

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Réf : ...../UAMOB/F.SNV.ST/DEP.BIO/2018

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

### EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biotechnologie microbienne

Présenté par :

*BOURAI Amel & AZZOUK Amal*

*Thème*

*Etude phytochimique et l'activité antioxydante de Zingiber officinale*

Soutenu le : 27 / 06 / 2018

Devant le jury composé de :

*Nom et Prénom*

*Grade*

Mme. TIGHIDAT Salima

MAA

Univ. de Bouira

Présidente

Mme. SAIT-DIB Sabrina

MCB

Univ. de Bouira

Promotrice

Mme. DJOAUHRA-Fahem

MAA

Univ. de Bouira

Examinatrice

Année Universitaire : 2017/2018

## *Remerciements*

Tout d'abord, nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné la force, le courage, la persistance pour avoir permis à la mienne de suivre la bonne voie, celle de la foi et du savoir et pour nous avoir guidés et soutenus nous a permis d'exploiter les moyens disponibles à fin d'accomplir ce modeste travail

Nous tenant à remercier vivement notre promotrice Mme SAIT-DIB Sabrina, pour avoir accepté de nous encadrer et aussi pour l'effort fournis, pour ses encouragements constants, ses précieux conseils, son soutien et surtout pour sa qualité humaine, sa modestie, sa disponibilité, tout au long de la réalisation de ce mémoire.

notre gratitude va aussi à tous les membres du jury qui, ont accepté de porter un jugement à ce mémoire;

à Madame TIGHIDET Salima, Maitre assistant à l' université de Bouira, pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant de présider ce présent jury.

à Madame Djouhra Djamila, Maitre assistant A à l' université de Bouira d'avoir accepté d'examiner notre travail.

On remercie tous les ingénieurs du laboratoire de biochimie et microbiologie de la faculté des sciences de la nature et de vie de Bouira pour leurs précieuse aide.

Un grand merci à tous ceux qui nous ont aidés de loin ou de près dans l'accomplissement de ce travail.

A decorative border of pearls runs vertically down the right side of the page. On the left side, there are several roses: a red one at the top, a white one in the middle, and another white one at the bottom right. The text is centered in the middle of the page.

*DEDICACE*

*A l'aide d'Allah, le tout puissant, j'ai pu réaliser ce travail que je dédie :*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir  
Toi mon père.*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur  
Maman que j'adore.*

*A mes soeurs : Amína et Imen, A mon frère Amine  
et A ma grand-mère et mon grand père  
A tout ma familles*

*A tous mes amis et collègues en témoignage de mes sentiments les meilleurs.*

*A tout le groupe de ma promotion*

*Amel*

A large, detailed white rose with green leaves is positioned in the bottom right corner of the page.

*Je dédie ce mémoire*

Aux êtres les plus chers : Mes parents,

*A mon père,*

*Hamza*

Mon plus haut exemple et mon modèle de persévérance pour aller toujours de l'avant et ne jamais baisser les bras. Pour son enseignement continu à m'inculquer les vraies valeurs de la vie et pour ses précieux conseils.

*A ma mère,*

*Djedjigea*

A ma source de bonheur, la prunelle de mes yeux, pour son affection, sa patience, sa compréhension, sa disponibilité, son écoute permanente et son soutien sans égal dans les moments les plus difficiles de ma vie.

*A mes chers frères,*

*Sofiane, Mahfoud*

En témoignage de mon affection et ma reconnaissance pour leurs encouragements

A tous mes amis et collègues en témoignage de mes sentiments

A tout le groupe de ma promotion Biotechnologie Microbienne 2018.

Tous ceux que j'aime,

Sans les quels tout ceci n'aurait aucun sens.

*Amel*

## ***Table de matière***

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Liste des abréviations**

**Introduction.....1**

### **Synthèse bibliographique**

#### **Chapitre I : Généralité sur la plante et séchage.**

**I. Généralités sur la plante.....3**

**I.1. Historique.....3**

**I.2.Noms vernaculaires.....3**

**I.3. Description botanique du gingembre.....4**

**I.4.Classification botanique du gingembre.....5**

**I.5. Mode de culture et production du gingembre..... 5**

**I.6.La composition chimique du gingembre..... 6**

**I.7.Les activités biologiques et utilisation de *Zingiber officinale* .....8**

**I.8. Toxicité de gingembre.....11**

**II. Généralité sur le séchage.....11**

**II.2.Les différents types de séchage.....12**

**II.2.1.Séchage thermique.....12**

**II.2.1.1.Séchage par ébullition.....12**

**II.2.1.2.Séchage par entraînement.....12**

**II.2.1.3.La fumaison.....12**

**II.2.1.4.Séchage à l'air libre.....12**

**II.2.1.5.Séchage à l'étuve.....12**

**II.2.1.6.Séchage par microonde.....13**

## **Chapitre II : Les antioxydants**

<b>I.1.Oxydation et antioxydants</b> .....	<b>14</b>
<b>I.2.Les radicaux libres</b> .....	<b>14</b>
<b>I.3.Espèces réactives de l'oxygène et de l'azote</b> .....	<b>14</b>
<b>I.4.Stress oxydatif</b> .....	<b>16</b>
<b>II. Antioxydants</b> .....	<b>16</b>
<b>II.1.Systèmes antioxydants enzymatiques</b> .....	<b>17</b>
<b>II.2. Systèmes antioxydants non enzymatiques</b> .....	<b>18</b>
<b>II.2.1.La vitamine E</b> .....	<b>18</b>
<b>II.2.2.La vitamine C</b> .....	<b>18</b>
<b>II.2.3.Les caroténoïdes</b> .....	<b>18</b>
<b>II.2.4.Les composés phénoliques</b> .....	<b>19</b>
<b>II.2.4.1.Les flavonoïdes</b> .....	<b>19</b>
<b>II.2.4.2.Les acides phénoliques</b> .....	<b>20</b>
<b>II.2.5.Les oligo-éléments</b> .....	<b>20</b>
<b>II.2.6.Protéines chélatrices des métaux de transition</b> .....	<b>20</b>

## **Chapitre III : Matériel et méthodes**

<b>I. Matériel végétal</b> .....	<b>21</b>
<b>I.2.Taux d'humidité</b> .....	<b>21</b>
<b>I.3.Le séchage par microondes</b> .....	<b>21</b>
<b>I.4.Broyage et tamisage</b> .....	<b>22</b>
<b>II. Extraction des composés phénoliques</b> .....	<b>23</b>
<b>III. Dosage des antioxydants des différents extraits</b> .....	<b>24</b>

<b>III.1.</b> Dosage des polyphénols.....	<b>24</b>
<b>III.2.</b> Dosage des flavonoïdes totaux.....	<b>25</b>
<b>III.3.</b> Dosage des caroténoïdes.....	<b>26</b>
<b>VI.</b> Activité antioxydants.....	<b>26</b>
<b>IV.1.</b> Activité scavenger du radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH).....	<b>26</b>
<b>V.</b> Etude statistique.....	<b>28</b>

## **Chapitre IV : Résultats et discussions**

<b>I.</b> Taux d'humidité.....	<b>29</b>
<b>II.</b> Séchage par microonde.....	<b>29</b>
<b>III.</b> Teneurs en composés phénoliques.....	<b>30</b>
<b>III.1.</b> Dosage des polyphénols totaux.....	<b>31</b>
<b>III.2.</b> Dosage des flavonoïdes.....	<b>32</b>
<b>III.3.</b> Dosage des caroténoïdes.....	<b>34</b>
<b>IV.</b> L'activité antioxydante.....	<b>35</b>
<b>IV.1.</b> Activité scavenger du radical DPPH.....	<b>35</b>
Conclusion.....	<b>38</b>
Références bibliographiques	
Annexes	
Résumé	

## *Liste d'abréviation*

**AlCl<sub>3</sub>**: Trichlorure d'aluminium.

**AD**: Séchage par l'air

**ANOVA**: Analyse de variance.

**CAT**: Catalase.

**Cu-ZnSOD** : Superoxyde dismutase 1(SOD1).

**COOH**: Acide carboxylique.

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

**EOA** : Espèces Oxygénées Activées.

**ERO** : Les espèces réactives de l'oxygène.

**FD**: Lyophilisation

**GPx**: Glutathion peroxydases.

**GSH**: Glutathion réduit.

**HIV** : Virus de l'immunodéficience humain.

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**: Peroxyde d'hydrogène.

**H<sub>3</sub>PMO<sub>12</sub>O<sub>40</sub>**: Acide phosphomolybdique.

**H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub>** : Acide phosphotungstique.

**IM&CD** : Séchage par micro-onde et séchage par convention

**IR**: Infrarouge

**KOH** : Hydroxyde de potassium.

**LSD**: Low significant difference.

**MD:** Séchage par micro-onde

**MnSOD :** Superoxyde dismutase 2 (SOD2).

**No:** Monoxyde d'azote.

**NADPH :** Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate réduit.

**NaNO<sub>2</sub> :** Nitrite de sodium.

**NaOH :** Hydroxyde de sodium.

**O<sub>2</sub><sup>•-</sup> :** Anion superoxyde.

**HO<sup>•</sup>:** Radical hydroxyl.

**pH:** potentiel d'Hydrogène.

**RL :** Radicaux libres.

**ROOH :** Hydroperoxyde.

**ROO<sup>•</sup>:** Peroxyle.

**SOD:** Superoxyde dismutase.

**TRx R :** Thioredoxine réductase.

**UV:** Ultra violet.

**GHz :** Gigahertz

**mg/ml :** Milligramme/millilitre.

**mg EAG/g MS :** Milligramme équivalent acide gallique/gramme de matière sèche.

**mg EQ/g MS :** Milligramme équivalent de quercétine par gramme de matière sèche.

**MHz :** Mégahertz .

**W:** watts.

## *Liste des figures*

<b>Figure 1</b> : La plante de <i>Zingiber officinale</i> .....	4
<b>Figure 2</b> : Rhizome de <i>Zingiber officinale</i> .....	4
<b>Figure 3</b> : Tige, feuille et fleurs du gingembre.....	4
<b>Figure 4</b> : Structure chimique des gingérols et des shogaols .....	8
<b>Figure 5</b> : Schéma d'un four à micro-onde.....	13
<b>Figure 6</b> : Espèces réactives de l'oxygène produites en cascade à partir de l'oxygène fondamental. ....	15
<b>Figure 7</b> : Aperçu des différentes espèces oxygénées activées (EOA) et des antioxydants régulateurs de leur production.....	16
<b>Figure 8</b> : Rhizome de <i>Zingiber Officinale Roscoe</i> .....	21
<b>Figure 9</b> : Les différentes étapes de séchage de gingembre.....	22
<b>Figure10</b> : Photographie de broyeur électrique et la poudre de gingembre. ....	22
<b>Figure11</b> : Cinq échantillons de poudre de Rhizome de <i>Zingiber Officinale Roscos</i> .....	23
<b>Figure12</b> : Photographie de récupération de l'extrait. ....	24
<b>Figure13</b> : Mécanisme réactionnel du test DPPH• entre l'espèce radicalaire DPPH• et un antioxydant (AH).....	27
<b>Figure14</b> : Représentation du taux d'humidité et la matière sèche de gingembre.....	29
<b>Figure15</b> : Cinétique de séchage du <i>Zingiber officinale Roscoe</i> à différentes puissances....	30
<b>Figure16</b> : teneurs en polyphénols totaux des différents extraits du <i>Zingiber officinale Roscoe</i> .....	31
<b>Figure 17</b> : Teneurs en Flavonoïdes des différents extraits du <i>Zingiber officinale</i> .....	33
<b>Figure 18</b> : Teneurs en caroténoïdes des différents extraits du <i>Zingiber officinale</i> .....	34
<b>Figure 19</b> : Représentation graphique du pourcentage scavenger du radical DPPH par les extraits du gingembre étudié.....	36

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau I</b> : Classification botanique du gingembre.....	<b>5</b>
<b>Tableau II</b> : Les principaux pays producteurs du gingembre.....	<b>6</b>
<b>Tableau III</b> : Valeurs nutritionnelles du gingembre.....	<b>7</b>

# *Introduction*

## *Introduction générale*

---

Depuis des millénaires, les êtres humains ont élaboré des manières pour se traiter en fonction de leur intelligence, leur génie, leur conception culturelle de la santé, la maladie et les rapports qu'ils entretenaient avec leur environnement. L'utilisation des plantes médicinales pour prévenir ou guérir des maladies était une des premières pratiques thérapeutiques dans l'histoire de l'humanité (**Eddouks *et al.*, 2007**).

Toutefois, l'emploi des plantes médicinales a connu un déclin avec le progrès de la médecine et l'apparition des médicaments modernes comme les antibiotiques, hormones, corticoïdes et autres produits de synthèse (**Gião *et al.*, 2010**). Mais, l'échec des traitements pharmaceutiques conventionnels, surtout dans le cas des maladies chroniques, la forte incidence des effets indésirables qui leur sont associés et l'insuffisance des infrastructures sanitaires dans les pays en voie de développement font qu'une large tranche de la population mondiale a retourné à la médication à base des plantes pour se soigner (**Bouxi, 2012**).

Selon les estimations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), 60 à 80 % de la population mondiale, surtout dans les pays sous-développés, ont recours aux traitements traditionnels pour satisfaire leurs besoins en matière de santé et de soins primaires (**Farnsworth *et al.*, 1985; Cheikh Ali, 2012**).

Les espèces de la famille de Zingibéracées, sont utilisées depuis des siècles dans la cuisine traditionnelle, comme colorant, en médecine traditionnelle en tant que remède. Plusieurs ont été intégrées dans les pharmacopées occidentales (**Cheikh Ali, 2012**). Citée dans le Coran comme étant la boisson du peuple de Paradis, l'espèce *Zingiber officinale* qui est consommé dans le monde entier comme une épice pour plus de 2000 ans et un agent aromatisant de l'ancien temps (**Gigon, 2012**). Utilisée traditionnellement dans les régions d'Inde et en Asie, sa richesse en métabolites secondaires et plus spécifiquement Shagaol et Gingerol lui confèrent plusieurs effets biologiques dont les activités anti-inflammatoires, antimicrobiennes, anticancéreuses et antioxydantes (**Gigon, 2012**).

La conception et la réalisation de ce travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des ressources végétales via l'établissement de bases scientifiques pour justifier leur usage en médecine traditionnelle, nous nous sommes proposés d'étudier la composition en différents antioxydants et activité antioxydante d'une plante médicinale qui est *Zingiber officinale*.

## *Introduction générale*

---

Dans ce cadre, ce travail est subdivisé en deux parties principales:

- ✚ La première concerne une synthèse bibliographique partagée en deux chapitres, le premier illustre la description botanique et la répartition géographique de la plante étudiée ainsi que ses vertus thérapeutiques et les techniques de séchage. Le deuxième chapitre traite les antioxydants.
- ✚ La deuxième partie de ce travail est consacrée au travail expérimental proprement dit et comprend deux parties: matériel et méthodes ou sont détaillés l'extraction, les dosages des composés phénoliques, les caroténoïdes et l'évaluation de l'activité antioxydante. Puis la partie résultats et discussion est dédiée à l'illustration et la discussion des différents résultats obtenus.

# *Chapitre I*

## *Généralités sur la Plante et Séchage*

**I. Généralités sur la plante**

Beaucoup de plantes appartenant à la famille du gingembre, Zingiberaceae, ont des antécédents d'utilisation médicinale dans les systèmes de médecine traditionnelle. Les plus connus sont le gingembre (*Zingiber officinale*) et le curcuma (*Curcuma longa*), qui ont fait l'objet d'études pharmacologiques et cliniques importantes au cours des trois dernières décennies, mais de nombreuses espèces moins connues sont également utilisées, principalement en Asie tropicale. La majorité sont indigènes. Plusieurs espèces de la famille sont aussi des épices importantes (**Wohlmuth, 2008**).

**I. 1. Historique du gingembre**

Le terme « Gingembre » est dérivé du nom Anglais « Ginger ». Cette plante est aussi appelé Zingiberis en grec et Zingiberi en latin, bien que dans la médecine indienne le *Zingiber officinale* est connu en tant que «vishwabhesaj», qui veut dire «remède universel» (**Bode et al., 2011**).

Le gingembre entré déjà dans la composition des techniques de momification pratiquées dans l'Égypte antique. Cette plante condimentaire et médicinale depuis plus de 3000 ans est originaire de l'Inde. De là, le gingembre s'est ensuite rapidement répandu grâce à son commerce à partir de toute l'Asie du Sud-Est, jusqu'en Afrique de l'Ouest et aux Caraïbes (**Speck et al., 2014**).

Cette épice orientale a probablement traversé la première fois la mer Méditerranée grâce aux Phéniciens pour gagner l'Europe durant l'Empire romain dès le 1er siècle. Le gingembre est une des plus anciennes plantes connues par le peuple, et il est aussi l'une des premières épices orientales. Plusieurs revues ont été publiées dans la littérature à propos de cette plante, ce qui peut refléter la popularité de son utilisation comme une épice et une plante médicinale (**Gigon, 2012; Angenot, 2014**).

**I.2. Noms vernaculaires**

Le *zingiber officinale* est connu sous le nom commun « gingembre » en français, « gingerroot » en anglais, ses noms chinois sont « shenjiang » pour le rhizome frais et « gan giang » s'il est sec. cette plante est appelée « zanjabil » dans les pays arabes à l'exception du Maroc qui la dénomme « skenjbir » ou aussi « skenjabil » (**Ross, 2005**).

### I.3. Description Botanique du gingembre

*Zingiber officinale* est une plante tropicale herbacée vivace atteignant jusqu'à 90 Cm de hauteur en culture, poussant dans les régions ensoleillées et humides, appartenant à la famille zingiberaceae (Braga *et al.*, 2006).

Son épais rhizome, partie utilisée en thérapeutique, est horizontal, mesure en moyenne 10 cm de longueur, mesure jusque 2 cm de largeur et 1,5 cm d'épaisseur, il est constitué de tubercules globuleux ramifiés, qui ressemblent aux doigts de la main, à la chair jaune pâle juteuse, d'odeur aromatique avec une saveur chaude et piquante (Favre *et al.*, 2006).



**Figure n°1 :** La plante de « *Zingiber officinale* » (Gigon, 2012)



**Figure n°2:** Rhizome de *Zingiber officinale* (Gigon, 2012).



**Figure n°3 :** Tige, feuille et fleurs du gingembre (Gigon, 2012)

Les feuilles sont persistantes, lancéolées et pointues pouvant atteindre une vingtaine de centimètres. L'inflorescence se présente en courts épis axillaires très serrés, à tige feuillu couverte d'écaillés, avec des fleurs parfumées, de couleur blanche à jaunâtre munies de bractées pourpres.

La floraison a lieu entre les mois d'août et de novembre. Les fruits sont des capsules trivalves contenant des graines noires (Braga *et al.*, 2006; Faivre *et al.*, 2006; Gigon, 2012).

En raison de son aspect esthétique et de son adaptabilité en climat chaud, le gingembre est souvent utilisé pour l'aménagement paysager dans les régions subtropicales (Gigon, 2012 ; Ross, 2005 ; Ali-Delille, 2013).

#### I.4. Classification Botanique du gingembre

Selon Faivre *et al.* (2006) et Gigon (2012), la classification botanique du gingembre est comme suit (Tableau I).

**Tableau I:** Classification botanique du gingembre (Gigon, 2012 ; Faivre *et al.*, 2006).

<b>Règne</b>	<b>Plantae</b>
<b>Sous-règne</b>	Trachéobionta
<b>Super division</b>	Spermatophytes
<b>Division</b>	Magnoliophyta (Angiospermes)
<b>Classe</b>	Liliopsida (ou Monocotylédones)
<b>Sous -classe</b>	Zingibéridae
<b>Ordre</b>	Zingibérales
<b>Famille</b>	Zingibéracées
<b>Sous -Famille</b>	Zingibéroïdées
<b>Genre</b>	Zingiber
<b>Espèce</b>	<i>Zingiber officinale</i> Roscoe

#### I.5. Mode de Culture et production du gingembre

Le gingembre est cultivé dans de nombreux pays tropicaux et subtropicaux du monde entier. Il est peu exigeant pour la qualité des sols mais épuise beaucoup les sols. Il préfère cependant les zones ombragées et humides. Sa multiplication se fait par graines ou par fragments de rhizome (Brown *et al.*, 2009).

Cette plante est principalement cultivé en Inde et dans tout le sud-est asiatique, notamment en Chine, en Indonésie et aux Philippines, mais aussi en Afrique tropicale (Nigeria) (Iserin *et al.*, 2001). En Algérie, le gingembre est importé mais il peut être cultivé par division des rhizomes que l'on plante dans des sillons profonds. Il pousse de préférence

en plein soleil, dans des sols légers, riches en acides et exempts de pierre pour le développement des rhizomes (Dellile, 2007).

Sa répartition géographique concerne toute l'Asie, les Caraïbes, l'Afrique et le Brésil, mais plus de 50 % de sa production mondiale provient de l'Inde et de la Chine (Gigon, 2012; Sangwan *et al.*, 2014). La Chine et Thaïlande sont les principales sources de gingembre pour la plupart des pays importateurs (Tableau II) (Gigon, 2012; Faivre *et al.*, 2006).

**Tableau II** : Les principaux pays producteurs du gingembre (Faivre *et al.*, 2006).

Production en tonnes 2003-2004 Données de FAOSTAT (FAO)				
Payés	Production en 2003	% Production Mondiale	Production en 2004	% Production Mondiale
Inde	275000	27%	275000	27%
Chine	259719	25%	260000	25%
Indonésie	151000	15%	151000	15%
Nigeria	110000	11%	110000	11%
Népal	90000	9%	90000	9%
Bangladesh	43000	4%	48000	5%
Thaïlande	33000	3%	33000	3%
Philippines	30000	3%	30000	3%
Autres pays	39259	3%	39270	3%
<b>Total</b>	<b>1030978</b>	<b>100%</b>	<b>1036270</b>	<b>100%</b>

### I.6. La composition chimique du gingembre

La richesse et la variété des produits chimiques présents dans les rhizomes de *Zingiber officinale* sont responsables du goût, de l'arôme et des propriétés curatives du gingembre. Les constituants spécifiques des extraits de gingembre dépendent de l'origine de la variante et de l'état des rhizomes (frais ou séchés) (Wilson *et al.*, 2013 ; Ali *et al.*, 2008). Selon une revue phytochimique du gingembre, 63 composés ont été identifiés dans le gingembre frais par rapport à 115 composés identifiés dans le gingembre sec, et 45 de ces composés sont partagés par le gingembre frais et sec. Les substances chimiques les plus actives sur le plan médical, présentes dans les rhizomes de gingembre, sont les composants de l'huile volatile et les principes piquants non volatils (gingérols et shogaols) (Grzanna *et al.*, 2005; Quave, 2013).

Les valeurs nutritionnelles du gingembre sont listées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau III : Valeurs nutritionnelles du gingembre (Gigon, 2012)**

<b>Nutriment</b>	<b>Quantité par 100 g</b>
Hydrate de carbone	1.77 g
Énergie	20 Kcal
Eau	9.94 g
Sucre	1.7 g
Fibres alimentaires	2 g
Graisses	0.75 g
Protéines	1.82 g
<b>Vitamines</b>	
Vitamine acide ascorbique (vit C)	5 mg
Acide folique (vit B9)	11µg
Pyridoxine (Vit B6)	0.16 mg
Niacine (Vit B3)	0.075 mg
Acide pantothénique (Vit B5)	0.203 mg
Thiamine (Vit B1)	0.025 mg
Riboflavine (Vit B2)	0.034 mg
<b>Minéraux</b>	
Calcium	16 mg
Magnésium	43 mg
Potassium	415 mg
Zinc	0.34 mg
Phosphore	34 mg
Fer	0.6 mg

Le rhizome est très riche en amidon 60 %. Il contient des protéines, des graisses 10 %, de l'huile essentielle et une résine (Bruneton, 2009). L'impression de feu (pseudo-chaleur) lors de la consommation de gingembre est due à la présence de shogaol, de paradol et de zingéron (Wright, 2004). La concentration de gingérol (constituant majeur du gingembre frais) est plus faible dans le gingembre séché, tandis que la concentration en shogaol

augmente (Jolad *et al.*, 2004). A partir du rhizome du gingembre sont extraites une oléorésine 6 % et une huile essentielle 1-3 % (Wright, 2004).

L'oléorésine contient les composés chimiques à l'origine de la saveur piquante, tels que le gingérol 15 %. La composition de l'huile essentielle varie beaucoup suivant l'origine géographique mais on retrouve des composés odorants comme le zingibérène (Wright, 2004).

Le gingembre contient également quelques flavonoïdes et acides phénoliques mais à faibles proportions comme la quercétine, la rutine, fisetine, morine, acide gallique, acide ferulique, acide vanillique (Ghasemzadeh *et al.*, 2010).

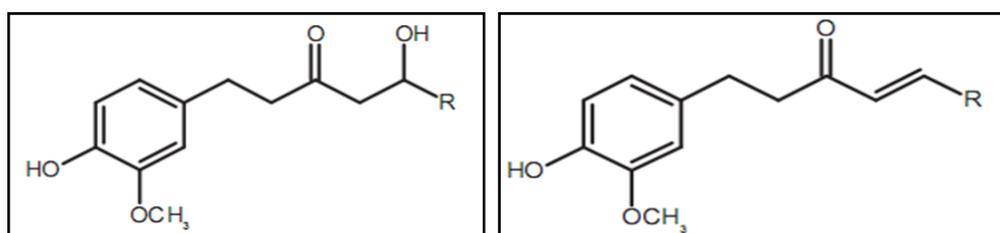


Figure n°4: structure chimique des gingérols et des shogaols (Semwal *et al.*, 2015).

### 1.7. Les activités biologiques et utilisation de *Zingiber officinale*

Le gingembre est l'une des épices les plus fréquemment utilisés dans le monde entier, en particulier dans les pays d'Asie du Sud-est. Il est également une plante médicinale qui a été largement utilisée dans la médecine chinoise, ayurvédique et grecque (Rong *et al.*, 2009).

Depuis l'Antiquité, le rhizome de gingembre a été utilisé dans les systèmes de la médecine alternative grecque, romaine, asiatique, indienne, sri-lankaise, tibétaine, méditerranée et arabe. Dans ces systèmes de médecine, le gingembre est utilisé pour traiter les rhumes, les maux de tête, les nausées, les troubles gastriques, l'arthrite. Il a été recommandé pour l'utilisation en tant que carminatif, diaphorétique, antispasmodique, expectorant, stimulant circulatoire, stimulant de l'appétit, anti-inflammatoire, diurétique.

De nombreuses propriétés pharmacologiques et cliniques ont été enregistrées pour cette plante dont le rhizome montre effectivement une activité médicamenteuse.

#### 🌈 Propriété antimicrobienne, antiparasitaire et antivirale

Les extraits de gingembre ont démontré une activité antimicrobienne contre un large éventail de micro-organismes pathogènes; ceux-ci comprennent à la fois des bactéries Gram-positives et Gram-négatives y compris *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes* et

*Haemophilus influenzae* (Akoachere *et al.*, 2002; Wohlmuth, 2008; Charles, 2013; Danciu *et al.*, 2015 ) et la levure *Candida albicans*.

Une étude in vitro montre qu'une fraction contenant du gingérol inhibent significativement la croissance de 19 souches d'*Helicobacter pylori*, le micro-organisme associé à une maladie de l'ulcère gastroduodéal ainsi qu'à un cancer gastrique et du côlon (Mahady *et al.*, 2003).

Les rhizomes du gingembre présentent une activité antifongique très forte envers divers champignons (Zhao *et al.*,2009), l'extrait de gingembre à montrer une activité antifongique importante vis-à-vis de *Rhizopus sp* (Ali *et al.*, 2008).

Une étude in vitro montre que l'extrait aqueux est efficace contre le trichomonas, nématodes et mollusques et l'infection par le virus de l'herpès et inhibiteur contre le HIV (Ranvindran *et al.*, 2005; Teuscher *et al.*, 2005, Nile et park, 2015).

#### **Propriété anticancéreuse**

Les effets chimio-préventifs du gingembre contre le cancer ont été observés dans des études portant sur le cancer de la peau, du tractus gastro-intestinal, du côlon et du sein. Ces effets impliquent un mécanisme qui contribue au piégeage des radicaux libres, aux voies antioxydantes, à l'altération des expressions géniques et à l'induction de l'apoptose, entraînant ainsi une diminution de l'initiation, de la promotion et de la progression tumorale (Ramakrishnan, 2013; Ghasemzadeh *et al.*,2015).

#### **Propriété anti-inflammatoire**

Les composants anti-inflammatoires du gingembre sont le gingérol, le shogaol, le paradol et la zingéron (Bartels *et al.*, 2015. Les gingérols inhiberaient la synthèse des prostaglandines et des leucotriènes augmentant ainsi l'aspect antiulcéreux et anti-inflammatoire (Faivre *et al.*, 2006 ).

#### **Propriété antiémétique**

Le gingembre est efficace pour réduire les nausées et les vomissements causés par la chirurgie laparoscopie gynécologique, son action est à la fois démontrée chez les animal et confirmée par des nombreux essais clinique (Ranvindran *et al.*, 2005; Gigon, 2012).

**✚ Propriété antidiabétique**

Le gingembre a montré ses effets antidiabétiques en aidant le foie et le pancréas à se décongestionner et à bien fonctionner à la fabrication de la bile donc c'est un très bon remède pour le diabète de type II (**Semwal et al., 2015**). Par conséquent, le gingembre aide à stabiliser le taux de sucre dans le sang en protégeant les cellules  $\beta$  pancréatiques, en augmentant la synthèse et la sensibilité de l'insuline (**Srinivasan, 2017**).

**✚ Propriété antioxydante**

L'activité antioxydante du gingembre est du principalement aux 6-gingérol, 6-shogaol, 8-gingérol et 10-gingérol (**Sharma et al., 2009; Atashak et al., 2014**).

Le gingembre est très intéressant sur le plan cosmétique puisqu'il contient plusieurs composés antioxydants. Ces derniers protégeant les cellules contre les dommages causés par les radicaux libres. Il contient également du cuivre, nécessaire à la formation du collagène, des études ont montré son effet sur les rides et l'élasticité de la peau (**Baobab, 2011**).

Aussi la consommation de gingembre aide à lutter contre l'action des radicaux libres et de prévenir les maladies neurodégénératives et certains cancers comme le cancer de la prostate (**Aggarwal et Shishodia, 2006 ; karna et al., 2012**). L'intérêt supplémentaire est que certains de ces antioxydants résistent à la cuisson, et sont même activés par la chaleur ce qui pourrait expliquer l'augmentation de l'activité anti-oxydante du gingembre cuit (**Shobana et Naidu, 2000**).

**✚ Autres propriétés thérapeutique du gingembre**

Utilisé depuis l'antiquité, le gingembre est une épice aux multiples vertus thérapeutiques prisé pour ces propriétés cardiovasculaires; Gingérol et shogaol abaissement de la pression artérielle et de la fréquence cardiaque (**Ranvindran et al., 2005**). ) Entre autres bienfaits, le gingembre a une action sur l'intestin, en augmentant le tonus de la musculature intestinale et le péristaltisme carminatif, antispasmodique intestinal. La poudre de gingembre (à la dose d'environ 2g) augmente le flux salivaire (**Faivre et al., 2006**).

D'autre part, les chercheurs ont découvert que le gingembre a une action analgésique, action épilatoire de certains constituants de l'huile essentielle (**Faivre et al., 2006**).

**✚ Domaine d'utilisation**

Le gingembre frais est utilisé dans l'industrie agroalimentaire, la boulangerie, notamment dans le pain d'épices et les biscuits, les confitures et les mélanges d'épices.

Il est également un ingrédient dans certaines poudres de curry, marinades, sauces, chutneys et sirops. Le gingembre séché est largement utilisé pour les sauces et les soupes dans la cuisine asiatique. Les Chinois utilisent le gingembre frais, mariné et épicié, pour les saveurs sucrées, les soupes et les légumes. Le gingembre frais est indispensable à la cuisine asiatique et orientale, il est idéal pour les viandes, les poissons, le poulet, les compotes de fruits et les salades vertes. En Angleterre, il est utilisé en grandes quantités dans la production de soda au gingembre. Les Européens et les Nord-Américains préfèrent toujours les formes séchées, cristallisées, ou en conserve (**Ding et al., 2012; Charles, 2013; Sangwan et al., 2014**).

Le gingembre est couramment utilisé dans des préparations pharmaceutiques sous différents formes galéniques (capsule, Pommade, Sirop, comprimé, pansement et infusion) ont pour but de faciliter l'administration de l'ensemble des principes actifs (**Schauenberg et Paris, 1977**).

**I.8. Toxicité de gingembre**

Le gingembre est généralement considéré comme une plante médicinale sans danger. La littérature scientifique abondante sur le gingembre ne met pas en évidence de toxicité particulière concernant cette plante. Les précautions d'emploi résident, comme d'habitude, dans la prévention des risques encourus par l'emploi de l'huile essentielle (**Faivre et al., 2006; Gigon 2012**). D'après les littératures, le gingembre est considéré comme une plante médicinale sûre, car la DL50 est de 6.284 g/Kg d'oléorésines (**Ravindran et al., 2005**).

**II-Généralité sur le séchage**

De tous temps, l'homme a recherché des méthodes pour conserver sa nourriture en empêchant et en retardant les principaux types de détérioration alimentaire, dont le séchage est l'un des procédés les plus utilisés pour la conservation des fruits et légumes assurant ainsi une meilleure répartition et qualité ainsi qu'une bonne réhydratation (**Maskan, 2001 ; Oteng, 1984**). Le séchage comme un moyen de conservation ou comme une étape dans la transformation de certains produits, est utilisé à la fois dans le monde rural et industriel à travers l'agro-alimentaire, le textile (**Benkhelfellah et al., 2005**).

Le séchage consiste en sujets d'évaporation de l'eau et de composés volatils, réduisant la croissance des micro-organismes et des réactions chimiques non désirées telles que le brunissement enzymatique afin d'augmenter la vie du produit. Il aide à obtenir un produit sec et homogène à l'extrémité du séchage (**Verdier et al., 2016**).

## **II-2 Les différents types de séchage**

### **II-2.1. Séchage thermique**

#### **II-2.1.1 Séchage par ébullition**

Un séchage par ébullition a lieu lorsque le flux thermique transféré au produit est très intense à cause d'un écart de température très élevé entre la source chaude et le produit dans toutes ces conditions la température du produit atteint un niveau tel que la pression de vapeur d'eau (p) de ce produit est égale ou dépasse à la pression totale ambiante (**Bimbenet et Bonazzi, 2002**). L'ébullition proprement dite s'observe difficilement dans les solides ou les corps pâteux que dans les liquides (**Perkin, 1980 ; Jean, 2011**).

#### **II-2.1.2 Séchage par entrainement**

Lorsqu'un produit humide est placé dans un courant de gaz suffisamment chaud et sec, il s'établit un écart de température et de pression partielle d'eau tel que le gaz apporte au produit une partie au moins de l'énergie nécessaire à l'élimination de l'eau ainsi que l'eau est évaporée sans ébullition sous l'effet du gradient de pression partielle d'eau (**Djerroud, 2010**).

#### **II-2.1.3 la fumaison**

Le fumage est une opération de transformation pour la conservation de produits et la diversification alimentaire (conférer une saveur). Il est souvent associé à une cuisson, un séchage et/ou un salage (**Rivier et al., 2009**).

#### **II-2.1.4 Séchage à l'air libre**

Le séchage à l'air libre est réalisé dans l'ombre, avec une circulation naturelle de l'air. La température moyenne de la chambre est de  $22 \pm 2$  °C. Le séchage est contrôlé par convection naturelle (**Lahmari et al., 2012**).

#### **II-2.1.5 Séchage à l'étuve**

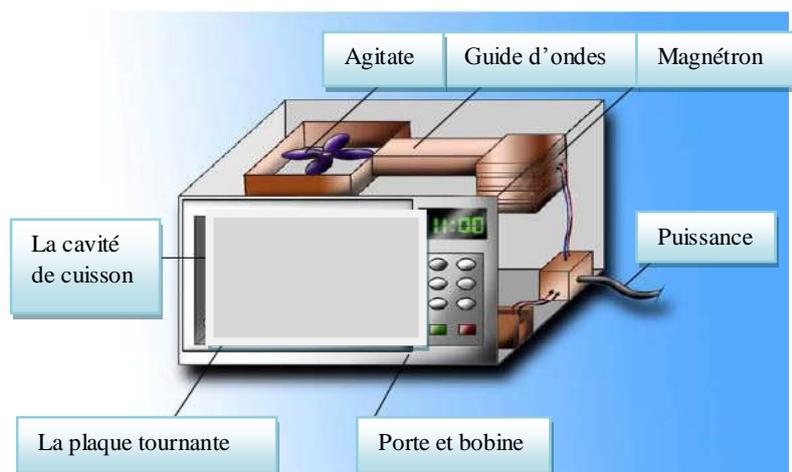
Cette méthode, l'air chauffé est mis en contact avec le matériel humide pour faciliter la chaleur et le transfert massif; la convection est principalement impliquée. Il faut préciser la

consigne de température de l'étuve, le temps de séjour, et la taille de l'échantillon à tester. Le choix de ces deux critères doit être adapté au rapport surface/volume (Vasseur, 2009).

### II-2.1.6 Séchage par microondes

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

Le fonctionnement d'un four à micro-onde est simple. L'énergie électrique apporté alimente le magnétron qui convertie l'énergie électrique en champ électromagnétique et par un guide d'onde (tube rectangulaire en métal), les micro-ondes produites sont dirigées vers l'agitateur d'onde et pénètrent dans l'enceinte métallique où se trouve l'aliment à chauffer sur une plaque tournante, qui permettre au produit alimentaire d'être exposé aux micro-ondes qui pénétrant l'aliment pour atteindre les molécules d'eau (Figure n°5 ) (Mathavi et al.,2013).



**Figure n°5:** schéma d'un four à micro-onde (Mathavi et al., 2013).

#### ➤ Avantages spécifiques des micro-ondes

Le séchage par micro-onde présente bels avantages, entre autre comme une opération très rapide dans le temps, permettant des économies d'énergie, et une qualité du produit plus élevée. Ce séchage est très élargi dans divers applications comme l'inactivation, la stérilisation enzymatique et la pasteurisation des produits alimentaire (jus de fruit, laits, purée alimentaire, viande) (Fito et al., 2005).

# *Chapitre II*

## *Antioxydants*

**I.1. Oxydation et antioxydants**

L'oxydation est le phénomène qui fait rouiller les métaux, qui fait flétrir les légumes et les fruits, rancir les graisses. Il modifie le goût et la couleur des aliments. L'organisme subit également le phénomène d'oxydation, mais il est équipé pour lutter contre ces altérations : un énorme système de défense est en permanence en place, avec des systèmes enzymatiques et/ou des systèmes de régénération de complexes mettant en jeu (Yohan , 2004).

Mais ce système de défense est parfois débordé. Surtout quand les agressions sont multipliées sous l'effet de la fumée du tabac, de la pollution, du soleil, d'un effort physique intense (Yohan , 2004).

Plusieurs cas peuvent engendrer des déséquilibres :

- ✓ Soit dans des conditions de stress et alors l'oxydation augmente au point de ne pas pouvoir être régulée ;
- ✓ Soit dans des conditions de mauvaise alimentation et alors les quantités d'antioxydants apportés ne sont pas suffisantes pour rétablir l'équilibre.

**I.2. Les radicaux libres**

Un radical libre est une molécule indépendante contenant un ou plusieurs électrons non appariés. Ces électrons offrent une très grande réactivité chimique aux radicaux libres qui cherchent à se stabiliser (Albert *et al.*, 2003). Dans l'organisme l'oxygène est à l'origine des différents radicaux libres, l'ensemble de ces radicaux et de leurs précurseurs sont souvent appelé espèces réactives de l'oxygène. Au niveau cellulaire les radicaux libres causent essentiellement l'oxydation des acides gras (Gladine *et al.*, 2007), sur les protéines, les acides nucléiques (Hennebelle *et al.*, 2004; Ghedira 2005). Ils entraînent un stress oxydant quand ils sont en excès.

**I.3. Espèces réactives de l'oxygène et de l'azote**

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) (figure 6) regroupent non seulement des radicaux libres (RL)(Berger, 2006; Koechlin-Ramonatxo, 2006), c'est-à-dire des substances chimiques (atome ou molécule) qui possèdent un électron non apparié, ce qui lui confère une grande instabilité et une forte réactivité (Ré *et al.*, 2005), tels que l'anion superoxyde ( $O_2^{\circ}$ ) ou le radical hydroxyle ( $^{\circ}OH$ ) mais également des dérivés non radicalaires tels que le peroxyde

d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ou les hydroperoxydes (ROOH) (Berger, 2006; Koechlin-Ramonatxo, 2006).

En situation physiologique, il y a un équilibre entre la production d'ERO et les systèmes de défenses antioxydants. Il faut souligner que les ERO peuvent d'ailleurs jouer un rôle physiologique important comme dans la phagocytose des bactéries par les macrophages (Pincemail *et al.*, 2002) et la libération du monoxyde d'azote (NO) par l'endothélium, qui constitue un des mécanismes de régulation du tonus vasculaire. Les RL interviennent aussi dans la signalisation cellulaire (Berger, 2006). Toutefois, les ERO peuvent attaquer des macromolécules biologiques, à savoir, les lipides, les protéines et l'ADN (Bandyopadhyay *et al.*, 1999; McGrath *et al.*, 2001), provoquer l'oxydation et endommager la membrane, inactiver les enzymes et endommager l'ADN (Masella *et al.*, 2005).

L'incapacité pour l'organisme à se défendre contre l'agression des ERO, en raison de l'existence d'un déséquilibre entre la production de ces substances et la capacité de défense des antioxydants, présente un stress oxydant (Koechlin-Ramonatxo, 2006) impliqué dans de nombreuses pathologies (Moure *et al.*, 2001; Pincemail *et al.*, 2002).

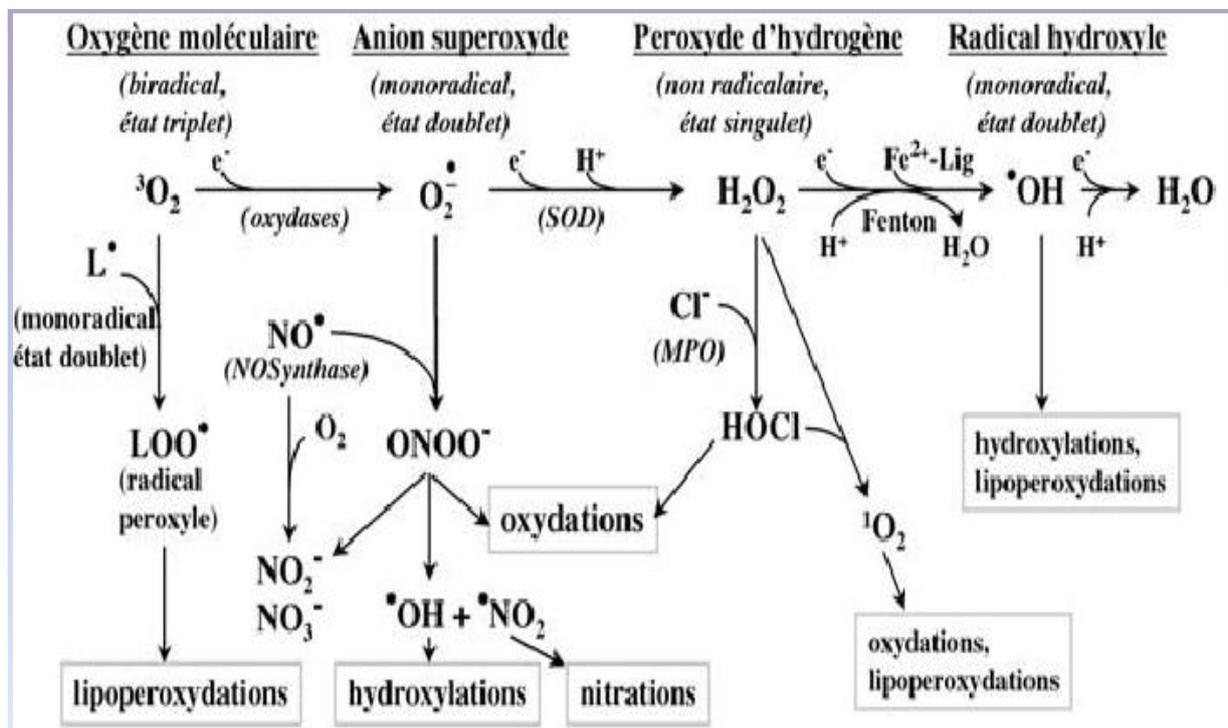


Figure n°6 : Espèces réactives de l'oxygène produites en cascade à partir de l'oxygène fondamental (Deby-Dupont *et al.*, 2002).

I.4. Stress oxydatif

Le stress oxydatif est défini comme étant le déséquilibre entre la génération des espèces réactives de l'oxygène et la capacité du corps à neutraliser et à réparer les dommages oxydatifs (Ghedira 2005; Pincemail *et al.*, 2001).

Ce phénomène entraîne des dommages au niveau de la structure des protéines, des lipides et des acides nucléiques. L'accumulation de ces lésions au cours du temps contribue au vieillissement cellulaire accéléré. Plusieurs pathologies peuvent se développer telles que les maladies cardiovasculaire, le cancer, l'athérosclérose, le diabète, l'Alzheimer (Hennebelle *et al.*, 2004; Ghedira 2005; Benhammou 2009).

II. Antioxydants

L'organisme à l'état naturel contient des systèmes de lutte contre les espèces oxydantes qui permettent de sauvegarder les molécules tant structurales que fonctionnelles. Ces systèmes de défense restent efficaces tant que les espèces oxydantes ne sont pas présents à des taux dépassent le potentiel de lutte intrinsèque (Figure n°7).

Les antioxydants peuvent être classés selon leurs origines en deux classes les antioxydants enzymatiques et les non enzymatiques localisé dans les compartiments intra et extracellulaires (Amrowicz *et al.*, 2004; Delattre *et al.*, 2005; Berger, 2006).

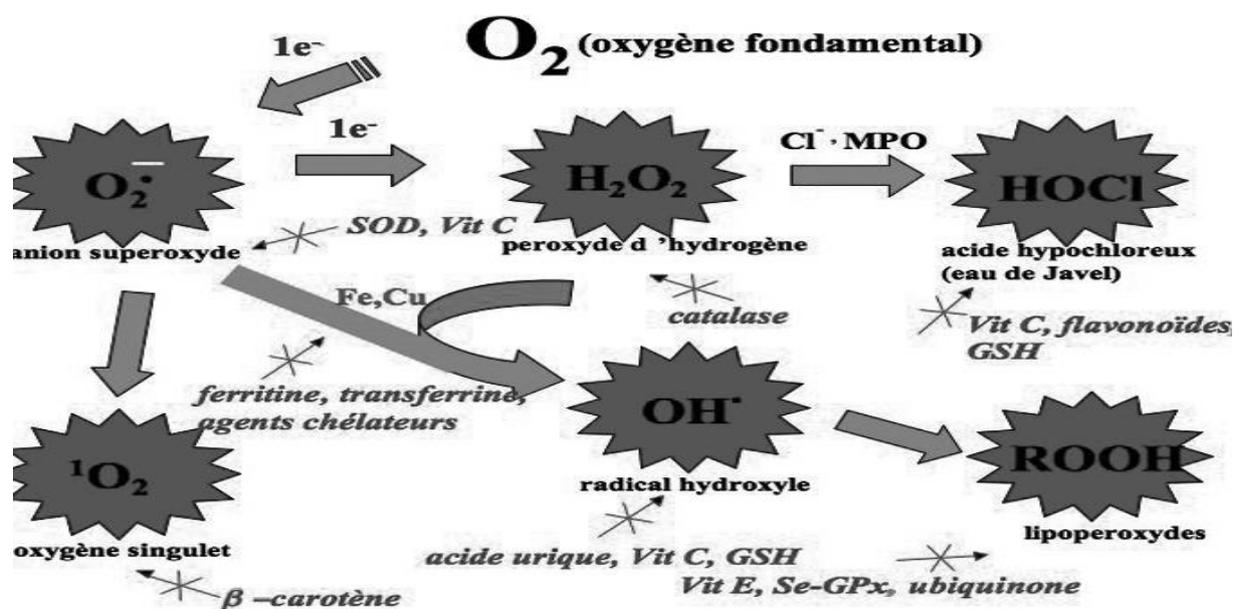


Figure n°7: Aperçu des différentes espèces oxygénées activées (EOA) et des antioxydants régulateurs de leur production (Haleng *et al.*, 2007).

**II.1. Systèmes antioxydants enzymatiques****✚ Superoxyde dismutase**

La superoxyde dismutase (SOD), est une métallo-enzyme à manganèse, à cuivre ou à zinc présente dans la mitochondrie. La superoxyde dismutase catalyse la dismutation de deux anions superoxydes en peroxyde d'hydrogène et une molécule d'oxygène à pH neutre. La transformation du radical superoxyde peut s'effectuer spontanément mais la SOD l'accélère environ dix milles fois. La superoxyde dismutase est inductible, sa biosynthèse est augmenté par l'hyperoxygénation et par la présence de certaines toxiques (**Young et Woodside, 2001; Jacques et André, 2004; Afonso et al.,2007 ; Ignea et al., 2013**).

**✚ Glutathion peroxydase**

La glutathion peroxydase est une enzyme qui constitue l'un des plus importants systèmes enzymatiques de protection car elle est capable non seulement de détoxifier le peroxyde d'hydrogène, mais aussi d'autres hydroperoxydes résultant de l'oxydation du cholestérol ou des acides gras (**Ganther, 1999**). La glutathion peroxydase se trouve dans le cytoplasme et dans les mitochondries, elle nécessite la présence de deux cofacteurs importants: le glutathion réduit et le sélénium (**Wassmann et al.,2004; Valko et al.,2006**).

En présence de deux molécules de glutathion sous forme réduites, la glutathion peroxydase catalyse la transformation de peroxyde d'hydrogène en deux molécules d'eau. Au fur et à mesure de sa consommation par la glutathion peroxydase, le glutathion doit être régénéré, cela est rendu possible par une glutathion réductase qui consomme une molécule de NADPH fourni par la voie des pentoses phosphates (**Jacques et André, 2004**).

**✚ Catalase**

La catalase (CAT) est une enzyme antioxydante intracellulaire essentiellement présente au niveau des peroxysomes cellulaires et dans une certaine mesure dans le cytosol, elle catalyse la transformation du  $H_2O_2$  en  $H_2O$  et  $O_2$  en deux étapes. En éliminant le  $H_2O_2$ , cette enzyme élimine indirectement l' $O_2^{\bullet-}$  qui est à l'origine du  $H_2O_2$  par action de la SOD. Cette enzyme est particulièrement importante dans le cas de quantité réduite en GSH ou de la diminution de l'activité de la GPx et joue un rôle significatif dans l'adaptation des cellules au stress (**Young et Woodside, 2001 ; Wassmann et al.,2004; Valko et al., 2006**).

**✚ Thioredoxine réductase**

Thioredoxine réductase (TRx R) est une enzyme antioxydante qui intervient dans les processus cellulaires réducteurs thiol-dépendants. Cette enzyme régénère la thiorédoxine réduite, qui sert d'équivalent réducteur et peut également réduire directement les hydroperoxydes lipidiques. De plus, la thioredoxine et la glutarédoxine sont des réducteurs pour la GPx plasmatique. Il a été démontré que la thiorédoxine stimule l'expression de la MnSOD. Le système thiorédoxine peut efficacement régénérer les protéines qui ont été inactivées par le stress oxydant (**Wassmann *et al.*, 2004**).

**II.2. Systèmes antioxydants non enzymatiques****II.2.1. La vitamine E**

Ce terme désigne un ensemble d'isomères, les tocophérols et les tocotriénols (Annexe 1). D'un point de vue biologique, deux isomères sont particulièrement intéressants, l' $\alpha$ - et le  $\gamma$ -tocophérol. Leur caractère hydrophobe leur permet de s'insérer au sein des membranes riches en acides gras polyinsaturés, où ils jouent un rôle protecteur en réagissant avec les radicaux peroxydes (ROO•) pour former un radical tocophéryle, empêchant ainsi la propagation de la peroxydation lipidique. (**Gardès-Albert *et al.*, 2003; Mohammedi, 2006**).

**II.2.2. La vitamine C**

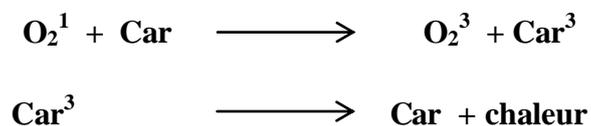
La plupart des mammifères sont capables de synthétiser la vitamine C dans leur foie ou dans leurs reins. Ce n'est pas le cas de l'homme qui doit assurer un apport journalier d'environ 100 mg via une alimentation riche en fruits et légumes (**Pincemail *et al.*, 1998**). Le rôle antioxydant de l'acide ascorbique découle de ses propriétés réductrices (annexe 1). C'est le plus puissant des antioxydants hydrosolubles. L'effet antioxydant de l'acide ascorbique peut être direct par inhibition des RL<sub>s</sub> ou indirect par la régénération des tocophérols (**Chepda *et al.*, 1999**).

La vitamine C agit comme un piègeur efficace des espèces oxydantes telles que les radicaux superoxydes, hydroxyles, peroxydes et l'oxygène singulet (**Bermond, 1990**).

**II.2.3. Les caroténoïdes**

Les caroténoïdes sont des pigments liposolubles naturels, synthétisés par les plantes, contribuent à la coloration jaune, orange et rouge des végétaux (**Stahl et Sies, 2004**). Ils

dérivent d'une structure basale à 40 carbones qui inclue un système de doubles liaisons conjuguées (Allen *et al.*, 1994; Tanumihardjo, 2013). Le pouvoir antioxydant des caroténoïdes est basé sur leur propriété atténuante de l'oxygène singulet et ils le transforment en O<sub>2</sub> moléculaire triplet (Beutner *et al.*, 2001) et leur capacité à piéger les radicaux peroxydes (Sergio *et al.*, 1999).



Les caroténoïdes jouent un rôle important dans la protection des membranes cellulaires et des lipoprotéines contre les dommages de la peroxydation (Stahl et Sies, 2004). Certaines caroténoïdes sont des précurseurs de la vitamines A d'ou jouent un rôle nutritionnel important et interviennent dans la perception visuelle (Pincemail *et al.*, 1998).

#### II.2.4. Les composés phénoliques

L'intérêt des composés phénoliques a fortement augmenté en raison de leur capacité antioxydante et leurs possibles effets bénéfiques sur la santé humaine. Il s'agit notamment de la prévention du cancer, des maladies cardiovasculaires et d'autres troubles pathologiques (Valko *et al.*, 2006).

Les activités chimiques des polyphénols en terme de leurs propriétés réductrices prédit leur potentiel pour une action antioxydante due à leur capacité à piéger les ERO, donner des atomes d'hydrogène ou d'électrons, chélater les ions métalliques et moduler l'activité des enzymes (Balasundram *et al.*, 2006; Rodrigo et Bosco, 2006). L'efficacité antioxydative des polyphénols dépend de leur structure chimique (Hagerman *et al.*, 1998; Moure *et al.*, 2001).

##### II.2.4. 1. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes désignent une très large gamme de composés naturels appartenant à la famille des polyphénols (Zoughlache, 2008). Ce sont des composés possédant un squelette de base à quinze atomes de carbone, constitués de deux noyaux aromatiques et d'un hétérocycle central de type pyrane, formant une structure C6-C3-C6 (Annexe1) (De Souza et De Giovanni, 2004).

Ces molécules sont considérées comme des pigments quasiment universels des végétaux; ils sont responsables de la pigmentation des fleurs. Ils interviennent dans les processus de défense contre le rayonnement UV, les herbivores et les attaques microbiennes

(Korkina *et al.*, 1997). Selon la structure chimique, plus de 4000 flavonoïdes ont été identifiés (Pham-Huy *et al.*, 2008). Ils sont doués de grandes capacités antioxydante (Miller,1996). Ils jouent un rôle protecteur dans beaucoup de pathologies chroniques et dégénératives tels que le cancer, les maladies cardiovasculaires, l'arthrite, le vieillissement, la cataracte, la perte de la mémoire, l'inflammation, et l'infection (Pham-Huy *et al.*,2008).

#### **II.2.4.2. Les acides phénoliques**

Ce sont de puissants antioxydants qui peuvent piéger les ERO et chélater les métaux de transition (Barreira *et al.*, 2008). Leur activité dépend du nombre et de la position des groupements hydroxyles en relation avec le groupement fonctionnel carboxylique.

- ✓ L'activité antioxydante des acides phénoliques augmente avec l'augmentation du degré d'hydroxylation.
- ✓ Les acides hydroxycinnamiques exhibent une activité antioxydante plus élevée comparée à celle des acides hydroxy-benzoïques. L'activité élevée de l'acide hydroxycinnamique pourrait être due au groupement  $\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$ , qui assure une plus grande capacité de donation d'hydrogène et de stabilisation du radical que le groupement  $\text{COOH}$  dans les acides hydroxybenzoïques (Scalbert et Williamson, 2000, Balasundram *et al.*, 2006).

#### **II.2.5. Les oligo-éléments**

Les oligo-éléments comme le cuivre, le zinc et sélénium exercent un rôle important contre le stress oxydant. En effet, ces éléments sont des cofacteurs de nombreuses enzymes impliquées dans la détoxification des ERO telles que les Cu-ZnSOD et la glutathion peroxydase (Haleng *et al.*,2007; Pham-Huy *et al.*, 2008; Valko *et al.*, 2006).

#### **II.2.6. Protéines chélatrices des métaux de transition**

Les protéines chélatrices des métaux de transition telles que la ferritine ,la transferrine, la lactoferrine , et la céruloplasmine agissent en tant que composant crucial dans le système de défense antioxydant en séquestrant le fer et le cuivre de sorte qu'ils ne soient pas disponibles pour former le radical hydroxyle (Young et Woodside, 2001).

# *Chapitre III*

## *Matériel et Methodes*

**I. Matériel végétal**

Le présent travail a été réalisé sur les racines de gingembre frais (*Zingiber officinale Roscoe*) qui a été procuré d'un supermarché de la ville de Bejaïa.



**Figure n°8** : Rhizome de *Zingiber Officinale Roscoe*.

Ces racines ont été lavées soigneusement avec de l'eau pour le débarrasser de toutes les impuretés puis coupées en fines rondelles d'environ 4 mm d'épaisseur puis soumises au séchage par microondes à différentes puissances (180, 360, 540, 720 et 900W).

**I.2 Taux d'humidité**

Ce test est très important car il permet de suivre au mieux l'étape de séchage. Il a été déterminé par le procédé de séchage à l'étuve. 5 g de gingembre (coupé en rondelles) ont été séchés à  $103 \pm 2$  °C.

La teneur en eau est déterminée selon la formule suivante:

$$H(\%) = [(P_0 - P_f) / P_0] * 100$$

Avec :

H(%): humidité;

P<sub>0</sub>: représente le poids initial de l'échantillon;

P<sub>f</sub>: représente le poids final de l'échantillon.

**I.3. Le séchage par microondes**

Des échantillons de 100g de gingembre ont été séchés par microondes à différentes puissances (180, 360, 540, 720 et 900 W).



**Figure n°9** : les différentes étapes de séchage de gingembre.

#### **I.4 Broyage et tamisage**

Une fois le matériel végétal est séché, les échantillons ont été broyés à l'aide d'un broyeur électrique. Les poudres ainsi obtenues ont été tamisées à l'aide d'un tamiseur automatique, pour obtenir des poudres fines et homogènes dont la granulométrie est de 250  $\mu\text{m}$ .

Ces poudres ont été conservées dans des bocaux en verre teintés, hermétiquement scellés et à l'abri de la lumière.



**Figure n°10** : photographie de broyeur électrique et la poudre de gingembre.

✚ Pour les dénominations des poudres obtenues:

**P100** cela veut dire la puissance entière du micro onde qui est de 900 watts

**P80**= 80% de la puissance du micro-onde, c'est à dire 720 watts

**P60**= 60% de la puissance du micro-onde, c'est à dire 540 watts

**P40**= 40 % de la puissance du micro-onde, c'est à dire 360 watts

**P20**= 20% de la puissance du micro-onde, c'est à dire 180 watts



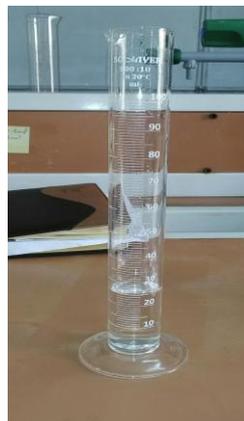
**Figure n°11:** cinq échantillons de poudre de Rhizome de *Zingiber Officinale*.

## II. Extraction des composés phénoliques

L'extraction utilisée dans cette étude est de type solide-liquide. Son principe consiste à la séparation des composés phénoliques par diffusion à partir d'une matrice solide en utilisant une matrice liquide (solvant).

L'extraction des composés phénolique totaux à été réalisés selon le protocole **SuprabhatMuk *et al.*, (2012)** (1g de poudre dans 50 ml d'éthanol à 75%).

-1g de poudre de gingembre pour chaque échantillon est mélangé avec 25 ml d'éthanol à 75%



- Homogénéisation 1h à 40 °C
- Centrifugation à 1800 rpm/ 30 min
- Récupérer le 1<sup>er</sup> surnageant dans un bécher



Figure n°12 : photographie de récupération de l'extrait.

Après avoir répété le procédé deux fois (25 ml +25 ml), les extraits ont été assemblés, filtrés à l'aide d'un papier filtre et conservés à 4°C jusqu'au dosage des composés phénoliques.



2ème extraction



Filtration



conservation

### III. Dosage des antioxydants des différents extraits

Dans le but d'évaluer qualitativement et quantitativement le contenu en composés phénoliques des différents extraits de *Zingiber officinale*, trois protocoles ont été suivis afin de doser les teneurs en antioxydants à savoir: les phénols totaux, les flavonoïdes totaux et caroténoïdes.

#### III.1. Dosage des polyphénols

Les composés phénoliques réagissent avec le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce dernier est composé d'un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMO_{12}O_{40}$ ) qui se réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène ( $W_8O_{23}$ ) et de molybdène ( $Mo_8O_{23}$ ). Cette réaction

développe une coloration bleue qui est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux et qui peut être dosée par spectrophotométrie UV-VIS dont l'absorption maximale est comprise entre 725 et 750 nm (**Ribéreau-Gayon, 1968; Cicco et al., 2009**).

Le dosage des composés phénoliques totaux est effectué en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu est réalisé selon la méthode de **Chan et al (2008)** avec quelques modifications apportées.

Dans des tubes à essai, un volume de 500 µl de réactif de Folin Ciocalteu 10% est additionné à chaque tube contenant préalablement 200 µl d'extrait (mg/ml) de plante. Après 5 min d'agitation, 1500 µl de la solution de carbonate de sodium (7.5%) sont ajoutés à chaque tube. Une fois agités, les tubes sont incubés pendant 1 heure à température ambiante et à l'obscurité. Des mesures d'absorbance sont enregistrées à 765 nm en utilisant un spectrophotomètre par rapport à un blanc préparé sans extrait.

Les concentrations en composés phénoliques des extraits sont déterminées en se référant à une courbe d'étalonnage, obtenue avec l'acide gallique (annexe II). Les résultats sont exprimés en mg équivalents d'acide gallique par g de matière sèche (mg EAG/g MS).

### **III.2. Dosage des flavonoïdes totaux**

Les flavonoïdes possèdent des groupements hydroxydes OH libre en position 5, susceptibles de donner en présence du chlorure d'aluminium ( $AlCl_3$ ) un complexe très stable de couleur jaunâtre. Ce dernier peut être dosé par un spectrophotomètre UV-VIS à une longueur d'onde 415 nm (**Ribéreau-Gayon, 1968; Bahorun et al., 1996 ; Djeridane et al., 2006**).

La concentration en flavonoïdes est déterminée selon la méthode rapportée par **Jelled et al. (2015)**, qui consiste à mélanger 0.5 ml d'extrait avec 2 ml d'eau distillé et 0.15 ml de la solution  $NaNO_2$  à 5%, après 6 min un volume équivalent du trichlorure d'aluminium à  $AlCl_3$  à 10%. préparé dans du méthanol, est ajouté. Après 6 min on ajoute 2 ml d'une solution de  $NaOH$  4%. Le volume est ajusté à 5 ml avec l'eau distillé. Le mélange est laissé 15 min à l'obscurité, à température ambiante puis l'absorbance est mesurée à 510 nm.

Les concentrations en flavonoïdes sont déterminées en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée avec la quercétine (Annexe II). Les résultats sont exprimés en mg équivalent quercétine par g de matière sèche (mg EQ/g MS).

### **III.3. Dosage des caroténoïdes**

Les caroténoïdes sont des composés insolubles dans l'eau et solubles dans les solvants apolaires tels que l'hexane et le chloroforme.

L'extraction de ces substances consiste à utiliser deux phases: une phase apolaire qui permet de récupérer les caroténoïdes et une phase polaire (éthanol/acétone) qui élimine les interférents tels que les composés phénoliques ( **Ajila et al., 2007**).

La teneur en caroténoïdes a été déterminée selon la méthode décrite par **Sasse-Kiss et al. 2005**, avec quelques modifications. 20 ml du mélange hexane, éthanol et acétone (2/1/1, V/V/V) sont ajoutés à 1g de poudre et le mélange obtenu est agité pendant 1h. La phase hexanique est récupérée. Pour un volume bien déterminé d'extrait hexanique de plante, un même volume d'une solution méthanolique de KOH à 10% est ajouté, suivi d'une agitation pendant 30 minutes, pour éliminer la chlorophylle et la matière grasse qui peuvent gêner l'absorbance des caroténoïdes. Les modifications dans cette méthode résident dans l'absence de la centrifugation et la réalisation de la saponification avec le KOH. La détermination des absorbances est effectuée à la longueur d'onde de 450 nm.

Les concentrations en caroténoïdes sont estimés en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant le  $\beta$  carotène (annexe II) et les résultats sont exprimés en mg équivalent de  $\beta$  carotène par gramme de poudre.

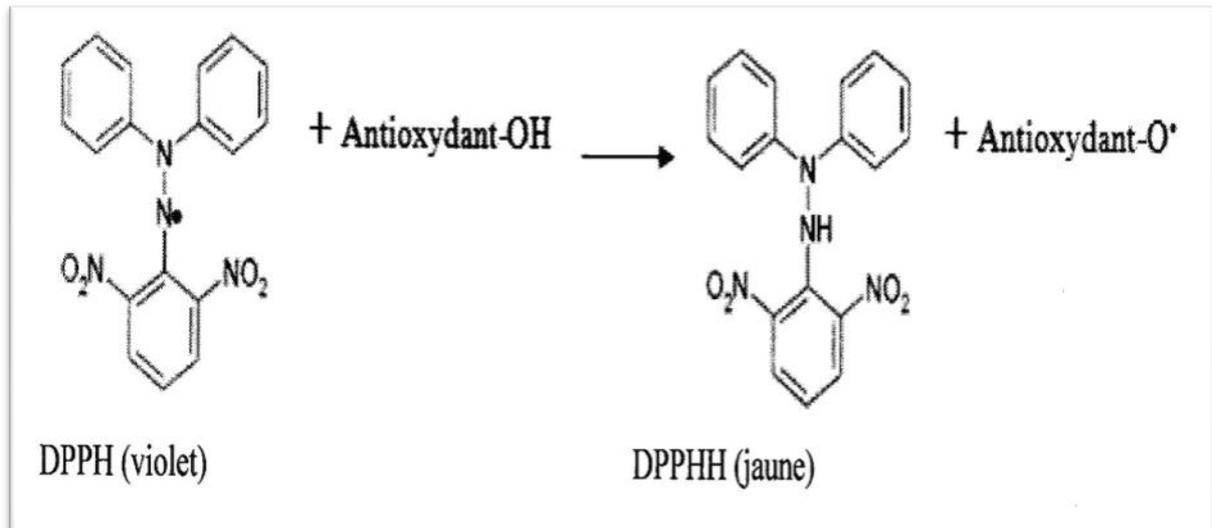
## **IV. Activité antioxydante**

### **IV.1 Activité scavenger du radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH)**

Le piégeage du radical stable DPPH est une méthode largement utilisée pour évaluer l'activité antioxydante (**Blanc et al., 2011; Ferreira et al., 2006**).

Le DPPH est un radical libre stable et accepteur d'électron ou d'hydrogène. La méthode est basée sur la réduction de la solution alcoolique de DPPH en présence d'un antioxydant donneur d'hydrogène et la formation de la forme non radicalaire DPPH-H (figure n°13). La capacité de réduction des radicaux DPPH est déterminée par la diminution de son

absorbance à 517 nm visuellement perceptible comme une décoloration du violet au jaune (Gulçin *et al.*, 2006; Kouamé *et al.*, 2009). La réaction avec un antioxydant phénolique est comme suit:



**Figure n°13:** Mécanisme réactionnel du test DPPH• entre l'espèce radicalaire DPPH• et un antioxydant (AH) (Molyneux, 2004).

L'effet scavenger de l'extrait sur le radical DPPH• augmente normalement avec la concentration en antioxydants (Barreira *et al.*, 2008). Il est également dépendant du temps ce qui explique le temps d'attente réactionnel de 30 minutes dans le protocole utilisé.

L'activité antiradicalaire des extraits du gingembre analysés est déterminée selon le protocole Brand-Williams *et al.*, (1995).

Un volume de 0.1 ml des différentes concentrations d'extrait (100-150 200 µg/ml) des différents extraits est ajouté à un volume de 3 ml d'une solution DPPH préparé dans le méthanol. Ce mélange est agité et laissé au repos. La décoloration, par rapport à un contrôle, est mesurée au spectrophotomètre à 517 nm après incubation à température ambiante, à l'obscurité, pendant 30 minutes.

L'activité antiradicalaire est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Inhibition (\%)} = \left( \frac{AC - AS}{AC} \right) \times 100$$

Ac : absorbance du contrôle

As : absorbance de l'extrait.

**V. Etude statistique**

Toutes les déterminations ont été effectuées en triple essais. La moyenne et l'écart type pour chaque test ont été calculés par Microsoft Excel. Les différents résultats obtenus pour les trois extraits ont été comparés par une analyse de variance (ANOVA). Des différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre les moyennes sont déterminées par le test LSD (Low Significant Difference). Le logiciel utilisé est STATISTICA5.5.

# *Chapitre IV*

*Résultats et discussion*

## I. Taux d'humidité

L'humidité et la matière sèche sont deux paramètres complémentaires importants pour connaître la teneur en eau, et pour pouvoir estimer le rendement après séchage. Cette figure montre le taux d'humidité du gingembre qui est de 93.05% et la matière sèche ne représente que 6.95%.



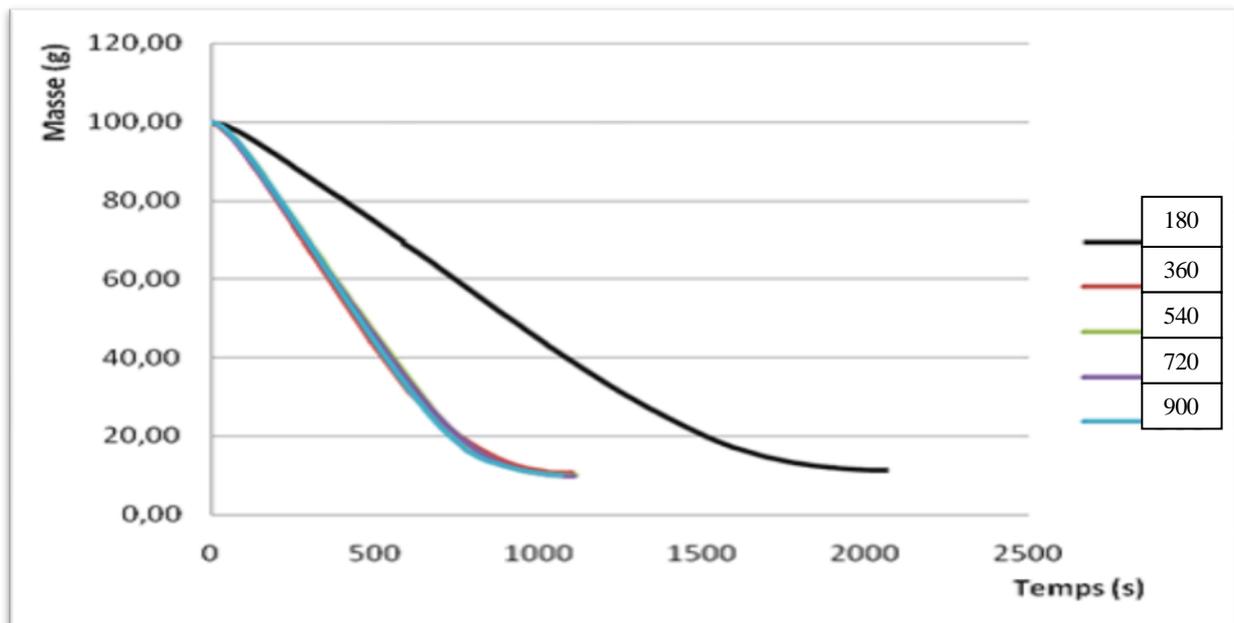
**Figure n°14** : représentation du taux d'humidité et la matière sèche de gingembre.

Le taux élevé d'humidité est une source de dégradation des antioxydants. L'eau peut affecter la solubilité lors de l'extraction et même la stabilité des composés actifs. En effet, la présence de l'eau est un élément gênant de l'extraction (**Owen et Johns, 1999**). Ces inconvénients peuvent être éliminés par un séchage rapide, aussitôt après la récolte du végétale (**Ribéreau-Gayon, 1968; Abou el khair et al., 2010**). Ainsi, le matériel végétal séché peut être conservé pendant un certains temps sans modification importante.

## II. Séchage par microonde

La perte de masse en fonction du couple temps-puissance du séchage assisté par microonde est représentée dans la figure 15.

Les cinétiques de séchage montrent que la perte de masse des rhizomes du gingembre est en fonction du couple temps-puissance du séchage par micro-onde. Le temps de séchage le plus long est attribués à la puissance 180 W, qui est de 2000 s. Par contre, laps de temps le plus court est obtenu lors de séchage à 360 W, 720 W et à 900 W (la stabilité de la masse est atteinte à 1000 s).



**Figure n°15:** L'évolution de la perte de masse en fonction de couple temps-puissance du séchage au microonde.

Les résultats obtenus montrent que la durée de séchage est inversement proportionnelle aux puissances de séchage, donc plus le niveau de puissance est élevé, plus le temps de séchage est réduit. L'influence de la puissance sur les cinétiques de séchage peut s'expliquer par le fait que le transfert d'humidité au sein de l'échantillon de gingembre est plus rapide lorsque la puissance de chauffage microondes est plus élevée (**Chemat et al., 2008**). En effet, plus de chaleur est générée au sein de l'échantillon créant ainsi une différence de pression de vapeur d'eau plus grande entre le centre et la surface du produit. C'est ce fort gradient de pression qui serait à la base de l'élimination rapide de l'eau pour les puissances élevées (**Al-Harahsheh et al., 2009**). Et cela demeure ainsi jusqu'à ce que la teneur en eau à la surface du produit diminue et devienne un facteur limitant du séchage, conduisant à son ralentissement (**Abbasi et Azari, 2008**).

### III. Teneurs en composés phénoliques

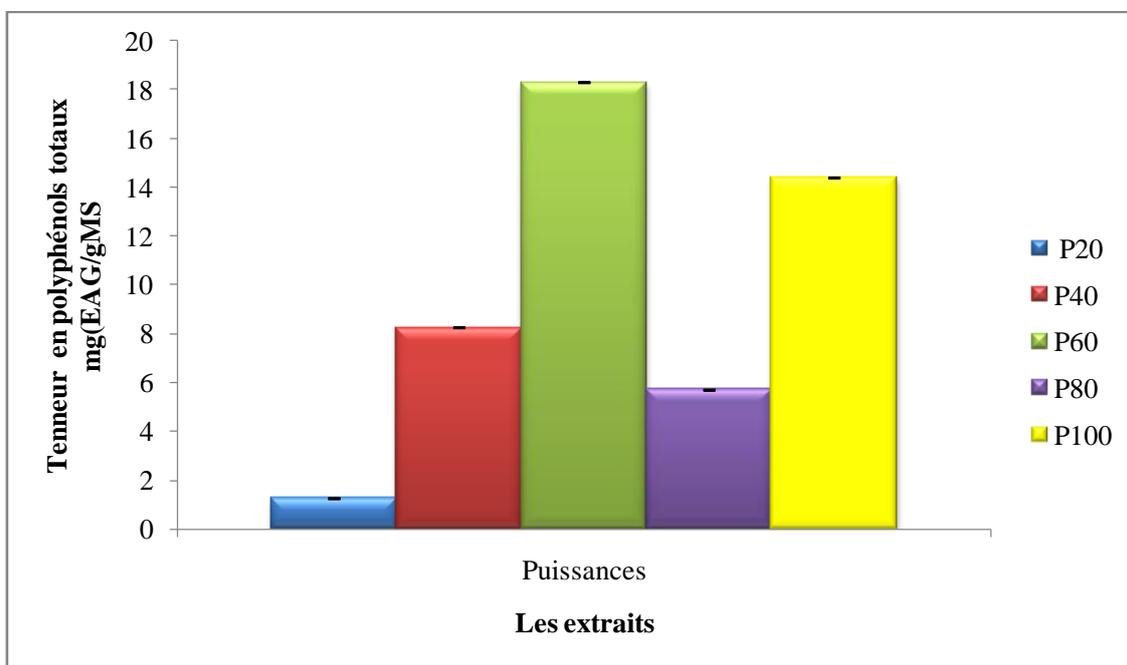
Les composés phénoliques sont l'objet de nombreuses études à cause de leur action bénéfique sur la santé (**Richard et al., 2001**). Après l'ajout des réactifs de Folin-Ciocalteu et du carbonate de sodium, une couleur bleue est obtenue dont l'intensité varie en fonction de la concentration phénolique de l'extrait.

### III. 1. Dosage des polyphénols totaux

Les résultats obtenus pour les polyphénols totaux (méthode du Follin-Ciocalteu) des extraits du gingembre séché différentes puissances par micro-ondes sont présentés dans la figure 16.

Le dosage des composés phénoliques des poudres issus du séchage par microonde montre que les teneurs en polyphénols totaux varient de 1,25mg à 18,3mg EAG/g MS. On constate que la teneur la plus élevée est de  $18,3 \pm 0,09$  mg EAG/g MS qui est attribuée à la puissance **520W (P60)** suivie d'une teneur de l'ordre de  $14,4 \pm 0,1$  mg EAG/g de MS pour la puissance **900W (P100)**, néanmoins en diminuant la puissance de séchage, on observe une diminution de la teneur en polyphénols totaux pour atteindre une valeur de  $1,25 \pm 0,08$  mg EAG/g MS avec l'échantillon séché à **180 W (P20)**. Cette diminution peut être expliquée par la dégradation de ces composés par les fortes radiations et le temps de séjour des produits aux cours de séchage dans le four microonde qui sont des paramètres qui influencent sur la quantité des polyphénols totaux.

L'analyse statistique montre une différence significative ( $p < 0.05$ ) entre les teneurs en polyphénols totaux des différents extraits.



**Figure n°16** : Teneurs en polyphénols totaux des différents extraits du *Zingiber officinale*.

Le dosage quantitatif des polyphénols a révélé la richesse de nos extraits en polyphénols en comparant avec d'autres résultats. En effet, l'étude de **an et al., (2016)** sur le

gingembre qui a réalisé une étude sur les différents types de séchages {séchage par l'air (AD), séchage infrarouge (IR), lyophilisation (FD), séchage par micro-onde (MD) et séchage par micro-onde et séchage par conventions (IM&CD)} et le gingembre frais. Nos résultats obtenus est  $18,3 \pm 0,09$  mg EAG/g MS à la puissance **520W** (p60) est supérieure par rapport à celle trouvés par ce chercheur, la valeur la plus élevée trouvée par **an et al., (2016)** est 13.83mg EAG/g MG par lyophilisation et 11.97 mg EAG/g MS, 11.35 mg EAG/g MS et 11.28 mg EAG/g MS respectivement trouvée par le gingembre frais, IR, IM&CD. Par contre les plus petites sont celle trouvées par le séchage par l'air et micro-onde qui sont 9.69 mg EAG/g MS et 8.41 mg EAG/g MS respectivement.

**Kubra et Rao (2012)** ont observé une augmentation de la teneur en polyphénols totaux des gingembres séchés avec les puissance situés entre 385-800 Watts. Il a expliqué que cela a été attribué à l'énergie de microonde provoquant la dégradation des cellules constituants, entraînant une libération plus élevée de polyphénols.

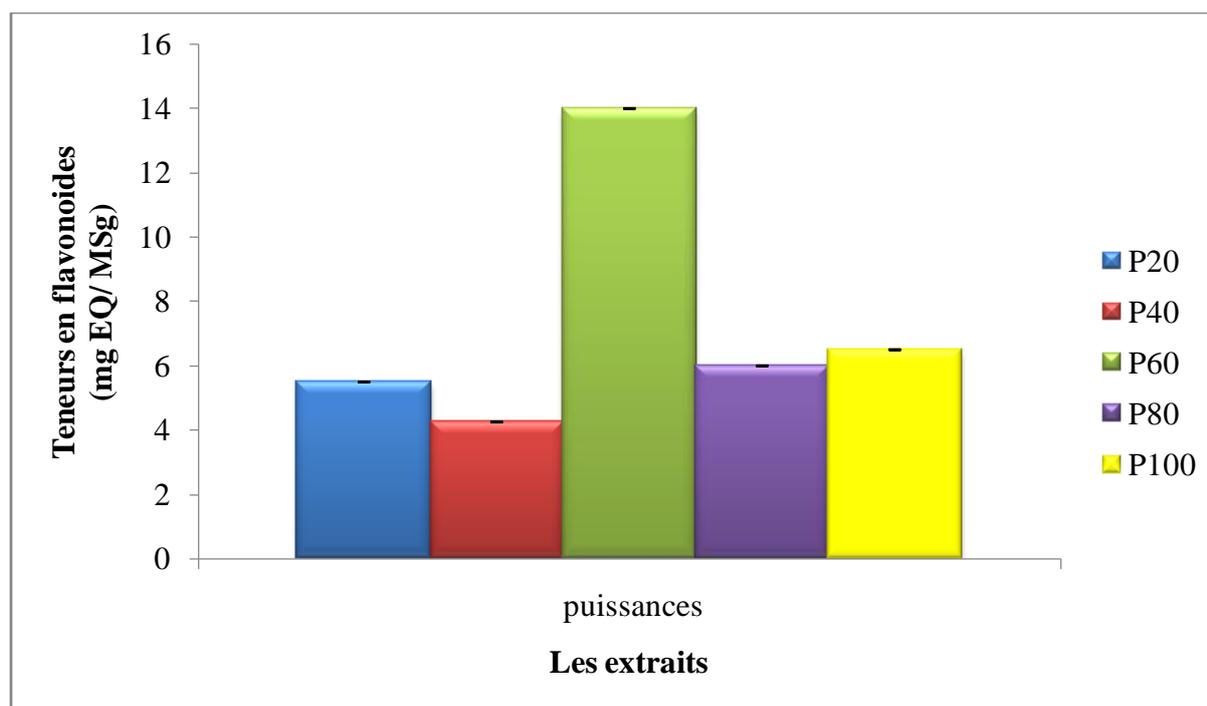
Ces différences de teneurs peuvent être provoqué par la faible spécificité du réactif de Folin-Ciocalteu, c'est l'inconvénient principal du dosage colorimétrique. Le réactif est extrêmement sensible à la réduction de tout les groupes d'hydroxyles non seulement celles des composés phénoliques, mais également de certains sucres et de protéines (**Vuorela, 2005 ; Gomez-Caravaca et al., 2006**).

Les différences observées entre les résultats des différents travaux et ceux obtenus dans la présente étude peuvent être liées à la méthode d'extraction, à la structure chimique des composés phénoliques, la taille des particules formant l'échantillon, au temps et aux conditions de stockage ainsi qu'à la présence d'interférents (**Naczki et Shahidi, 2004**).

### **III.2.Dosage des flavonoïdes**

Les flavonoïdes représentent la sous classe la plus important et la plus réponde des polyphénols. Le dosage des flavonoïdes a été réalisé par la méthode colorimétrique décrite par **Jalled et al.(2015)**. Le quercétine, considérée comme contrôle positif, a permis de réaliser une courbe d'étalonnage, d'où on a calculé la teneur en flavonoïdes des différentes extraits, qui est exprimé en mg équivalent de quercétine (EQ) par gramme de matière sèche.

La figure ci –dessus représente les résultats obtenus pour les flavonoïdes (méthode du trichlorure d'aluminium) des extraits de gingembre séchés aux différentes puissances par micro-onde.



**Figure n°17** : Teneurs en Flavonoïdes des différents extraits du *Zingiber officinale*.

Le dosage des flavonoïdes des poudres de *Zingiber officinale Roscoe* issus du séchage par micro-onde montre que les teneurs en flavonoïdes varient entre 4.25mg/g MS et 14mg/g MS.

La teneur maximale en flavonoïdes a été obtenue à la puissance de **540W** (P60) ( $14 \pm 0,09$  mg EQ /g MS), cette valeur a diminué à la puissance **900W** (P100) ( $6.5 \pm 0,06$  mg EQ/g MS) et à la puissance **720W**(P80) ( $6 \pm 0,05$  mg EQ/g MS). En outre, les extraits obtenus à la puissance **180W** (p20) et **360W** (p40) contiennent de faibles quantités ( $5.5 \text{ mg} \pm 0,08$  (EQ/g MS) et  $4.25 \pm 0,06$  mg (EQ/g MS) respectivement.

L'étude de **Ghasemzadeh (2015)** sur gingembre jeune de Malaisie a rapporté des teneurs en Flavonoïdes, la teneur en flavonoïdes est de 3.66 mg EQ/g de MS, qui est inférieure à celle trouvée dans notre étude pour les différentes puissances.

Certaines études ont montré que les teneurs en composés phénoliques varient de façon considérables d'une espèce à une autre et à l'intérieur de la même espèce (**Ksouri et al., 2009**), à cause des facteurs extrinsèques (température, climat...) (**Ksouri et al., 2008**), génétiques (la variétés et l'origine d'espèces) (**Ebrahimzadeh et al., 2008**).

La composition, ainsi que la quantité des métabolites secondaires d'un extrait, peuvent être influencée par plusieurs facteurs tel que le mode et le temps d'extraction, la température, la nature du solvant ainsi que sa polarité qui permet de solubiliser et extraire les composés de polarité similaire au solvant (Ncube *et al.*, 2008).

### III.3. Dosage des caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments liposolubles responsable de la couleur jaune, rouge et orange de plusieurs fruits et légumes, qui constituent la source majeure dans l'alimentation humaine. Les caroténoïdes sont associés aux bicouches lipidiques membranaires, et grâce à leur longue chaîne polyinsaturée, sont de bons piègeurs de radicaux libres (Rao et Rao, 2007). Les résultats de dosage des caroténoïdes obtenus, exprimés en mg d'équivalent de la  $\beta$ Carotène (E. $\beta$ .C) par 100 g d'échantillon en se référèrent à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions (Annexe II), pour les différents extraits étudiées sont représentés dans la figure 18.

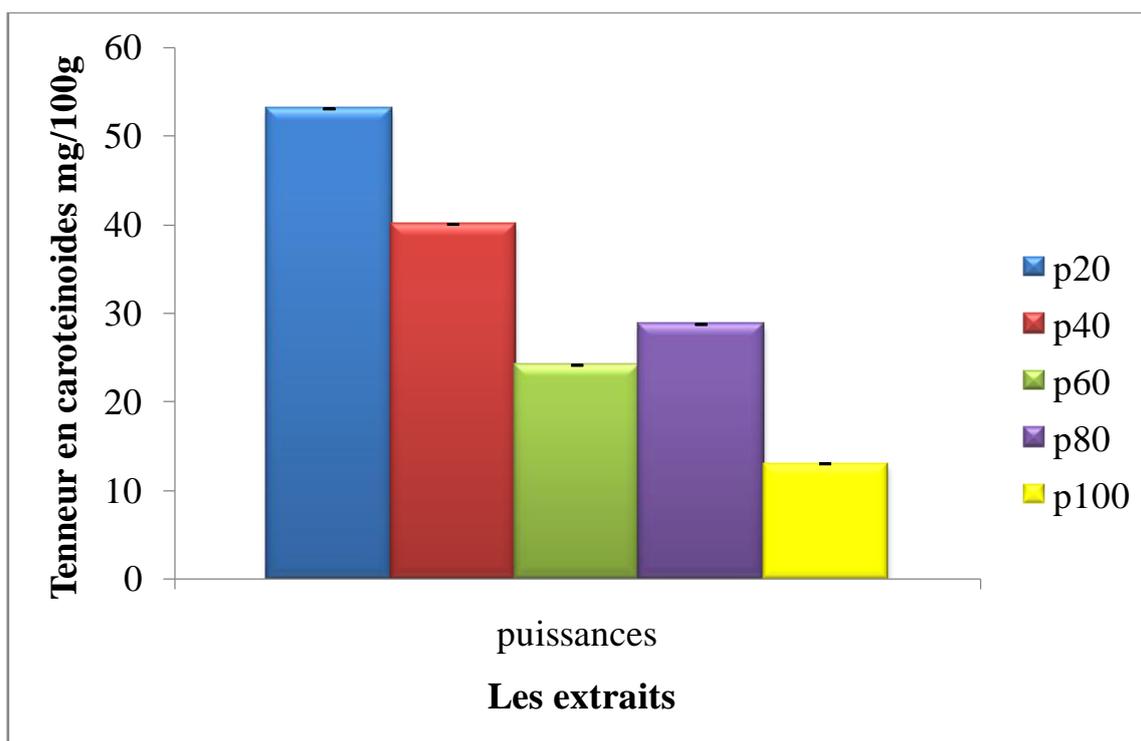


Figure n°18 : Teneurs en caroténoïdes des différents extraits du *Zingiber officinale*.

Nos résultats montrent que la teneur en caroténoïdes des extraits séchées au micro-onde, pour les différentes puissances, varie entre  $53 \pm 0,08$  mg /100g de MS et  $12,91 \pm 0,06$  mg /100g de MS, le taux de caroténoïde le plus élevé est enregistrée pour P20 (puissance de **180W**) ( $53 \pm 0,08$  mg /100g de MS), suivie d'une valeur  $39,96 \pm 0,06$  mg/100g obtenue à la

puissance **360W** (P40),  $28.66 \pm 0,05$  mg/100g qui est attribuée à la puissance **720 W**(P80) puis une teneur  $24.48 \pm 0,09$  mg/100g à la puissance **540W** (P60) et la valeur la plus faible est obtenue à la puissance de **900 W** (P100) qui est  $12.91 \pm 0,06$  mg /100g de MS.

L'étude statistique a révélé des différences significatives ( $p < 0,05$ ) entre les extraits obtenus par les différentes puissances.

Les teneurs en caroténoïdes de nos extraits ( $53 \pm 0,08$  mg/100 g) sont supérieures à la valeur  $0,78$  mg/100 g qui est trouvée par **Sangwan et al. (2012)**. Ce chercheur réalise une étude sur la composition nutritionnelle de la poudre de gingembre préparée en utilisant diverses méthodes de séchage.

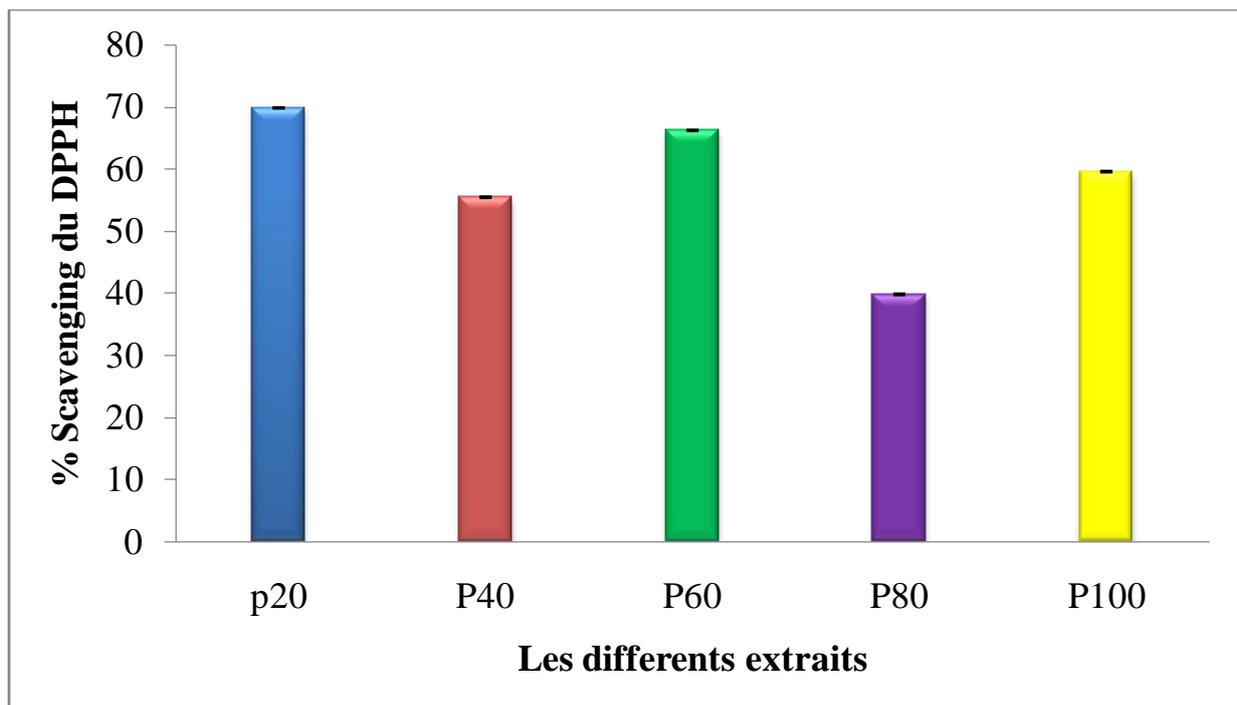
#### **IV. L'activité antioxydante**

Les antioxydants réduisent le stress oxydatif dans les cellules et sont donc utiles dans le traitement et surtout la prévention de maladies humaines. Les antioxydants dérivés de plantes ont été largement étudiés en raison de leurs intérêts sécuritaires par rapport aux antioxydants synthétiques. Une molécule antioxydante est un agent réducteur puissant et agit en tant que piègeur de radicaux libres. Elle peut réagir à différentes étapes du procédé de l'oxydation et avoir plus d'un mécanisme d'action. (**Milardovic et al., 2006**)

##### **IV. 1. Activité scavenger du radical DPPH**

Le pouvoir antiradicalaire est très utilisé pour évaluer rapidement l'activité antioxydante dans les aliments et dans les systèmes biologiques complexes (**Gulçin et al., 2005; Milardovic et al., 2006; Laib et Barkat, 2011**). Cette méthode est basée sur l'utilisation d'un radical libre synthétique le 2,2 diphenyl 1 picryl hydrazyl (DPPH•) qui est de couleur violette, vire au jaune, en présence de capteurs de radical libre<sub>s</sub> et se réduit en 2,2 diphenyl 1 picryl hydrazine (DPPH-H), avec un maximum d'absorbance à 517 nm (**Gulçin et al., 2003; Maisuthiakul et al., 2007**).

Pour estimer l'activité antioxydante de poudre du *Zingiber officinale* issu du séchage par microonde montre que, l'effet scavenger du radical DPPH à été évaluée par spectrophotométrie suivant la réduction de ce radical libre est caractérisé par une coloration violette intense, lorsqu'il est piégé par des substances antioxydantes, la couleur vire vers le jaune, l'intensité de coloration témoigne de la puissance de la substance antiradicalaire et pouvoir scavenger du radical DPPH\* et mesurable à 510 nm.



**Figure n°19:** Représentation graphique du pourcentage scavenger du radical DPPH par les extraits du gingembre étudié.

Selon les résultats obtenus, tous les échantillons testés ont présenté un pouvoir antiradicalaire supérieur à 50% sauf la puissance **720 Watts** (P80). L'extrait obtenu à la puissance **180W** (P20) a présenté le pouvoir scavenger du radical DPPH le plus élevé montrant ainsi une très forte activité antioxydante ( $69,75\% \pm 0,07$ ) malgré il est pauvre en composés phénoliques suivi de l'extrait de la puissance **520 W** (P60) ( $66,12\% \pm 0,08$ ), puis les extraits des puissances **de 900 W** (P100) et **360W** (P40) qui présentent des pourcentages d'inhibition suivants  $59,50\% \pm 0,09$  et  $55,37\% \pm 0,08$  respectivement.

L'extrait obtenu à la puissance **720W** (P80) a montré une capacité scavenging du DPPH, le moins actif avec un pourcentage d'inhibition qui est de  $39,75\% \pm 0,1$ , bien que son extrait est riche en polyphénols et flavonoïdes par rapport aux autres extraits.

Ces résultats indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ) concernant la capacité des extraits à piéger le radical DPPH.

Nos résultats montre une activité antioxydante avec un taux d'inhibition inférieure à celui trouvé par **Ghasemzadeh et al., (2015)** qui à travaillé sur le protocole d'optimisation pour l'extraction du 6-gingérol et du 6-shogaol de *Zingiber officinale*, ce dernier a trouve des teneurs situent entre  $62,5\%$ . et  $89\%$ .

Le niveau de corrélation entre les antioxydants des plantes et l'activité antioxydante vis-à-vis du DPPH est un paramètre très important du moment qu'il peut renforcer l'hypothèse que ces antioxydants végétaux contribuent dans cette activité.

Pour cela, nous avons constaté une corrélation négative entre la teneur en polyphénols totaux et le pouvoir antiradicalaire contre le DPPH avec un coefficient de  $r = -0,18$ . Ces résultats indiquent que d'autres composés non identifiés peuvent contribuer à l'activité antioxydante globale des extraits de la plante de *Zingiber officinale*.

le pouvoir antiradicalaire contre le DPPH des différents extraits étudiés enregistre des coefficients de corrélations modérés positifs ( $P < 0,05$ ) avec les teneurs en flavonoïdes ( $r = 0,35$ ) et les caroténoïdes ( $r = 0,27$ ).

Le faible pourcentage d'inhibition de l'échantillon de gingembre séché indique une diminution de l'activité antioxydante suite au séchage. Cela peut être dû à l'oxydation de certains composés antioxydants d'extrait pendant le séchage.

# *Conclusion*

## Conclusion

---

Dans le cadre de notre travail, nous sommes intéressés à l'étude phytochimique et pouvoir antioxydant de différents extraits de *Zingiber officinale* qui appartient à la famille Zingibéracées l'une des familles les plus importantes et les plus utilisées dans la médecine traditionnelles.

Au terme de ce travail, nous avons suivis l'influence des étapes du séchage sur les composés bioactifs du gingembre (les polyphénols, les flavonoïdes, les caroténoïdes ainsi que l'activité antioxydante) à différentes puissances (180, 360, 540, 720,900 W).

Selon les résultats obtenus nous avons conclu que:

- La méthode et les conditions de séchage aux microondes, réduit significativement le temps de séchage, qui a un effet profond sur la qualité des composés phénoliques;
- Les teneurs en polyphénols totaux et flavonoides sont influencées par la puissance de séchage. Les teneurs les plus élevées en polyphénols totaux et flavonoides sont de 18,3mg EAG/g MG et 14 mg EQ/g de MS respectivement obtenue à la puissance **540W** (P60);
- Le résultat du dosage des caroténoïdes a révélé une teneur maximale de 53mg/100g obtenue à la puissance **180W** (P20) par rapport aux autres extraits.
- Selon les résultats obtenus, tous les échantillons testés ont présenté un pouvoir antiradicalaire important. L'extrait P20 a présenté le pouvoir scavenger du radical DPPH le plus élevé montrant ainsi une très forte activité antioxydante ( $69,75\% \pm 0,07$ ) suivi de l'extrait P60 ( $66,12\% \pm 0,08$ ) par rapport aux autres extraits.

Au terme de ce travail, nous pouvons dire que l'utilisation des plantes médicinales pour prévenir ou guérir des maladies était l'une des premières pratiques thérapeutiques dans l'histoire de l'humanité.

# *Références*

## Références Bibliographiques

### A

**Abou Elkheir, E., Fadde, H. and Abou Mohsen, U. 2010.** Antibacterial Activity and Phytochemical Analysis of Some Medicinal Plants from Gaza Strip-Palestine. *Journal of Al Azhar University-Gaza*, **12**: 45-54.

**Abbasi S. et Azari S. 2008.** Novel microwave-freeze drying of onion slices. *International Journal of Food Science and Technology*, 1-6.

**Afonso, V.; Champy, R.; Mitrovic, D.; Collin, P.; and Lomri, A. 2007.** Radicaux libres dérivés de l'oxygène et superoxydes dismutases : rôle dans les maladies rhumatismales. *Revue du rhumatisme*, **74** : 636-643.

**Aggarwal BB et Shishodia S. 2006.** Molecular targets of dietary agents for prevention and therapy of cancer. *Biochem Pharmacol* May, **14**(10):1397-421p.

**Ajila, C.M., Naidu, K.A., Bhat, S.G. and Prasada Rao, U.J.S.,2007.** Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract. *Food Chemistry*, **105**:982-988.

**Akoachere JF., Ndip RN., Chenwi EB., Ndip LM., Njock TE., Anong DN.2002.** Antibacterial effect of *Zingiber officinale* and *Garcinia kola* on respiratory tract pathogens. Department of Life Sciences, Faculty of Science, University of Buea, PO Box 63, Cameroon, **79**(11):588-92p.

**Albert, M., Bonnefont-Rousselot, D., Abedinzadeh, Z. and Jore, D. 2003.** Espèces réactives de l'oxygène: Comment l'oxygène peut-il devenir toxique?. *L'actualité chimique*, 91-96.

**Ali BH, Blunden G, Tanira MO, Nemmar A. 2008.** Some phytochemical, pharmacological and toxicological properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): a review of recent research. *Food Chem Toxicol*, **46**(2) : 409-20p.

**Ali-delille, L.2013.** *Les Plantes Médicinales d'Algérie*. 3eme Edition. Alger : BERTI, 239p (En Nadjah, n°24). (ISBN : 978-9961-69-202-8)

**Allen, J., Pure, O. and Chen, A., 1994.** Absorption, transport and metabolism of carotenoids in humans. *Biochemistry and Biophysics*, **66** (5): 1011-1016.

**Amarowicz, R., Pegg, R.B., Rahimi-Moghaddam, Barl, B. and Weil, J.A. 2004.** Free radical scavenging capacity and antioxidant activity of selected plant species from the Canadian prairies. *Food chemistry*, **84**: 551-562.

**An Kejing , Dandan Zhao , Zhengfu Wang , Jijun Wu, Yujuan Xu , Gengsheng Xiao.2016.** Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure. *Food chemistry*, 6-8

**Angenot, L. 2014.** Le gingembre: antiémétique de premier choix en pratique officinale. [En ligne]. 2p .Disponible sur : <https://www.sofiadis.com/sites/sofiadis/files/rte/Tilman%20Ginger%20FR.pdf>

**Atashak S., Peeri M., Azarbayjani M.A., et Stannard S.R., 2014** Effects of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) supplementation and resistance training on some blood oxidative stress markers in obese men, *Journal of Exercise Science & Fitness*, **12**, 26-30 p.

## B

**Bahorun, T., Gressier, B., Trotin, F., Brunete, C., Dine, T., Vasseur, T., Gazin, T.C. Pinkas, M., Luycky, M. and Gazin, M. 1996.** Oxygen species scavenging activity of phenolic extract from Hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparation. *Arznein Forsh/Drug Res*, 1-6.

**Balasundram N., Sundram K. and Samman S. 2006.** Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, **99**: 191-203.

**Bandyopadhyay U., Das D. and Banerjee R.K. 1999.** Reactive oxygen species: Oxidative damage and pathogenesis. *Current science*, **77**(5): 658-666.

**Baobab, 2011 .** Fiche technique de la poudre gingembre. Sénégal Beagehold MA. (1998). Heterogeneity of endothelial function within the circulation. *Curr opin Nephrol Hypert*, **7**:71-8 p.

**Barreira J.C.M., Ferreira I.C.F.R., Oliveira M.B.P.P. and Pereira J.A. 2008.** Antioxidant activities of the extracts from chestnut flower, leaf, skins and fruit. *Food Chemistry*, **107**: 1106-1113.

**Bartels E.M., Folmer V.N., Bliddal H., R.D. Altman Juhl C., Tarp S., Zhang W. et Christensen R., 2015.** Efficacy and safety of ginger in osteoarthritis patients: a meta analysis of randomized placebo-controlled trials, osteoarthritis and cartilage, **23**, 13-21p.

**Benhammou, N., Bekkara, F.A. and Panovska, T.K. 2009.** Antioxidant activity methanolic extracts and some bioactive compound of *Atriplex Halimus*. *C.R. chimie*, **12**:1259-1266.

**Benkhelfellah R, Sofiane El M, Miri R et Belhamel M. 2005.** Sechoirs solaires. etude comparative de la cinétique de séchage des produits agroalimentaires dans des modèles de type direct et indirect, Tanger, Maroc. 262p.

**Bermond, P. 1990.** Biological effects of food antioxidants "Ed. Hudson, B.J.F, *Food Antioxidants*: 193-251.

**Berger M . 2006.** Manipulation nutritionnelles du Stress oxydant : état de connaissances . *Nutrition chimique et métabolisme* **20** : 48-53

**Beutner, S., Bloedorn, B., Frixel, S., Blanco, I., Hoffmann, T., Martin, H., Mayer, B., Noack, P., Ruk, C., Schmidt, M., Schu'like, I., Sell, S., Ernst, H., Haremza, S., Seybold, G., Sies, H., Stahl, W. and Walsh, R. 2001.** Quantitative assessment of antioxidant properties of natural colorants and phytochemicals: carotenoids, flavonoids, phenols and indigoids. The role of carotene in antioxidant functions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **81**: 559-568.

**Bimbenet, J. J., Bonazzi, C., Dumoulin, E., 2002.** L'eau en séchage, stockage et réhydratation, in L'eau dans les aliments (eds M. Le Meste, D. Lorient D. Simatos). Tech & Doc, Paris, France, pp. 525–547.

**Blanc, N., Hauchard, D., Audibert, L. and Ar Gall, E., 2011.** A radical scavenging capacity of phenol fractions in the brown seaweed *Ascophyllum nodosum*: an electrochemical approach. *Talanta*, **84**:513-518.

**Bode AM et Dong I F F, Wachtel-Galor S. 2011.** Herbal Medicine-Biomolecular and chemical Aspects. 2nd Edition CRC Press. Citer dans le Mémoire Master (2015) : Etude de l'effet d'un régime irrégulier du Zingiber officinale sur le réarrangement de la matrice extracellulaire de différents segments de l'aorte chez les rats Albinos Wistar traité par une dose cytotoxique du DL-Méthionine, 20 p

**Braga M.E.M., Moreschi S.R.M., Meireles M.A.A. 2006.** Effects of Supercritical Fluid Extraction on *Curcuma longa* L. and *Zingiber officinale* R. *Starches, Carbohydrate Polymers*, **63**: 340-346 p.

**Brown A.C., Shah C., Liu J., Pham J.T.H., Zhang J.G., Jadus M.R. 2009.** Ginger's (*Zingiber officinale* Roscoe) Inhibition of Rat Colonic Adenocarcinoma Cells Proliferation and Angiogenesis In Vitro. *Phytotherapy Research*, **23**, 640-645p.

**Brand-Williams W, Cuvelier M. E, Berset C. 1995.** Use of free radical method of evaluate antioxidant activity. *LWT*, **28**: 25-30.

**Bruneton J. 2009.** Pharmacognosie : phytochimie, plantes médicinales 4<sup>ème</sup> édition .Technique et Documentation .Paris, 1269 p.

## C

**Chan E.W.C., Lim Y.Y., Wong L.F., Lianto F.S., Wong S.K., Lim K.K., Joe C.E. et Lim T.Y., 2008,** Antioxidant and tyrosinase inhibition properties of leaves and rhizomes of ginger species. *Food Chemistry*, **109**:477–483.

**Charles D.2013.** Antioxidant properties of spices, herbs and other sources in ginger, 235-245.

**Cheikh Ali Z. 2012.** Études chimiques et biologiques d'*Aframomum sceptrum* (*Zingiberaceae*) et de la curcumine. Thèse de doctorat. Faculté de Pharmacie de ChâtenayMalabry. Université Paris-Sud (France): 111p.

**Chepda, T., Perier, C., Chamson, A. and Frey, J., 1999.** Effets pro et antioxydant de l'ascorbate. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, **13**:115-120.

**Cicco, N., Lanorte, M.T., Paraggio, M., Viggiano, M. and Lattanzio, V. 2009.** A reproducible, rapid and inexpensive Folin Ciocalteu micro-method in determining phenolics of plant methanol extracts. *Microchemical Journal*, **91**:107-110.

## D

**Danciu C., Vlaia L., Fetea F., Hancianuc M., Coricovac D.E., Ciurlea S.A., Șoica C.M., Marincu L., Vlaia V., Dehelean C.A., et Trandafirescu C., 2015,** Evaluation of phenolic profile, antioxidant and anticancer potential of two main representatives of Zingiberaceae family against B164A5 murine melanoma cells, *Biological research*, **48**:1-9.

**Deby-Dupont G., Deby C. and Lamy M. 2002.** Données actuelles sur la toxicité de l'oxygène. *Réanimation*, **11**: 28-39.

**Dellile L ,2007.** les plantes médicinales d'Algérie. Edition BERTI. Alger, 122p.

**De Souza R.F. et De Giovanni W.F.2004.** Antioxidant Properties of Complexes of Flavonoids with metal ions. *Redox Report*. **9**: 97-104.

**Djeridane A., Yous. M., Nadjemi B., Boutassouna D., Stocker P. and Vidal N. 2006.** Antioxidant activity of some medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chemistry*,**97**: 654-660.

**Djerroud D. 2010.** Modélisation markovienne du séchage continu par contact avec agitation ; l'université de toulouse. Thèse de doctorat en génie des procédés et de l'environnement de l'université de toulouse.166 p.

**Ding S.H., An K.J., Zhao C.P., Li Y., Guo Y.H. et Wang Z.F., 2012,** Effects of drying methods on volatiles of Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe), *Food et bioproducts processing*, **90**: 515-524.

## E

**Ebrahimzadeh MA, Pourmorad F et Bekhradnia AR (2008).** Iron chelating activity screening, phenol and flavonoid content of some medicinal plants from Iran. *African Journal of Biotechnology*, **7**(18): 3188-3192.

**Eddouks M., Ouahidi M.L., Farid O., Moufid A., Khalidi A. et Lemhadri A. 2007.** L'utilisation des plantes médicinales dans le traitement du diabète au Maroc. *Phytothérapie*, **5**(4) : 194-203.

## F

**Faivre Cl., Lejeune L., Staub H., Goetz P. 2006.** *Zingiber officinale* Roscoe. *Phytothérapie*, **2** : 99-102.

**Ferreira, A., Proença, C., Serralheiro, M.L.M. and Araujo, M.E.M. 2006.** The in vitro screening for acetylcholinesterase inhibition and antioxidant activity of medicinal plants from Portugal. *Journal of Ethnopharmacology*, **108**: 31-37.

**Fito P, Chiralt A et Martin E-M. 2005.** Current State of Microwave Applications to Food Processing. Universidad Politecnica de Valencia, Valencia, Spain. 535 p.

**Fransworth N.R., Akerele O. et Bingel A.S. 1985.** Medicinal plants in therapy. Bulletin of the World Health Organization, **63**(6) : 965-981.

## G

**Ganther, H.E. 1999.** Selenium metabolism, selenoproteins and mechanisms of cancer prevention: complexities with thioredoxin reductase. *Carcinogenesis*, **20** (19): 1657-1666.

**Gardes-Albert M, Bonnefont-Rousselot D, Abedinzadeh Z, Jore D. 2003.** Espèces réactives de l'oxygène: comment l'oxygène peut-il devenir toxique? *L'actualité chimique*, 91-96.

**Ghasemzadeh A., Jaafar H.Z.E., Rahmat A. 2010** .Elevated Carbon Dioxide Increases Contents of Flavonoids and Phenolic Compounds, and Antioxidant Activities in Malaysian Young Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe.) Varieties. *Molecules*, **15**: 7907-7922.

**Ghasemzadeh A., Jaafar H.Z.E. et Rahmat A., 2015,** Optimization protocol for the extraction of 6-gingerol and 6-shogaol from *Zingiber officinale* var. *rubrum* Theilade and improving antioxidant and anticancer activity using response surface. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, **15**:1-10.

**Ghedira K. 2005.** Les flavonoïdes : structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emploi en thérapeutique. *Phytothérapie*, **4** :162-69.

**Gigon. F. 2012.** Le gingembre, une épice contre la nausée. *Phytothérapie*, **10**:87–91.

**Gião M.S., Pastana D., Faria A., Guimarães J.T., Pintado M.E., Calhau C., Azevedo I. et Malcata F.X. 2010.** Effects of extracts of selected medicinal plants upon hepatic oxidative stress. *Journal of Medicinal Food*, **13**(1): 131-136.

**Gladine, C., Morand C., Rock, E. and Durand, D. 2007.** The antioxidative effect of plant extracts rich in polyphenols differs between liver and muscle tissues in rats fed n-3 PUFA rich diets. *Animal Feed Science and Technology*, **139**( 3-4): 257-272.

**Gomez-Caravaca, A.M., Gomez-Romero, M., Arraez-Roman, D., Segura-Carretero, A., Fernandez-Gutierrez, A. 2006.** Advances in the analysis of phenolic compounds in products derived from bees. *J. Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, **41**: 1220-1234.

**Grzanna .R, Lindmark .L et Frondoza .CG.2005.** «Ginger an herbal medicinal product with broad anti-inflammatory actions», *Journal Medical of Food*, 125-132.

**Gulçin I., Oktay M., Kireççi E. and Küfreviolu O. 2003.** Screening of antioxidant and antimicrobial activities of anise (*Pimpinella anisum L.*) seed extracts. *Food Chemistry*, **83**: 371-382.

**Gulçin, I., Berashvili, A. and Gepdiremen A.2005.** Antiradical and antioxidant activity of total anthocyanins from *Perilla pankinensis decne.* *Journal Ethnopharmacology*, **101**(1-3): 287-293.

**Gulçin, I., Mshvildadze V., Gepdiremen A. and Elias R. 2006.** Screening of antiradical and antioxidant activity of onodesmosides and crude extract from *Leontice smirnowii* tuber. *Phytomedicine*, **13**: 343-351.

## H

**Hagerman A.E., Rice M.E. and Ritchard N.T. 1998.** Mechanisms of protein precipitation for two tannins, pentagalloyl glucose and epicatechin16 (4f8) catechin (procyanidin). *Journal of Agricultureand Food chemistry*,**46**: 2590-2595.

**Haleng J. , J. Pincemail , J.O. Defraigne , C. Charlier , J.P. Chapelle .2007.** Le stress oxydant **62**(10): 628-638.

**Hennebelle T, Sahpaz S, Bailleul F. 2004.** Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif . *Phytothérapie*, **1**:3-6.

## I

**Ignea, C., Dorobantu, C.M., Mintoff, C.P., Branza-Nichita, N., Lodomery, M.R., Kefalas,P. and Chedea, V.S. 2013.** Modulation of the antioxidant/pro-oxidant balance, cytotoxicity and antiviral actions of grape seed extracts. *Food Chemistry*, **141**: 3967-3976.

**Iserin P., Masson M., Restellini J. P., Ybert E., De Laage de Meux A., Moulard F., Zha E., De la Roque R., De la Roque O., Vican P., Deelesalle –Féat T., Biaujeaud M.,Ringuet J., Bloth J. et Botrel A. 2001.** Larousse des plantes médicinales : identification, préparation, soins. Ed Larousse.10-12p.

## J

**Jacques, B et André R. 2004.** Biochimie métabolique Ed ellipses. Paris. 217-225.

**Jean L-C .2002.** Printemps des sciences, L'Energie Sous Toutes Ses Formes. Les Microondes. 48 p.

**Jean, V. 2011.** Séchage Industriel : Principes et calcul d'appareils autre modes de séchage que l'air chaud (partie1).Techniques de l'ingénieur opérations unitaires : évaporation et séchage, base documentaire : TIB 316 DUO (ref.article : j2453).

**Jelled A., Fernandes A., Barros L., Chahdoura H., Achour L., Ferreira I.C.F.R. et Ben Cheikha H. 2015.** Chemical and antioxidant parameters of dried forms of ginger rhizomes, *Industrial crops and products*, **77**: 30–35.

**Jolad S.D., Lantz R.C., Solyom A.M., Chen G.J., Bates R.B. et Timmermann B.N. 2004.** Fresh organically grown ginger (*Zingiber officinale*) : composition and effects on LPS-induced PGE 2 production. *Phytochemistry*, **65**(13): 1937-1954.

## k

**Karna P., Chagani S., Gundala SR., Rida PC., Asif G., Sharma V., Gupta MV., Aneja R., Br J Nutr. 2012.** Benefits of whole ginger extract in prostate cancer. Feb, doi: 10.1017 / S0007114511003308. Epub 2011 Aug 18, 107(4):473-84 p.

**Koechlin-Ramonatxo C. 2006.** Oxygène, stress oxydant et suppléments antioxydantes ou un aspect différent de la nutrition dans les maladies respiratoires. *Nutr Clin Metab* ; **20**(4) : 165–77.

**Korkina L.G. et Afanas'ev I.B.( 1997).** Antioxidant and chelating properties of flavonoids. *Adv. Pharmacological*, **38**,151–163.

**Kouamé, J., Gnoula, C., Palé, E., Bassolé, H., Guissou, I.P., Simporé, J. and Nikiéma, J.B.2009.** Etude des propriétés cytotoxiques et antiradicalaires d'extraits de feuilles et de galles de guiera senegalensis J.F. Gmel (Combretaceae). *Science et technique, Science de la santé*, **32**:1-2.

**Ksouri R, Megdiche W, Falleh H, Trabelsi N, Boulaaba M, Smaoui A , Abdelly C(2008).** Influence of biological, environmental and technical factors on phenolic content and antioxidant activities of Tunisian halophytes. *Comptes Rendus biologiques*, **331**(11): 865-873.

**Ksouri R, Falleh H, Megdiche W, Trabelsi N, Hamdi , Chaieb K, Bakhrouf A, Magné C , Abdelly C 2009.** Antioxidant and antimicrobial activities of the edible medicinal halophyte *Tamarix gallica* L and related polyphenolic constituents. *Food and Chemical Toxicology*, **47**(8): 2083-2091.

## L

**Lahmari N, Fahloul D et Azani I. 2012.** Influence des méthodes de séchage sur la qualité des tomates séchées (variété Zahra), *Revue des Energies Renouvelables*. **15**(2) :285 – 295 p.

**Laib, I., Barkat, M. 2011.** Composition chimique et activité antioxydante de l'huile essentielle des fleurs sèches de *Lavandula officinalis*. *Agriculture*, **2**: 89-101.

## M

**Maisuthiakul, P., Suttajit, M. and Pongsawatmanit, R. 2007.** Assessment of phenolics content and free radical scavenging capacity of some Thai indigenous plants. *Food Chemistry*, **100**:1409-1418.

**Mahady, G.B., Pendland, S.L., Yun, G.S. 2003.** Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) and the gingerols inhibit the growth of Cag A+ strains of *Helicobacter pylori*. *PubMed*. **23**: 3699–3702.

**Mathavi V, Sujatha G, S-B Ramya et Karthika B -M. Food Technology and Assistant Professor, College of Food and Dairy Technology. 2013.** New trends in food processing, *International Journal of Advances in Engineering and Technology*. India **5(2)**:176-187.

**Maskan M. 2001.** Drying, Shrinkage and rehydration characteristics of Kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, **48**: 177-182.

**Masella R., Benedetto R. D., Vari R., Filesi C. and Giovannini C. 2005.** Novel mechanisms of natural antioxidant compounds in biological systems: involvement of glutathione and glutathione-related enzymes. *Journal of Nutritional Biochemistry*, **16**: 577-586.

**McGrath, L. T., McGleenon, B. M., Brennan, S., McColl, D., McIlroy, S. and Passmore A.P. 2001.** Increased oxidative stress in Alzheimer's disease as assessed with 4-hydroxynonenal but not malondialdehyde. *Quarterly Journal Medicine*, **94**: 485-490.

**Miller, AL. 1996.** Antioxidant flavonoids: structure, function and clinical usage. *Alt Med Rev*. **1**: 103-111.

**Milardovic, S., Ivekovic, D. and Bozidar, S. G. 2006.** A novel amperometric method for antioxidant activity determination using DPPH free radical. *Bioelectrochemistry*, **68**:175-180

**Mohemmedi Z. 2006.** Etude du pouvoir antimicrobien et antioxydant des huiles essentielles et flavonoïdes de quelques plantes de la région de Tlemcen, Mémoire de magister Université Abou Baker Belkaid. Tlémcen.

**Molyneux, P. 2004.** Use of DPPH to estimate antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science Technology*, **26** (2): 211-219.

**Moure, A., Cruz, J. M., Franco, D., Dominguez, J. M., Sineiro, J., Dominguez, H., Núñez, M. J., Parajo, J. C. 2001.** Natural antioxidants from residual sources. *Food Chem*, **72**:145–171.

## N

**Nacz, M. and Shahidi, F. 2004.** Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A*, **1054**: 95-111.

**Neube N. S., Afolayan A. J. and Okoh A. I. 2008.** Assessment techniques of antimicrobial properties of natural compounds of plant origin: current methods and future trends. *African Journal of Biotechnology*, **7** (12): 1797-1806.

**Nile S.H et park S. W. 2015.** Determination of polyphenols and antioxidant activity of *Vitis labrusca* cv. baile berries. *Indian J Exp Biol*. **53**(10):671-5.

## O

**Oteng G. K. 1984.** Introduction à la microbiologie alimentaire dans les pays chauds. Edition: Technique et Documentation, Lavoisier. Paris. Page 79.

**Owen, P.L. and Johns, T., 1999.** Xanthine oxidase inhibitory activity of northeastern North American plant remedies used for gout. *Journal of Ethnopharmacology*, **64**:149-160.

## P

**Perkin, R. M.1980.** The heat and mass transfer characteristics of boiling point drying using radio frequency and microwave.

**Pham-Huy, L.A.; He, H.; and Pham-Huy, V.2008.** Free Radicals, Antioxidants in Disease and Health. *Int J Biomed Sci vol*, **4**:89-9

**Pincemail, J., Meurisse, M., Limet, R. et Defraigne J.O. 1998.** Mesure et utilisation des antioxydants en médecine humaine. *Medi-Sphere*, **73**: 1-4.

**Pincemail J, Lecomte J, Collart E, Castiaux J-P et Defraigne J-O. 2001.** Vaisseaux, Cœur, Poumons. Stress oxydant, Antioxydants et Exercice Physique. *Medecine interne*, **6(5)** :1-2.

**Pincemail J., Bonjean K., Cayeux K., Defraigne J.O. 2002** . Mécanismes physiologiques de la défense antioxydante Physiological action of antioxidant defences. *Nutrition clinique et métabolisme*, **16**: 233–239.

## Q

**Quave, C.L., Planol.R.W., Pantuso, T., Bennett, B.C. 2013:** Effects of extracts from Italian medicinal plants on planktonic growth, biofilm formation and adherence of methicillin resistant *Staphylococcus aureus*. *J. Ethnopharmacol.***118**: 418-428.

## R

**Ramakrishnan,R. 2013.** Anticancer properties of *zingiber officinale*–ginger. *Pharmaceutical Sciences (IJMPS)*, **3**:11-20.

**Rao A.V. et Rao L.G.2007.** Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, **55**: 207-216.

**Ravindran, P.N., Nirmal Babu, K.Ginger. 2005.** The Genus Zingiber. Edition internationale de Softcover. USA : CRCPress, 576p (Medicinal and Aromatic Plants - Industrial Profiles) (ISBN :9780415324687).

**Ré D.B., Nafia I., Nieoullon A., Goff L.K.L et Had-aissouni L. 2005.** Stress oxydatif cérébral: les astrocytes sont-ils vulnérables aux faibles concentrations intracellulaires de glutamate. Implications sur la survie neuronale. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation*, **24**: 502-509.

**Ribéreau-Gayon P. 1968.** Les composés phénoliques des végétaux. Ed. *Dunod*. Paris, P: 173-201.

**Richard, T., Vergé, S., Vercaution J., Monti, J.P. 2001.** Etude de l'interaction tanin-proteine par RMN et modélisation moléculaire. Deuxième journée scientifique de l'UFR des sciences pharmaceutiques. *Bulletin de la Société de Pharmacie .Bordeaux*, **140**:127-166.

**Rivier M., Méot J-M, Ferré T et Briard M. 2009.** Guide pratique, Le séchage des mangues. 73 p.

**Rodrigo, R. and Bosco, C. 2006.** Oxidative stress and protective effects of polyphenols: Comparative studies in human and rodent kidney. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, **142**: 317-327.

**Rong X., Peng G., Suzuki T., Yang Q., Yamahara J. et Li Y. 2009.** A 35-day gavage safety assessment of ginger in rats. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. **54(2)** : 118-123.

**Ross, Ivan A. 2005.** Medicinal Plants of the World. Chemical Constituents, Traditional and Modern Medicinal Uses. 1ere Edition. Totowa, New Jersey : Humana Press, **3**: 648. (ISBN: 1-59259-887-0).

## S

**Sangwan A., Kawatra A. et Sehgal S., 2012.** Nutritional composition of ginger powder prepared using various drying methods, *Journal of Food Science and Technology*, **51**:2260–2262.

**Sass-Kiss, A., Kiss, J., Milotay, P., Kerek, M.M. and Toth-Markus, M., 2005.** Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Research International* **38**:1023-1029.

**Semwal R.B., Semwal D.K., Combrinck S. et Viljoen A.M., 2015,** Gingerols and shogaols: Important nutraceutical principles from ginger. *phytochemistry*, **117**, 554–568 p.

**Sergio, A. R., Paiva, , M.D., Robert, M., Russell, M.D. 1999.**  $\beta$ -Carotene and Other Carotenoids as Antioxidants. *Journal of the American College of Nutrition* ,**18** ( 5): 426-433.

**Stahl, W. and Sies, H. 2004.** Bioactivity and protective of natural carotenoids. *Biochimica and Biophysica Acta (BBA)*, **1741**: 101-107.

**Schauenberg .P et Paris. F. 1977.** Guide des plantes médicinales. Ed : Delachaux et Niestlé.

ISBN 10 : 2603000012.

**Scalbert, A., and Williamson,G. 2000.** Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *J.Nutr*,**130**: 2073S-2085S.

**Sharma C., Ahmed T., Sasidharan S., Ahmed M., Hussain A. 2009.** Use of Gemcitabine and Ginger Extract Infusion May Improve the Efficiency of Cervical Cancer Treatment, *African Journal of Biotechnology*, **8**: 7087-7093 p

**Shobana S et Naidu. A, 2000.** Antioxidant activity of selected India spices *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids* **62**(2):107-110.

**Srinivasan.K. 2017.** Ginger rhizomes (*Zingiber officinale*): A spice with multiple health beneficial potentials. *Pharma Nutrition*, **5**:18-28.

**Speck B. Fotsch U. Fotsch C. 2014.** Connaissance des herbes, Gingembre *Zingiber officinale*. E GK-caisse de santé. Siège principale Brislachstrasse 2 /4242 Laufon, 4 p.

## T

**Tanumihardjo, S.A. 2013.** Carotenoids: Health Effects. *Reference Module in Biomedical Sciences Encyclopedia of Human Nutrition (Third Edition)*. P 292–297.

**Teuscher E., Anton R., Lobstein A. ;(2005).**Plantes aromatiques : épices, aromates, condiments et huiles essentielles. Lavoisier Tec et Doc, Paris, 45-96p.

## V

**Valko, M.; Rhodes, C.J.; Moncol, J.; Izakovic, M.; and Mazur M. 2006.** Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biological interactions*.**160**: 1-40 p.

**Vasseur J. 2009.**Séchage:principe et calcul d'appareils :sechage convectif par chaud (partie1).Technique de l'ingénieur :Génie des procédés,(J2451).

**Verdier N-A, Sadat A-W, Clément D-A, Emmanuel N-A et Georges N-A. (2016).** Impact of Solar and Microwave Oven Drying on A Few Chemical Parameters of Market Value Quality of Fermented Forastero (*Theobroma Cacao L.*). *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* **12**(4): 402-406.

**Vuorela, S. 2005** Analysis, isolation, and bioactivities of rapeseed phenolics. Helsinki.

## W

**Wassmann, S. ; Wassmann, K. ; and Nickenig, G.(2004).** Modulation of oxidant and antioxidant enzyme expression and function in vascular cells.*Hypertension*.**44**:381-386

**Wohlmuth H. 2008.** *Phytochemistry and pharmacology of plants from the Ginger Family, Zingiberaceae*. Thèse de doctorat :Philosophy (pHD). Lismore, Australia : Department of Natural and ComplementaryMedicineSouthern Cross University, 261p.

**Wilson R., Haniadka R., Sandhya P., Palatty P.L. et Baliga M.S. 2013.** Ginger (*Zingiber officinale Roscoe*) the Dietary Agent in Skin Care: A Review. In: Watson R.R. et Zibadi S. *Bioactive Dietary Factors and Plant Extracts in Dermatology, Nutrition and Health*. Springer Science+Business Media, New York (USA) : 103-111.

## Y

**Yohan R. 2004.** Antioxydants naturels végétaux. 11.419 p

**Young, I.S.; and Woodside, J.V.2001.** Antioxidants in health and disease. *J.Clin.Pathol.***54**:176-186.

## Z

**Zhao GF , Zhang Q, Pang Y , Ren ZJ , Peng D, Jiang GG, Liu SM, Chen Y , Geng T , Zhang SS , Yang YC , Deng H. 2009.** Application of the Children's Impact of Event Scale (Chinese Version) on a rapid assessment of posttraumatic stress disorder among children from the Wenchuan earthquake area. *Validation Studies, Journal Article, English*, **30**(11):1160-1164.

**Zoughlache S. (2008).** Etude de l'activité biologique des extraits du fruit de *Zizyphus lotus* L., mémoire magister, Université -El Hadj Lakhder –Batna.

# *Annexes*

# Annexes

## Annexe 1

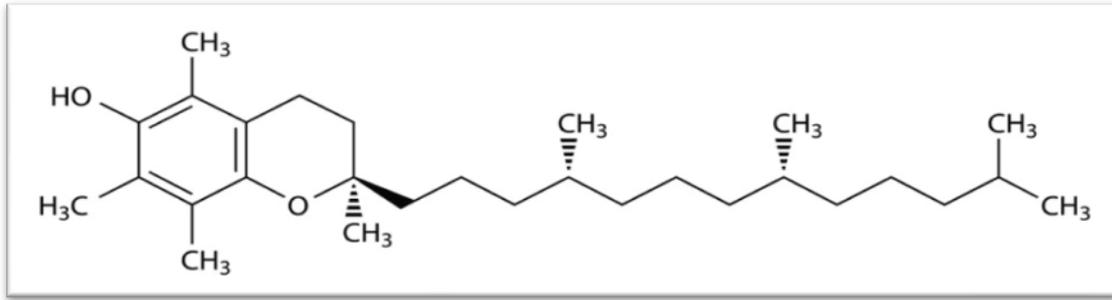


Figure : Structure chimique de l'  $\alpha$ -tocophérol (Berset, 2006).

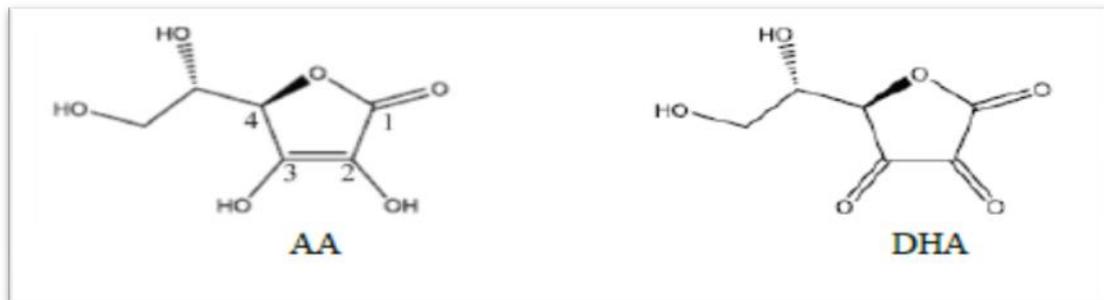


Figure : Structure de la vitamine C et de sa forme oxydée (Pincemail *et al.*, 1998).

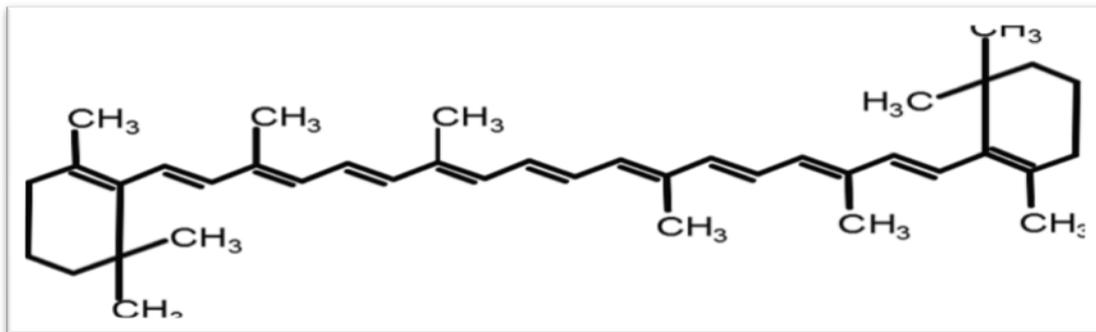


Figure: Structure de  $\beta$  -carotène (Mohamedi, 2013)

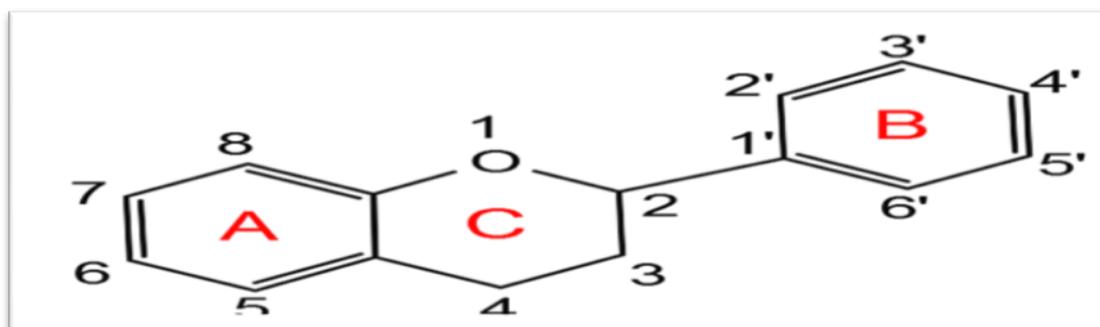
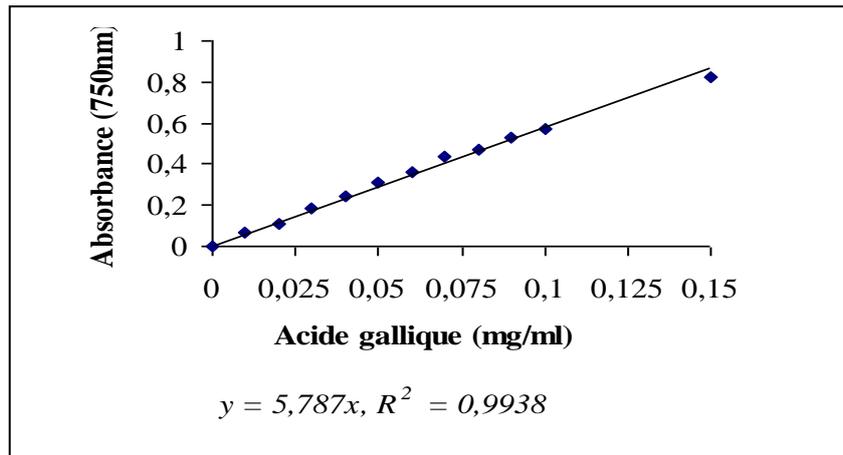


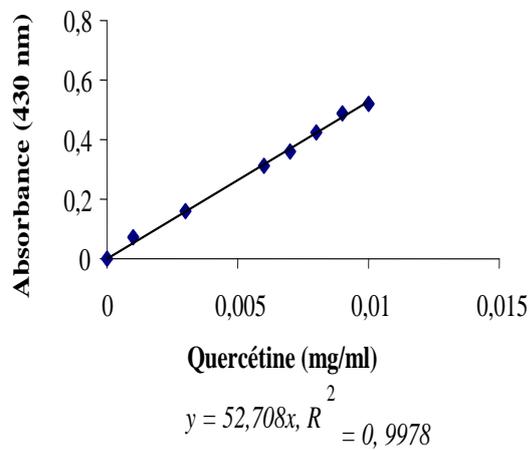
Figure: Structure de base des flavonoïdes (Afanas'eva *et al.*, 2001)

## Annexe II

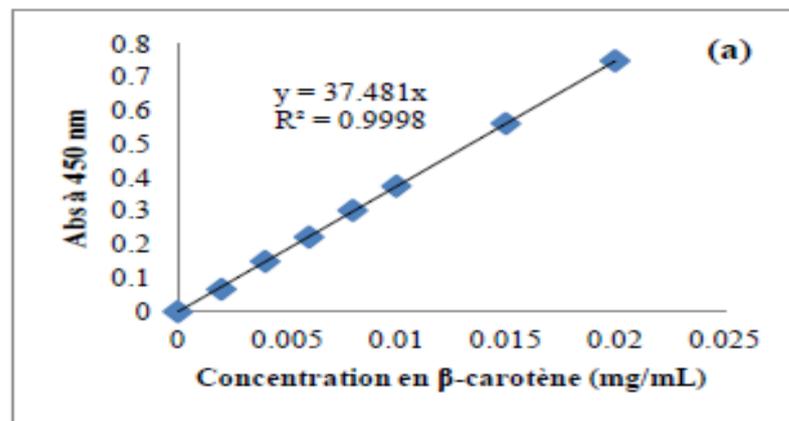
### Annexe II. Courbes d'étalonnage pour le dosage des Antioxydants.



**Figure 1:** Courbe d'étalonnage pour le dosage des phénols totaux



**Figure 2:** Courbe d'étalonnage pour le dosage des flavonoïdes.



**Figure 3:** Courbe d'étalonnage pour le dosage des caroténoïdes

## Résumé

Le gingembre ou bien *Zingiber officinale*, est une plante qui appartient à la famille des Zingibéracées et représente l'une des plantes médicinales les plus anciennes connues par l'être humain. Le présent travail est mené en vue d'étudier la phytochimie et l'activité antioxydante de rhizome du gingembre.

La première étape est consacrée au séchage de *Zingiber officinale Roscoe* aux microondes à différentes puissances (180, 360, 540, 720,900W), puis l'extraction des composés phénoliques en utilisant éthanol, Par la suite la détermination de la teneur en composés phénoliques et leurs activité antioxydante.

Les résultats obtenus montrent que la teneur en composés phénoliques de gingembre varie d'un extrait à un autre. L'extrait obtenu à la puissance **540W(P60)** renferme la plus grande quantité de polyphénols totaux (18,3mg EAG/g MS) et Flavonoides 14 mg (EQ/g). En outre pour les caroténoïdes à une valeur de 53 mg/100 g obtenu à la puissance **180W(P20)**. Pour le pouvoir antioxydant, c'est l'extrait obtenu à la puissance **180W (P20)** qui est plus active avec un pourcentage d'inhibition de 69,75%.

Ces résultats suggèrent que *Zingiber officinale* pourrait servir comme une source alternative d'agents antioxydants pour la protection des êtres humains contre les dommages oxydatifs induits par les radicaux libres.

**Mots clés :** *Zingiber officinale*, micro-onde, séchage, antioxydants, activité antioxydante.

## Abstract

Ginger or *Zingiber officinale*, is a plant that belongs to the family Zingiberaceae and is one of the oldest medicinal plants known to humans. This work is conducted to study the phytochemistry and antioxidant activity of ginger rhizome.

The first step is dedicated to the drying of *Zingiber officinale Roscoe* with microwaves at different powers (180, 360, 540, 720,900W), then the extraction of phenolic compounds using ethanol, afterwards the determination of the content of phenolic compounds and their antioxidant activity.

The results obtained show that the content of phenolic compounds of ginger varies from one extract to another. The extract obtained at 540W power (P60) contains the largest amount of total polyphenols (18.3 mg EAG / g DM) and Flavonoids 14 mg (EQ / g) In addition, for carotenoids at 53 mg / 100 g obtained at 180W power (P20) For the antioxidant power, the extract obtained at 180W power (P20) is more active with a 69.75% inhibition percentage.

These results suggest that *Zingiber officinale* could serve as an alternative source of antioxidants for the protection of humans against oxidative damage induced by free radicals.

**Key words:** *Zingiber officinale*, microwaves, drying, antioxidants, antioxidant activity.

## المخلص

الزنجبيل أو الزنجبيل officinale، هو النبات الذي ينتمي إلى عائلة Zingiberaceae وهي واحدة من أقدم النباتات الطبية المعروفة للبشر. يتم إجراء هذا العمل لدراسة كيمياء النبات والنشاط المضاد للأكسدة في جذور الزنجبيل. ويخصص الخطوة الأولى لتجفيف نبات الزنجبيل officinale مع أفران الميكروويف في قوى مختلفة (180، 360، 540، 720، 900 واط )، ثم استخلاص المركبات الفينولية باستخدام الإيثانول، في وقت لاحق تحديد محتوى المركبات الفينولية ونشاطها المضاد للأكسدة.

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن محتوى مركبات الفينول في الزنجبيل يختلف من مستخلص إلى آخر، المستخلص بقوة 540 واط (P60) يحتوي على أكبر قدر من إجمالي البوليفينول 18,3 ملغ (مكافئ حمض الغاليك)/الغرام من المادة و14 ملغ (مكافئ الكرسيتين)/الغرام من المادة الجافة من الفلافونويد وبالإضافة إلى الكاروتينات بقيمة 53 ملغ / 100 غ تم الحصول عليها بقوة 180 واط (P20) بالنسبة للطاقة المضادة للأكسدة، المستخلص المتحصل عليها بقوة 180 واط (P20) أكثر نشاطاً مع نسبة تثبيط 69.75%.

وتشير هذه النتائج إلى أن نبات الزنجبيل officinale يمكن أن تكون مصدراً بديلاً للمضادات الأكسدة لحماية البشر ضد الضرر التأكسدي الناتج عن الجذور الحرة.

**الكلمات المفتاحية:** نبات الزنجبيل Officinale، الميكروويف، تجفيف، مضادات أكسدة، نشاط مضاد للأكسدة.