1993).</p> <p>-Dérivés par cyclisation des chalcones dans lesquels le noyau B est lié au C3 du noyau C (Hahlbrock, 1981).</p>

## Synthèse bibliographique

<p>Hétérosides flavonoïdiques</p>	 <p>(1)</p> <p>(2)</p>	<p><b>-Hétérosides flavonoïdiques</b> : divisés en flavonoïdes-<b>O</b>- glycosides et flavonoïdes-<b>C</b>-glycosides.</p> <p><b>-Flavonoïdes-O-glycosides (1)</b> : un ou plusieurs groupements hydroxyles sont liés à un ou plusieurs sucres par une liaison acide labile. Le sucre est habituellement un glucose, un galactose ou un rhamnose.</p> <p><b>-Flavonoïdes-C-glycosides (2)</b> : la liaison s'établit entre le C1 du sucre et le C6 ou C8 du flavonoïde</p>
<p>Anthocyanidines</p>		<p><b>-Anthocyanidines</b> : possèdent un hétérocycle de type benzopyroxonium à oxygène tétravalent. Ils sont responsables de la couleur rouge, bleu et pourpre des fruits.</p>
<p>Flavonoïdes sulfatés</p>		<p><b>-Flavonoïdes sulfatés</b> : flavonoïdes hydrosolubles, caractérisés par la présence de 1 à 4 résidus sulfates liés aux groupements hydroxyles du phénol ou du sucre (Varin et al., 1987).</p>

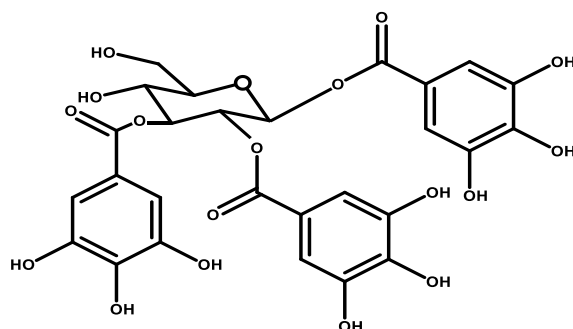
## Synthèse bibliographique

Bi flavonoïdes	 <p>(1)</p> <p>(2)</p>	<p><b>-Bi flavonoïdes</b> : résultent de la condensation de deux flavonoïdes par des liaisons de type carbone-carbone (1) ou de type éther (2). Ils peuvent être résulte ou non de même type (biflavone, biflavanone, flavone-flavanone).</p>
----------------	--	---

### 2.6. Les tannins

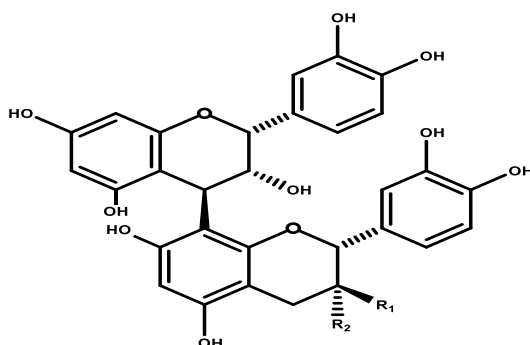
Les tannins sont des polyphénols trouvés dans les feuilles, les fleurs et les graines de plante, leur poids moléculaire varie de 500 à 3000 Da. La raison pour laquelle ils peuvent lutter contre l'oxydation et leur effet préventif potentiel sur la santé humaine les rend d'une grande importance pour la nutrition et la médecine (**Belkheiri et Baghiani, 2017**). Les angiospermes, les gymnospermes et les dicotylédones contiennent des tannins, ils recueillent et déposent les protéines, selon les degrés d'affinités, ces formulations varient d'une protéine à l'autre. On distingue deux types et ceci est basé sur la structure ; les tannins hydrolysables et les tannins condensés (**Akroum, 2011**) :

- Les tannins hydrolysables : Ce sont des hétéro polymères libèrent un sucre (habituellement du glucose) et un acide phénolique. Dans le cas des tannins galliques, l'acide phénolique c'est l'acide gallique et dans le cas des tannins éllagiques, il s'agit de l'acide hydroxy di phénique et leur dérivés tel que l'acide éllagiques (**Belkheiri et Baghiani, 2017**).



**Figure 06 :** La structure de tannins hydrolysables.

- Les tannins condensés ou pro anthocyanidines (PAs) : Ce sont oligomères ou bien polymères de flavonoïdes consistant en association d'unités flavan-3-ols entre C4 et C6 ou C4 et C8 par des liaisons carbone-carbone (**Belkheiri et Baghiani, 2017**).



**Figure 07 :** La structure de tannins condensés.

### III. Activité antioxydante

#### 1. Définition

L'activité antioxydante signifie la capacité du composé à faire face au stress oxydatif qui est une agression contre la cellule à cause d'espèces appelées radicaux libres (**Sarma et al., 2010 ; Kanti Das et al., 2015**). L'activité antioxydante des épices est beaucoup plus importante que d'autres, car les épices sont plus concentrées dans les molécules actives. Elles contiennent une énorme quantité d'antioxydants (**Halvorsen et al., 2006**). Les épices et les légumes ont une activité antioxydante pour réduire le peroxyde de lipide dans les systèmes biologiques. Parmi les épices antioxydants, on peut les disposer des plus actives aux moins actives comme suit : girofle, cannelle, poivre, gingembre, ail, menthe et oignon (**Shobana S et Akhilender Naidu K, 2000**).

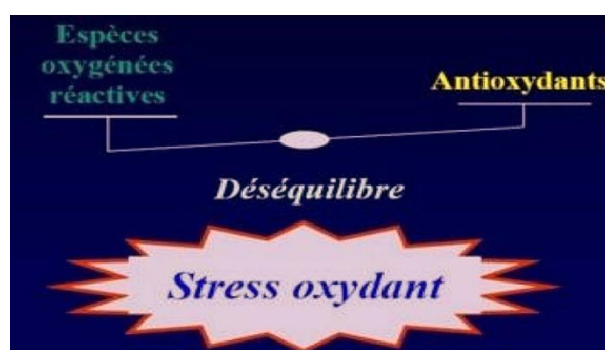
# Synthèse bibliographique

---

## 2. Stress oxydatif

### 2.1. Définition

Le stress oxydatif est un état de stress dans la cellule qui correspond au déséquilibre entre les prooxydants ERO ou ROS et les systèmes de défense (antioxydants). Ce déséquilibre est causé par des processus physiologiques couverts par le stress oxydatif, tels que inflammation, intoxication et irradiation, ect (**SA Hamma, 2016**). Le phénomène du stress oxydatif se produit pendant vieillissement. Le principale raison de l'augmentation du ce défaut est de changer la chaîne de transport électronique dans les mitochondries (**Bouba AA, 2009**). Le stress oxydatif contient non seulement des négatifs, mais il a aussi des avantages pour les cellules, car il est nécessaire de stimuler la propagation et d'éliminer les vieux composants cellulaires (**SA Hamma, 2016**). Cette phénomène modifie les messagers régulés pour les fonctions de la membrane des cellules centrales, qui sont un élément important pour la survie (**Yoshikawa et al., 2002**).



**Figure 08** : Balance radicaux libres /antioxydants (**Shimizu, 2004**).

### 2.2. Les conséquences de stress oxydatif

Le stress oxydatif entraîne des conséquences graves dans les cellules du corps. Le stress oxydatif provoque des changements chimiques dans les organes cellulaires (**Loft et al., 2008**). A des concentrations plus élevées, les ROS (y compris les radicaux libres) causent des dommages importantes à la structure cellulaire, entraînant l'oxydation de l'ADN, de protéines, la peroxydation des lipides et l'oxydation de glucose (**Valko et al., 2007**). Les membranes cellulaires, les protéines et l'ADN sont attaqués par les espèces réactives oxygénées (ROS) et les espèces réactives azotées oxydantes (RNS). En raison de ce dernier, les composants cellulaires sont attaqués. EOR affecte les protéines, il interagit avec les acides aminés dans les chaînes de protéines, et cela modifié sa fonction. Les

## Synthèse bibliographique

---

conséquences du stress oxydatif varient selon le dosage et le type de la cellule : le stress léger augmente la prolifération cellulaire, le stress moyen conduit à la mort cellulaire, tandis que le stress élevé conduit à la nécrose et le stress violent perturbera la membrane cellulaire (**Favier, 2003**). Ils provoquent : l'attaque des radicaux libres dans les liaisons lipidiques membranaires, stimule les processus d'oxydation qui modifient les fonctions d'échange, de barrière et d'information (**Koechlin-Ramonatxo, 2006**), changements dans les protéines, l'apparition de cassures au niveau de l'ADN ou des dommages à l'intégrité de la membrane cellulaire (**Papa Madièye Gueye, 2007**).

### 2.3. Les maladies liées au stress oxydatif

Avec l'âge et le début du vieillissement, le stress oxydatif réduit les défenses antioxydantes . Cette dernière action déclenche certaines maladies (**Favier, 2003**), il provoque une perturbation du fonctionnement des cellules (**Bouba AA, 2009**). Le stress oxydatif est la principale cause de plusieurs maladies, tels que cataracte, œdème pulmonaire, vieillissement accéléré, cancer et sclérose latérale amyotrophique. Il provoque le développement de maladies chroniques, tels que le diabète, les maladies d'Alzheimer, les rhumatismes et les maladies cardiovasculaires (**Favier, 2003**). Les symptômes de certaines maladies comme la mutagenèse, la cancérogénèse et le vieillissement commencent à apparaître par le mécanisme d'attaque de ROS à l'ADN (**SA Hamma, 2016**). Le stress oxydatif provoque aussi des anomalies biologiques : cancer, fibrose, malformation des fœtus, formation d'auto-anticorps, mutation, dépôt de lipides oxyde et immunosuppression (**Favier, 2003**).

## 3. Radicaux libres

### 3.1. Définition

Les espèces chimiques contenant au moins un électron non apparié connu sous le nom de radicaux libres, ces radicaux peuvent interagir avec des molécules plus stables pour coupler leur électron parce qu'elles sont instables. L'anion superoxyde ( $O_2^{\bullet-}$ ), radical hydroxyle ( $OH^{\bullet}$ ) et aussi certains dérivés oxygénés toxiques non radicalaires tels que  $H_2O_2$ , comprenant le terme «espèces réactives d'oxygène (ERO)». L' $OH^{\bullet}$  est un oxydant plus réactif que l'anion ( $O_2^{\bullet-}$ ) et le ( $H_2O_2$ ). Il y a un autre groupe en plus de ERO, son principal représentant l'oxyde nitrique  $NO^{\bullet}$  et est appelé «espèces réactives du nitrogène (ERN)». L'oxyde nitrique est un radical produit par les oxydes nitriques synthèses (NOS)

## Synthèse bibliographique

---

pendant le métabolisme de l'arginine en citrulline et contribue également à la neurotransmission et la formation des molécules plus toxiques, par exemple l'anion peroxynitrite (ONOO<sup>-</sup>) (**Bouafia, 2021**).

### 3.2. Rôles biologiques des radicaux libres

Les radicaux libres lors de la croissance ou de la défense de l'organisme participent à de nombreuses fonctions physiologiques, ce qui les rend importants et nécessaires à la vie. Ces fonctions sont représentées dans : la transduction de signaux cellulaires, la défense immunitaire contre les agents pathogènes, travail de certains neurones particulièrement liés à la mémoire, la fécondation de l'ovule la régulation des gènes, le cycle cellulaire, la mort cellulaire. Les radicaux libres contribuent également au travail de certaines enzymes (**Favier, 2003**).

## 4. Les antioxydants

### 4.1. Définition

Les antioxydants sont des molécules qui surveillent la prévention ou la réduction de l'oxydation d'autres molécules (**Mocchegianifetal, 2014**). Ils se divisent en trois groupes : les vitamines (vitamine A, les caroténoïdes, les rétinoïdes, les tocophérols et tocotriénols (vitamine E) et la vitamine C), les minéraux ( le zinc, le fer, le manganèse, le sélénium et le cuivre) et les phytochimiques (les flavonoïdes et les polyphénols) (**Reuter S et al., 2010**) (**Crujeiras AB et al., 2013**).

Le corps a besoin de défenses naturelles et a également besoin d'antioxydants externes provenant d'aliments ou d'agent thérapeutiques, grâce à sa capacité à combattre les corps étrangers (**Bouba AA, 2009**). Le corps a une gamme de défenses antioxydantes pour se protéger contre les espèces réactives, son rôle est de prévenir et d'éliminer la formation d'espèces réactives excédentaires, il y a deux sources d'antioxydants : endogènes et exogènes. Les antioxydants endogènes sont soit enzymatique soit non enzymatique et les antioxydants exogènes sont disponibles dans les aliments sous forme de fruits et légumes riches en vitamines C et E, caroténoïdes, flavonoïdes, le cuivre et le zinc (**YF Djohan, 2017**). Un antioxydant est un substance qui réduit la gravité du stress oxydatif dans le corps en formant des radicaux moins actives ou en arrêtant la réaction nuisible de RF sur les protéines, les lipides, les glucides ou l'ADN (**J Finaud et al., 2006**),

## Synthèse bibliographique

---

et l'augmentation de ROS devrait être équilibrée pour prévenir le stress oxydatif (**D Armstrong et RD Stratton, 2016**).

### 4.2. Classification des antioxydants

Les antioxydants sont classés en deux groupes : naturels et synthétiques.

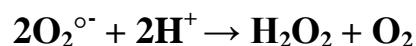
#### 4.2.1. Les antioxydants naturels

Ces antioxydants sont des substances efficaces dans un corps vivant. Parmi ces substances figurent :  $\beta$ -carotène, acide urique, albumine, flavonoïdes, composés phénoliques, acides ascorbique (vitamine C) et vitamine E, ect. Ils peuvent installer des membranes et fixer des acides gras libres (**Koechlin-Ramonatxo, 2006**).

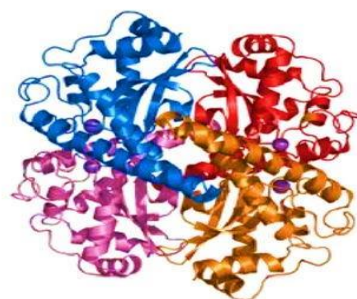
#### A- Les antioxydants naturels enzymatiques

##### - Le superoxyde dismutase (SOD)

Le superoxyde dismutase (SOD) est un métalloprotéine qui catalyse la dismutation de l'anion superoxyde en peroxyde d'hydrogène et en d'oxygène.



Le SOD présente une ligne de défense de base qui empêche l'accumulation cellulaire d'anion superoxyde (**YF Djohan, 2017**). Il y a trois classes de SOD dans le corps humain : SOD à cuivre et à zinc (dans le cytosol), SOD à fer et SOD à manganèse (dans la mitochondries) (**T Desmier, 2016**).



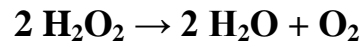
**Figure 09** : Structure tridimensionnelle de la superoxyde dismutase (SOD) (**T Desmier, 2016**).

## Synthèse bibliographique

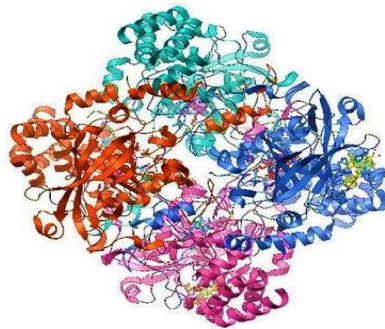
---

### - La catalase (CAT)

La catalase (CAT) catalyse la dismutation des peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) en oxygène ( $\text{O}_2$ ) et en eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (T Desmier, 2016).



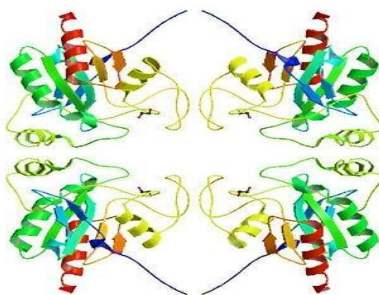
Il peut également oxyder le phénol et l'alcool. C'est une enzyme héminique particulièrement disponible dans les peroxysomes, les hépatocytes, les globules rouges et les cellules rénales. Son activité est réduite dans le cerveau et le myocarde (YF Djohan, 2017).



**Figure 10** : Structure tridimensionnelle de la catalase (CAT) (T Desmier, 2016).

### - Glutathions peroxydases (GPx)

Glutathions peroxydases (GPx) est une sélénoprotéine possédant cinq isoformes : GPx1 (dans le cytoplasme et la mitochondries), GPx2 (gastro-intestinale), GPx3 (plasma), GPx4 (cytoplasme) et GPx5 (l'épididyme). Son rôle consiste à l'élimination des peroxydes lipidiques de l'action des ER sur les AGPI. GPx réduit les peroxydes et réduit le glutathion (GSH) (YF Djohan, 2017). Ces antioxydants sont basés sur la dissolution des superoxydes et de la vitamine E, conduisant à l'équilibre à l'intérieur et à l'extérieur de la cellule (T Desmier, 2016).



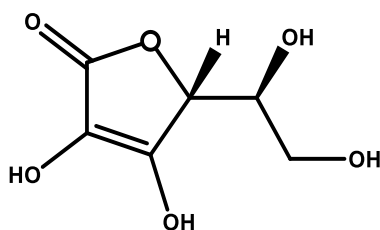
**Figure 11** : Structure tridimensionnelle de la glutathion peroxydase (GPx) (T Desmier, 2016).

### B- Les antioxydants naturels non enzymatique

Les antioxydants non enzymatiques équilibrent le stress oxydatif. En raison de son potentiel et de son importance, il est actuellement utilisé *in vivo* comme traitement de l'infertilité masculine (D Armstrong et RD Stratton, 2016). Ils sont concentrés dans les aliments et pénètrent dans le corps vivant à travers eux (J Vidé, 2015).

#### - La vitamine C

La vitamine C (ou acide ascorbique) est une molécule hydrophile que l'on trouve abondamment dans les fruits (T Desmier, 2016). Elle est ligne de défense de base contre le stress oxydatif grâce à sa capacité à réagir aux radicaux libres et au ROS (Frei B, 1994). La consommation de beaucoup de vitamine C a des nombreux avantages, y compris son effet anti répétitif et inhibiteur sur cellules cancéreuses (Hong SW et al., 2013), participer à la synthèse du collagène et des globules rouges et contribuer au bon fonctionnement du système immunitaire (YF Djohan, 2017).



**Figure 12** : Structure chimique de la vitamine C (T Desmier, 2016).

## Synthèse bibliographique

### - La vitamine E

Les vitamines E (Isomères, les tocophérols ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, ou  $\delta$ -tocophérol) et les tocotriénols ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, ou  $\delta$ -tocotriénol)) interagissent avec les radicaux peroxydes pour former un radical tocophéryl (YF Djohan, 2017). Elle est une vitamine liposoluble qui est abondamment disponible dans les huiles végétales, elle se compose de huit composés chimiques différentes (T Desmier, 2016). La vitamine E est un composant des membranes cellulaires et les lipoprotéines, elle joue un rôle important dans l'arrêt de la superoxydation des lipides, en particulier LDL. Elle agit comme une barrière contre les radicaux libres (Frei B, 1994).

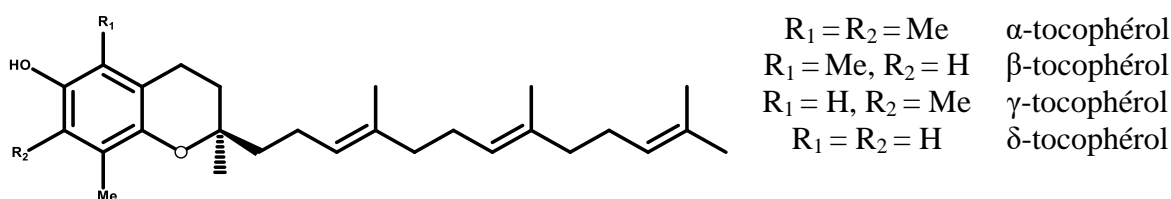


Figure 13 : Structure chimiques des vitamines E (T Desmier, 2016).

### - La $\beta$ -carotène

La  $\beta$ -carotène (Précurseur de la vitamine A) vient par les aliments, elle a la capacité de terminer les réactions dans la chaîne d'oxydation des graisses, la  $\beta$ -carotène protège également les structures cellulaires contre les agressions oxydatives. L'activité antioxydante de ce groupe dépend de l'interaction avec le ROO•, HO•, O<sub>2</sub>•- et R• (Valko et al., 2006).

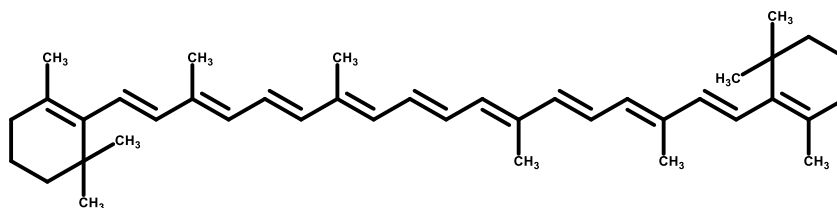


Figure 14 : Structure de La  $\beta$ -carotène (Atti, 2014).

### - Glutathion (GSH)

Le glutathion (GSH) est un tripeptide (acide glutamique-cystéine-glycine). Il est présent sous forme essentiellement réduite (GSH) au niveau intracellulaire. Le GSH joue

## Synthèse bibliographique

---

un rôle dans la chélation des minéraux de transition et dans le renouvellement final des vitamines E et C de leur forme radicale (YF Djohan, 2017).

### - Les oligoéléments

Les oligoéléments sont un facteur majeur impliqué dans les enzymes antioxydantes (YF Djohan, 2017). Ils maintiennent l'activité catalytique des enzymes antioxydantes. Ils sont nécessaires pour se défendre contre le stress oxydatif, y compris le cuivre, le manganèse, le sélénium, le zinc et les métaux de fer (Garait, 2006). Ainsi, le sélénium (Se) joue un rôle important dans la protection des cellules contre les attaques radicalaires (Lhuillier, 2007). Le zinc protège les groupes thiols (SH) des protéines contre l'oxydation ferreuse (Bouldjadj, 2009).

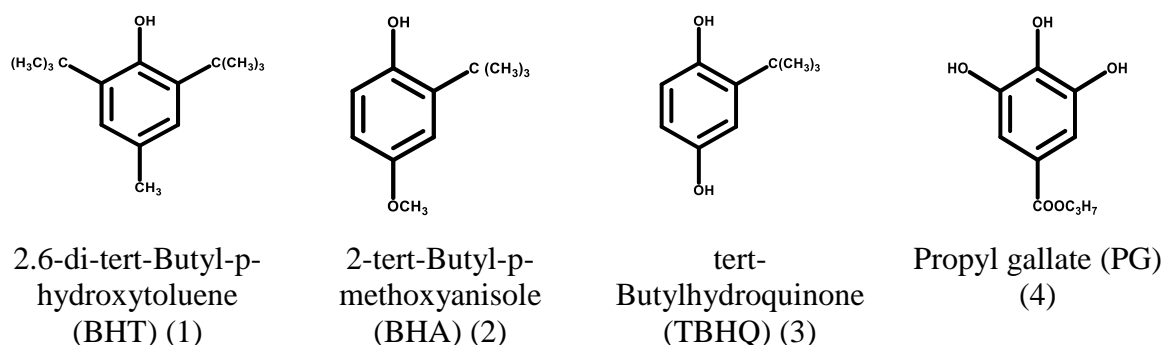
### - Polyphénols

Les polyphénols ou bien les flavonoïdes ont une propriété antioxydante qui perturbe et stabilise l'ER (radical hydroxyle, l'anion superoxyde et les radicaux pyroxyles) par le groupe hydroxyle. Ils sont disponibles dans les plantes et dans de nombreux aliments, tels que les fruits rouges, les agrumes, certaines huiles végétales, le thé, le chocolat, la pomme, ect. Les polyphénols inhibent ou empêchent la superoxydation des lipides (en particulier les LDL oxydés). Ils ont également un impact sur la prévention de certaines maladies chroniques comme les maladies cardiovasculaires ou les cancers (YF Djohan, 2017). Les polyphénols sont également utilisés dans l'industrie cosmétique ou pharmaceutique (T Desmier, 2016).

### 4.2.2. Les antioxydants synthétiques

Les antioxydants synthétiques sont utilisés dans l'alimentation pour être efficace, y compris : le butylhydroxyanisole (BHA), le butylhydroxytoluène (BHT), propyle gallate (PG) et tétrabutylhydroquinone (TBHQ). Ils sont ajoutés aux aliments pour prévenir les dommages et prolonger leur durée de conservation (Adeyemi Ojutalayo et al., 2021). Les antioxydants synthétiques peuvent aussi être toxiques (Yu et al., 2000).

## Synthèse bibliographique



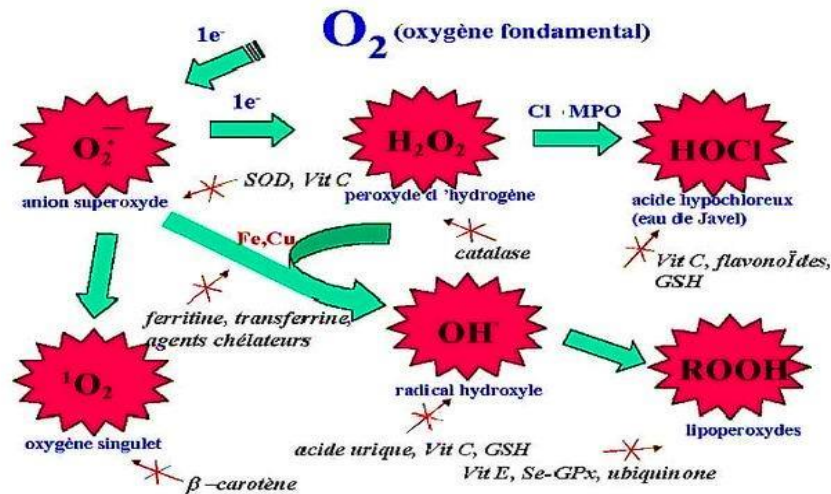
**Figure 15** : Structures chimiques de quelques antioxydants synthétiques (Atti, 2014).

### 4.3. Mécanisme d'action des antioxydants

Les antioxydants sont des agents protecteurs, ils empêchent l'initiation en compliquant les stimuli ou les agents de terminaison capables de dévier ou de piéger les radicaux libres. Ils s'oxydent et empêchent ainsi l'oxydation d'un autre substrat (Yaacoub, 2009 ; Hellal, 2011). Les antioxydants comprennent de nombreux mécanismes d'action, y compris la désactivation des radicaux par une réaction d'addition covalente, la capture d'oxygène singulet, la réduction des radicaux ou des peroxydes et la chélation des métaux de transition (Favier, 2006). Ils dépendent de différents modes d'actions : Désactiver RL après réaction, travailler à réduire les peroxydes de RL et capter l'O<sub>2</sub> (Favier, 2006).

**Tableau 05** : Les principaux modes d'action de quelques antioxydants (Huang et al., 2005).

	Nature	Mode d'action
<b>Défense non enzymatique</b>	Vitamine E	Participe aux réactions d'oxydoréduction
	Vitamine C	Neutralise les radicaux libres
	Bêta carotène	Fixation des métaux de transition
	Ubiquinone, acide urique	Inhiber la peroxydation lipidique
<b>Défense enzymatique</b>	Superoxyde dismutase	Catalyse la dismutation de l'anion superoxyde
	Catalase	Métabolise H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
	Glutathion peroxydase	Action réductrice sur H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> et les hydroperoxydes



**Figure 16** : Aperçu des espèces oxygénées activées (EOA) dérivant de l'oxygène et systèmes de protection permettant de limiter l'effet toxique de ces espèces. GSH: glutathion, Cl<sup>-</sup>: anion chlorure; MPO: myéloperoxydase, SOD: superoxyde dismutase, Se-GPx: glutathion peroxydase séléno-dépendante (**Pincemail, 1998**).

### ❖ Travaux sur les épices

D'autres études menées au cours des dernières années sur le thème des épices, comme Ras el Hanout, ont été réalisées par (Atti, 2014), (ANNOU, 2018) et (Ibtissem, 2019). Des autres études sur quelques épices ont été réalisées par (Ghilani, 2016), (Lalmi, 2020), (Saadi, 2020) (sur poivre noire, paprika, cumin et curcuma), ((Meghezzi, 2018) et (Bourai, 2018)) (les deux sur gingembre) et (Amrane, 2021) (sur curcuma).

## *Matériels et Méthodes*

# Matériels et Méthodes

---

La partie expérimentale concernant la préparation des extraits des épices, quantification des phénols totaux et flavonoides et l'évaluation de leurs activités antioxydantes.

## 1. Matériels

Ce travail a été effectué au sein du laboratoire de biochimie du département de biologie à l'Université Amar Thlidji de Laghouat. Le matériel utilisé dans ce travail est des matériels végétales et produits chimiques.

### 1.1. Matières végétales

Notre travail est basé sur l'étude de l'activité antioxydante d'un mélange d'épices « Tajine » et « Viande ». Le mélange de tajine est constitué de six épices et le mélange de viande est constitué de sept épices. Ces échantillons ont été acheté sous forme des poudres au « Moulin royal » de la wilaya de Laghouat.

### 1.2. Produits chimiques

Les produits chimiques utilisées sont les suivants :

- Hexane ( $C_6H_{14}$ )
- Dichlorométhane ( $CH_2Cl_2$ )
- Méthanol (MeOH)
- Carbonate de sodium ( $Na_2CO_3$ )
- Folin – ciocalteu
- Trichlorure d'aluminium ( $AlCl_3$ )
- Acide gallique ( $C_7H_6O_5$ )
- Quercétine ( $C_{15}H_{10}O_7$ )
- L'acide ascorbique (vitamine C) ( $C_6H_8O_6$ )
- DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)

### 1.3. Les matériels du laboratoire

UV-visible (Thermo) – Balance - Rotavapor.

# Matériels et Méthodes

---

## 2. Méthodes d'extraction des composés phénoliques

### 2.1. Principe d'extraction

La macération est un type d'extraction simple basé sur le fait de laisser la poudre de matière végétal en contact avec le solvant à température ambiante. Cette méthode est utilisée pour extraire les flavonoïdes, les alcaloïdes, les amines et les acides gras. On utilise des solvants organiques à différentes polarités pour l'extraction des composés phénoliques (Penche, 2010 ; Lumbu et al, 2005).

### 2.2. Protocole d'extraction

- **La macération et la filtration** : On pese 1g de poudre d'épices étudiés de chaque échantillon et macéré dans 20 ml de l'hexane pendant 24 heures à température ambiante à l'abri de la lumière, après cette période le mélange est filtré à l'aide du papier filtre. L'extraction est répété quatre fois avec le renouvellement du solvant (96h), le résidu est macéré dans des solvants à polarité croissante (DCM et MeOH), cette macération est répété quatre fois pour chaque échantillon avec la filtration et renouvellement du solvant à chaque fois.
- **L'évaporation** : Les extraits bruts sont évaporés sous vide à 40°C à l'aide d'un rotavapor. Après l'évaporation du solvant, l'extrait sec est solubilisé dans le méthanol (l'extrait des épices de tajine et de viande par DCM solubilisé dans 10 ml et les épices de viande et tajine par méthanol dans 5ml).

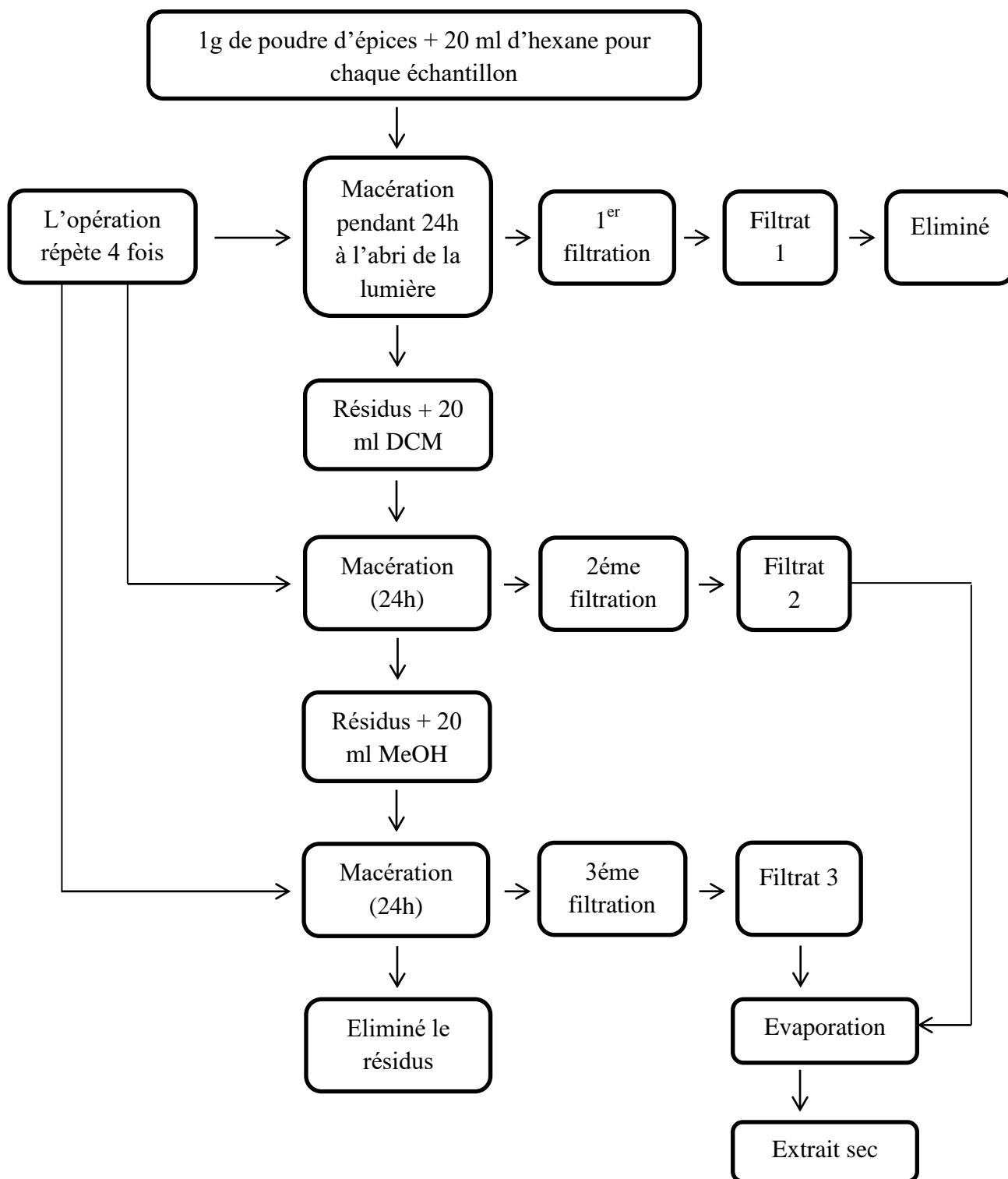
### 2.3. Calcule de Rendement

Le rendement est calculé par la formule suivant :

$$R\% = \frac{m}{m^{\circ}} \times 100$$

- **R%** : Rendement exprimé en %.
- **m** : Masse en gramme de l'extrait sec résultant.
- **m°** : Masse en gramme de matériel végétale sec. (Abdi et Ben maizoura, 2014)

## Matériels et Méthodes



**Figure 17 :** Représentation schématique des étapes d'extraction des composés phénoliques.

## Matériels et Méthodes

---

### 3. Dosage des phénols totaux

Le dosage des phénols totaux a été réalisé par le réactif colorimétrique Folin-Ciocalteu (Singleton et al., 1999)

#### 3.1. Principe

Le réactif de Folin-Ciocalteu est un acide de couleur jaune constitué par un mélange d'acide phosphotungestique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et l'acide phosphomolybdique ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ).

L'ensemble des composés phénoliques est oxydé par le réactif de Folin-Ciocalteu. Il repose sur l'oxydation en milieu basique des fonctions oxydables de polyphénols par un mélange d'acide phosphotungestique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et l'acide phosphomolybdique ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ). Pendant l'oxydation des phénols, ce dernier est réduit à un mélange d'oxydes bleus de tungstène ( $W_8O_{23}$ ) et molybdène ( $Mo_8O_{23}$ ). Cette réaction produit une couleur bleue proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits d'épices mesurés par spectrométrie UV-VIS, qui possède une absorbance maximale entre 760 nm (Ribéreau-Gayon, 1968 ; Cicco et al., 2009).

#### 3.2. Mode opératoire

Dans des tubes à essais (3 essais), un volume de 500  $\mu$ l de réactif Folin-Ciocalteu (10%) est additionné à chaque tube contenant 100  $\mu$ l d'extrait dilué. Après 2 min, 2ml de carbonate de sodium (5%) sont ajoutés à chaque tube, les tubes sont incubés pendant 30 min à température du laboratoire et à l'obscurité. Les absorbances sont mesurées à  $\lambda = 760$  nm en utilisant un spectrophotomètre contre un blanc préparé sans extrait (Même étapes en même temps pour l'extrait d'épice de tajine par dichlorométhane (DCM)).

Le même protocole est utilisé pour les extraits des épices de viande et tajine par méthanol (MeOH).

#### 3.3. La courbe d'étalonnage de l'acide gallique

Une courbe d'étalonnage standard a été obtenue à partir des solutions d'acide gallique de concentration allant de 0.5 g/l.

## Matériels et Méthodes

---

### 4. Dosage des flavonoïdes

#### 4.1. Principe

La méthode du déchlorure d'aluminium est une méthode utilisée par Lamaison et Carnat (1991) pour mesurer la quantité de flavonoïdes, Il forme également avec le groupement carbonyle C-4 et les groupements hydroxyles C-3 et C-5 des flavones et flavonols, un complexe acide stable. En plus il est capable de former des complexes acides labiles avec des flavonoïdes, en particulier avec les groupements dihydroxyles en ortho du cycle A ou B .La couleur de ce complexe est jaune et il est absorbé à longueur d'onde 430 nm (Benarous, 2021).

#### 4.2. Mode opératoire

Dans des tubes à essais, 500µl de chaque extrait à différentes dilutions ont été préparés, puis additionné de 500µl de  $AlCl_3$  (2% préparé dans le méthanol). Les tubes sont incubés pendant 15 min à température ambiante à l'obscurité, à l'aide d'un spectrophotomètre les absorbances de ces mélanges sont mesurées à 430nm, contre un blanc qui est préparé sans extrait.

**Remarque :** Pour chaque extrait, il y a trois essais.

#### 4.3. La courbe d'étalonnage de la quercétine

Pour établir la courbe d'étalonnage, la quercétine est utilisé comme un standard. La préparation d'une solution mère de concentration 0.1g/l et après elle est diluée pour donner une série des solutions filles. On a utilisé le même protocole pour le standard.

### 5. Evaluation de l'activité antioxydante par le test DPPH

#### 5.1. Principe

La molécule de DPPH (ou 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) est définie comme radical libre stable. Il réagit avec des groupements amine, les phénols et les acides (Gulcin et al., 2003). Le test DPPH mesure l'activité donneuse d'un atome d'hydrogène ou d'un électron, donc il mesure l'activité antioxydant de piégeage des radicaux libres. Les antioxydants présents dans l'échantillon, ce qui entraîne une décoloration. Le DPPH a une couleur violette foncée en présence des piègeurs de radicaux libres. Lorsqu'il est réduit, la

## Matériels et Méthodes

coloration deviennent jaune pâle (réduit à 2,2-diphényle-1-picrylhydrazine) (Burits et Bucar, 2000).

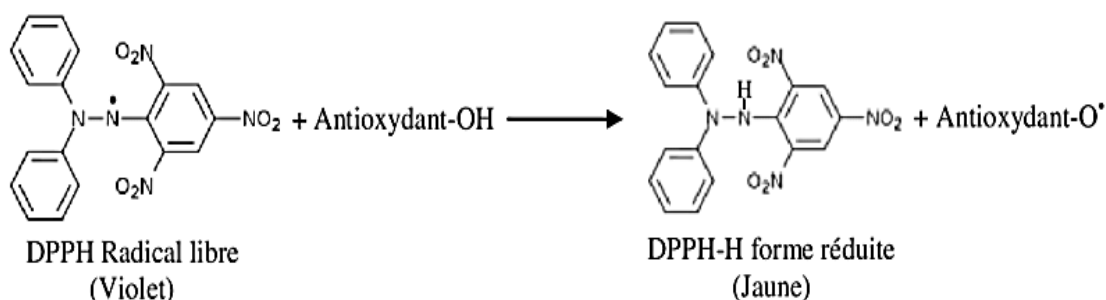


Figure 18 : La réduction du radical libre DPPH (Celiktas et al.2007).

### 5.2. Mode opératoire

Un volume de 500  $\mu$ l de chaque extrait (avec différentes concentrations) est placé dans des tubes à essais, 500  $\mu$ l de solution de DPPH (250  $\mu$ M) qui est préparée dans le MeOH est ajouté, après 30min d'incubation à l'obscurité les absorbances sont effectuées à 517 nm par spectrophotomètre contre un blanc. Le témoin est préparé en parallèle (500 $\mu$ l de solution de DPPH + 500  $\mu$ l de méthanol).

Le pourcentage (%) d'inhibition des radicaux libres pour le DPPH est calculé comme suit :

$$I\% = (1 - A/A_0) \times 100$$

**A** : Absorbance de la solution de DPPH en présence de l'échantillon.

**A<sub>0</sub>** : Absorbance de la solution de DPPH en absence de l'échantillon.

### 5.3. La courbe d'étalonnage

Des courbes d'étalonnage standards ont été obtenues à partir des solutions d'acide ascorbique (Vitamine C) de concentration allant de 0.2 g/l et une solution de la quercétine de concentration 0.02 g/l.

On détermine les valeurs de EC50 (en mg / ml) à partir de la courbe du pourcentage d'inhibition en fonction des concentrations.

## Matériels et Méthodes

---

### ❖ Etude statistique

Les analyses de la variance ont été effectuées par le logiciel statistique Microsoft office Excel. Toutes les expériences ont été faites en triple, les résultats ont été présentés par la moyenne avec son écart type ( $n=3$ ) pour chaque cas.

## *Résultats et Discussions*

# Résultats et Discussions

---

## 1. Le rendement d'extraction

### 1.1. Résultats

Le rendement des extraits (par DCM et MeOH) du mélange des épices (Viande et Tajine) a été déterminé par rapport au matériel végétale sec. On utilise des solvants à polarité croissante pour l'extraction, les résultats sont présentés dans le tableau 06.

**Tableau 06 :** La couleur et le rendement des extraits bruts.

Les extraits des épices	Couleur	Le rendement en (%)
Viande par DCM	Jaune à orange	21
Tajine par DCM	Jaune	23
Viande par MeOH	Transparent	8.8
Tajine par MeOH	Jaune	6

### 1.2. Discussion

Les valeurs du rendement varient entre 6% et 23%, nous constatons que les extraits obtenus par le DCM ont donné les rendements les plus élevés (21% et 23%), par contre les extraits obtenus par le MeOH ont donné les rendements les plus faibles (6% et 8.8%).

Dans une autre étude de mélange d'épices (Ras El Hanout) qui a été réalisée par (Reffas et Slimani, 2019), le rendement de l'extrait de MeOH est 6.6%. une autre étude de (Atti, 2014) a donné un rendement de 10.47%, ces résultats sont proches à nos valeurs des extraits méthanoliques par contre les rendements de nos extraits obtenus par le DCM sont plus élevés à ces résultats.

Généralement le rendement d'extraction varie selon les techniques d'extraction utilisées (**Fiorucci, 2006**), les conditions de l'environnements, la durée d'extraction, la nature des solvants, ect (**Tsai et al .2008**).

# Résultats et Discussions

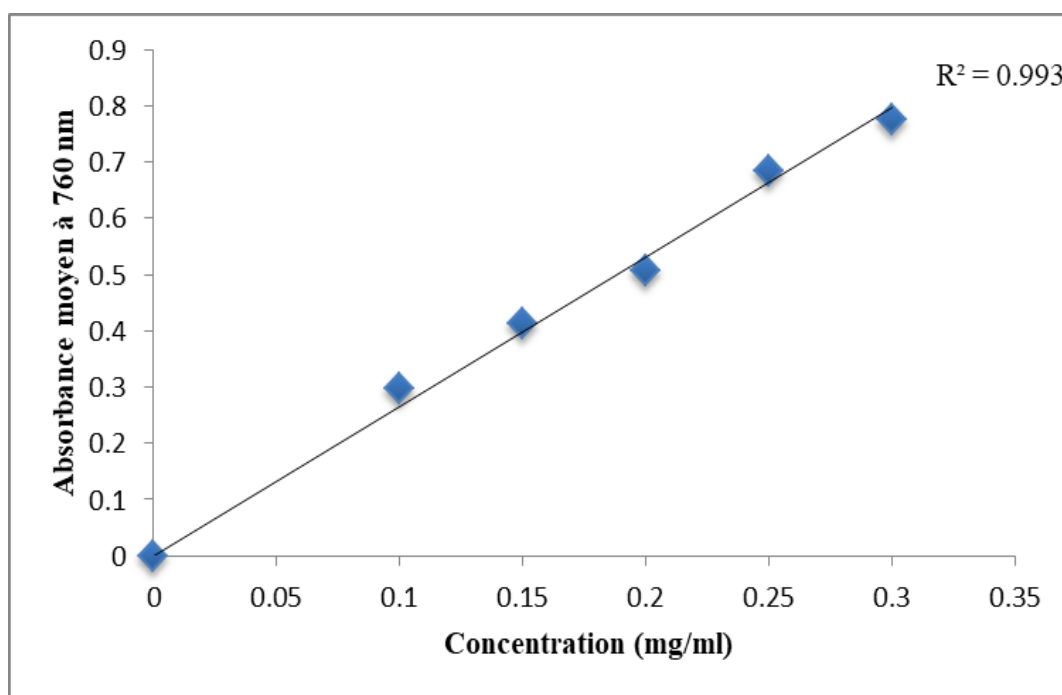
## 2. Le dosage des composés phénoliques

Divers extraits phénoliques sont étudiés à l'aide du dosage spectro-photométrique pour déterminer la teneur totale en phénols totaux et en flavonoïdes.

### 2.1. Teneur en phénols totaux

#### 2.1.1. Résultats

Les analyses quantitatives des phénols totaux des extraits sont effectués par la méthode de Folin-Ciocalteu, cette méthode a donné une couleur bleu. La teneur de ces phénols est déterminé à partir d'une courbe d'étalonnage d'acide gallique, les résultats sont exprimées en milligramme équivalent d'acide gallique par gramme de matière sèche.



**Figure 19** : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

## Résultats et Discussions

Les teneurs en phénols totaux des quatre extraits sont présentées dans le tableau 07.

**Tableau 07 :** Teneurs en phénols totaux.

Les extraits des épices	Teneur en phénols totaux (mg EAG/g de matière sèche)
Tajine par DCM	7,87 ± 0,79
Viande par DCM	6,37 ± 0,07
Tajine par MeOH	1,64 ± 0,16
Viande par MeOH	1,25 ± 0,14

### 2.1.2. Discussion

Les teneurs en phénols totaux varient entre 1,25 mg EAG/g MS et 7,87 mg EAG/g MS. On remarque que l'extrait de tajine par DCM a donné le taux le plus élevé (7,87 mg EAG/g MS), suivie par l'extrait de viande par DCM (6,37 mg EAG/g MS) puis l'extrait de tajine par MeOH avec une teneur de 1,64 mg EAG/g MS, Alors que l'extrait de viande par MeOH a présenté la teneur la plus basse (1,25 mg EAG/g MS).

Selon une autre étude menée sur deux types de mélange d'épices par (Annou, 2017), on observe que le premier mélange contenait  $23.27 \pm 2.5$  mg EAG/g MS de polyphénols, tandis que le deuxième mélange avait un rapport de polyphénols estimé de  $43.04 \pm 3.56$  mg EAG/g MS. On remarque que la teneur des phénols totaux est faible dans notre mélange d'épices.

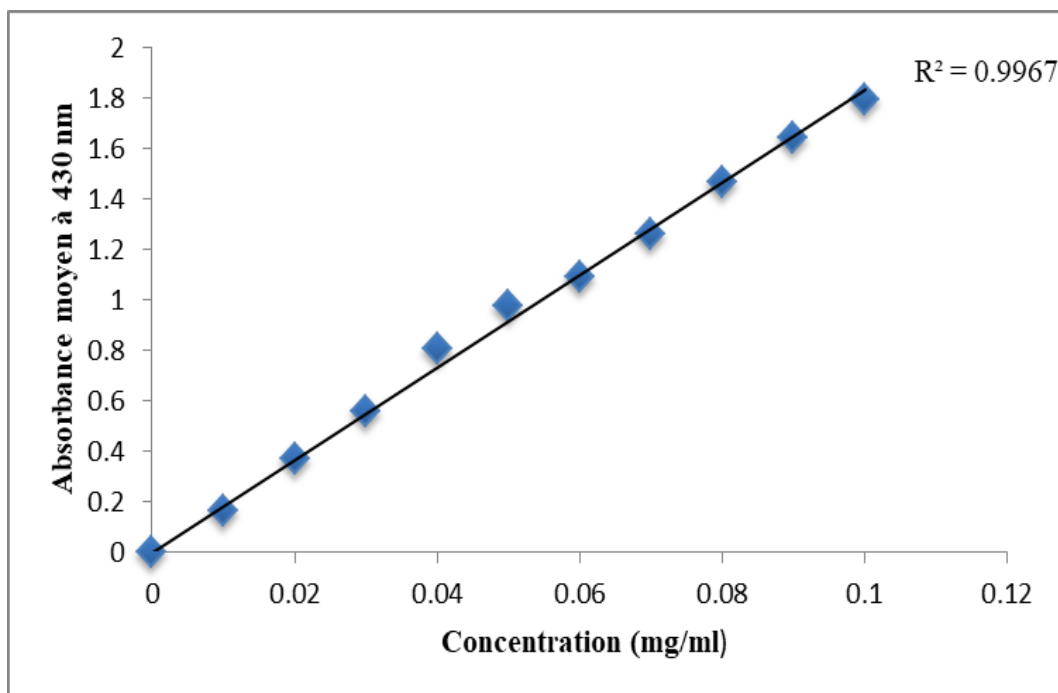
La raison de cette variation des résultats est le réactif de Folin-Ciocalteu parce qu'il est non spécifique pour CP mais aussi il a une capacité à interagir avec d'autres composés qui contenant le groupement hydroxyle, comme les acides organiques et protéines (Benarous, 2021).

## Résultats et Discussions

### 2.2. Teneur en flavonoïdes

#### 2.2.1. Résultats

Pour déterminer la quantité des flavonoïdes, on a utilisé la méthode de trichlorure d'aluminium, cette méthode a donné une couleur jaune. Elle est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée par la quercétine, les résultats sont exprimés en milligramme équivalent quercétine par gramme de matière sèche.



**Figure 20 :** Courbe d'étalonnage de la quercétine.

## Résultats et Discussions

Le tableau ci-dessus représente les résultats de la teneur en flavonoïdes de nos échantillons :

**Tableau 08** : Teneurs en flavonoïdes.

Les extraits des épices	Teneur en flavonoïdes (mg EQ/g de matière sèche)
Tajine par DCM	0,75 ± 0,04
Viande par DCM	0,08 ± 0,006
Tajine par MeOH	0,69 ± 0,04
Viande par MeOH	0,18 ± 0,02

### 2.2.2. Discussion

Les résultats précédents (Tableau 08) montrent que les teneurs en flavonoïdes varient entre 0,08 à 0,75 mg EQ/g de matière sèche, le taux le plus élevé a été trouvé dans l'extrait de tajine par DCM. Tandis que la teneur la plus basse a été détecté dans l'extrait de viande par DCM.

On constate que l'extrait de tajine qui est obtenue par le DCM est plus riche en flavonoïdes par rapport les autres extraits.

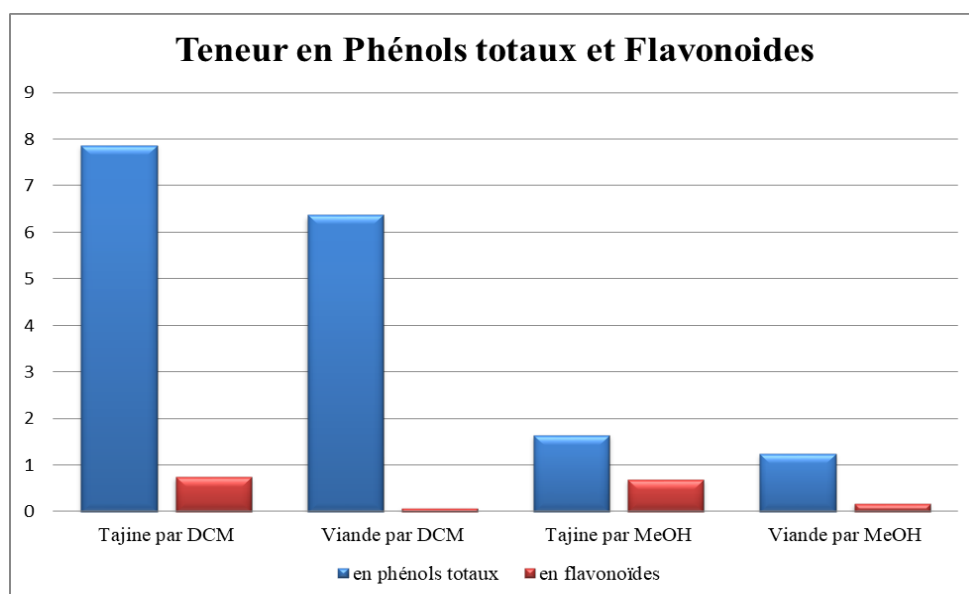
En comparant nos résultats avec une autre étude sur un mélange d'épices (Ras el Hanout), on remarque que nos valeurs sont inférieures à la teneur en flavonoïdes de Ras el Hanout (11.32 mg EQ/g de matière sèche. La variation des résultats peut être dû à la méthode d'extraction.

## 2.3. Comparaison et Corrélation entre teneur en phénols totaux et en flavonoïdes

### 2.3.1. Résultats

Afin de comparer les teneurs de phénols totaux avec les teneurs en flavonoïdes en présent ces teneurs dans la figure 21.

## Résultats et Discussions

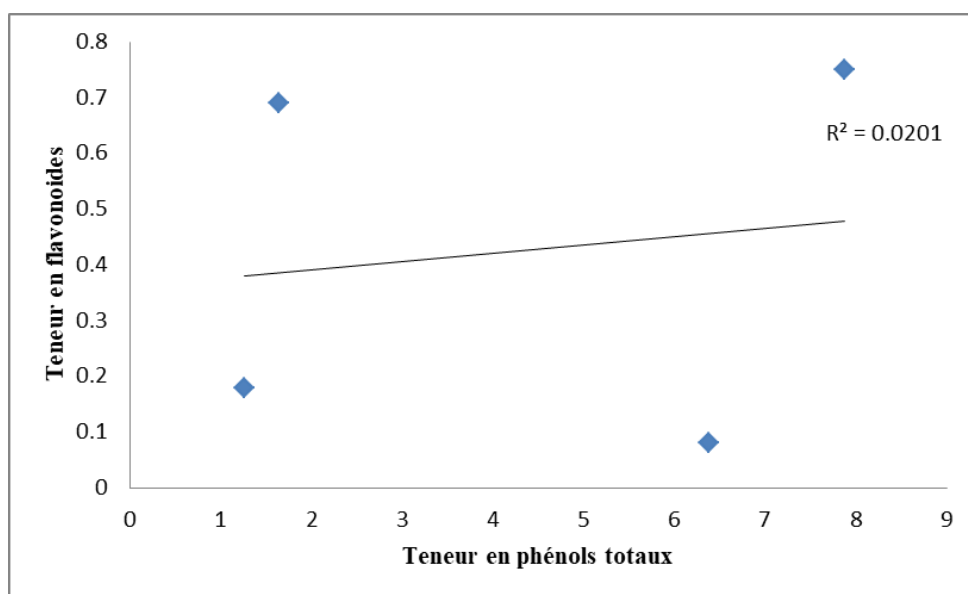


**Figure 21 :** Histogrammes des teneurs en phénols totaux et en flavonoïdes de quatre extraits (Tajine par DCM-Viande par DCM-Tajine par MeOH-Viande par MeOH).

### 2.3.2. Discussion

A partir de ces résultats, on observe que l'extrait de tajine par DCM possède le taux le plus élevé en phénols totaux et aussi en flavonoïdes. Tandis que les teneurs des autres extraits sont aléatoirement variables, donc on observe une mauvaise corrélation entre les teneurs en phénols totaux et en flavonoïdes avec une coefficient de régression linéaire :  $R^2 = 0.0201$ . En plus, on remarque aussi que les teneurs en flavonoïdes sont faibles par rapport aux teneurs des phénols totaux, donc on peut déduire que nos extraits renferment d'autres composés phénoliques possédant d'autres structures chimiques que celles des flavonoïdes (acide phénoliques, tanins, stilbènes...).

## Résultats et Discussions



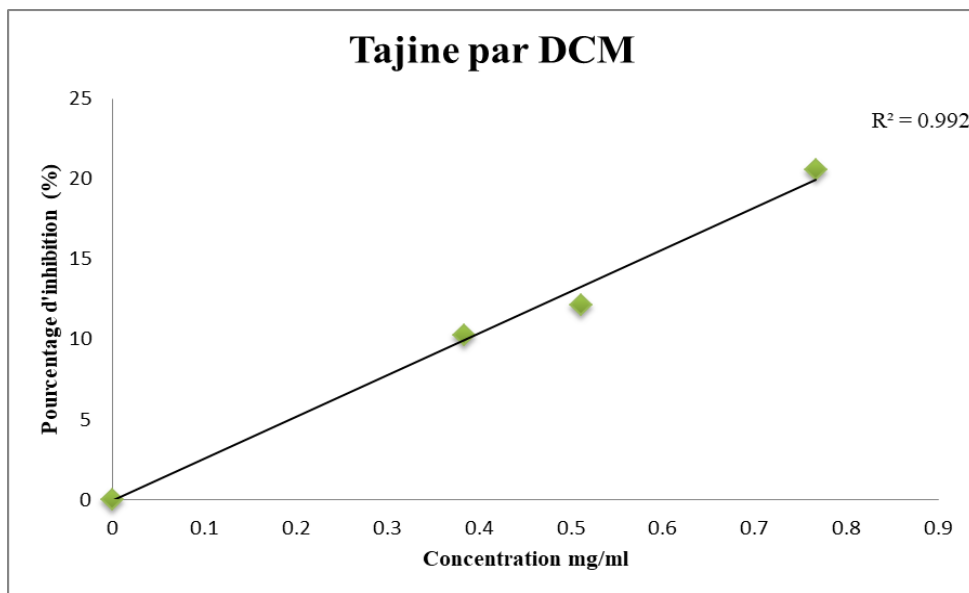
**Figure 22** : : Représentation graphique de corrélation entre les phénols totaux et les Flavonoïdes

### 2.4. Test DPPH (2,2-diphényle-1-picrylhydrazyl)

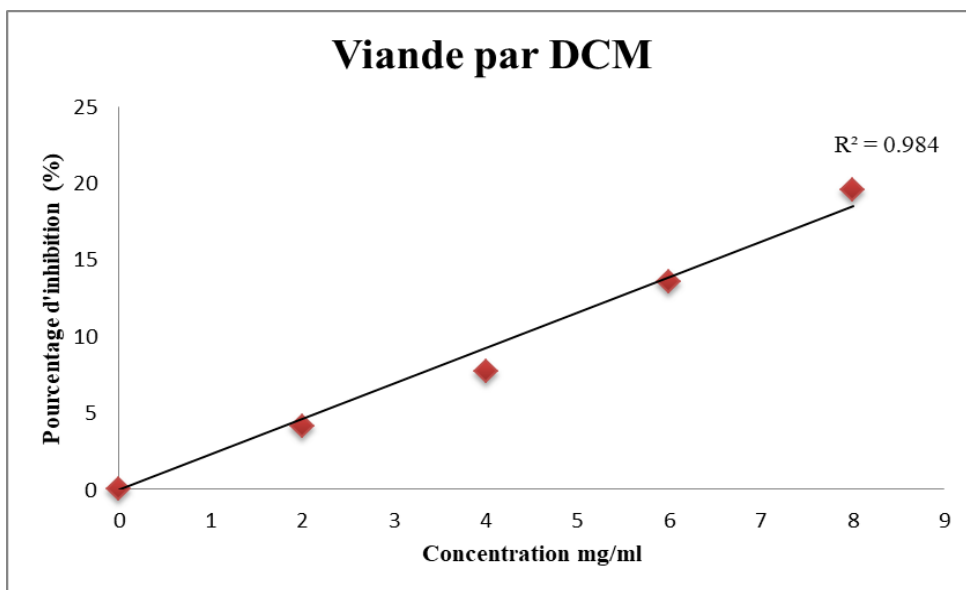
#### 2.4.1. Résultats

Pour étudier l'activité antioxydante de nos extraits des épices, on a utilisé la méthode la plus connue (Test DPPH). Les  $EC_{50}$  des extraits et des standards (Vitamine C et Quercétine) sont calculé à l'aide d'une courbe de la variation du pourcentage d'inhibition I% en fonction de la concentration (Figures 23,24,25,26,27 et 28).

## Résultats et Discussions

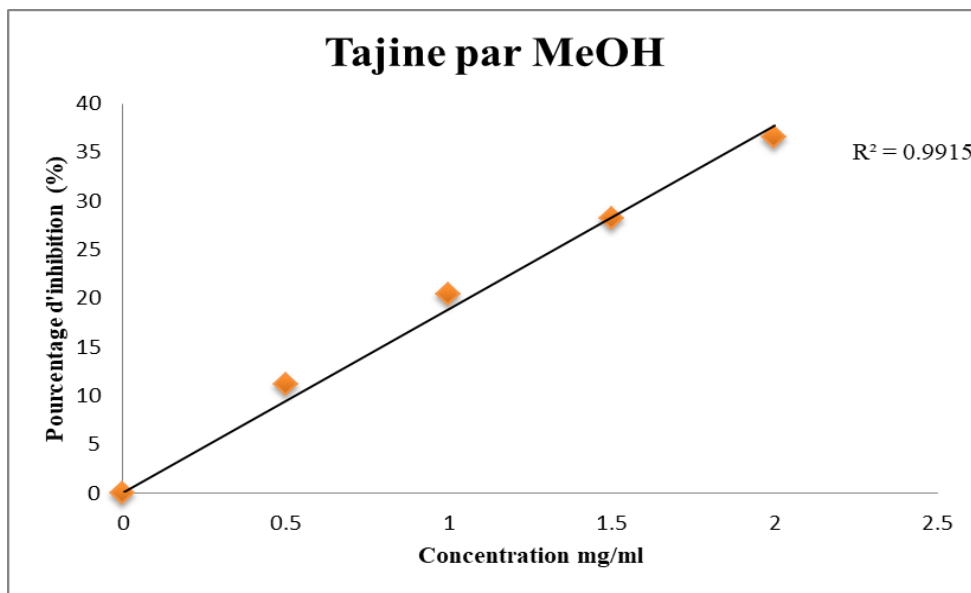


**Figure 23 :** Courbe du pourcentage d'inhibition de l'extrait de tajine par DCM en fonction des concentrations.

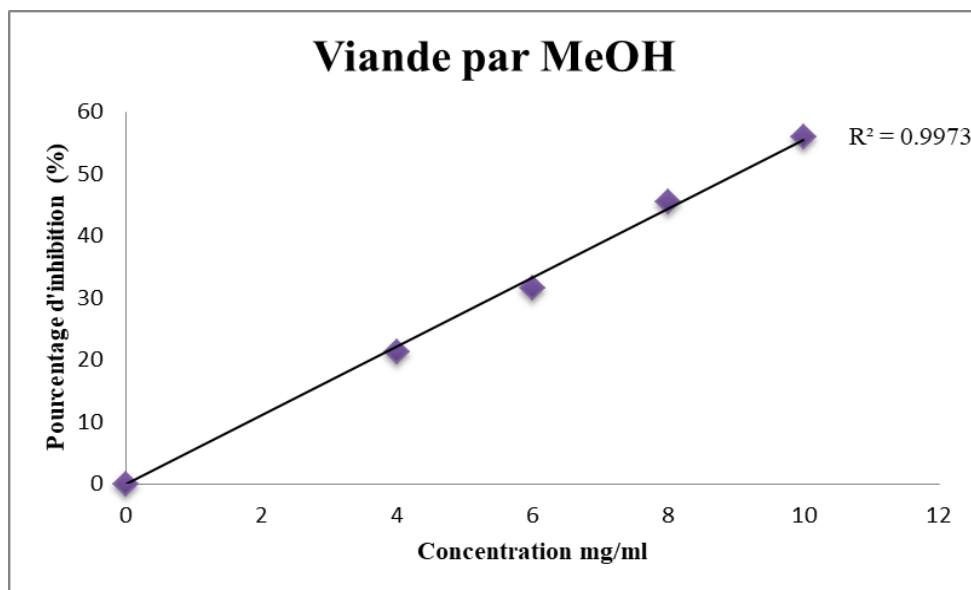


**Figure 24 :** Courbe du pourcentage d'inhibition de l'extrait de viande par DCM en fonction des concentrations.

## Résultats et Discussions

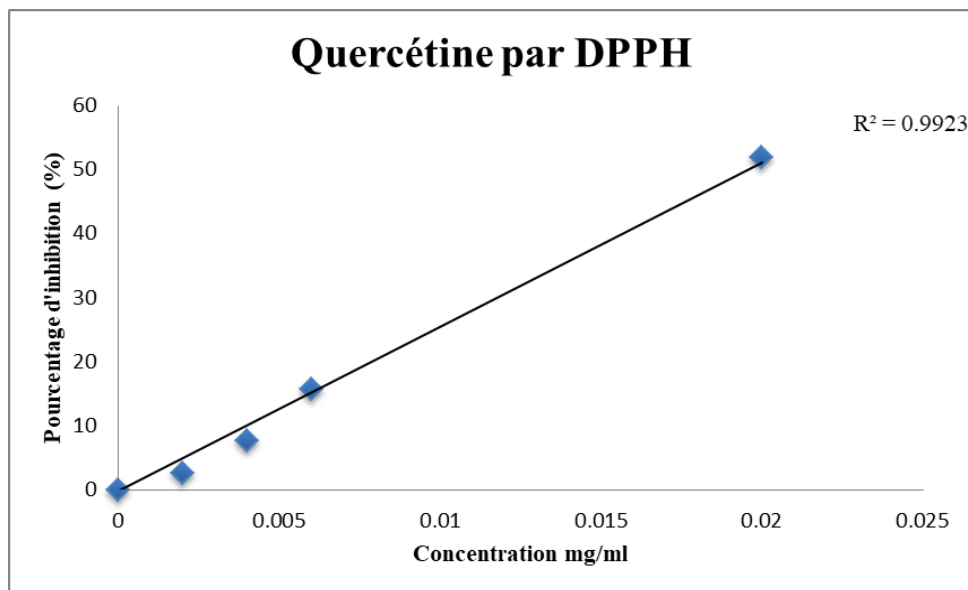


**Figure 25 :** Courbe du pourcentage d'inhibition de l'extrait de tajine par MeOH en fonction des concentrations.

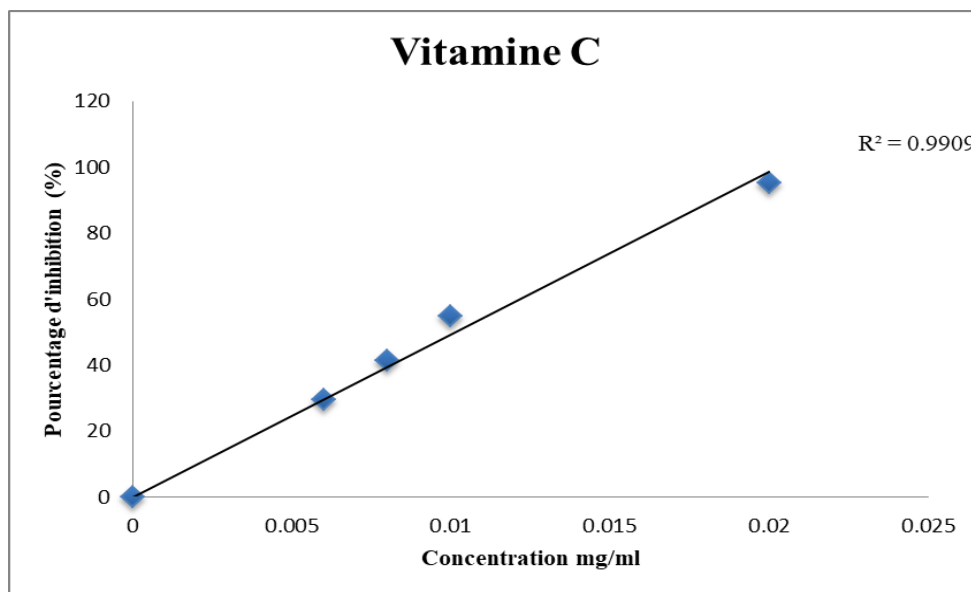


**Figure 26 :** Courbe du pourcentage d'inhibition de l'extrait de viande par MeOH en fonction des concentrations.

## Résultats et Discussions



**Figure 27 :** Courbe du pourcentage d'inhibition de standard (Quercétine) en fonction des concentrations.



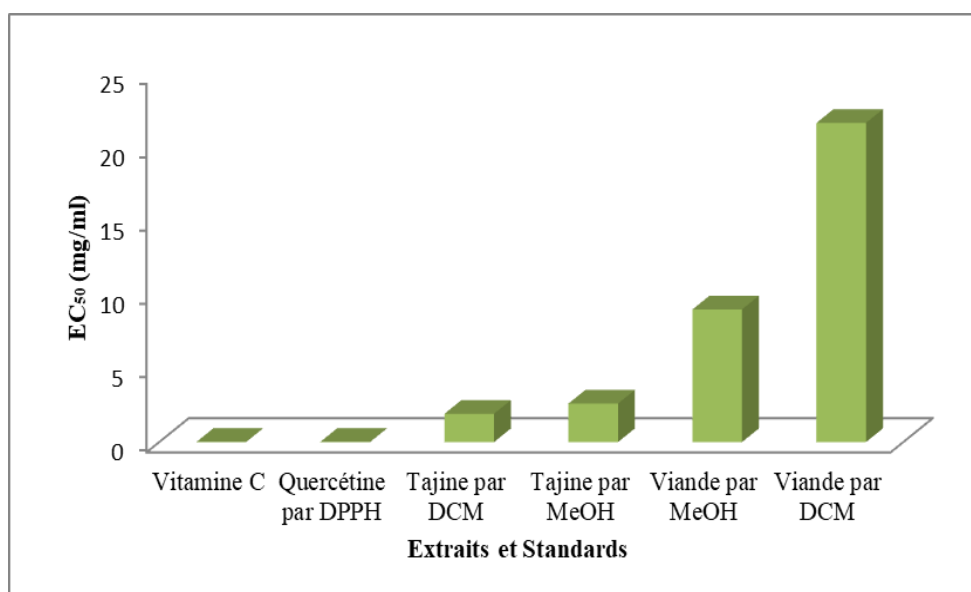
**Figure 28 :** Courbe du pourcentage d'inhibition de standard (Vitamine C) en fonction des concentrations.

## Résultats et Discussions

Le tableau suivant présente les paramètres d'EC<sub>50</sub> qui sont calculées à partir de chaque courbe tracée.

**Tableau 09** : Résultats de test DPPH.

Les extraits des épices et les standards	Les valeurs d'EC <sub>50</sub> (mg/ml)
Tajine par DCM	1,92 ± 0,01
Viande par DCM	21,66 ± 0,03
Tajine par MeOH	2,61 ± 0,07
Viande par MeOH	9,00 ± 0,02
Vitamine C	0,01 ± 0,00
Quercétine par DPPH	0,02 ± 0,003



**Figure 29** : Classement croissant des valeurs d'EC<sub>50</sub> des extraits et standards.

## Résultats et Discussions

---

### 2.4.2. Discussion

Les valeurs d'EC<sub>50</sub> sont inversement proportionnelles à l'activité antioxydante des extraits, l'EC<sub>50</sub> exprime la concentration d'antioxydants qui peuvent réduire l'activité de DPPH à 50%.

A travers les résultats obtenus dans le tableau précédent, on remarque que les valeurs de l'EC<sub>50</sub> sont comprises entre  $1,92 \pm 0,01$  et  $21,66 \pm 0,03$  mg/ml. Dont l'extrait de tajine par DCM est le meilleur antioxydant avec d'EC<sub>50</sub> égale à  $1,92 \pm 0,01$  mg/ml, suivie par l'extrait de tajine par MeOH avec d'EC<sub>50</sub> égale à  $2,61 \pm 0,07$  mg/ml.

La comparaison des valeurs d'EC<sub>50</sub> des extraits des mélanges d'épices étudiés avec celles des antioxydantes standards montre que ces extraits sont les moins puissants, par contre ces extraits sont puissants par rapport à un autre extrait d'un mélange d'épices (Ras el Hanout) ou la valeur d'EC<sub>50</sub> égale 10 mg/ml (Atti, 2014)

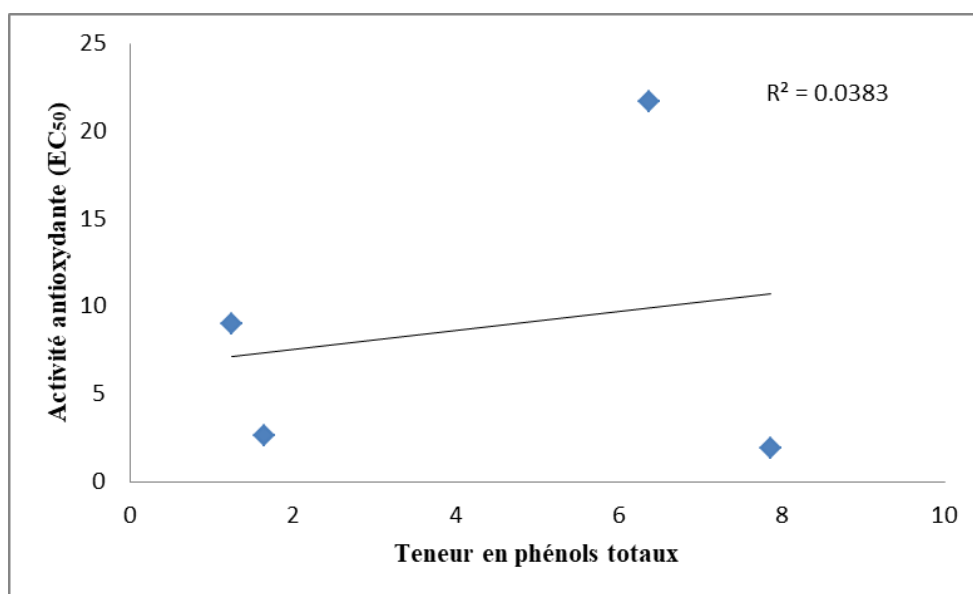
D'une façon générale, les extraits des épices "Tajine" montrent des propriétés antioxydantes remarquable. Ces activités antioxydantes peuvent être dû à la richesse des extraits en flavonoïdes, en tanins et autres.

## 2.5. Corrélation entre l'activité antioxydante et composés phénoliques

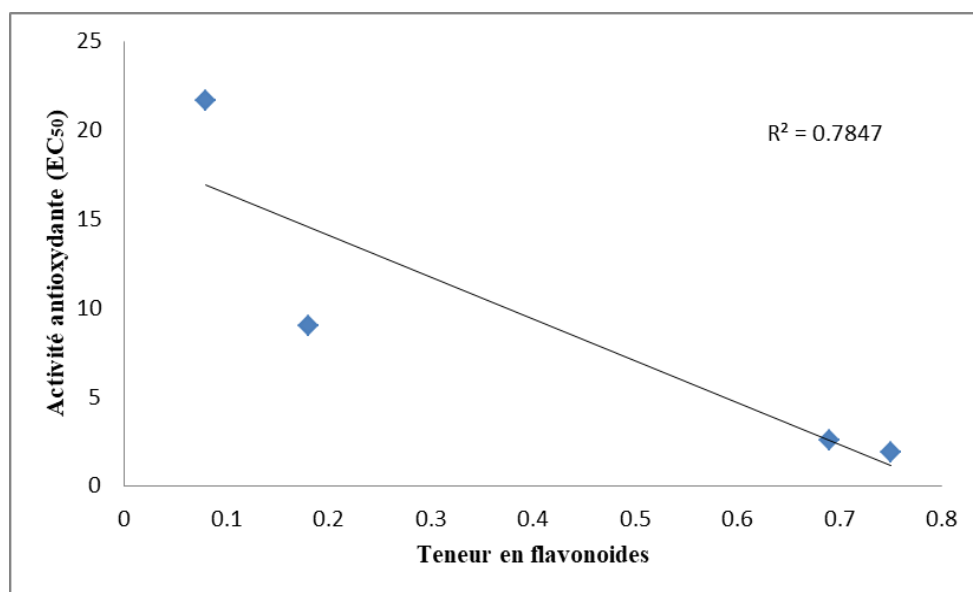
### 2.5.1. Résultats

Les deux courbes tracées suivantes montrent la relation entre l'activité antioxydante et le taux de polyphénols et flavonoïdes de nos échantillons :

## Résultats et Discussions



**Figure 30 :** Représentation graphique de la corrélation entre l'activité antioxydante (les valeurs d'EC<sub>50</sub>) et la teneur en phénols totaux.



**Figure 31 :** Représentation graphique de la corrélation entre l'activité antioxydante (les valeurs d'EC<sub>50</sub>) et la teneur en flavonoïdes.

### 2.5.2. Discussion

En vue de dévoiler la relation entre le contenu en polyphénols, en flavonoïdes et leurs capacités antioxydantes, nous avons représenté les courbes figurant la variation des valeurs d'EC<sub>50</sub> en fonction des teneurs en phénols totaux, et en flavonoïdes. D'après ces

## Résultats et Discussions

---

tracés, on peut dire que le pouvoir antioxydant est moyennement concordée avec le contenu en flavonoides ( $R^2 = 0,78$ ) , Par contre, une mauvaise corrélation a été détectée entre le pouvoir antioxydant et la quantité en phénols totaux ( $R^2 = 0,038$ ). Donc on peut conclure que l'activité antioxydante étudiée ne dépend pas obligatoirement de la teneur en composés phénoliques mais aussi de leurs structures chimiques.

## *Conclusion*

## Conclusion

---

L'usage des plantes médicinales y compris les épices constitue un vrai patrimoine de l'être humain, la plus part des médicaments actuels sont à base des plantes, ces dernières renferment des métabolites secondaires d'une grande diversité de structures chimiques qui ont plusieurs activités biologiques.

Le but de cette étude est d'apporter une contribution à la valorisation des mélanges d'épices (Tajine et viande) en évaluant l'activité antioxydante des extraits obtenus par deux solvants de différentes polarités.

Notre mélanges d'épices se composent de : ail, oignon, cumin, canne, thym, romarin, poivre noir pour l'épice de viande et de : oignon, ail, gingembre, cannelle, curcuma et laurier pour l'épice de tajine.

Les valeurs des rendements d'extraction sont très variables selon l'espèce et le solvant d'extraction dont les rendements les plus remarquables sont ceux des extraits de dichlorométhane

La quantification des phénols totaux est effectuée par la méthode de Folin-Ciocalteu, les résultats obtenus ont indiqués que l'extrait de tajine par DCM est le plus riche en polyphénols avec une teneur de 7.87 mg EAG/g MS par rapport aux autres extraits.

Pour mesurer la quantité des flavonoïdes, la méthode de trichlorure d'aluminium( $AlCl_3$ ) a été utilisée, L'analyse de l'ensemble des résultats obtenus montre que les teneurs en flavonoïdes varient entre 0.08 mg EQ/g MS à 0.75 mg EQ/g MS. Le meilleur résultat est observé pour l'extrait de tajine par DCM.

Afin d'évaluer l'activité antioxydante des quatre extraits on a utilisé le test DPPH, les quatre extraits étudiés ont révélé des réponses inhibitrices à piéger les radicaux DPPH $\cdot$ , et spécifiquement les deux extraits de Tajine.

L'ensemble des résultats de ce travail a permis de mieux connaître l'intérêt de l'étude des épices. Ainsi ces résultats remarquables nous ont encouragés de sélectionner ces épices pour des recherches approfondies à savoir:

- ✓ L'étude *in vitro* et *in vivo* des autres activités biologiques : enzymatique et anti-inflammatoire.
- ✓ L'identification des molécules naturelles responsables de ces activités.

## *Références bibliographiques*

## Références bibliographiques

---

- Abderrahim, B. (2021).** Etude phytochimique et activitésantioxydante et hépatoprotectrice des extraits de *Thymus pallidus*.
- Abdi , M., ben Maizoura. F. (2014).** Activité antioxydante de *Pinus Alepensis*, Mémoire pour obtention du cadre de l'ingénieure en Genie-biologie.
- Abdou Bouba, A. (2009).** *Contribution à l'étude du développement d'un aliment fonctionnel à base d'épices du Cameroun: caractérisation physico-chimique et fonctionnelle: Contribution to the study of the development of a functional food containing spices of Cameroun: physicochemical and functional characterization* (Doctoral dissertation, Vandoeuvre-les-Nancy, INPL; École nationale supérieure des sciences agro-industrielles de Ngaoundéré (ENSAI). Université de Ngaoundéré (Cameroun)), 28-29.
- Adeeyo, A. O., Ndou, T. M., Alabi, M. A., Mkoyi, H. D., Enitan, E. M., Beswa, D., ... & Odiyo, J. O. (2021).** Structure: Activity and Emerging Applications of Spices and Herbs. In *Herbs and Spices-New Processing Technologies*. IntechOpen.
- Agisho, H., Osie, M., & Lambore, T. (2014).** Traditional medicinal plants utilization, management and threats in Hadiya Zone, Ethiopia. *Journal of Medicinal Plants*, 2(2), 94-108.
- Ahmad, R. S., Imran, M., Khan, M. K., Ahmad, M. H., Arshad, M. S., Ateeq, H., & Rahim, M. A. (2021).** Introductory Chapter: Herbs and Spices-An Overview. *Herbs and Spices-New Processing Technologies*.
- Akroum, S. (2011).** Etude Analytique et Biologique des Flavonoïdes Naturels.
- Armstrong, D., & Stratton, R. D. (Eds.). (2016).** *Oxidative stress and antioxidant protection: The science of free radical biology and disease*. John Wiley & Sons.
- Baghiani, F. B. (2017).** Plantes médicinales Activités antioxydantes et antibactériennes.
- Benarous, K. (2021).** *COMPOSES PHENOLIQUES ET ALCALOIDES*. Algérie.
- Benhammou, N. (2012).** Activité antioxydante des extraits des composés phénoliques de dix plantes médicinales de l'Ouest et du Sud-Ouest Algérien. *Université Abou Bakr Belkaïd-Tlemcen, Algérie: Thèse de Doctorat, 30*.
- BOUAFIA, W. (2021).** *Evaluation des activités biologiques et caractérisation phytochimique de la plante Ephedra altissima Desf* (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).
- Bouldjadj, R. (2009).** *Étude de l'effet antidiabétique et antioxydant de l'extrait aqueux lyophilisé d'Artemisia herba alba Asso chez des rats sains et des rats rendus diabétiques par streptozotocine* (Doctoral dissertation, Thèse de magister).
- Bourgaud, F., Gravot, A., Milesi, S., & Gontier, E. (2001).** Production of plant secondary metabolites: a historical perspective. *Plant science*, 161(5), 839-851.

## Références bibliographiques

---

- Burits, M., & Bucar, F. (2000).** Antioxidant activity of *Nigella sativa* essential oil. *Phytotherapy research*, 14(5), 323-328.
- Celiktas, O. Y., Bedir, E., & Sukan, F. V. (2007).** In vitro antioxidant activities of *Rosmarinus officinalis* extracts treated with supercritical carbon dioxide. *Food Chemistry*, 101(4), 1457-1464.
- Chhetri, P., Vijayan, A. K., Bhat, S. K., Gudade, B. A., & Bora, S. S. (2018).** An overview of grouping of spices. *Indian Botanist*, pp1-4.
- Cicco, N., Lanorte, M. T., Paraggio, M., Viggiano, M., & Lattanzio, V. (2009).** A reproducible, rapid and inexpensive Folin–Ciocalteu micro-method in determining phenolics of plant methanol extracts. *Microchemical journal*, 91(1), 107-110.
- Collin H. (2006).** Herbs, spices and cardiovascular disease. *Handbook of herbs and spices Vol.3*, Peter, V. K. (ed) Wood head publishing Ltd Cambridge, Angleterre. Chapitre 8, pp 126-129.
- Crujeiras, A. B., Díaz-Lagares, A., Carreira, M. C., Amil, M., & Casanueva, F. F. (2013).** Oxidative stress associated to dysfunctional adipose tissue: a potential link between obesity, type 2 diabetes mellitus and breast cancer. *Free radical research*, 47(4), 243-256.
- Cunningham, A. B. (1993).** African medicinal plants. *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: Paris, France*.
- Das T K., Wati M.R., Shad K F. (2015).** Oxidative Stress Gated by Fenton and Haber Weiss Reactions and Its Association With Alzheimer's Disease. *Arch Neurosci.*, 2:1-8.
- Derwich, E., Manar, A., Benziane, Z., & Boukir, A. (2010).** GC/MS analysis and in vitro antibacterial activity of the essential oil isolated from leaf of *Pistacia lentiscus* growing in Morocco. *World Applied Sciences Journal*, 8(10), 1267-1276.
- Desmier, T. (2016).** *Les antioxydants de nos jours: définition et applications* (Doctoral dissertation).
- Djohan, Y. F. (2017).** *Influence d'un régime riche en huile de palme sur le statut antioxydant, la fonction mitochondriale et les désordres métaboliques associés à l'obésité* (Doctoral dissertation, Université Montpellier; Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire)).
- DRONIOU M., CASSARO. (2012).** Document réalisé par les symposiarques : utilisation médicaments. Désinfectants. Encens. stimulants et même agents aphrodisiaques. P 33.
- Droniou-cassaro M. (2012).** Les épices, les symposiarques. p 2.
- Droniou-Cassaro. (2012).** Les épices. Les symposiarques, pp : 1-6.
- Embuscado, M. E. (2019).** Bioactives from culinary spices and herbs: a review. *Journal of Food Bioactives*, 6, 68-99.

## Références bibliographiques

---

- Favier, A. (2003).** Le stress oxydant Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité Chimique*. p108-11.
- Favier, A. (2006, November).** Stress oxydant et pathologies humaines. In *Annales pharmaceutiques françaises* (Vol. 64, No. 6, pp. 390-396). Elsevier Masson.
- Finaud, J., Lac, G., & Filaire, E. (2006).** Oxidative stress. *Sports medicine*, 36(4), 327-358.
- Fiorucci, S. (2006).** *Activités biologiques de composés de la famille des flavonoïdes: Approches par des méthodes de chimie quantique et de dynamique moléculaire* (Doctoral dissertation, Université de Nice Sophia-Antipolis (UNS)), p211.
- Frei, B. (1994).** Reactive oxygen species and antioxidant vitamins: mechanisms of action. *The American journal of medicine*, 97(3), S5-S13 ; discussion S22- S28.
- Gueye, P. M. (2007).** *Phénotypes majeurs de l'haptoglobine humaine et stress oxydant induit par l'hémoglobine extra-érythrocytaire sur le globule rouge* (Doctoral dissertation, Strasbourg 1).
- Gülçin, İ., Oktay, M., Kireççi, E., & Küfrevioğlu, Ö. İ. (2003).** Screening of antioxidant and antimicrobial activities of anise (*Pimpinella anisum* L.) seed extracts. *Food chemistry*, 83(3), 371-382.
- Halvorsen, B. L., Carlsen, M. H., Phillips, K. M., Bøhn, S. K., Holte, K., Jacobs Jr, D. R., & Blomhoff, R. (2006).** Content of redox-active compounds (ie, antioxidants) in foods consumed in the United States. *The American journal of clinical nutrition*, 84(1), 95-135.
- Hamma, S. A. (2016).** *Biologie des espèces réactives, stress oxydatif et diabète de type 2*. Éditions universitaires européennes.
- Hassaine, A. (2019-2020).** *Les composés phénoliques*.
- Hong, S. W., Lee, S. H., Moon, J. H., Hwang, J. J., Kim, D. E., Ko, E., ... & Lee, W. J. (2013).** SVCT-2 in breast cancer acts as an indicator for L-ascorbate treatment. *Oncogene*, 32(12), 1508-1517.
- Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005).** The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(6), 1841-1856.
- Iserin, P. (2001).** Larousse encyclopédie des plantes médicinales. *Identification, Préparations, soins*. 2nd edition, Dorling Kindersley Limited, Londres.
- Jessica Elizabeth, D. L. T., Gassara, F., Kouassi, A. P., Brar, S. K., & Belkacemi, K. (2017).** Spice use in food: Properties and benefits. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(6), 1078-1088.

## Références bibliographiques

---

- Kadam, D. D., Mane, P. C., & Chaudhari, R. D. (2015).** Phytochemical screening and pharmacological applications of some selected Indian spices. *International Journal of Science and Research*, 4(3), 704-706.
- Kémajou, A., Mba, L., & Bagda, A. A. (2012).** Effet du séchage sur les principes actifs des plantes médicinales: cas des alcaloïdes totaux des écorces de *Alstonia boonei* Wild, plante antipaludéenne. *Nature & Technology*, (7), 62.
- Khater, F. (2011).** *Identification et validation fonctionnelle de nouveaux gènes impliqués dans la voie de biosynthèse des composés phénoliques: identification and functional validation of new genes involved in the biosynthetic pathway of phenolic components* (Doctoral dissertation, Montpellier, SupAgro).
- Koehlin-Ramonatxo, C. (2006).** Oxygène, stress oxydant et suppléments antioxydants ou un aspect différent de la nutrition dans les maladies respiratoires. *Nutrition clinique et métabolisme*, 20(4), 165-177.
- Labani, P. (2022).** *Les composés phénoliques*.
- Leja, K. B., & Czaczyk, K. (2016).** The industrial potential of herbs and spices? A mini review. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 15(4), 353-365.
- Lhuillier, A. (2007).** *Contribution à l'étude phytochimique de quatre plantes malgaches: Agauria salicifolia Hook. f ex Oliver, Agauria polyphylla Baker (Ericaceae), Tambourissa trichophylla Baker (Monimiaceae) et Embelia concinna Baker (Myrsinaceae)* (Doctoral dissertation).
- Li T. S. C. (2006).** The range of medicinal herbs and spices. *Handbook of herbs and spices Vol.3*, Peter, V. K. (ed) Wood head publishing Ltd Cambridge, Angleterre. Chapitre 7, pp 113-118.
- Loft, S., Møller, P., Cooke, M. S., Rozalski, R., & Olinski, R. (2008).** Antioxidant vitamins and cancer risk: is oxidative damage to DNA a relevant biomarker?. *European journal of nutrition*, 47(2), 19-28.
- Mata, A. T., Proença, C., Ferreira, A. R., Serralheiro, M. L. M., Nogueira, J. M. F., & Araújo, M. E. M. (2007).** Antioxidant and antiacetylcholinesterase activities of five plants used as Portuguese food spices. *Food chemistry*, 103(3), 778-786.
- Meguelliati. (2019).** Analyse de la diversité chimique de *Teucrium polium geyrii* Maire Du Hoggar par les composés phénoliques et propriétés .
- Mocchegiani, E., Costarelli, L., Giacconi, R., Malavolta, M., Basso, A., Piacenza, F., ... & Monti, D. (2014).** Micronutrient–gene interactions related to inflammatory/immune response and antioxidant activity in ageing and inflammation. A systematic review. *Mechanisms of ageing and development*, 136, 29-49.

## Références bibliographiques

---

**Oiye, S. O., & Muroki, N. M. (2002).** Use of spices in foods. *Journal of food Technology in Africa*, 7(2), 39-44.

**Peter V. K. (2001).** Introduction. *Handbook of herbs and spices Vol.1*. Peter, V. K. (ed) Wood head publishing Ltd Cambridge, Angleterre, pp 1-7

**Peter V. K. (2004).** Introduction. *Handbook of herbs and spices Vol.2*. Peter, V. K. (ed) Wood head publishing Ltd Cambridge, pp 16-23

**Pincemail, J., Meurisse, M., Limet, R., & Defraigne, J. O. (1998).** Espèces oxygénées activées en médecine humaine: une approche didactique. *Vaisseaux, Coeur, Poumons*, 3, 133-138.

**Rani, S. S., Saxena, N., & Udaysree, N. (2013).** Antimicrobial activity of black pepper (*Piper nigrum* L.). *Global J. Pharmacol*, 7(1), 87-90.

**Ravindran P. N., Pillai S. G. (2004).** Under-utilized herbs and spices. *Handbook of herbs and spices Vol.2*, Peter, V. K. (ed) Wood head publishing Ltd Cambridge, Angleterre, Chapitre 5, pp 67-117.

**Rebbas, K., Bounar, R., Gharzouli, R., Ramdani, M., Djellouli, M., Alatou, D. (2012).** Plantes d'intérêt médicinale et écologique dans la région d'Ouanougha (M'Sila). *Phytothérapie* 6, 1-12.

**REDHEAD, J. (1990).** *Utilisation des aliments tropicaux: sucres, épices et stimulants, organization des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture*. p 21.

**Reuter, S., Gupta, S. C., Chaturvedi, M. M., & Aggarwal, B. B. (2010).** Oxidative stress, inflammation, and cancer: how are they linked?. *Free radical biology and medicine*, 49(11), 1603-1616.

**Ribéreau-Gayon, P. (1968).** *Les composés phénoliques des végétaux*. Dunod, Ed., Paris.p. 254.

**RICHARD H. (1987).** Epices et herbes aromatiques. E.N.S.I.A.-1. avenue des olympiades-91744VMASSY Cedex. pp 6-9.

**Sachan, A. K., Kumar, S., Kumari, K., & Singh, D. (2018).** Medicinal uses of spices used in our traditional culture: Worldwide. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 6(3), 116-122.

**SAIDI, I. (2019).** *Caractérisation et valorisation d'une plante de la famille des fabaceae: Gleditsia triacanthos de la région de Sidi Bel Abbès: Extraction des substances bioactives* (Doctoral dissertation).

**Sarma, A. D., Mallick, A. R., & Ghosh, A. K. (2010).** Free radicals and their role in different clinical conditions: an overview. *International Journal of Pharma Sciences and Research*, 1(3), 185-192.

## Références bibliographiques

---

- Shobana, S., & Naidu, K. A. (2000).** Antioxidant activity of selected Indian spices. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids (PLEFA)*, 62(2), 107-110.
- Shylaja, M. R., & Peter, K. V. (2004).** The functional role of herbal spices. *Handbook of herbs and spices*, 2, 26-45.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999).** [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In *Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press.
- Tabart, J. (2011).** *Optimisation et caractérisation d'un extrait de cassis riche en antioxydants utilisable comme complément alimentaire* (Doctoral dissertation, Université de Liège, Liège, Belgique).
- Tournier, M. (1999).** Les épices.
- Tsai, P. J., Wu, S. C., & Cheng, Y. K. (2008).** Role of polyphenols in antioxidant capacity of napiergrass from different growing seasons. *Food chemistry*, 106(1), 27-32.
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T., Mazur, M., & Telser, J. (2007).** Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 39(1), 44-84.
- Valko, M., Rhodes, C. J. B., Moncol, J., Izakovic, M. M., & Mazur, M. (2006).** Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-biological interactions*, 160(1), 1-40.
- Vidé, J. (2015).** *Effets potentiels et mécanismes d'action antioxydant et anti-inflammatoire d'un apport nutritionnel de spirulines enrichies en silicium* (Doctoral dissertation, Université Montpellier).
- Yaacoub, R. (2009).** *Impact nutritionnel et sanitaire de la torréfaction des fruits et graines oléagineux: intérêt de la fluorescence comme outil de contrôle des composés néoformés* (Doctoral dissertation, Paris, AgroParisTech).
- Yoshikawa, T., & Naito, Y. (2002).** What is oxidative stress?. *Japan medical association journal*, 45(7), 271-276.