

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد- تلمسان

Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEN

كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون

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

Département d'Agronomie



## MÉMOIRE

Présenté par

**BAGHLI Fatima Zohra & ILES Mirvet**

*En vue de l'obtention du*

**Diplôme de MASTER en Sciences Alimentaires**

Option : Biologie de la Nutrition

### Thème

Contribution à l'étude de l'activité antioxydante  
des extraits de Zingiber officinale

Soutenu le 05 juin 2024

devant le jury composé de :

Encadrant	BOUANANE S	Professeur	Université de Tlemcen
Président	BABA AHMED F	Professeur	Université de Tlemcen
Examineur	KARAOUZENE N	MCA	Université de Tlemcen

Année universitaire 2023/2024



## Remerciements

Nous tenons à remercier en premier lieu ALLAH le tout puissant pour toute la volonté et le courage qu'il nous a donné pour l'achèvement de ce travail de recherche.

Nous tenons tout particulièrement à adresser nos profonds remerciements et nos sincères gratitude à notre encadrante Mme BOUANANE S, Professeur à l'université de Tlemcen, on la remercie pour sa confiance, sa gentillesse, son soutien, son attention, ses bons conseils, son encouragements, sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous remercions les membres de jury :

Mme BABA AHMED FZ, Professeur à l'université de Tlemcen

&

Mme KARAOUZENE NS, maitre de conférences A à l'université de Tlemcen, D'avoir bien voulu accepter de juger ce travail, nous vous en sommes très reconnaissantes et en espérant être à la hauteur de votre confiance.

Nous remercions s'adressent aussi à Mr LARROUSSI M, Doctorant à l'université de Tlemcen pour son soutien précieux au sein du laboratoire de recherche PPABIONUT de l'université de Tlemcen.

Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidé et Soutenu de près ou de loin pour que ce projet soit possible, nous vous disons merci.

Merci à vous tous



## *Dédicace*

*Je dédie ce travail :*

*En premier lieu, je remercie Allah qui m'a guidé sur la bonne voie tout au long de mes études et m'a inspiré les bonnes décisions.*

*A mon père : Baghli Boumediene*

*Mon meilleur exemple et mon modèle de persévérance pour continuer à progresser et ne jamais céder. En raison de son enseignement constant qui m'enseigne les véritables valeurs de la vie et de ses conseils précieux.*

*A ma mère : Beddou Hafida*

*Pour son amour, sa patience, sa compréhension, sa disponibilité, son écoute constante et son soutien incomparable lors des moments les plus difficiles de ma vie.*

*A ma belle-sœur : Baghli Nihed*

*Je vous remercie pour votre amour, votre soutien et votre confiance, pour vos encouragements et son soutien. Je vous exprime ma gratitude sincère pour tout.*

*A ma fidèle amie : Bendahmane Khouloud*

*Tu es l'essence de ma vie, ma sœur, que Dieu te bénisse pour ta présence dans ma vie. Toute la réussite et le bonheur dans ta vie sont mes vœux.*

*A mon binôme Iles Mirvet*

*Qui est partagé avec moi tous les moments de joie et de bonheur, je vous remercie pour votre amitié et votre soutien, sans elles ce travail n'aurait pas été accompli.*

FATIMA ZOHRA

## Dédicace

Avec mes sentiments de gratitude les plus profonds, Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents : *Abdelkader* & *Amaria* sans eux je n'ai pas pu être ce que je suis, en reconnaissance de leurs efforts, leurs amours leurs soutiens et leurs encouragements durant tout mon parcours. Je prie Dieu pour qu'il vous accorde santé et une longue vie.

رَبِّ اَرْحَمُهُمَا كَمَا رَبَّيَانِي صَغِيرًا

A mon cher fiancé *Rayane* qui m'encourage toujours à aller plus loin. Merci de m'avoir montré beaucoup de patience durant les moments les plus stressants.

A ma très chère sœur : *Naziha* & mes chers frères : *Nassim*, *Oussama* & *Adnane* pour votre amour, Votre soutien et votre confiance, Je vous remercie de tout cœur.

A mon binôme *Baghli fatima zohra*, qui est partagé avec moi tous les moments de joie et de bonheur, je vous remercie pour votre amitié et votre soutien.

À toute la famille ILES

À tous Mes amis et Mes camarades de promotion

Merci pour tout, pour vos encouragements et soutien.

MIRVET

# *Abstract*

Ginger, also known by the scientific name *Zingiber officinale*, belongs to the Zingiberaceae family and is recognized as one of the medicinal plants most anciently used by humans.

The objective of this study focuses on the evaluation of the *in vitro* antioxidant activity of ginger extract, based on the analysis of certain phytochemical compounds such as polyphenols and flavonoids.

The subsequent evaluation of the antioxidant activity of ginger extract is based on two tests: the DPPH test and the reducing power test. The results of these assays reveal a high concentration of these compounds in the ginger rhizome. The results thus indicate that the extract presents a moderate anti-radical and antioxidant potential compared to the standard antioxidant used as a reference.

These findings suggest that *Zingiber officinale* could be considered as an alternative source of antioxidant agents to protect humans from oxidative damage caused by free radicals.

Keywords: *Zingiber officinale*, Polyphenols, Flavonoids, Antioxidant activity.

# *Résumé*

Le gingembre, également connu sous le nom scientifique de *Zingiber officinale*, appartient à la famille des Zingibéracées et est reconnu comme l'une des plantes médicinales les plus anciennement utilisées par l'être humaine.

L'objectif de cette étude se concentre sur l'évaluation de l'activité antioxydante in vitro de l'extrait de gingembre, en se basant sur l'analyse de certains composés phytochimiques tels que les polyphénols et les flavonoïdes.

L'évaluation ultérieure de l'activité antioxydante de l'extrait de gingembre repose sur deux tests : le test de DPPH et le test du pouvoir réducteur. Les résultats de ces dosages révèlent une concentration élevée de ces composés dans le rhizome de gingembre. Les résultats indiquent ainsi que l'extrait présente un potentiel anti-radicalaire et antioxydant modéré par rapport à l'antioxydant standard utilisé comme référence.

Ces conclusions suggèrent que *Zingiber officinale* pourrait être envisagé comme une source alternative d'agents antioxydants pour protéger l'être humain des dommages oxydatifs provoqués par les radicaux libres.

**Mots clés :** *Zingiber officinale*, Polyphénols, Flavonoïdes, Activité antioxydante.

# المخلص

الزنجبيل، المعروف أيضاً بالاسم العلمي *Zingiber officinale*، ينتمي إلى عائلة Zingiberaceae ويُعرف بأنه أحد النباتات الطبية التي استخدمها الإنسان قديماً.

يركز الهدف من هذه الدراسة على تقييم نشاط مستخلص الزنجبيل المضاد للأكسدة في المختبر، بناءً على تحليل بعض المركبات الكيميائية النباتية مثل البوليفينول و الفلافونويد.

يعتمد التقييم اللاحق لنشاط مضادات الأكسدة لمستخلص الزنجبيل على اختبارين: اختبار DPPH واختبار قوة الاختزال.

نتائج هذه المقاسات تكشف عن تركيز عالٍ من هذه المركبات في جذور الزنجبيل. تشير النتائج بالتالي إلى أن المستخلص لديه إمكانات معتدلة مضادة للجذور ومضادات الأكسدة مقارنة بمضادات الأكسدة القياسية المستخدمة كمرجع.

تشير هذه النتائج إلى أنه يمكن اعتبار الزنجبيل مصدرًا بديلاً للعوامل المضادة للأكسدة لحماية البشر من الأضرار التأكسدية التي تسببها الجذور الحرة.

**الكلمات المفتاحية:** نبات الزنجبيل، البوليفينول، الفلافونويدات، النشاط المضاد للأكسدة.

# *Table de matière*

<i>Liste des figures</i> .....	
<i>Liste des tableaux</i> .....	
<i>Liste des abréviations</i> .....	
<i>Introduction générale</i> .....	<b>1</b>

## ***Première partie : Synthèse bibliographique***

### **Chapitre 1 : Présentation de la plante Zingiber officinale**

<b>1. Généralités</b> : .....	<b>4</b>
<b>2. Habitat et distribution géographique</b> : .....	<b>5</b>
<b>3. Description botanique</b> : .....	<b>6</b>
3.1. Partie souterraine : .....	6
3.2. <i>Partie aérienne</i> : .....	6
<b>4. Classification botanique</b> : .....	<b>7</b>
<b>5. Composition chimique et nutritionnelle</b> : .....	<b>8</b>
5.1. Composition chimique : .....	8
5.2. Composition nutritionnelle : .....	9
<b>6. Utilisation de la plante</b> : .....	<b>12</b>
6.1 Utilisation traditionnelle : .....	12
6.2 Utilisation thérapeutique : .....	12
<b>7. Propriétés du gingembre</b> : .....	<b>13</b>
7.1 Propriétés pharmacologiques : .....	13
7.2 Propriétés antioxydantes : .....	14
<b>8. Effets indésirables</b> : .....	<b>15</b>

### **Chapitre 2 : Etude phytochimique de Zingiber officinale**

<b>1. Huiles essentielles</b> .....	<b>17</b>
1-1- Définition : .....	17



1-2- Caractère physico-chimique des huiles essentielles :.....	17
1-3- Composition des huiles essentielles : .....	17
1-4- Méthodes d'extraction des huiles essentielles :.....	17
<b>2. Oléorésine :</b> .....	20

### **Chapitre 3 : Etude de l'activité antioxydante du gingembre**

<b>1. Stress oxydatif :</b> .....	23
1.1.1. Espèces réactives oxygénées (ROS) des radicaux libres :.....	24
1.1.2. Mécanisme d'action des radicaux libres :.....	24
1.1.3. Sources de production des radicaux libres :.....	24
1.2. Les dommages oxydatifs :.....	26
1.2.1. Oxydation de l'ADN :.....	26
1.2.2. Oxydation des protéines :.....	26
1.2.3. Oxydation des composés lipidiques :.....	27
1.2.4. Oxydation du glucose :.....	27
<b>2. Les antioxydants :</b> .....	27
2.1.1. Les polyphénols :.....	28
2.1.1.1. Mécanisme d'action des polyphénols :.....	30
2.1.2. Flavonoïdes :.....	30
2.1.2.1. Mécanismes d'action des flavonoïdes :.....	33

### ***Deuxième partie : Etude expérimentale***

#### **Chapitre 1 : Matériels et méthodes**

<b>1. Matériel d'étude :</b> .....	35
1.1. Matériel végétal :.....	35
1.2. Produits chimiques :.....	35
<b>2. Méthodes :</b> .....	35
2.1. Préparation de l'homogénat de gingembre :.....	35
2.2. Préparation de l'extrait de gingembre.....	36
2.3. Préparation des échantillons à différentes concentrations.....	36

<b>3. Tests quantitatifs phytochimiques</b> .....	<b>37</b>
3.1. Dosage des polyphénols totaux : .....	37
3.1.1.Principe : .....	37
3.1.2.Mode opératoire : .....	37
3.2. Dosage des flavonoïdes : .....	38
3.2.1. Principe .....	38
3.2.2. Mode opératoire .....	39
<b>4. Evaluation de l'activité antioxydante de gingembre</b> .....	<b>40</b>
4.1. Test du DPPH : .....	40
4.1.1. Principe : .....	40
4.1.2. Mode opératoire : .....	41
4.2. Test du pouvoir réducteur (FRAP) : .....	42
4.2.1. Principe : .....	42
4.2.2. Mode opératoire : .....	43

## **Chapitre 2 : Résultats et discussion**

<b>1. Test quantitatif in vitro des composés phénoliques</b> : .....	<b>45</b>
1.1. <i>Dosage des polyphénols totaux</i> : .....	45
1.2. Dosage des flavonoïdes : .....	47
<b>2. Évaluation de l'activité antioxydante in vitro</b> : .....	<b>49</b>
2.1. <i>Test de DPPH</i> : .....	49
2.2. Test du pouvoir réducteur du fer : .....	51

***Conclusion générale* .....****53**

***Références bibliographiques* .....****55**

***Annexe*.....***Erreur ! Signet non défini.*

# *Liste des figures*

<b>Figure 1:</b> Plante de Zingiber officinale.....	4
<b>Figure 2 :</b> Répartition mondiale des plantes de la famille des Zingibéracées.....	5
<b>Figure 3 :</b> La partie souterraine de gingembre.....	6
<b>Figure 4 :</b> Partie aérienne de gingembre. ....	7
<b>Figure 5 :</b> Composition en macronutriments du gingembre. ....	8
<b>Figure 6 :</b> Quelques composants bioactifs de gingembre .....	9
<b>Figure 7 :</b> Principaux constituants actifs du gingembre .....	14
<b>Figure 8 :</b> Les structures chimiques des principaux composants de Z. officinal.. .....	18
<b>Figure 9 :</b> Les étapes de l'obtention d'une huile essentielle .....	20
<b>Figure 10 :</b> Structures des principaux constituants actifs du gingembre.....	20
<b>Figure 11 :</b> Déshydratation des Gingérols en Shogaols à haute température ...	21
<b>Figure 12:</b> Conversion de Gingerols en Zingerone et aldéhyde aliphatique à haute température.....	22
<b>Figure 13:</b> Déséquilibre de la balance entre antioxydants et pro-oxydants.....	23
<b>Figure 14:</b> Sources de production des radicaux libres. ....	25
<b>Figure 15:</b> Mécanisme d'action des antioxydants contre les radicaux libres ....	28
<b>Figure 16:</b> Structure du noyau phénol .....	29
<b>Figure 17:</b> Les étapes de préparation de l'extrait de gingembre .....	36
<b>Figure 18:</b> Dosage des polyphénols totaux.....	37
<b>Figure 19:</b> Protocole de dosage de polyphénols totaux.....	38
<b>Figure 20:</b> Le dosage de flavonoïdes .....	39
<b>Figure 21:</b> Protocole de dosage de flavonoïdes.....	40
<b>Figure 22:</b> Evaluation de l'activité antioxydante par le test du DPPH .....	41

<b>Figure 23:</b> Protocole d'évaluation de l'activité antioxydante par le test du DPPH. .....	42
<b>Figure 24:</b> Evaluation de l'activité antioxydante par le test du FRAP .....	43
<b>Figure 25:</b> Protocole d'évaluation de l'activité antioxydante par le test du DPPH .....	44
<b>Figure 26:</b> Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.....	45
<b>Figure 27:</b> Le taux de polyphénols dans des milieux à des concentrations différentes.....	46
<b>Figure 28:</b> Courbe d'étalonnage de la catéchine .....	47
<b>Figure 29:</b> Le taux de flavonoïdes dans des milieux à des concentrations différentes.....	48
<b>Figure 30:</b> Représentation graphique de la capacité antioxydante du radical DPPH .....	50
<b>Figure 31:</b> Représentation graphique de la capacité antioxydante par le FRAP	51

# *Liste des tableaux*

<b>Tableau 1:</b> Production mondiale du gingembre .....	5
<b>Tableau 2:</b> Classification botanique du gingembre.....	7
<b>Tableau 3:</b> Principaux composants du gingembre .....	10
<b>Tableau 4:</b> Composition nutritionnelle du gingembre .....	11
<b>Tableau 5:</b> Principaux radicaux libres et leur structure chimique .....	24
<b>Tableau 6:</b> Classification des flavonoïdes .....	31
<b>Tableau 7:</b> Teneur en polyphénols totaux dans l'extrait aqueux des rhizomes de Zingiber .....	46
<b>Tableau 8:</b> Teneur en flavonoïdes dans l'extrait aqueux des rhizomes de Zingiber. ....	47

# *Liste des abréviations*

**AGPI** : les acides gras polyinsaturés

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

**FRAP**: ferric reducing antioxidant power.

**Fe<sup>2+</sup>** : Fer Ferreux.

**Fe<sup>3+</sup>** : Fer Ferrique.

**EAG** : équivalent d'acide gallique

**AG** : acide gallique

**IC50** : Concentration inhibitrice à 50%

**HE** : les huiles essentielles

**PFG** : produits finaux de glycosylation

**ROS** : les espèces réactives de l'oxygène

**8-OHG** : 8- hydroxy-guanine

**UV** : ultra-violet

**R2** : coefficient de corrélation

**Z. officinal** : Zingiber officinal

# *Introduction générale*

## **Introduction :**

Le gingembre, connu sous le nom scientifique *Zingiber officinale* Roscoe, est une plante miraculeuse aux multiples propriétés, largement utilisée dans la cuisine indo-asiatique pour ses qualités gustatives et ses bienfaits digestifs. Sa réputation séculaire dans la médecine traditionnelle, notamment ayurvédique et chinoise, en fait un ingrédient important dans le traitement de diverses maladies (Nile et Park, 2015).

Cette reconnaissance ancienne lui confère une utilisation répandue dans de nombreux pays tels que la Chine, la Corée et l'Australie (Gigon, 2012 ; Si et al., 2018),

En plus de ses applications médicinales, le gingembre est également apprécié comme épice pour sa saveur piquante et ses arômes distinctifs, ajoutant ainsi une dimension sensorielle aux aliments et aux boissons (Srinivasan, 2017).

Dans notre étude, l'objectif essentiel consiste à estimer in vitro l'activité antioxydante de l'extrait des rhizomes frais de *Zingiber officinale*.

Et dans ce cadre, ce travail est subdivisé en deux parties principales :

La première concerne une synthèse bibliographique, partagée en trois chapitres, dans laquelle sont détaillées les parties suivantes : le gingembre, la structure chimique, ces composants bénéfiques, ces propriétés biologiques et le stress oxydatif.

La deuxième partie est consacrée au travail expérimental proprement dit et comprend deux chapitres :

Matériel et méthodes où sont détaillés l'extraction, les dosages des composés phénoliques 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.



*Première partie :*

*Synthèse bibliographique*

# Chapitre 1 : Présentation de la plante *Zingiber officinale*

---

## 1. Généralités :

Le *Zingiber officinale*, également connu sous le nom de « Zanjabil » ou « le gingembre », est une plante herbacée vivante de la famille des monocotylédones des Zingiberaceae et du genre *Zingiber* (**figure 1**) (Marwat et al., 2015).

Depuis longtemps, c'est l'une des herbes les plus utilisées empiriquement en Asie, en Amérique centrale, en Amérique du Sud et en Afrique pour traiter diverses maladies (Aleem et al., 2020).

Il existe trois sortes de *Zingiber officinale* : le gingembre géant, également connu sous le nom de gingembre blanc (*Zingiber officinale* var. **Roscoe**), le petit gingembre, également connu sous le nom le gingembre emprit blanc (*Zingiber officinale* var. **Amarum**) et le gingembre rouge (*Zingiber officinale* var. **Rubrique**) (Syafitri et al., 2018).

Le gingembre est utilisé comme épice depuis plus de 200 ans (Stoilova, 2007), et est un ingrédient important parmi les plantes médicinales chinoises (Thomson, 2002).



**Figure 1: plante de *Zingiber officinale* (Gigon, 2012).**

## 2. Habitat et distribution géographique :

Le gingembre est une plante adaptée à la culture des régions tropicales et subtropicales, dans un climat avec une température de 19-28 °C et une humidité de 70-90 % (Sharifi-Rad et al., 2017). Il pousse bien même dans des environnements chauds et humides, dont l'altitude varie de 1500 m à 4 444 m (Dhanik et al., 2017).

Cette épice orientale traverse pour la première fois la Méditerranée, probablement grâce aux Phéniciens, et atteint l'Europe sous l'Empire romain à partir du 1<sup>er</sup> siècle (Gigon, 2012).

Il est cultivé en Chine, au Népal, aux États-Unis, en Inde, au Bangladesh, à Taiwan, en Jamaïque, au Nigeria et dans d'autres régions du monde (figure 2). L'Inde est le plus grand producteur mondial de gingembre (Dhanik et al., 2017) (Tableau 1).



Figure 2 : Répartition mondiale des plantes de la famille des Zingibéracées.

([www.mobot.org/mobot/research/apweb/orders/zingiberalesweb.htm](http://www.mobot.org/mobot/research/apweb/orders/zingiberalesweb.htm))

Tableau 1: Production mondiale du gingembre (FAO, 2020)

Pays	Production (tonnes, année 2020)
Inde	893 242
Chine	510 035
Nigeria	369 019
Népal	284 000
Indonésie	207 412
Thaïlande	167 952
Reste du monde	2 785 574

### 3. Description botanique :

Le gingembre est une plante herbacée vivace qui pousse dans les régions tropicales humides, avec une hauteur moyenne de tronc de 1,50 mètre, pouvant atteindre jusqu'à 3 mètres (Gigon, 2012). Les rhizomes sont aromatiques, plus ou moins épicés, d'odeur citronnée et légèrement amère (Eberhard et al., 2005).

#### 3.1. Partie souterraine :

Le *Zingiber officinale* est divisé en deux parties (figure 3). Il possède des rhizomes ramifiés horizontalement, la peau est beige clair et devient plus fibreuse avec l'âge (Faivre et al., 2006), très aromatique et a un goût piquant (Gignon, 2012).



Figure 3 : La partie souterraine de gingembre (Gigon, 2012).

#### 3.2. Partie aérienne :

Cette partie est constituée de feuilles et de tiges.

Les feuilles sont longues, larges de 2 à 3 cm, et ont une forme enveloppante à la base. La lame s'effile progressivement vers la pointe (Syafitri et al., 2018).

Il présente deux types de tiges : de hautes tiges stériles servant à l'assimilation de la chlorophylle et des tiges courtes (environ 20 cm) portant des épis floraux irréguliers. L'inflorescence est constituée de panicules axillaires très denses (figure 4). La tige est couverte d'écailles et entourée de pétales denses, grandes bractées cireuses jaune-vert empilées les unes au-dessus des autres (Faivre, 2006).



**Figure 4 : Partie aérienne de gingembre (Braga et al., 2006).**

#### **4. Classification botanique :**

La classification de gingembre est représentée dans le tableau 2 :

**Tableau 2: Classification botanique du gingembre (Amari, 2016)**

<b>Régne</b>	<b>Plantae</b>
<b>Sous-régne</b>	<b>Trachéobionta</b>
<b>Division</b>	<b>Angiospermes</b>
<b>Classe</b>	<b>Monocotylédones</b>
<b>Sous-classe</b>	<b>Zingibéridées</b>
<b>Ordre</b>	<b>Zingibérales</b>
<b>Famille</b>	<b>Zingibéracées</b>
<b>Sous-famille</b>	<b>Zingibéroïdées</b>
<b>Genre</b>	<b>Zingiber</b>
<b>Espèce</b>	<b>Zingiber officinale (roscoe)</b>

## 5. Composition chimique et nutritionnelle :

### 5.1. Composition chimique :

La composition chimique du gingembre est complexe, les principaux constituants des rhizomes sont les glucides ou l'amidon qui est le constituant majeur (50-70%) (Grzanna, 2005 ; Srinivasan, 2017), l'oléorésine riche en lipides (3-8%) et en composés phénoliques et une fraction d'huile essentielle allant de 10 à 40 mL/kg contenant de nombreuses molécules odorantes (terpènes) (Srinivasan, 2017 ; Mahboubi, 2019) (figure5).

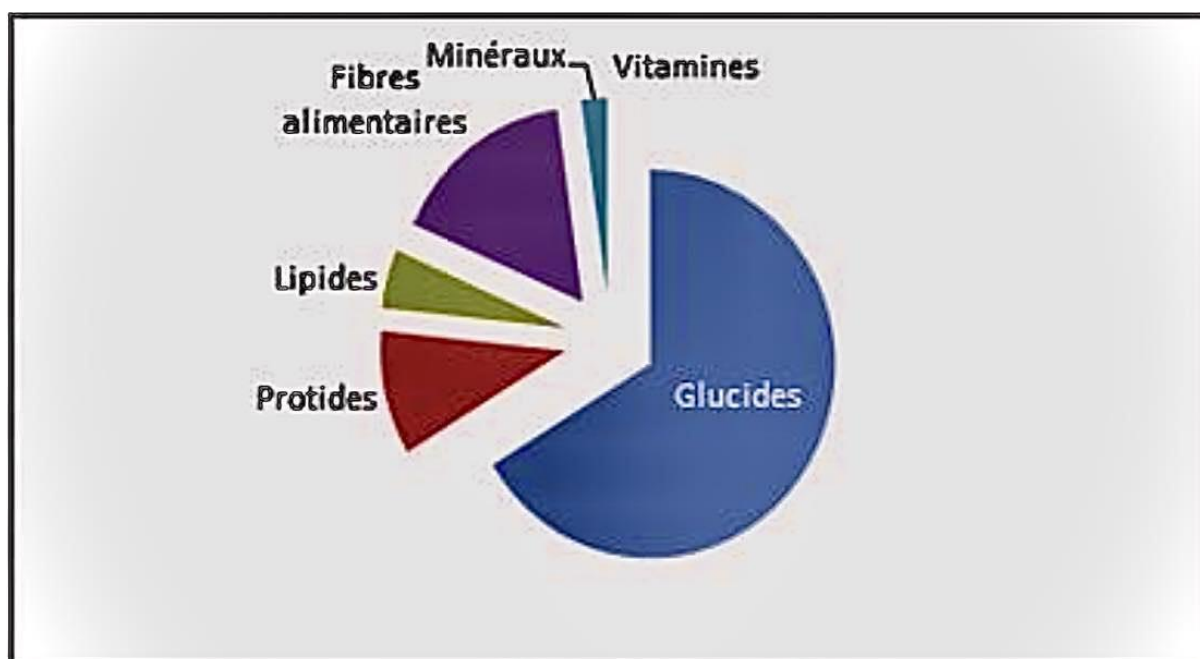


Figure 5 : Composition en macronutriments du gingembre (Aprifel, 2016).

La plupart des composants se trouvent principalement dans le rhizome, qui est la partie la plus couramment utilisée de la plante, ce dernier comprend essentiellement :

Les rhizomes de gingembre contiennent des glucides dont 60% d'amidon, des graisses comprenant 10% d'acide oléique et linoléique, et 10-40 ml/kg d'huiles essentielles (volatiles), des protéines, des fibres, des vitamines et des minéraux. Mais contiennent également des polyphénols et composés volatils (Gigon, 2012 ; Pinson, 2012).

Par ailleurs, les huiles essentielles sont constituées de : Mono et sesquiterpènes, ces derniers représentant le principal composant (30 à 70% de l'huile essentielle), il existe une grande quantité de résines et de complexes d'oléorésine qui contiennent des composés non volatils. (Awe, 2013).

Les oléorésines contiennent des composés phénoliques responsables de leur goût piquant : Chagol, gingérol, paradol, zingérone et le constituant qui donne un goût très spécifique aux médicaments séchés (Bruneton, 2009).

L'oléorésine contient des composés responsables de la pimentation excessivement exprimée du gingembre. Certains appartiennent à l'assainissement des vanilloïdes et sont connus en deçà le nom de 3-, 6-, 8-, 10 et 12-gingérols (figure 6, tableau 3). Ces composés ont un filet latéral de largeur variable, respectivement de 7, 10, 12, 14 ou 16 carbones (Gigon, 2012 ; Ok et Jeong, 2012).

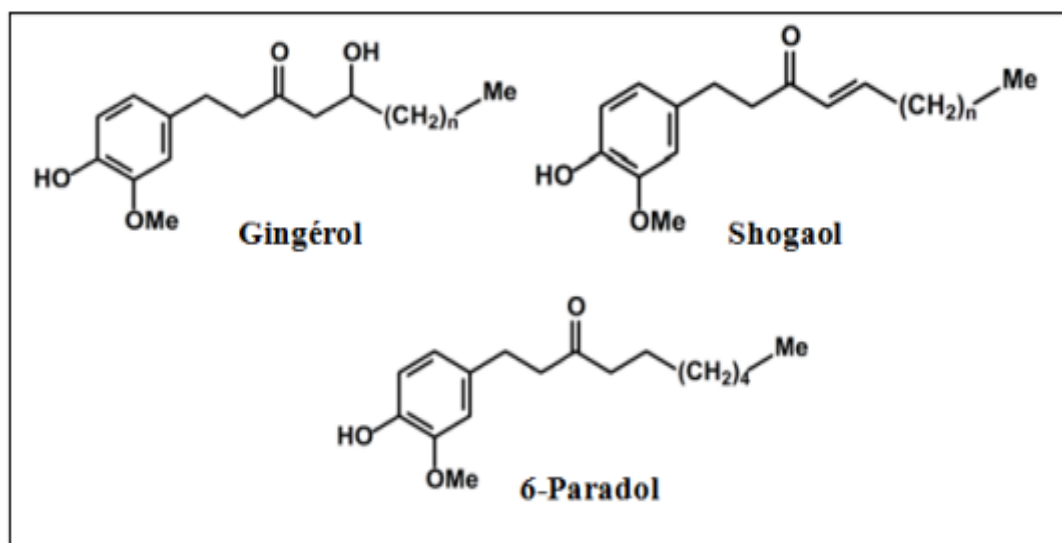


Figure 6 : Quelques composants bioactifs de gingembre (Banerjee et al., 2011).

## 5.2. Composition nutritionnelle :

Le contenu nutritionnel du gingembre est très intéressant. Leur quantité est calculée sur 100 g et comprend des graisses et des protéines dans des quantités et proportions d'apport quotidien recommandées importantes (par exemple, 18% et 6%), des huiles et des sucres, des minéraux et des oligo-éléments, et également des vitamines. Molécules impliquées dans la nutrition, la croissance et la fonction cellulaire des plantes : les terpènes, flavonoïdes, tanins et coumarines (Foine, 2017).

Le gingembre contient diverses valeurs nutritionnelles. Ce tableau présente l'apport énergétique (calories) de 100 g de fruit de gingembre râpé et les nutriments qui entrent dans sa composition (protéines, lipides, glucides, sels inorganiques, vitamines) (Tableau 4).

Tableau 3: Principaux composants du gingembre (Faivre et al., 2006)

Huiles volatiles		
Huile essentielle	Sesquiterpènes	<p><b>Monoterpènes</b> : <math>\alpha</math>-pinène, camphène, <math>\beta</math>-pinène, myrcène, limonène, phellandrène</p> <p><b>Monoterpénols</b> : linalol, citronellol</p> <p><b>Monoterpénals</b> : Citronnellal, myrténal, phellandral, néral, gèranial</p> <p><b>Sesquiterpènes</b> : dont zingibérène, <math>\beta</math>-sesquiphellandrène, germacrène B, germacrène D, <math>\beta</math>-curcumène, ar-curcumène</p>
	Alcools sesquiterpéniques	Gèranial, néral, citral, chavicol, esters acétique et caprylique, gingérol-6, alpha-curcumène.
	Hydrocarbures aliphatiques et aromatiques	Toluène, Alcools aliphatiques ( <i>butanol heptanol</i> ), Alcool cuminique, Aldéhydes aliphatiques ( <i>butanol, pentanol</i> ), Cétones aliphatiques ( <i>acétoneheptanone méthyl heptanone</i> )
Composés piquants non volatiles		
Oléorésine	Diarylheptanoïdes	<p>Gingerol, shogaol, zingérone, gingédiol, paradols. Ces composés ont une chaîne latérale de longueur variable de 7 à 16 carbones. Certains composés ne sont pas présents dans la drogue fraîche : les shogaols sont produits par la déshydratation des gingerols et seraient plus irritants et plus acres.</p> <p>Une autre catégorie de molécules ne se retrouve pas dans la drogue fraîche, ce sont les gingérones A et B <i>arylleptanoïdes</i> se développent au cours de la dessiccation.</p>



**Tableau 4: Composition nutritionnelle du gingembre (Neveu et al., 2010 ; Kubra et Rao, 2012 ; Mahdi et al., 2013 ; Al-Nahain et al., 2014 ; Rashidian et al., 2014).**

<b>Nutriments</b>	<b>Quantités par 100 g</b>	<b>% de l'apport journalier recommandé</b>
<b>Energie</b>	332 kcal	17%
<b>Eau</b>	9.94 g	-
<b>Protéines</b>	8.98 g	18%
<b>Lipides</b>	4.24 g	6%
<b>Acide gras saturés</b>	2.6 g	-
<b>Oméga 3</b>	0.223 g	2%
<b>Oméga 9</b>	0.375 g	-
<b>Glucides</b>	57.5 g	21%
<b>Sucres</b>	3.34 g	4%
<b>Fibres</b>	14.1 g	56%
<b>Minéraux et oligo-éléments</b>		
<b>Calcium</b>	114 mg	14 %
<b>Cuivre</b>	0.48 mg	48 %
<b>Fer</b>	19.8 mg	141 %
<b>Magnésium</b>	214 mg	57 %
<b>Manganèse</b>	33.3 mg	-
<b>Phosphore</b>	168 mg	24%
<b>Potassium</b>	1320mg	66 %
<b>Sélénium</b>	0.70 mg	1%
<b>Sodium</b>	27 mg	1%
<b>Zinc</b>	3.64 mg	36 %
<b>Vitamines</b>		
<b>Vitamine A</b>	18 µg	2%
<b>Vitamine B1</b>	0.046 mg	4 %
<b>Vitamine B2</b>	0.17 mg	12 %
<b>Vitamine B3</b>	9.62 mg	60 %
<b>Vitamine B5</b>	0.477mg	8 %
<b>Vitamine B6</b>	0.626 mg	45 %
<b>Vitamine B9</b>	34 µg	17 %

<b>Vitamine C</b>	5 mg	7 %
<b>Vitamine E</b>	0.26 mg	2 %
<b>Métabolites secondaires</b>		
<b>(6)-Gingerol</b>	21.15 mg	-
<b>Lignanes</b>	0.2 mg	-
<b>Polyphénol totaux</b>	0.2 mg	-

## 6. Utilisation de la plante :

### 6.1 Utilisation traditionnelle :

Pendant de nombreuses époques, le gingembre a été fréquemment employé comme remède médical et élément diététique en Asie du Sud-Est. Il joue un rôle primordial dans les traditions médicinales chinoises, ayurvédiques, unani, arabes, grecques, romaines, ainsi que dans une multitude d'autres systèmes de médecine populaire à travers le globe (**Haniadka et al., 2013**).

La médecine traditionnelle chinoise le recommandait pour traiter une gamme étendue de problèmes de santé, notamment le choléra, l'asthme, les maladies cardiaques, les troubles respiratoires (**Wilson et al., 2013**).

Dans le système de médecine ayurvédique, le gingembre est utilisé pour traiter un large éventail de troubles, notamment l'indigestion, la perte d'appétit, les réactions allergiques, la toux, le rhume, la fièvre, les douleurs, les maux de tête, les maux de dos et les maux de dents, ainsi que d'autres affections musculaires (**Haniadka et al., 2013**).

Au XVI<sup>e</sup> siècle, le gingembre était prescrit pour traiter les troubles gastro-intestinaux et les diarrhées. Il était également inclus dans la fabrication de bains de bouche, de gargarismes et de teintures dentifrices. De plus, pour soulager les douleurs dentaires, on massait les gencives avec de l'huile essentielle de gingembre et on plaçait un coton imbibé dans les dents cariées (**Allais, 2009**).

### 6.2 Utilisation thérapeutique :

Ces dernières décennies, *Zingiber officinale* a fait l'objet d'études approfondies pour ses propriétés médicinales, exploitant des techniques scientifiques avancées. Une diversité de composés bioactifs a été isolée à partir de différentes parties de la plante (**Syafitri et al., 2018**).

Zingiber officinale peut être bénéfique en tant que carminatif, diurétique et antiémétique. Les rhizomes séchés sont traditionnellement utilisés pour soulager les nausées, les indigestions et les flatulences. De plus, les rhizomes trempés dans de l'eau chaude sont reconnus pour soulager les douleurs abdominales (**Amir et al., 2011**).

Les recherches indiquent également d'autres effets bénéfiques du gingembre, tels que des propriétés hépato protectrices et antiallergiques (**Kawamoto et al., 2015 ; Lai et al., 2016**).

Par ailleurs, le gingembre est utilisé dans diverses conditions telles que la maladie d'Alzheimer, l'anorexie, l'anxiété, les allergies, le vieillissement, l'alcoolisme, le choléra, le syndrome du côlon irritable, la diarrhée, le rhume et la grippe, les migraines, et les céphalées en grappe (**Tauheed et al., 2017**).

Par ailleurs, le traitement au gingembre peut réduire les pertes sanguines chez les femmes souffrant de saignements menstruels abondants (**Kashefi et al., 2014**). Des études démontrent également l'efficacité du gingembre dans le traitement des nausées gravidiques (**Javadi et al., 2013**), des nausées et vomissements postopératoires, ainsi que des nausées et vomissements associés à la chimiothérapie (**Pillai et al., 2011**).

## **7. Propriétés du gingembre :**

### **7.1 Propriétés pharmacologiques :**

Les propriétés pharmacologiques du gingembre comprennent une activité antimicrobienne contre divers micro-organismes pathogènes, tels que *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Haemophilus influenzae* et *Candida albicans* (**Akoachere, 2002**). Des extraits de gingembre ont également montré une inhibition significative de la croissance d'*Helicobacter pylori*, associée à des troubles gastriques et au cancer (**Mahady, 2003**).

Sur le plan anticancéreux, des études ont observé des effets chimio-préventifs du gingembre sur le cancer de la peau, du tractus gastro-intestinal, du côlon et du sein, impliquant des mécanismes tels que le piégeage des radicaux libres, les voies antioxydantes, l'altération des expressions géniques et l'induction de l'apoptose (**Ramakrishnan, 2013**).

Les propriétés anti-inflammatoires du gingembre sont attribuées à des composants tels que le gingérol, le shogaol, le paradol et la zingérone, qui inhibent la synthèse des prostaglandines et des leucotriènes, conférant des aspects antiulcéreux et anti-inflammatoires (**Bartels, 2015**).

Aussi, le gingembre a démontré des effets antidiabétiques favorisant le bon fonctionnement du foie et du pancréas dans la production de bile, constituant ainsi un remède potentiel pour le diabète de type II. Il agit en stabilisant le taux de sucre dans le sang, protégeant les cellules  $\beta$  pancréatiques et altérant la synthèse et la sensibilité de l'insuline (Semwal, 2015 ; Srinivasan, 2017).

## 7.2 Propriétés antioxydantes :

Le gingembre est reconnu pour sa riche composition en composés phénoliques (figure 7), notamment le [6]-gingérol, le [8]-gingérol, le [10]-gingérol, et le [6]-shogaol, qui confèrent à la plante ses remarquables capacités antioxydantes (Atashak et al., 2014).

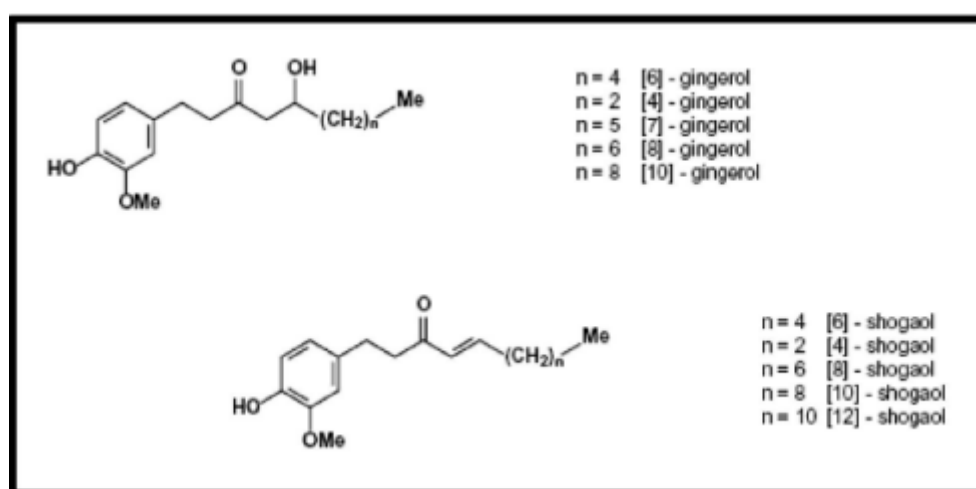


Figure 7 : Principaux constituants actifs du gingembre (Gigon, 2012)

L'activité antioxydante du gingembre est attribuée à sa capacité à neutraliser les radicaux libres et à piéger les espèces réactives de l'oxygène (ROS) (Abolaji et al., 2017). Ces ROS sont connus pour contribuer au développement de diverses maladies chroniques (Poprac et al., 2017). Les études révèlent que les extraits de gingembre, qu'ils soient sous forme d'huile essentielle ou d'oléorésine, présentent une activité antioxydante significative, avec une efficacité dose-dépendante (Bellik et al., 2014).

De plus, le gingembre démontre des effets protecteurs contre le stress oxydatif induit par divers agents externes tels que les radiations ionisantes. L'oléorésine de gingembre, en particulier, a été étudiée pour ses capacités à réduire la cytotoxicité induite par les rayonnements et à atténuer les dommages cellulaires dus aux ROS (Ji et al., 2017).

Dans le domaine dermatologique, le **[6]-gingérol**, un composé majeur du gingembre, montre un potentiel prometteur dans l'inhibition de la mélanogénèse. Les recherches indiquent que le **[6]-gingérol** non seulement supprime l'activité de la tyrosinase, mais réduit également la production intracellulaire de ROS, suggérant son utilité potentielle dans le traitement des troubles de la pigmentation cutanée (**Huang et al., 2011**).

Des études ont exploré les effets du gingembre sur les processus inflammatoires et les dommages cellulaires associés à des conditions telles que l'arthrose. L'extrait de gingembre semble réguler les processus d'apoptose mitochondriale et à augmenter l'expression des enzymes antioxydantes, offrant ainsi une perspective thérapeutique pour les troubles articulaires (**Zadeh et al., 2017**).

En conclusion, les recherches récentes soulignent les multiples facettes des propriétés antioxydantes et protectrices du gingembre, mettant en lumière son potentiel dans la prévention et le traitement de diverses maladies liées au stress oxydatif.

## **8. Effets indésirables :**

Le gingembre est couramment considéré comme un remède à base de plantes présentant seulement quelques effets secondaires indésirables mineurs (**Ali et al., 2008**). Aucun cas de toxicité aiguë ou chronique n'a été rapporté lors de l'utilisation du gingembre aux doses recommandées (**Allais, 2009**).

Des études approfondies sur la toxicité ont été menées pour évaluer la sécurité du gingembre. Des tests sur des rats ont impliqué l'administration d'une dose unique par voie orale de rhizome de *Zingiber officinale*, à des niveaux allant jusqu'à 2000 mg/kg et 2500 mg/kg, sur une période de 14 jours, sans aucun décès signalé (**Syafitri et al., 2018**).

De plus, une étude sur la toxicité subaiguë a examiné l'effet d'une poudre fine de rhizome de *Zingiber officinale* administrée par voie orale à des rats mâles et femelles, jusqu'à 2000 mg/kg/jour, pendant 35 jours, sans observer d'effets toxiques notables (**Syafitri et al., 2018**).

Il est important de souligner que bien que le gingembre soit généralement bien toléré, un surdosage peut entraîner des effets indésirables tels que des crampes intestinales, un ralentissement de l'activité gastrique et des brûlures d'estomac, qui ont été occasionnellement mentionnés. Par conséquent, il est recommandé de faire preuve de prudence, surtout en cas de

gastrite ou pendant une phase aiguë de maladie inflammatoire de l'intestin. Il convient également de noter que les essais cliniques chez les femmes enceintes n'ont généralement pas signalé d'effets indésirables graves liés à la consommation de gingembre (**Allais, 2009**).

## **Chapitre 2 : Etude phytochimique de Zingiber officinale**

---

### **1. Huiles essentielles**

#### **1-1- Définition :**

Les huiles essentielles (HE), appelées aussi « essences », sont des substances huileuses, volatiles et odorantes, de texture huileuse, offrant une concentration élevée en composés actifs provenant des plantes aromatiques (**Nogaret-Ehrhart, 2008**). Elles sont extraites par différentes méthodes, telles que l'entraînement à la vapeur d'eau et l'hydrodistillation (**Iserin et al., 2007**).

Les rhizomes de Zingiber officinale produisent une huile essentielle de couleur jaune pâle à ambre clair, qui peut être extraite avec des rendements variant d'environ 1,5% à 3,0 % en fonction de la qualité de la récolte (**Bellik, 2014**).

#### **1-2- Caractère physico-chimique des huiles essentielles :**

Les HE se présentent sous forme liquide à température ambiante mais sont également volatiles, ce qui les distingue des huiles appelées fixes. Les liposolubles sont compatibles avec les solvants organiques courants et l'alcool, entraînaibles à la vapeur d'eau, mais elles sont très peu solubles dans l'eau (**AFSSAPS, Mai 2008**).

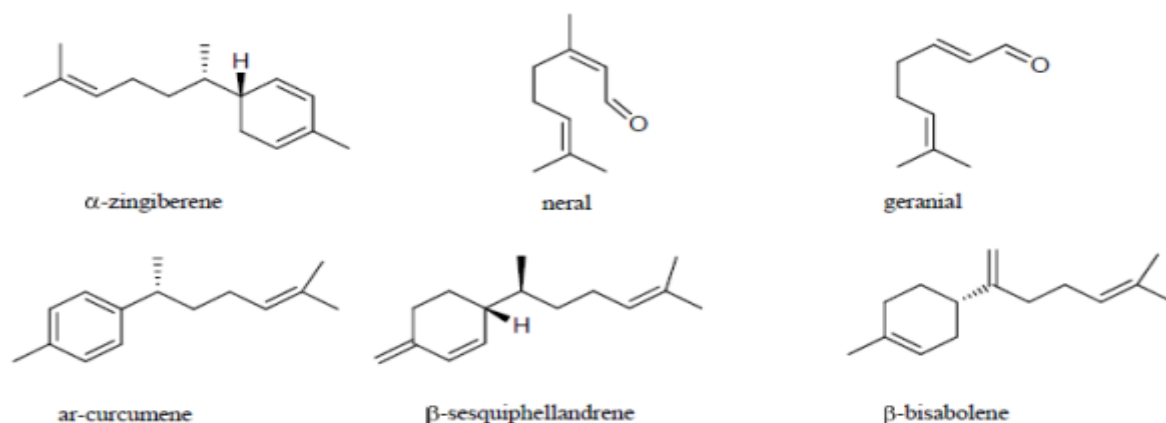
#### **1-3- Composition des huiles essentielles :**

Les composés principaux des HE comprennent les monoterpénoïdes et les sesquiterpénoïdes (**Yeh et al., 2014**).

Les substances les plus fréquentes sont le zingiberène, qui est responsable de la saveur et de l'arôme distinctifs, le gèranial, l'ar-curcumène, -bisabolène, - sesquiphélandréne et néral (figure 8) (**Sharifi-Rad et al., 2017**).

#### **1-4- Méthodes d'extraction des huiles essentielles :**

Il est indéniable que l'extraction des HE est la phase la plus complexe. L'objectif est de capturer les produits les plus délicats et les plus vulnérables créés par les plantes (**figure 9**). Il existe différentes méthodes :



**Figure 8 : Les structures chimiques des principaux composants de *Z. officinale* (Sharifi-Rad et al., 2017)**

- **Distillation à vapeur saturée :**

Au cours de cette procédure, la vapeur d'eau est introduite dans le matériau végétal, ce qui entraîne la formation de composés volatils, comme les HE qui sont ensuite collectées (Bhuiyan et al., 2005).

- **Entraînement à la vapeur d'eau :**

Le matériau végétal est traversé par de la vapeur d'eau, entraînant l'évaporation des composés volatils (HE). Par la suite, la vapeur contenant des huiles se refroidit et se condense, ce qui permet de dissoudre l'HE de l'eau. Cette méthode réduit au maximum la détérioration des composés volatils (Raina et al., 2003).

- **Hydro diffusion :**

Cela consiste à combiner la distillation à la vapeur d'eau et l'hydrodistillation pour extraire les HE. Dans cette procédure, on utilise une pression pour injecter de la vapeur d'eau à travers le matériau végétal, ce qui entraîne l'évaporation des composés volatils, y compris les HE. Ensuite, la vapeur d'eau transporte ces composés, puis les récupère après condensation (Raina & Srivastava, 2002).

- **Expression à froid :**

Connue sous le nom d'expression mécanique, cela consiste à exercer une pression mécanique sur les parties végétales afin de libérer les composés volatils.



- **Extraction par solvants :**

L'extraction par solvants est moins fréquente pour les HE, car elle peut causer la présence de solvants résiduels dans le produit final. Néanmoins, elle est parfois employée afin d'extraire des substances lipophiles. Il est possible d'utiliser des solvants tels que l'éther de pétrole ou l'hexane pour le gingembre (Singh et al., 2008).

- **Hydro distillation :**

Cette méthode consiste à extraire les HE en utilisant l'eau comme agent de distillation. Au cours de cette procédure, le matériau végétal, comme le gingembre, est plongé dans l'eau, puis chauffée. Les composés volatils des plantes sont transportés par la vapeur d'eau qui se forme, et une fois refroidie, la vapeur se condense, ce qui permet de séparer les huiles essentielles de l'eau (Naeini et al., 2010).

- **Extraction par les corps gras :**

L'extraction par les corps gras, aussi appelée infusion huileuse, est une technique utilisée pour des substances lipophiles comme les HE. Dans cette approche, le gingembre est plongé dans un corps gras, tel qu'une huile végétale, et les composés aromatiques se dispersent progressivement dans le gras.

- **Extraction par micro-ondes :**

L'énergie des micro-ondes permet de chauffer rapidement le matériau végétal, ce qui permet de libérer les composés volatils, y compris les HE. Cette méthode est plus rapide que d'autres méthodes traditionnelles (Setyaningsih et al., 2018).

Au niveau cellulaire, les différentes étapes de l'extraction des HE d'origine végétale demeurent les mêmes, peu importe la méthode employée. L'essentiel est d'extraire les molécules aromatiques qui composent l'HE, puis de les séparer du milieu par distillation (Marie Elisabeth et Lucchesi, 2005).

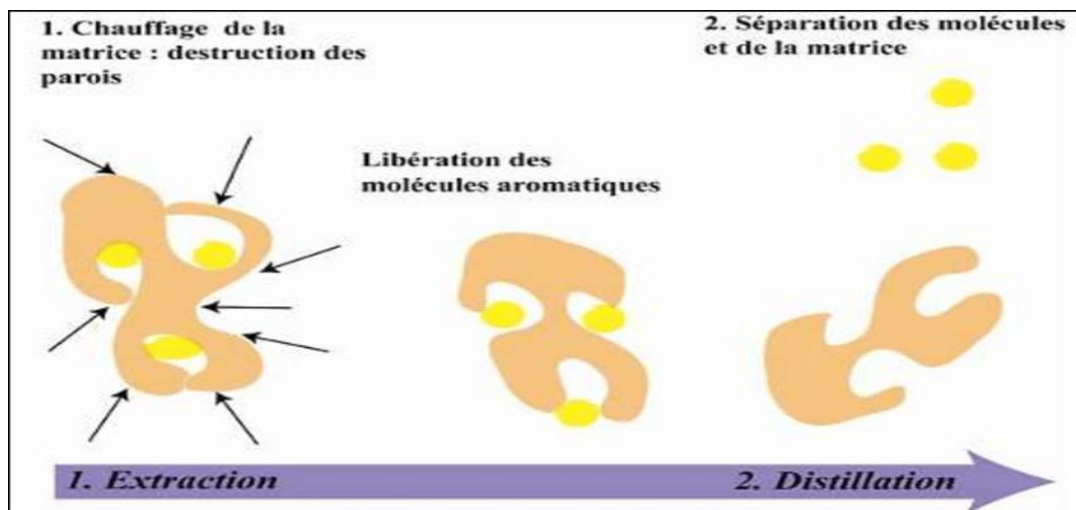


Figure 9 : Les étapes de l'obtention d'une huile essentielle (Marie Elisabeth et Lucchesi, 2005).

## 2. Oléorésine :

L'oléorésine a été découverte initialement par Tresh en 1879 qui lui donna le nom de gingérine (Foine, 2017). L'oléorésine est constituée de résines naturellement fluides, accompagnées d'un composé jaune à la saveur très piquante appelé gingérol. Ce dernier est formé par un mélange de corps cétoniques tels que le shogol, le paradol et le zingérone (figure 10), Ces molécules sont responsables de la sensation chaude et piquante dans la bouche (Haniadka et al., 2013).

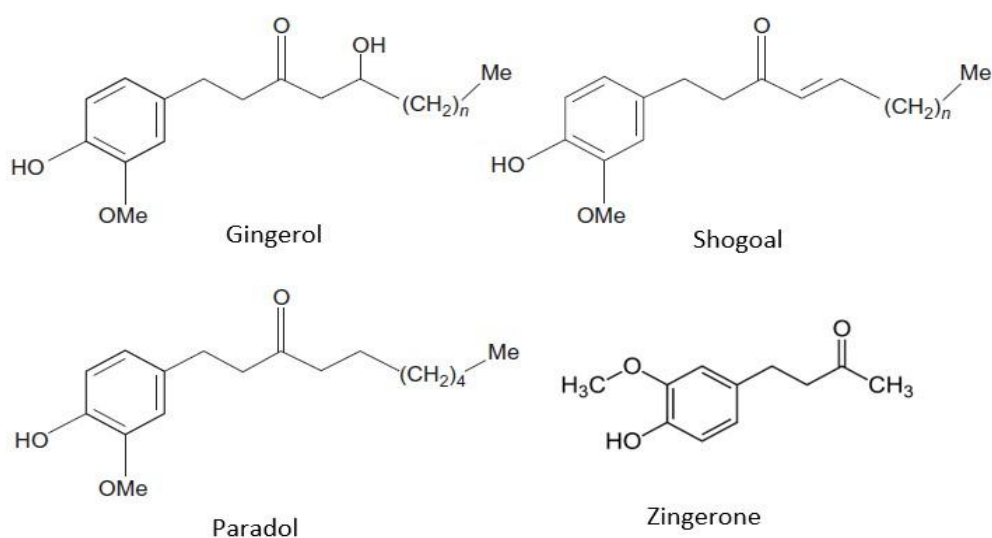


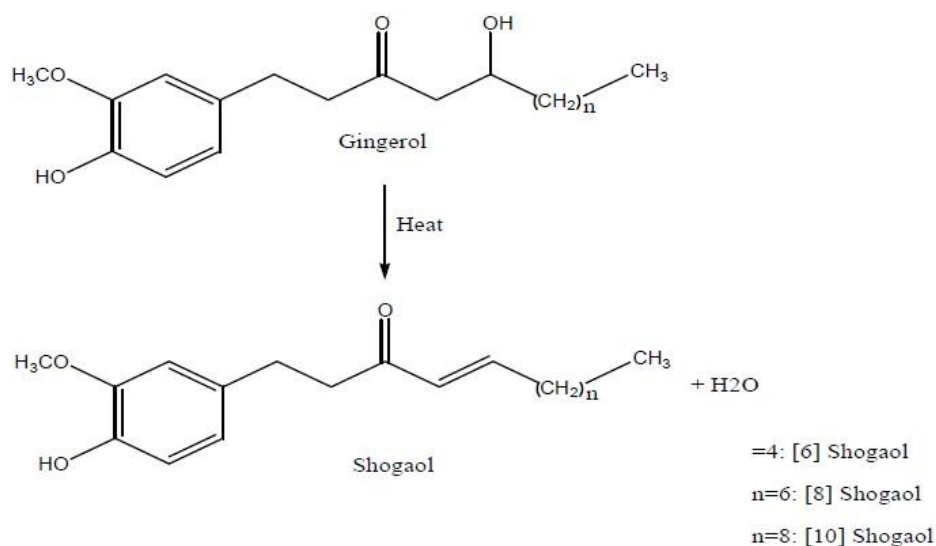
Figure 10 : Structures des principaux constituants actifs du gingembre (Karunakaran et Sadanandan, 2019)

Les gingérols, présents en proportion significative dans le gingembre frais (**environ 15%**), constituent une série d'homologues chimiques de phénols, le **[6]-gingérol** étant le plus abondant parmi eux. Ces composés se distinguent par la longueur de leur chaîne alkyle non ramifiée, avec des chaînes latérales comprenant 7 à 16 atomes de carbone, ce qui en fait les principaux composants actifs (**Shariful et al., 2015**).

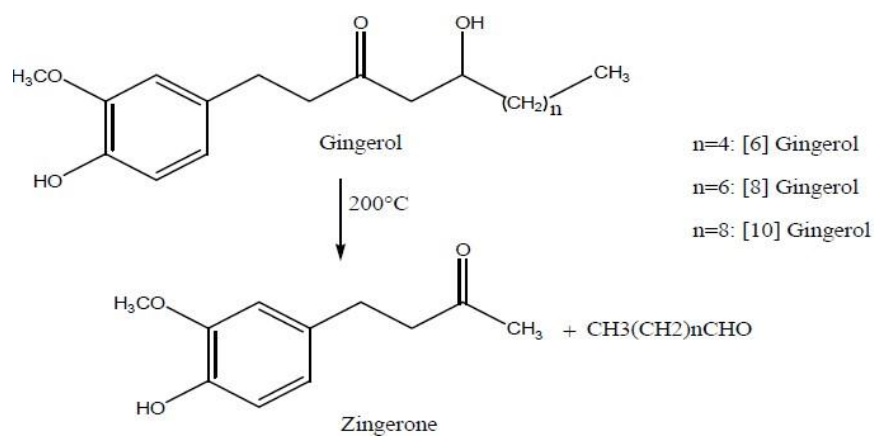
Parmi ces constituants, **la 5-hydroxy-1-(4-hydroxy-3-méthoxy phényl) décan-3-one** est la plus présente (**Shariful et al., 2015**). Sous l'effet de la chaleur et de températures élevées, le gingérol se convertit en shogaol (**Bhattarai et al., 2001**).

Les shogaols dominent la composition du gingembre séché (**Allais, 2009**). Ces composés phénoliques représentent les formes déshydratées des gingérols, formés lors du traitement thermique ou du stockage du gingembre (**figure11**) (**Wohlmuth et al., 2005**).

Par hydrogénation, les shogaols peuvent être convertis en paradols, tandis que les zingérones sont des produits de dégradation des **[6]-gingérols** (**Haniadka et al., 2013**) (**figure 12**).



**Figure 11 : Déshydratation des Gingérols en Shogaols à haute température (Dhanik et al., 2017)**



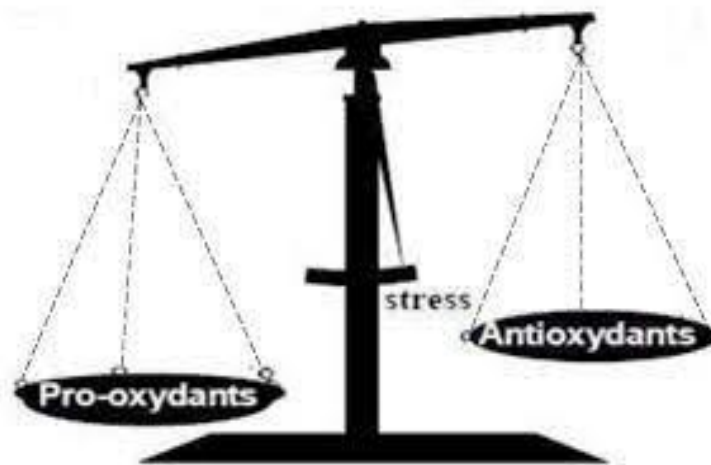
**Figure 12: Conversion de Gingerols en Zingerone et aldéhyde aliphatique à haute température (Dhanik et al., 2017).**

## Chapitre 3 : Etude de l'activité antioxydante du gingembre

---

### 1. Stress oxydatif :

Le stress oxydatif est caractérisé par un déséquilibre entre la production d'oxydants (radicaux libres et de métabolites réactifs) ou ROS (des espèces réactives de l'oxygène) et les molécules antioxydantes en faveur des oxydants (Atamer, 2008) (figure13). Les cellules subissent souvent des dommages irréversibles en raison de ce déséquilibre, qui provoque des phénomènes pathogènes associés à diverses affections (Pincemail, 2001 ; Delattre et al., 2005).



**Figure 13: Déséquilibre de la balance entre antioxydants et pro-oxydants (Favier, 2006).**

Une substance chimique (comme un atome, une molécule ou un fragment de molécule) qui possède au moins un électron autonome ou non apparié sur sa couche électronique externe, ce qui accroît sa réactivité en nécessitant de se combiner avec un autre électron pour devenir stable (Bonfont et al., 2003).

On désigne généralement tous les radicaux libres et leurs précurseurs sous le nom d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) (Favier, 2003), (tableau 5).

**Tableau 5: Principaux radicaux libres et leur structure chimique (Haton, 2005).**

Radicaux libres	Structure chimique
Radical hydroxyle	$\text{OH}^\bullet$
Radical hydroperoxyde	$\text{HOO}^\bullet$
Radical peroxyde	$\text{ROO}^\bullet$
Radical alkoxyde	$\text{RO}^\bullet$
Peroxynitrite	$\text{ONOO}^\bullet$
Anion superoxyde	$\text{O}_2^{\bullet -}$

#### **1.1.1. Espèces réactives oxygénées (ROS) des radicaux libres :**

Les ROS sont des molécules ou des ions contenant de l'oxygène qui présentent des électrons non appariés, ce qui leur confère une grande réactivité. Ces espèces jouent un rôle fréquent dans les phénomènes de stress oxydatif, où elles peuvent causer des dommages aux cellules et favoriser le développement de maladies comme le cancer, les maladies cardiovasculaires et le vieillissement prématuré (Sies, 1997).

#### **1.1.2. Mécanisme d'action des radicaux libres :**

Les radicaux libres sont souvent associés de manière caricaturale à des agresseurs qui causent de nombreuses détériorations.

- Les radicaux libres se rapprochent des phospholipides présents dans la membrane.
- La membrane devient fragile et se décompose.
- Le contenu de la cellule se diffuse dans l'environnement externe de la cellule.
- La cellule perd son apparence et son rôle initial.
- Le tissu entier est fragilisé lorsque la cellule meurt, ce qui entraîne la formation de pores dans la membrane plasmique, ce qui favorise l'entrée de substances toxiques, ce qui entraîne son dysfonctionnement (Laurence, 2002).

#### **1.1.3. Sources de production des radicaux libres :**

Les individus sont en permanence confrontés aux radicaux libres. Effectivement, il existe différentes sources de radicaux libres (**figure 14**).

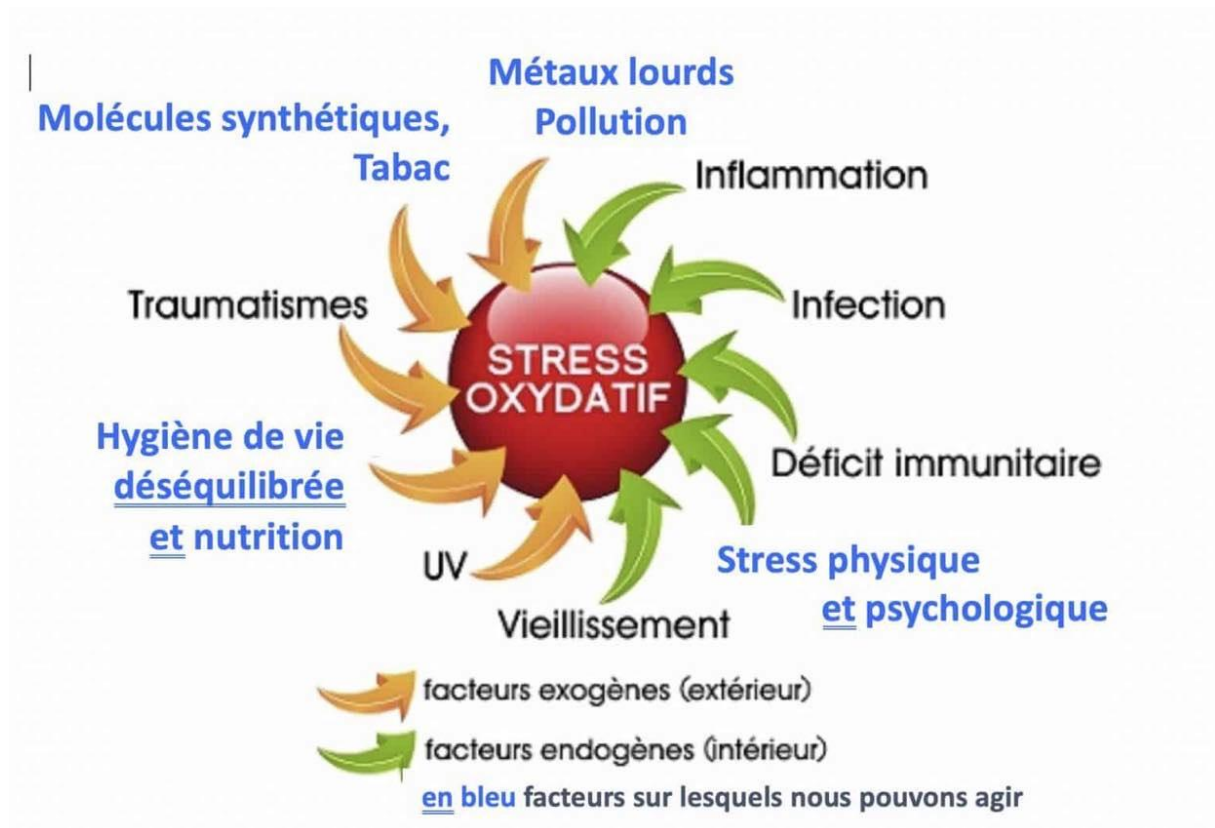


Figure 14: Sources de production des radicaux libres.

[\(https://labomgd.ch/catalogue-danalyses/bilans-speciaux/bilan-stress-oxydant/\)](https://labomgd.ch/catalogue-danalyses/bilans-speciaux/bilan-stress-oxydant/)

#### ❖ Sources Endogènes :

- **Métabolisme Cellulaire** : Lors des réactions métaboliques normales dans les cellules, comme la respiration cellulaire et la dégradation des nutriments pour générer de l'énergie, il est possible de produire des radicaux libres (**Halliwell, 2007**).
- **Stress Oxydatif** : Quand le corps est soumis à des éléments comme le stress, l'inflammation ou une alimentation inappropriée, cela peut provoquer une production excessive de radicaux libres. La présence de ces radicaux peut causer des dommages aux cellules et favoriser le développement de maladies (**Valko et al., 2006**).

#### ❖ Sources Exogènes :

- **Pollution Atmosphérique** : Lorsqu'ils interagissent avec d'autres molécules dans l'air ou lorsqu'ils pénètrent dans le corps, les polluants atmosphériques comme les particules fines, les oxydes d'azote et les composés organiques volatils peuvent produire des radicaux libres (**Pham-Huy et al., 2008**).
- **Rayons UV** : La peau peut être exposée aux rayons ultraviolets du soleil, ce qui peut causer des dommages à l'ADN et favoriser le vieillissement prématuré de la peau ainsi que le développement du cancer de la peau (**Valko et al., 2006**).
- **Tabagisme** : La fumée de tabac renferme de multiples substances chimiques néfastes qui peuvent provoquer la formation de radicaux libres dans le corps. Le tabagisme est lié à une augmentation du stress oxydatif et à une augmentation du risque de maladies cardiovasculaires et de cancer (**Pham-Huy et al., 2008**).
- **Alcool** : En consommant trop d'alcool, il est possible d'accroître la production de radicaux libres dans le foie et d'autres tissus, ce qui peut entraîner des dommages cellulaires et des maladies hépatiques (**Valko et al., 2006**).
- **Certains Médicaments** : Les radicaux libres peuvent être produits par certains médicaments, comme les antibiotiques, les médicaments anti-inflammatoires et certains médicaments utilisés en chimiothérapie, en raison de leur métabolisme ou de leur activité pharmacologique (**Halliwell, 2007**).

## **1.2. Les dommages oxydatifs :**

Différentes structures cellulaires et moléculaires peuvent être touchées par les dommages oxydatifs, ce qui peut avoir de nombreuses conséquences néfastes pour la santé.

### **1.2.1. Oxydation de l'ADN :**

L'ADN nucléaire et mitochondrial sont principalement affectés par les ROS, qui entraînent l'hydroxylation de leurs bases puriques et pyrimidiques, ainsi que le squelette désoxyribose, ce qui entraîne le clivage des brins et des mutations génétiques. Cela peut entraîner l'arrêt de la transcription ou de la transduction des voies de signalisation, l'implication d'erreurs de réplication, une instabilité génomique, tout étant lié au phénomène de carcinogenèse (**Valko et al., 2006**).

### **1.2.2. Oxydation des protéines :**



Le radical hydroxyle est la substance la plus réactive qui provoque les modifications oxydatives des protéines (Valko et al., 2006). Les acides aminés très sensibles aux ROS, comme l'histidine, la proline, le tryptophane, la cystéine et la tyrosine, sont susceptibles d'être oxydés en cas d'attaque radicalaire d'un acide aminé (Nakajima et al., 2006). Les changements mineurs dans la structure peuvent entraîner une altération du fonctionnement de cette protéine (Valko et al., 2006).

### **1.2.3. Oxydation des composés lipidiques :**

Les attaques oxydatives visent principalement les acides gras polyinsaturés AGPI, ainsi que les lipoprotéines ou les phospholipides membranaires (Favier, 2003), ou bien la réaction de peroxydation des lipides, également connue sous le nom de peroxydation lipidique (Lee et al., 2006).

### **1.2.4. Oxydation du glucose :**

Les ROS ciblent principalement le glucose et les protéoglycanes du cartilage. L'oxydation du glucose est également connue sous le nom de "glycosoxydation" et se divise en deux mécanismes, une oxydation au sens strict du glucose, qui produit des dérivés carbonyles qui peuvent réagir avec une protéine, ce qui entraîne la formation de "produits finaux de glycosylation" ou PFG, ou une glycosylation non-enzymatique des protéines". C'est une protéine glyquée qui peut être attaquée par des ROS comme HO• ou NO<sub>3</sub><sup>-</sup> afin de créer des PFG (Halliwell et Gutteridge, 2007).

## **2. Les antioxydants :**

Sur le plan biologique, les antioxydants se définissent comme des substances présentes à des concentrations faibles par rapport au substrat oxydable, et qui retardent ou inhibent de manière significative son processus d'oxydation, sans que les produits de réaction avec l'oxydant ne soient toxiques (Durackova et al., 2008).

Cette définition fonctionnelle englobe un large éventail de substances, comprenant des enzymes dotées de propriétés catalytiques spécifiques ainsi que de petites molécules hydro- ou liposolubles (Delattre et al., 2005). La diversité physico-chimique de ces substances permet leur présence dans tous les types d'organismes, que ce soit au niveau intracellulaire, membranaire ou extracellulaire (Cano et al., 2006).

Les antioxydants peuvent agir à deux niveaux distincts : en prévenant la formation de radicaux libres oxygénés ou en éliminant ces radicaux libres une fois formés (Penna et al., 2009).

Selon leur mécanisme d'action spécifique (figure 15), on distingue les antioxydants inhibiteurs des radicaux libres, les décomposeurs de peroxydes, les désactivateurs d'ions métalliques, ou encore les pièges d'oxygène (Dziezak, 1986). En complément de ces mécanismes, l'organisme est également capable de réparer ou d'éliminer les molécules endommagées à la suite d'une attaque radicalaire (Penna et al., 2009).

### Les Antioxydants Naturels de Haute Efficacité neutralisent les Radicaux Libres en leur donnant un électron, les transformant en molécules stables

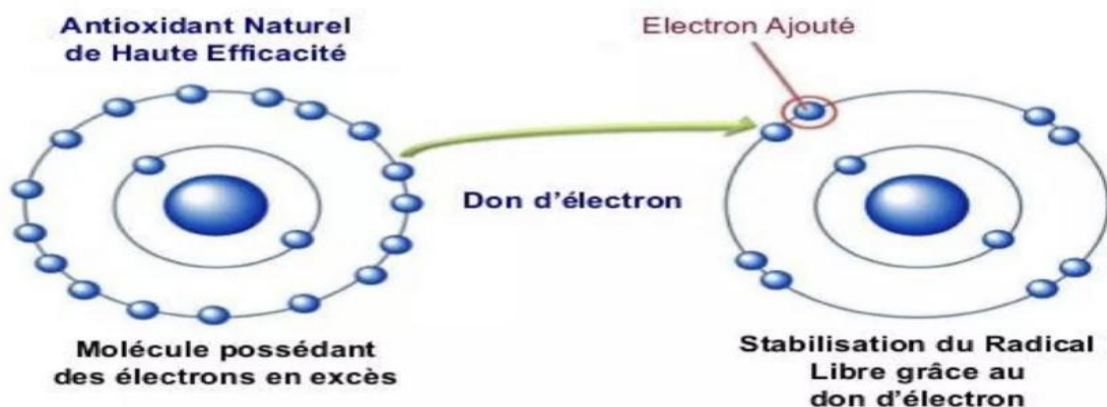
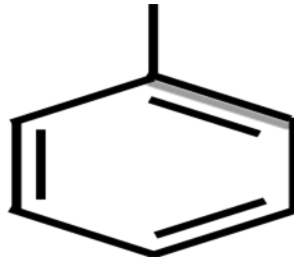


Figure 15: Mécanisme d'action des antioxydants contre les radicaux libres (Sahar, 2017).

#### 2.1.1. Les polyphénols :

Le terme "phénol" désigne quelques 10000 composés naturels organiques identifiés (Martin et Andriantsitohaina, 2002 ; Druzyuka et al., 2007). Leur élément structural fondamental est la présence d'au moins un noyau phénolique composé de 6 carbones (figure 16), auquel est directement lié au moins un groupe hydroxyle (OH), soit libre soit engagé dans une autre fonction telle qu'un éther, un ester ou un hétéroside (Balasundram et al., 2006).

OH



**Figure 16: Structure du noyau phénol (Sarni-Manchado et Cheynier, 2006) .**

Les polyphénols sont produits par le métabolisme secondaire des plantes et ont acquis une importance croissante en raison de leurs effets bénéfiques sur la santé (Stanley et al., 2003).

Les propriétés antioxydantes des polyphénols sont en partie attribuées à leur capacité à piéger directement les radicaux libres, à inhiber les ions métalliques et les enzymes impliqués dans la production des espèces réactives de l'oxygène (ROS), ainsi qu'à protéger les systèmes de défense antioxydante (Halliwell, 1994).

Leur capacité à agir en tant qu'antioxydants naturels suscite un intérêt croissant pour leur utilisation dans la prévention et le traitement de diverses affections, telles que le cancer (Chen et al., 2004), les maladies inflammatoires (Laughton et al., 1991), cardiovasculaires (Frankel et al., 1993), et neurodégénératives (Orgogozo et al., 1997).

De plus, les polyphénols sont couramment utilisés comme additifs dans les industries agroalimentaire, pharmaceutique et cosmétique (Isanh, 2006).

Les polyphénols peuvent être classés en fonction du nombre de cycles phénoliques qu'ils contiennent et des éléments structuraux qui relient ces cycles entre eux.

En conséquence, quatre grands groupes de polyphénols sont distingués (Manach et al., 2004) :

- **Les flavonoïdes** : Flavonols, Flavones, Flavanones, Flavones-3-ols, Isoflavones et Anthocyanidines.
- **Les acides phénoliques** : Acide hydroxy- benzoïques (Acide vanillique et Acide gallique).

Acides hydro-cinnamiques (**Acide caféique, Acide férulique et Acide chlorogénique**).

- **Les stilbènes** : Resvératrol.

- **Les lignanes** : Lignane.

#### **2.1.1.1.Mécanisme d'action des polyphénols :**

- **Propriétés antioxydantes** : Les polyphénols jouent le rôle d'antioxydants en neutralisant les radicaux libres, des molécules instables générées lors du métabolisme normal du corps ou en réaction à des stress environnementaux tels que la pollution et les rayonnements UV. Ces radicaux libres peuvent être capturés par les polyphénols, ce qui permet de préserver les cellules des dommages oxydatifs et de prévenir les maladies chroniques comme les maladies cardiovasculaires, le cancer et le vieillissement prématuré (**Scalbert et al., 2005**).
- **Effets anti-inflammatoires** : Les polyphénols ont la capacité de modifier les mécanismes de signalisation inflammatoire et de bloquer les enzymes pro-inflammatoires, ce qui permet de diminuer l'inflammation dans le corps. Cela peut être avantageux dans la prise en charge des affections inflammatoires chroniques comme l'arthrite, les maladies inflammatoires de l'intestin et d'autres troubles (**Pandey et al., 2009**).
- **Modulation de la signalisation cellulaire** : Certains polyphénols ont la capacité d'interagir avec des récepteurs cellulaires particuliers, des enzymes et des facteurs de transcription, ce qui a un impact sur la signalisation cellulaire et la régulation de différents processus cellulaires tels que la croissance, la différenciation et la survie cellulaire (**Wang et al., 2009**).
- **Modulation génique** : La structure de la chromatine et l'expression des gènes peuvent être modifiées par les polyphénols, ce qui peut entraîner des conséquences dans la prévention du cancer, la régulation du métabolisme et d'autres processus biologiques (**Rahman et al., 2006**).

#### **2.1.2. Flavonoïdes :**

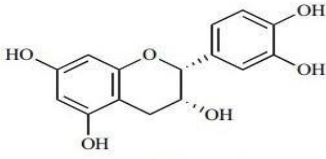
Les flavonoïdes représentent le plus vaste ensemble de composés phénoliques, comprenant plus de 6000 composés naturels qui sont largement répandus chez les plantes vasculaires. Ils agissent en tant que pigments responsables des teintes jaunes, oranges et rouges observées dans divers organes végétaux (Knežević et al., 2012).

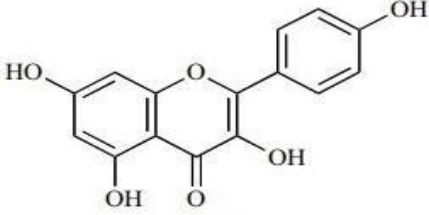
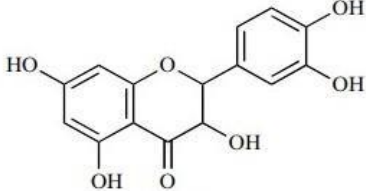
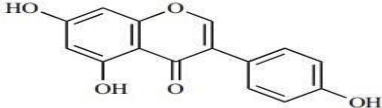
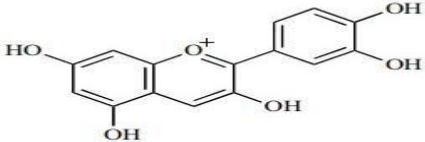
Tous ces composés partagent un squelette de base composé de quinze atomes de carbone, comprenant deux unités aromatiques, chacune formant un cycle en C<sub>6</sub> (désignés comme A et B), liées par un hétérocycle en C<sub>3</sub> (Pietta, 2000).

Sur le plan structural, les flavonoïdes se classent en diverses catégories moléculaires en fonction du degré d'oxydation et de la nature des substituants présents sur le cycle C (Pietta, 2000). Quatorze groupes distincts ont été identifiés, parmi lesquels six groupes (flavones, isoflavones, flavanones, flavanols, flavonols, anthocyanidines) se distinguent comme étant les plus courants et les mieux caractérisés (Heim et al., 2002 ; Hendrich, 2006).

Les flavonoïdes se retrouvent dans une variété de sources alimentaires telles que les fruits (notamment ceux du genre Citrus où ils peuvent représenter jusqu'à 1% du poids frais des fruits) et les légumes (tableau 6). De plus, des boissons comme le vin rouge, le thé, le café et la bière contiennent des quantités significatives de flavonoïdes. Ils sont également présents dans de nombreuses plantes médicinales, avec des préparations à base de plantes contenant des flavonoïdes largement utilisées en médecine traditionnelle à travers le monde (Ghedira, 2005).

**Tableau 6: Classification des flavonoïdes (Cazarolli et al., 2008) :**

Classes	Formules	Sources
<b>Flavanols</b>	 <p>(FLAVANOL) (2R,3R)-3,4-dihydro-3,5,7-trihydroxy-2-(3,4-dihydroxyphenyl)-4H-1-benzopyran((-)-epicatechin)</p>	<b>Oignon, thé et pomme</b>

<p><b>Flavonols</b></p>	 <p><b>(FLAVONOL)</b> 3,5,7-trihydroxy-2-(4-hydroxyphenyl)-4H-1-benzopyran-4-one (kaempferol)</p>	<p><b>Oignon    petits    fruits brocoli</b></p>
<p><b>Lavanones</b></p>	 <p><b>(FLAVANONOL)</b> 2,3-dihydro-3,5,7-trihydroxy-2-(3,4-dihydroxyphenyl)-4H-1-benzopyran-4-one (taxifolin)</p>	<p><b>Agrume (orange mandarines)</b></p>
<p><b>Isoflavones</b></p>	 <p><b>ISOFLAVONE NUCLEUS</b> 5,7-dihydroxy-3-(4-hydroxyphenyl)-4H-1-benzopyran-4-one (genistein)</p>	<p><b>Soya</b></p>
<p><b>Anthocyanes</b></p>	 <p><b>ANTHOCYANIDIN NUCLEUS</b> 3,5,7-trihydroxy-2-(3,4-dihydroxyphenyl)-1-benzopyrilium cyanidin</p>	<p><b>La pelargonidine, la cyanidine, la delphinidine et la malvidine</b></p>

### 2.1.2.1. Mécanismes d'action des flavonoïdes :

- **Propriétés antioxydantes** : Les flavonoïdes jouent le rôle d'antioxydants en éliminant les radicaux libres, ce qui protège les cellules des dommages oxydatifs et favorise la santé cardiovasculaire, la prévention du cancer et le vieillissement prématuré (**Rice-Evans et al., 1997**).
- **Effets anti-inflammatoires** : Les flavonoïdes ont la capacité d'inhiber les enzymes inflammatoires et de réguler les voies de signalisation inflammatoires, ce qui permet de diminuer l'inflammation dans le corps et de contribuer à la prise en charge des maladies inflammatoires chroniques (**Middleton et al., 2000**).
- **Modulation de la signalisation cellulaire** : En modulant l'activité des protéines kinases, des facteurs de transcription et d'autres éléments des voies de signalisation cellulaire, les flavonoïdes ont la capacité d'influencer différents processus cellulaires (**Calderón-Montaño et al., 2011**).
- **Modulation génique** : Certains flavonoïdes peuvent jouer le rôle de modulateurs épigénétiques en modifiant l'expression des gènes, ce qui peut avoir des conséquences sur la régulation de la croissance cellulaire, de l'apoptose et d'autres processus biologiques (**Manach et al., 2004**).

*Deuxième partie :*

*Etude expérimentale*



## Chapitre 1 : Matériels et méthodes

---

### 1. Matériel d'étude :

Notre travail a été réalisé, sur une période d'une semaine (25 février – 29 février 2024), au sein du laboratoire de Physiologie Physiopathologie et Biochimie de la Nutrition, faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers Université de Tlemcen.

#### 1.1. Matériel végétal :

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est le gingembre ou *Zingiber officinale*. Le rhizome est la composante utilisée dans cette étude, et a été obtenu chez un herboriste de la wilaya de Tlemcen.

#### 1.2. Produits chimiques :

Les réactifs et les solvants utilisés sont :

Eau distillé, carbonate de sodium  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , Folin Ciocalteu, l'Acide gallique  $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$ ,  $\text{AlCl}_3$  (trichlorure d'aluminium), Méthanol  $\text{CH}_3\text{OH}$ , DPPH (diphényl picryl-hydrazyl)  $\text{C}_{18}\text{H}_{12}\text{N}_5\text{O}_6$ , Tampon phosphate, Potassium Fer Cyanide  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , TCA (Acide trichloroacétique),  $\text{FeCl}_3$  (Trichlorure de fer).

### 2. Méthodes :

#### 2.1. Préparation de l'homogénat de gingembre :

- Premièrement, les rhizomes de gingembre sont lavés plusieurs fois.
- Puis, à l'aide d'un couteau les rhizomes sont épluchés et coupés en petits morceaux.
- Ensuite, les petits morceaux ont été mis dans le mixeur pour les broyer jusqu'à l'obtention d'un homogénat du gingembre.
- Finalement, l'homogénat du gingembre est conservé dans le réfrigérateur à une température de (3 à 4°C) jusqu'à son utilisation.

## 2.2. Préparation de l'extrait de gingembre (figure 17) :

- Peser 80 g de de l'homogénat de gingembre, le mettre dans un ballon à fond plat
- Ajouter 800 ml d'eau distillée
- Décocter pendant 1h puis filtrer pour obtenir l'extrait de gingembre
- Finalement, l'extrait du gingembre est mis dans des boites et conservé dans le réfrigérateur à une température de (3 à 4°C) jusqu'à son utilisation.



Figure 17: Les étapes de préparation de l'extrait de gingembre (photos personnelles).

## 2.3. Préparation des échantillons à différentes concentrations :

Nous avons élaboré une méthode spécifique pour la préparation d'échantillons d'extrait de gingembre à différentes concentrations, à partir d'une solution mère de gingembre à une concentration de 1/1000 a été préparée initialement.

De cette solution mère, nous avons préparé 12 échantillons de 2 ml chacun à des concentrations variées : 0, 2, 4, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 100, 200 et 400.

Pour obtenir la concentration désirée, nous avons utilisé une équation de proportionnalité :

$$2\text{ml} \longrightarrow 1000$$

Il est à noter que l'échantillon à concentration 0, appelé le "blanc", ne contient que de l'eau distillée. Ce blanc est utilisé pour calibrer nos mesures et garantir leur précision.

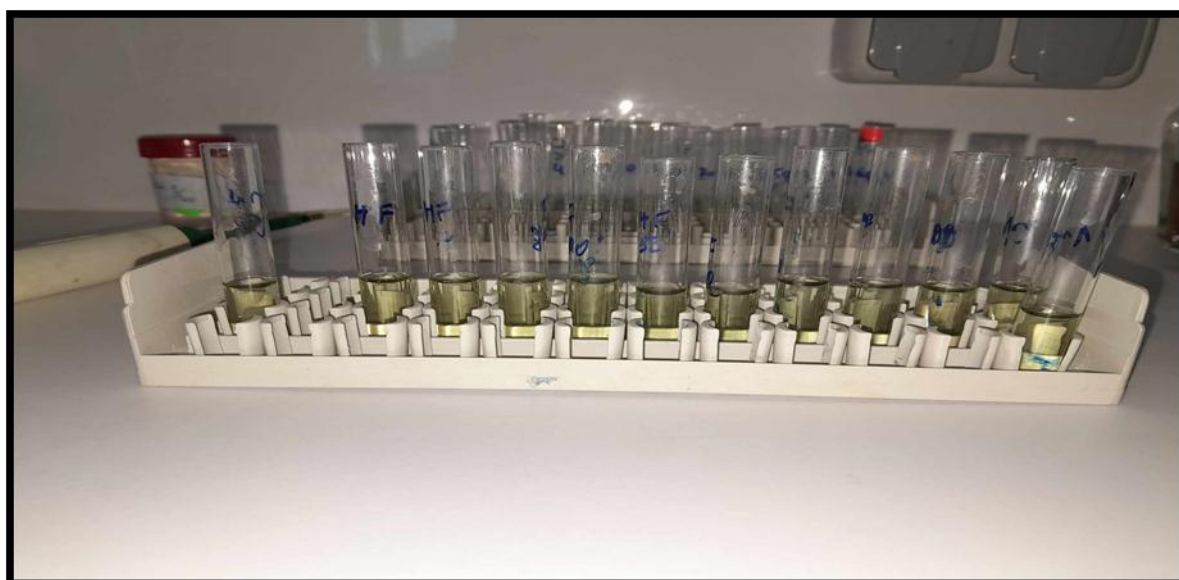
Cette méthode nous a permis de préparer une série d'échantillons à différentes concentrations de gingembre, ce qui est essentiel pour notre analyse ultérieure.

### 3. Tests quantitatifs phytochimiques :

#### 3.1. Dosage des polyphénols totaux :

##### 3.1.1. Principe :

La méthode de Folin-Ciocalteu, décrite par Li et al. (2007), est utilisée pour le dosage des polyphénols. Cette méthode repose sur la réduction du mélange phosphotungstique ( $WO_4^{2-}$ ) - phosphomolybdique ( $MoO_4^{2-}$ ) du réactif de Folin par les groupements oxydables des composés phénoliques. Cette réaction conduit à la formation d'un produit de couleur bleu-vert (**figure 18**) dont l'intensité, mesurée à une longueur d'onde de 765 nm, est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans l'échantillon (**Georgé et al., 2005**)



**Figure 18: Dosage des polyphénols totaux (photo personnelle) .**

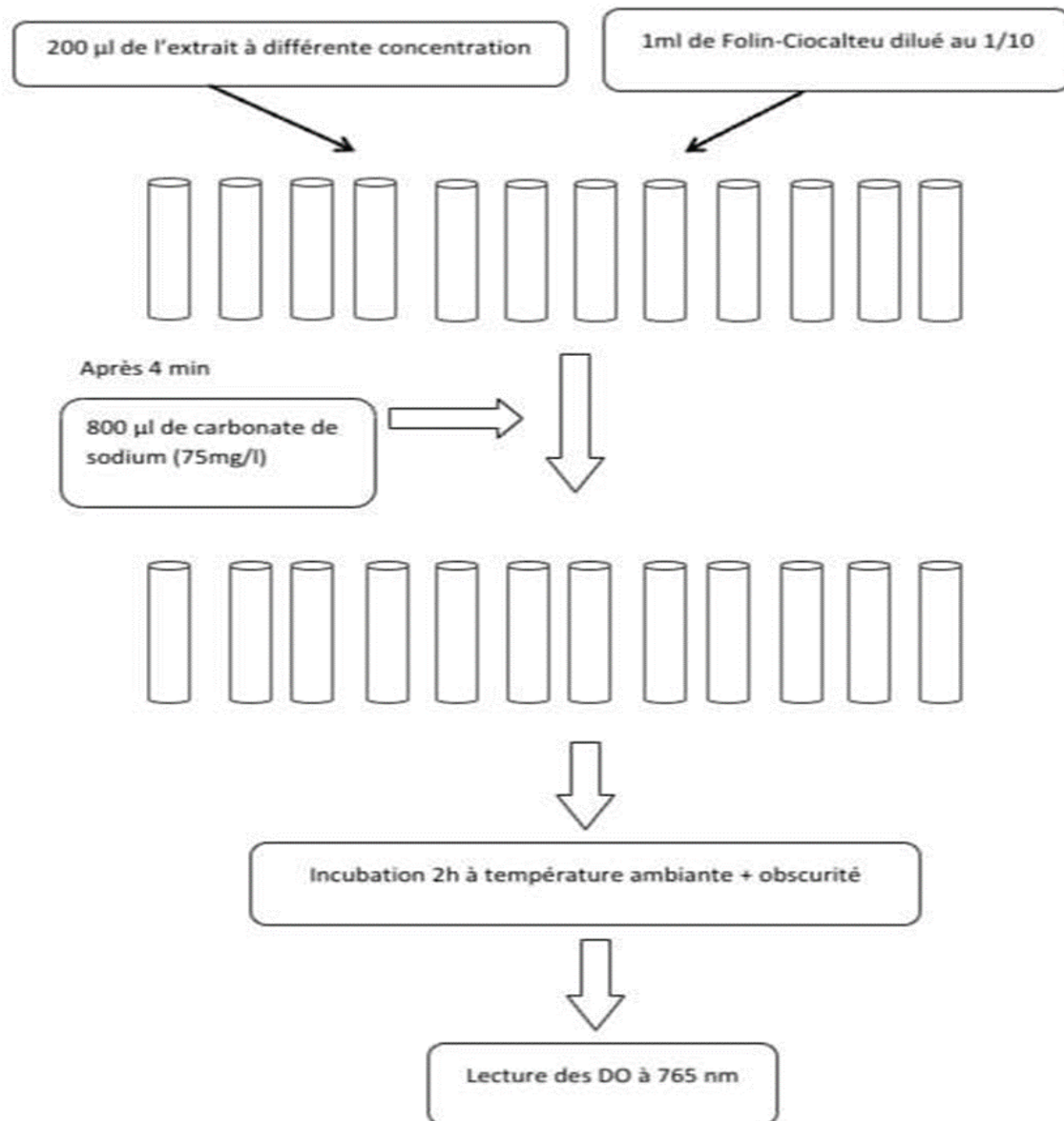
##### 3.1.2. Mode opératoire :

Le protocole opératoire pour cette méthode est le suivant (**figure 19**) :

- Ajouter 1 ml du réactif de Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois) à 200  $\mu$ l d'échantillon ou de standard avec des dilutions appropriées.
- Incuber pendant 4 minutes.
- Ajouter 800  $\mu$ l d'une solution de carbonate de sodium (75 mg/ml) au milieu réactionnel.
- Incuber pendant 2 heures à température ambiante.

- **Mesure de l'absorbance** : à 765 nm.

La concentration des polyphénols totaux est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage établie avec l'acide gallique (0,5-5 µg/ml) et est exprimée en µg d'équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait (µg EAG/g d'extrait).



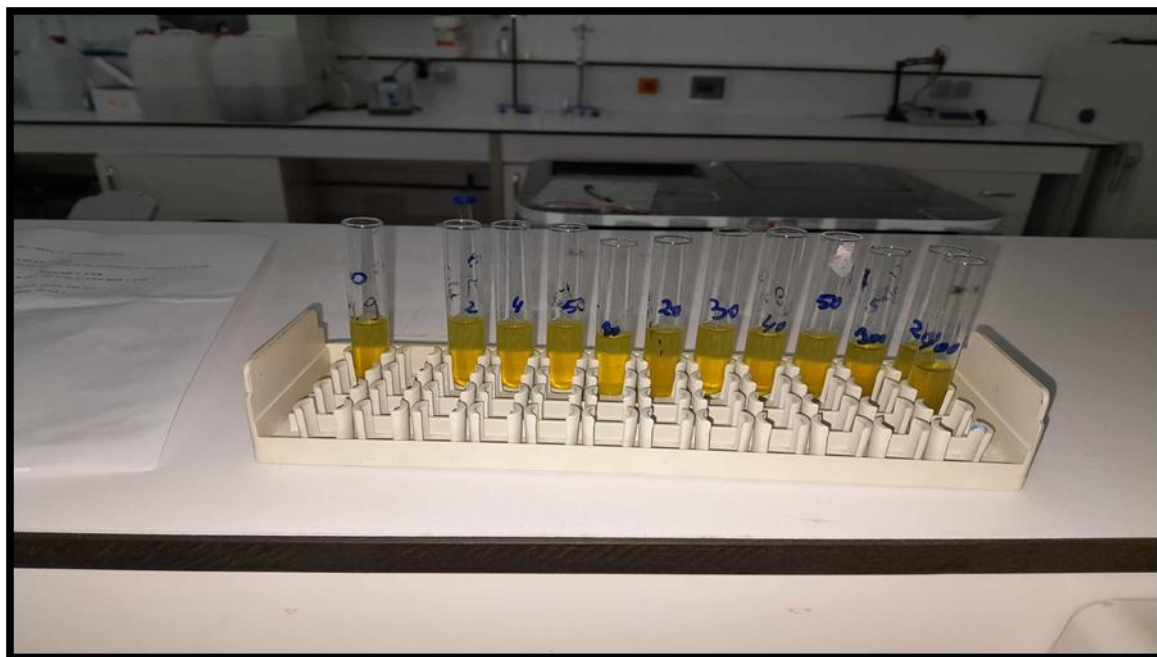
**Figure 19: Protocole de dosage de polyphénols totaux (Schéma réalisé par l'auteur)**

### 3.2. Dosage des flavonoïdes :

#### 3.2.1. Principe

La méthode de dosage des flavonoïdes totaux repose sur une technique colorimétrique utilisant le chlorure d'aluminium et la soude. Le trichlorure d'aluminium réagit avec les flavonoïdes pour former un complexe de couleur jaune (**figure 20**), tandis que la soude forme un complexe rose.

L'absorbance de ces complexes est mesurée à une longueur d'onde de 510 nm.



**Figure 20: Le dosage de flavonoïdes (photo personnelle).**

### 3.2.2. Mode opératoire

Le protocole opératoire pour cette méthode est le suivant : Ajouter 500  $\mu$ l de l'extrait de gingembre à 2 ml de  $H_2O_2$ .

- Ajouter 150  $\mu$ l de nitrate de sodium ( $NaNO_2$ ) à 15%.
- Incuber pendant 6 minutes.
- Ajouter 150  $\mu$ l de chlorure d'aluminium ( $AlCl_3, 6H_2O$ ) à 10%.
- Incuber pendant 6 minutes supplémentaires (**figure 21**).

Pour calibrer cette méthode, on utilise la catéchine comme contrôle positif à différentes concentrations.

Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalent de catéchine par gramme de matière végétale sèche.

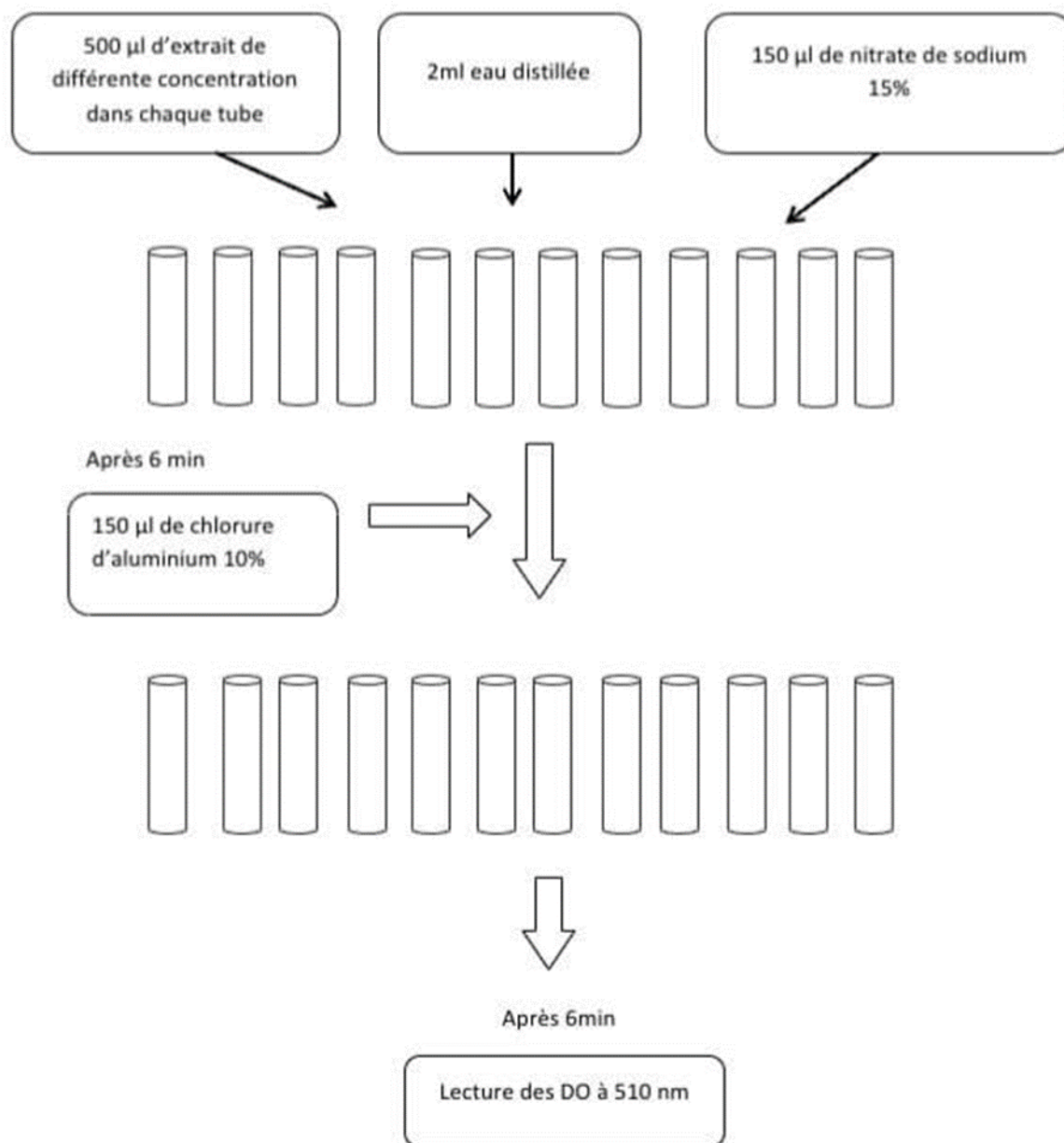


Figure 21: Protocole de dosage de flavonoïdes (Schéma réalisé par l'auteur)

#### 4. Evaluation de l'activité antioxydante de gingembre

##### 4.1. Test du DPPH :

##### 4.1.1. Principe :

La méthode d'évaluation de l'activité anti radicalaire des extraits utilise le DPPH (diphényl picryl-hydrazyl), un radical libre relativement stable. Dans ce test, les antioxydants réduisent le DPPH, qui est de couleur violette (**figure 22**), en un composé jaune, le diphényl picryl-

hydrazine. L'intensité de la couleur est inversement proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans l'échantillon à donner des protons.



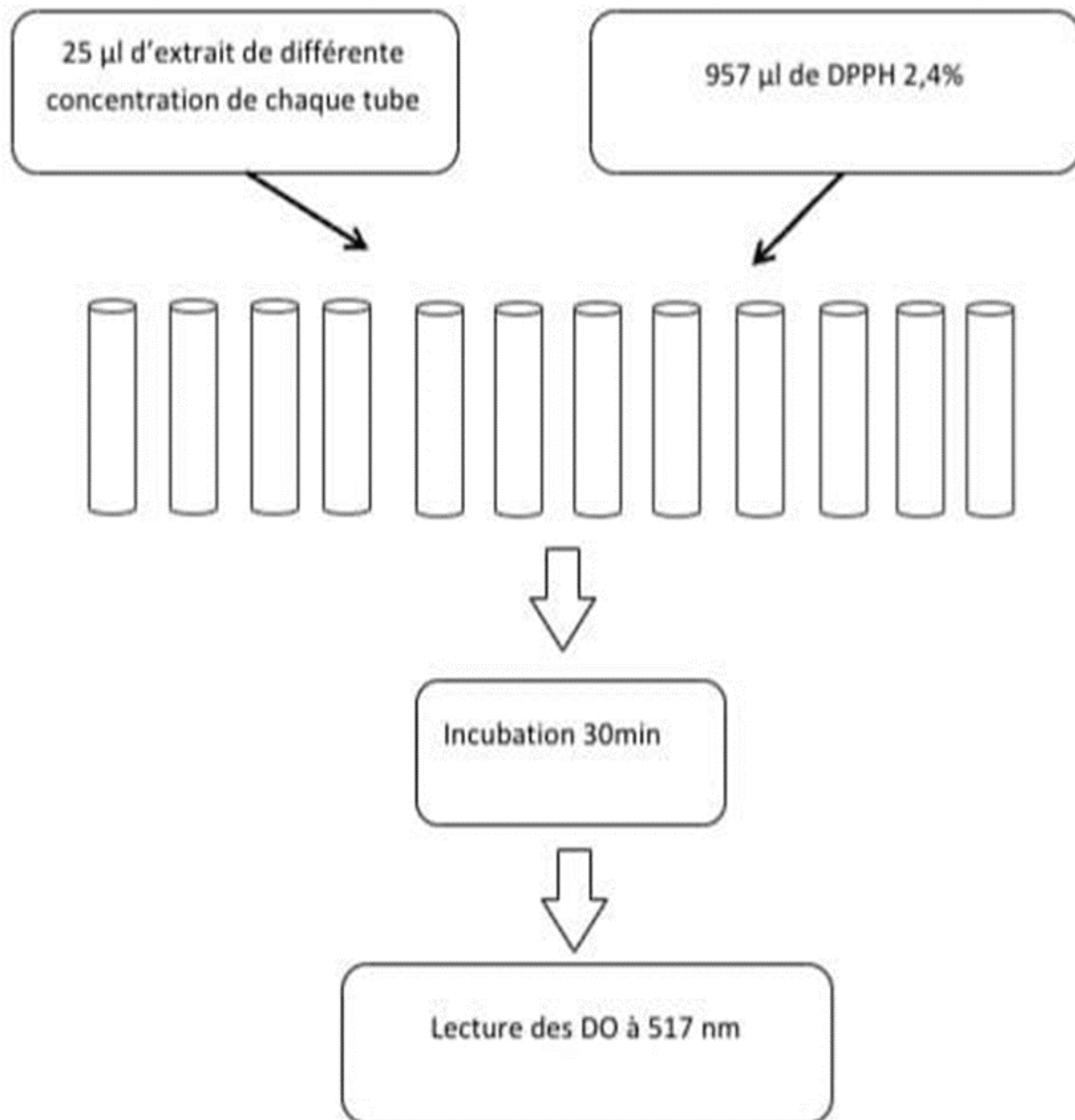
**Figure 22: Evaluation de l'activité antioxydante par le test du DPPH (photo personnelle).**

#### **4.1.2. Mode opératoire :**

- Solubiliser 2,4 mg de DPPH dans 100 ml de méthanol pour préparer la solution de DPPH.
- Ajouter 25 µl de l'échantillon ou du standard (quercétine) à 975 µl de DPPH.
- Incuber le mélange pendant 30 minutes.
- Mesurer la décoloration par rapport au contrôle négatif (qui contient uniquement la solution de DPPH) à 517 nm (**figure 23**).

Calcul de l'activité anti radicalaire est estimé avec l'équation :

$$\% \text{ d'activité anti radicalaire} = [(Abs_{517} \text{ contrôle} - Abs_{517} \text{ échantillon}) / Abs_{517} \text{ contrôle}] \times 100.$$



**Figure 23: Protocole d'évaluation de l'activité antioxydante par le test du DPPH. (Schéma réalisé par l'auteur)**

#### **4.2. Test du pouvoir réducteur (FRAP) :**

##### **4.2.1. Principe :**

La méthode de détermination du pouvoir réducteur, décrite par Prasad et al. (2009), évalue la capacité d'un échantillon à donner un électron pour convertir le  $\text{Fe}^{3+}$  en  $\text{Fe}^{2+}$ . Cette conversion est quantifiée par la mesure de la couleur bleue du complexe (bleu de Pruss  $\text{Fe}_4 [\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ )



qui absorbe à 700 nm (**figure 24**). Une absorbance élevée indique que l'échantillon a un grand pouvoir réducteur (**Barros et al., 2007**).



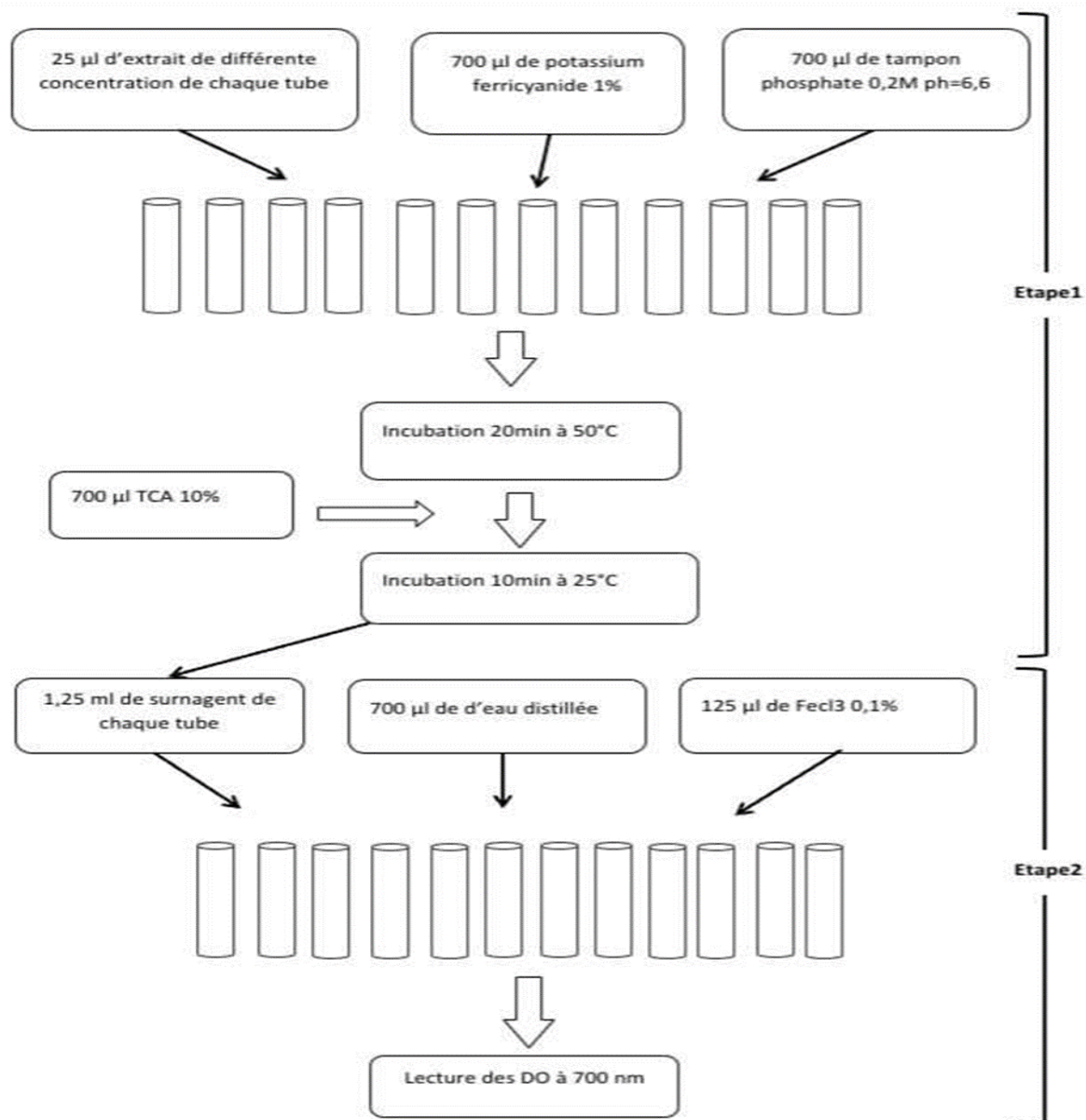
**Figure 24: Evaluation de l'activité antioxydante par le test du FRAP (photo personnelle).**

#### **4.2.2. Mode opératoire :**

- Ajouter 700  $\mu$ l de tampon phosphate (0,2M pH=6,6) et 700  $\mu$ l de potassium ferricyanide à 1% à 25  $\mu$ l des différentes concentrations
- Incuber pendant 20 minutes à 50 °C.
- Ajouter 700  $\mu$ l d'une solution aqueuse de TCA à 10% au milieu réactionnel.
- Incuber pendant 10 minutes à température ambiante.
- Ajouter 700  $\mu$ l d'eau distillée et 125  $\mu$ l de FeCl<sub>3</sub> à 0,1% à 1,25 ml du surnageant. (**figure 25**)

**Mesure de l'absorbance :** Déterminer l'absorbance à 700 nm contre un blanc contenant tous les réactifs sans l'échantillon.

**Calcul de l'EC50 :** Exprimer les résultats en concentration effective à 50% (EC50), représentant la concentration d'antioxydant nécessaire pour obtenir 0,5 d'absorbance.



**Figure 25: Protocole d'évaluation de l'activité antioxydante par le test du DPPH (Schéma réalisé par l'auteur).**

## Chapitre 2 : Résultats et discussion

### 1. Test quantitatif in vitro des composés phénoliques :

#### 1.1. Dosage des polyphénols totaux :

Les composés phénoliques sont l'objet de nombreuses études à cause de leur action bénéfique sur la santé (Richard et al., 2001). La teneur totale en polyphénols dans l'extrait de gingembre été évaluée à l'aide de la méthode Folin Ciocalteu décrite par Li et al. (2007).

La gamme de l'acide gallique est couramment utilisée pour extraire la concentration des polyphénols dont la valeur est exprimée par (mg d'acide gallique / g de matière sèche). Les données de la gamme sont présentées sous forme d'une courbe d'étalonnage (figure 26)

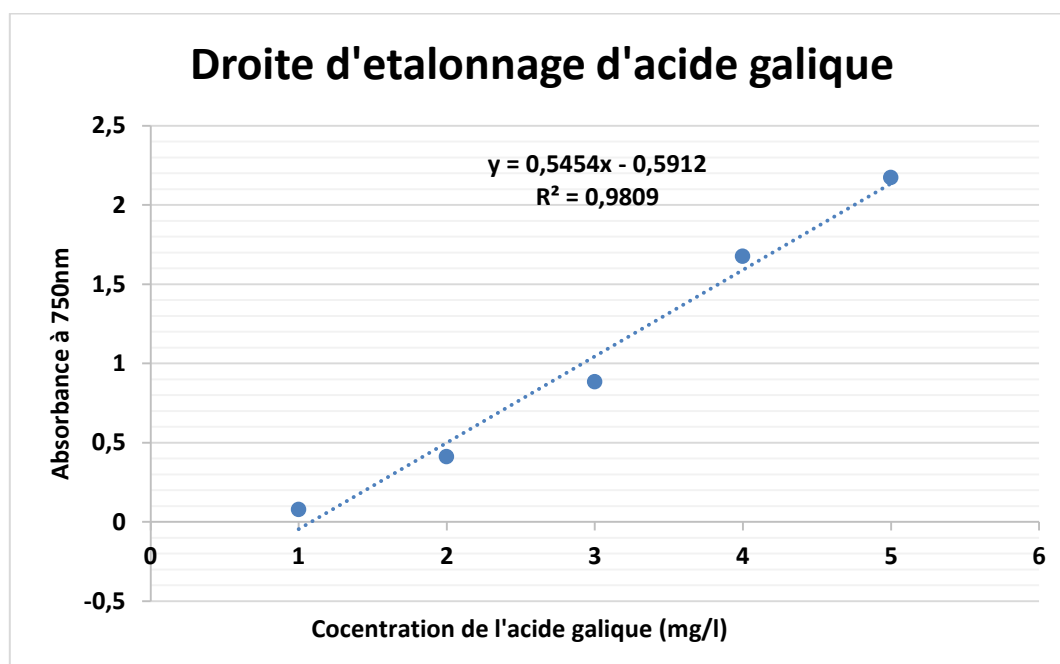


Figure 26: Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

À partir de la courbe d'étalonnage, la concentration des composés phénoliques totaux de l'extrait méthanoïque de Zingiber officinale a été estimée par l'équation de la courbe :

$$y = 0,5454x - 0,5912 \text{ avec un coefficient } R^2 = 0,9809$$

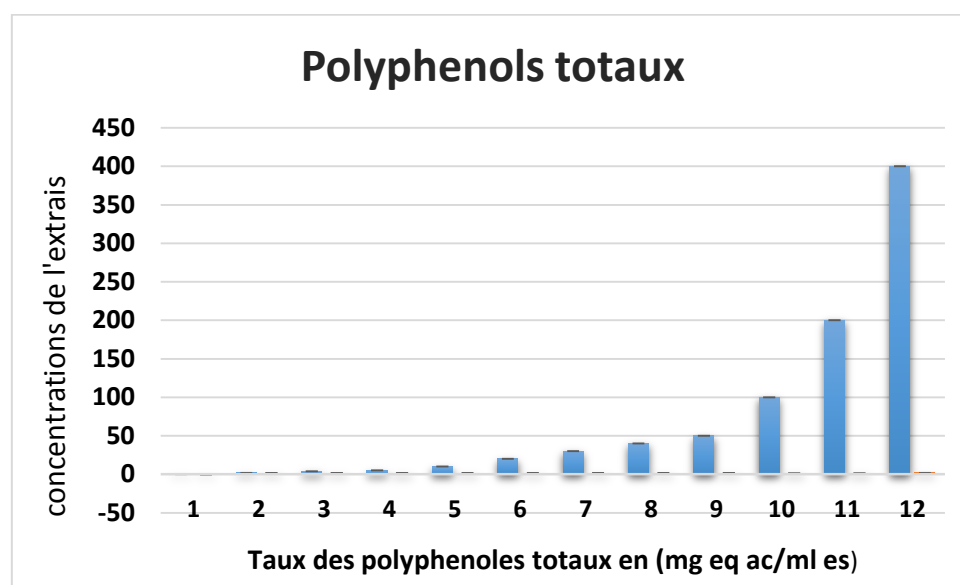
La teneur des polyphénols totaux dans l'échantillon, Zingiber officinale, est rapportée dans le tableau 7 :

**Tableau 7: Teneur en polyphénols totaux dans l'extrait aqueux des rhizomes de Zingiber**

Echantillon dosé	Teneur en phénols totaux (mg eq AG/ g es)
L'extrait de Zingiber officinale	1,28 ± 0,0008

eq : équivalent, AG : acide gallique, es : extrais sec

D'après les résultats de notre étude la quantité des composés phénoliques était de  $1,2 \pm 0,0008$  (mg eq AG/ g es) (figure 27).



**Figure 27: Le taux de polyphénols dans des milieux à des concentrations différentes**  
eq : équivalent, AG : acide gallique, es : extrais sec.

Ce résultat est similaire aux résultats des travaux réalisés par **Saidi A. et Benhamadi S. (2023)**, qui ont trouvé une quantité des composés phénoliques par décoction de 1,4 mg d'acide gallique/g d'extrait. Par ailleurs, **Beggas et Benddoukhane (2017)** ont trouvé la teneur en composés phénoliques de 3,56 µg (EAG)/g d'extrait.

Les résultats de **Hammoudi et Fekiri (2021)**, ont montré que la teneur en composés phénoliques de l'EA de gingembre naturel séché était de  $68,05 \pm 04,02$  mg EAG/g d'extrait.

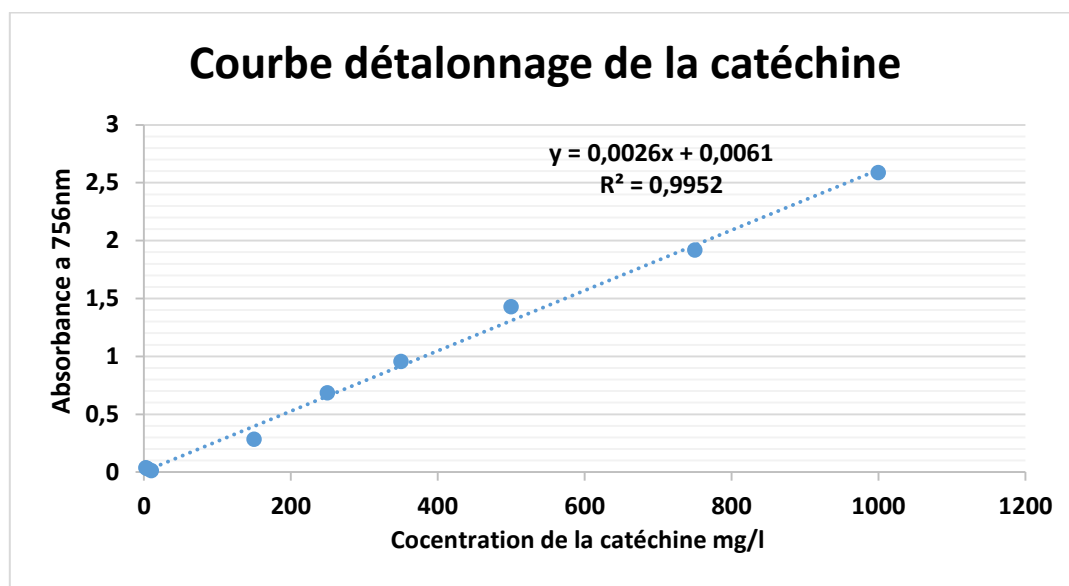
Ainsi, d'après ces résultats, nous concluons que l'extrait de la plante est riche en polyphénols totaux.

Mais cette différence de teneur en polyphénols peut aussi être due à la diversité des espèces, aux conditions climatiques, à la température et le temps d'extraction, maturité et différents processus d'extraction tels que 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 ; Popovici et al., 2009).

### 1.2. Dosage des flavonoïdes :

La détermination de la teneur des flavonoïdes de l'extrait de Gingembre naturel frais été effectuée par la méthode de trichlorure d'aluminium (AlCl<sub>3</sub>), en utilisant la gamme de catéchine pour estimer la teneur en flavonoïdes.

Les données de la gamme sont présentées sous forme d'une courbe d'étalonnage (figure 28) :



**Figure 28: Courbe d'étalonnage de la catéchine**

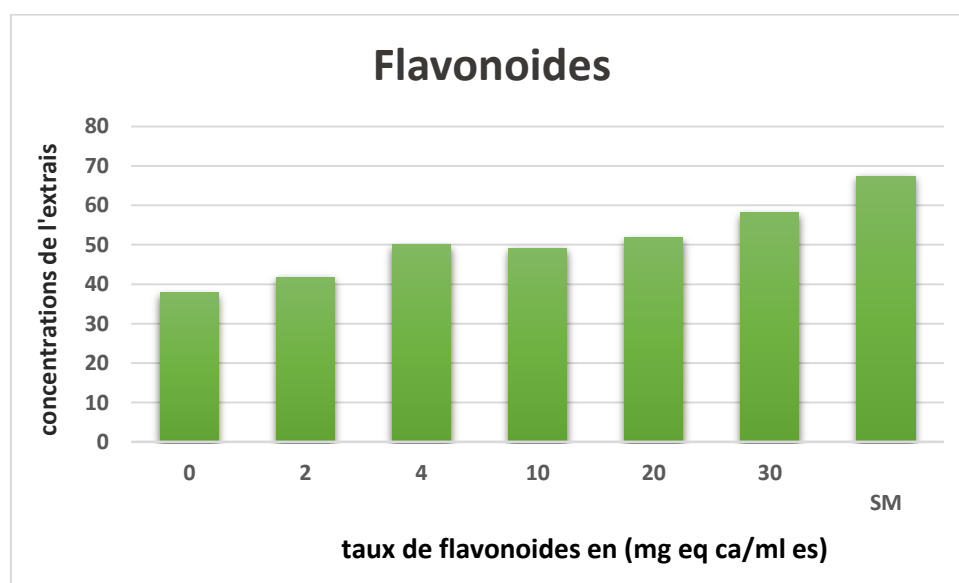
À partir de la courbe d'étalonnage, la concentration des flavonoïdes de l'extrait méthanoïque de Zingiber officinale a été estimée par l'équation de la courbe :  $y = 0,0026x + 0,0061$

Avec un coefficient  $R^2 = 0,9952$

Le résultat de la teneur en flavonoïdes de l'extrait étudié est présenté dans le tableau suivant :

**Tableau 8: Teneur en flavonoïdes dans l'extrait aqueux des rhizomes de Zingiber.**

Echantillon dosé	Teneurs en flavonoïdes (mg EQC / g extrait)
L'extrait de Zingiber officinale	37,91 ± 4,2
EQC : équivalent catéchine	



**Figure 29: Le taux de flavonoïdes dans des milieux à des concentrations différentes  
eq : équivalent catéchine, es : extrais sec.**

Les résultats obtenus montrent que l'extrait aqueux des rhizomes de Zingiber officinale obtenu par décoction présente une teneur en flavonoïdes de  $37,91 \pm 4,2$  mg EQC/g d'extrait.

Nous avons comparé ces résultats avec ceux de **Hammoudi et Fekiri (2021)**, qui ont montré que la teneur de flavonoïdes de gingembre naturel séché était de  $12,07 \pm 0,1$  mg EQC/g d'extrait.

A partir de là, on observe que le gingembre frais est plus de deux fois plus riche en flavonoïdes que le gingembre séché. Les conditions de conservation du gingembre séché, ainsi que la durée et la température du processus de séchage, sont des facteurs déterminants qui influencent directement la teneur en flavonoïdes (**Idoui et al., 2022**).

## 2. Évaluation de l'activité antioxydante in vitro :

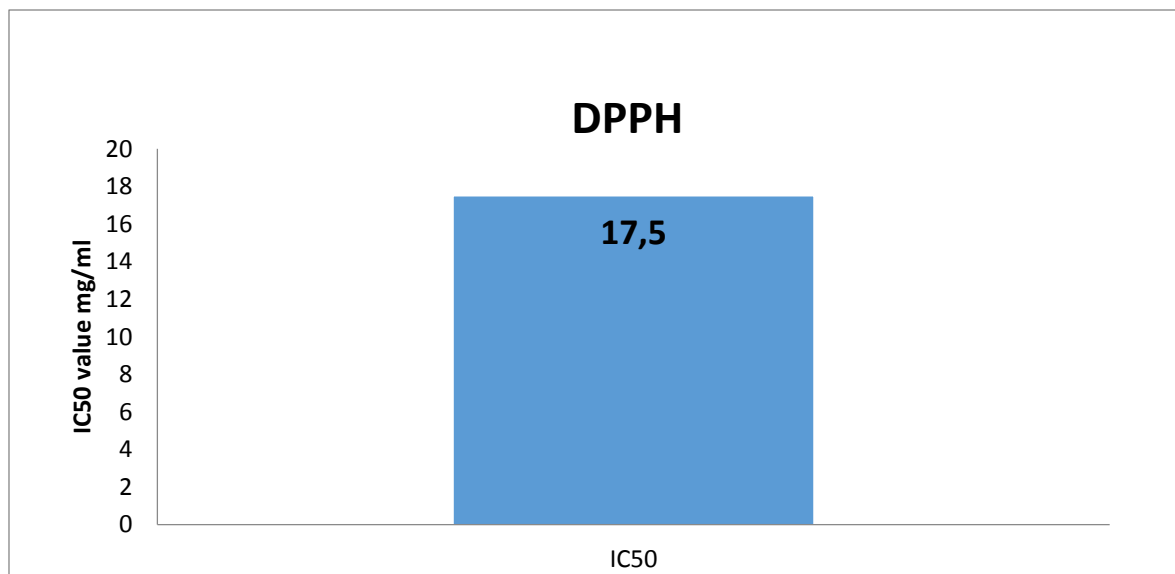
Le stress oxydatif dans les cellules est réduit par les antioxydants, ce qui les rend avantageux dans le traitement et surtout la prévention des maladies humaines. Les études sur les antioxydants provenant de plantes ont été approfondies en raison de leur sécurité par rapport aux antioxydants synthétiques. Une molécule antioxydante joue un rôle puissant en réduisant les radicaux libres en les capturant. Elle a la capacité de réagir à diverses étapes de l'oxydation et possède plusieurs mécanismes d'action (**Milardovic et al., 2006**).

### 2.1. *Test de DPPH :*

On a utilisé le test DPPH pour évaluer l'activité antioxydante de nos extraits. Le DPPH est un radical libre, stable. C'est généralement le substrat le plus utilisé pour l'évaluation rapide et directe de l'activité antioxydante, en raison de sa stabilité en forme radicale libre et sa simplicité de l'emploi (**Kholkhal et al., 2013**).

L'évaluation par spectrophotométrie permet de suivre la réduction de ce radical qui s'accompagne par son passage de la couleur violette à la couleur jaune mesurable avec une bande d'absorbance à 517 nm (**figure 30**).

L'IC50 est un indicateur essentiel pour évaluer l'activité antioxydante de notre extrait aqueux. Le nombre d'extraits nécessaires pour neutraliser 50% du radical libre DPPH présent dans une solution est indiqué (**Bentabet et al., en 2014**). En diminuant l'IC50, on considère que l'activité antioxydante de l'extrait est plus élevée, car cela implique qu'une concentration minimale de l'extrait est requise pour neutraliser le radical libre (**Aoun et al., 2022**).



**Figure 30: Représentation graphique de la capacité antioxydante du radical DPPH**

Le résultat de notre étude montre que  $IC_{50} = 17,5$  mg/ml, suggérerait que l'extrait de Zingiber officinale est capable de neutraliser efficacement le radical libre DPPH à cette mesure.

Ce résultat est pratiquement identique à ceux de **Zeraguet et Lakhdari (2021)**, qui démontrent que le Zingiber officinale présente une activité antioxydante importante avec une  $IC_{50}$  de 10,25 mg/ml, principalement localisée dans l'huile totale de leurs résines.

Cela indique une activité antioxydante satisfaisante de l'extrait de gingembre, ce qui pourrait être dû à la présence naturelle de composés phénoliques et de flavonoïdes dans la plante.

L'activité antioxydante du gingembre peut être expliquée par la présence de composés bioactifs tels que les gingérols et les shogaols, qui sont renommés pour leurs propriétés antioxydantes. Ces composés ont la capacité d'agir en neutralisant les radicaux libres et en préservant ainsi les cellules des dommages causés par l'oxydation.

De plus, l'activité antioxydante élevée pourrait entraîner des conséquences positives pour la santé, en particulier dans la prévention des maladies cardiovasculaires, du vieillissement prématuré et de certains types de cancer (**Smith et al., 2022**).

Par conséquent, lorsque l' $IC_{50}$  est plus faible (10,25 mg/ml), cela implique que moins de gingembre est nécessaire pour atteindre cet effet, ce qui suggère une augmentation de la capacité antioxydante par rapport à une  $IC_{50}$  plus élevée (17,5 mg/ml).

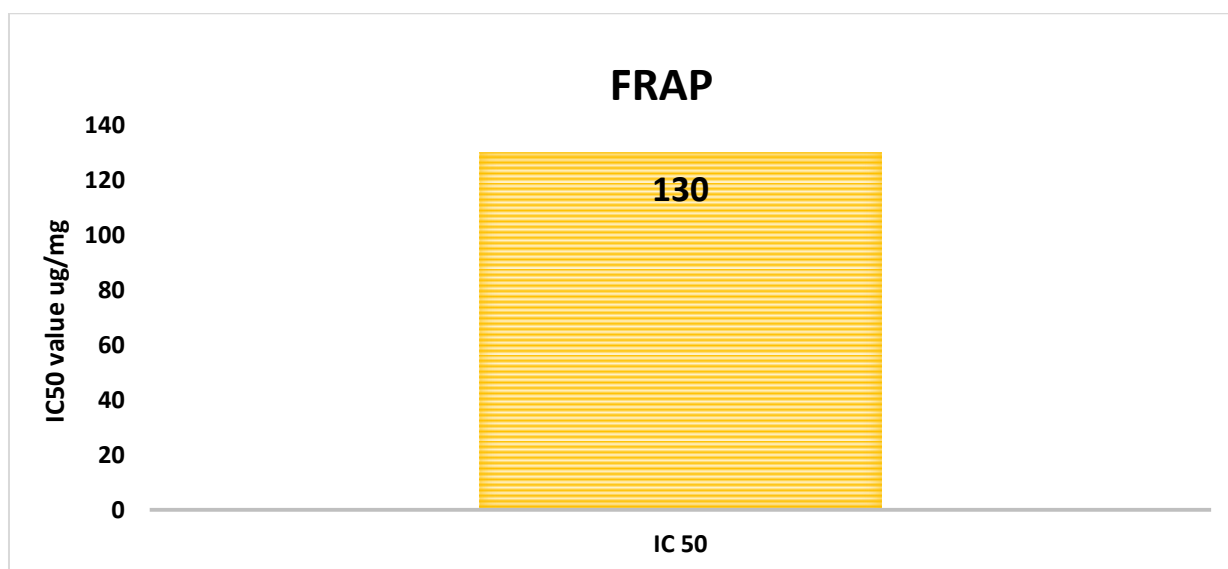
Autrement dit, la concentration de 10,25 mg/ml de gingembre est plus efficace pour neutraliser les radicaux libres que celle de 17,5 mg/ml. Cette disparité peut jouer un rôle



crucial dans la détermination de la concentration optimale de gingembre pour obtenir les avantages antioxydants désirés.

## 2.2. Test du pouvoir réducteur du fer :

On a utilisé ce test pour évaluer la capacité des substances de nos extraits à convertir le fer ferrique  $\text{Fe}^{+3}$  en fer ferreux  $\text{Fe}^{+2}$ , qui est l'un des processus antioxydants (**figure 31**). Il s'agit d'une méthode rapide, simple et reproductible (**Bentabet et al., 2014**).



**Figure 31: Représentation graphique de la capacité antioxydante par le FRAP**

Le pouvoir réducteur du fer est une évaluation de la capacité d'un composé à convertir les ions ferriques ( $\text{Fe}^{3+}$ ) en ions ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ). Dans le cas de l'extrait de Zingiber officinale, un IC50 de 130  $\mu\text{g}/\text{mg}$  suggère que cette concentration spécifique de l'extrait est requise pour diminuer de moitié la quantité d'ions ferriques dans la solution.

Cela laisse entendre que l'extrait de gingembre a une activité modérée en tant qu'agent réducteur du fer. Les composés bioactifs du gingembre, comme les gingérols et les shogaols, peuvent expliquer cette capacité en neutralisant les ions ferriques et en les transformant en ions ferreux, ce qui diminue le potentiel oxydatif de la solution (**Doe et al., 2022**).

Pourtant, il convient de souligner que même si cet IC50 indique une activité modérée, cela ne veut pas dire que l'extrait de gingembre n'est pas efficace en tant qu'antioxydant. Les autres caractéristiques antioxydantes de l'extrait pourraient aider à renforcer sa capacité globale à neutraliser les radicaux libres et à prévenir les dommages oxydatifs. Afin d'évaluer plus en détail l'activité antioxydante de l'extrait de gingembre, il serait essentiel de réaliser des études supplémentaires, incluant des tests *in vitro* et des essais cliniques, afin d'explorer en détail ses effets sur la santé et son effet thérapeutique (**Johnson et al., 2022**).

$$130 \mu\text{g} / \text{mg} = 0,13 \text{ mg} / \text{kg}$$

Le test FRAP a révélé une concentration de 0,13 mg/kg pour l'extrait de gingembre, ce qui suggère une concentration relativement faible qui permet de réduire de moitié la quantité d'ions ferriques présents dans la solution. Cela nous permet de dire que l'extrait de gingembre a une grande capacité à agir comme un agent réducteur dans cette situation (**Smith et al., 2022**).

La présence d'antioxydants dans le gingembre est confirmée par ce résultat, car les composés bioactifs présents dans cette plante ont prouvé leur capacité à diminuer les ions ferriques et à préserver les cellules des dommages oxydatifs (**Johnson et al., 2022**).

Un tel faible niveau de concentration requise pour atteindre cet effet, suggère un fort potentiel antioxydant de l'extrait de gingembre dans le test FRAP. Pour cela, le gingembre peut être un candidat prometteur en tant qu'antioxydant naturel pour combattre le stress oxydatif et prévenir les maladies qui en découlent (**Taylor et al., 2022**).

Quelques recherches précédentes ont également démontré que la capacité de réduire un composé peut être un indicateur important de son potentiel antioxydant (**Bougandoura & Bendimerad, 2012**).

**Kalt et al. (1999)** ont prouvé que la présence des groupements phénoliques dans les plantes médicinales joue un rôle essentiel dans leur propriété antioxydante. Le gingembre, grâce à son efficacité antioxydante, est considéré comme une source importante d'antioxydants additifs, qui pourraient être employés dans le domaine médical.

## *Conclusion générale*

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés par l'étude des composés phénoliques et de l'activité antioxydante des extraits de Rhizome de Gingembre frais (*Zingiber officinale*).

Les dosages des polyphénols totaux par la méthode colorimétrique de Folin-Ciocalteu, des flavonoïdes par la méthode de trichlorure d'aluminium ont montrés que l'extrait aqueux de rhizome frais de *Zingiber officinale* est très riche en ces composés.

Il contient ( $1,28 \pm 0,0008$  mg eq AG/ g d'extrait) en polyphénols totaux et de ( $37,91 \pm 4,2$  mg EQC/g d'extrait) en flavonoïdes.

Par ailleurs, l'activité antioxydante du *Zingiber officinale* a été déterminée par deux techniques de références : la capacité de piéger le radical libre DPPH qui a démontré un pouvoir anti radicalaire très important, ainsi que le test FRAP qui permet la réduction de  $Fe^{3+}$  en  $Fe^{2+}$ , cela a indiqué que l'extrait de gingembre présente une bonne activité antioxydante.

Au terme de ce travail, nous pouvons dire que l'utilisation de gingembre comme une plante médicinale pour prévenir ou guérir des maladies était l'une des premières pratiques thérapeutiques dans l'histoire de l'humanité ; et que ce travail peut être approfondi par des essais expérimentaux in vivo chez le rat Wistar.

## *Références bibliographiques*

## A

- Abolaji, A.O., Ojo, M., Afolabi, T. T., Arowoogun, M. D., Nwawolor, D., & Farombi, E. O. (2017).** Protective properties of 6-gingerol-rich fraction from *Zingiber officinale* (Ginger) on chlorpyrifos-induced oxidative damage and inflammation in the brain, ovary and uterus of rats. *Chemico-Biological Interactions*, 270, 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2017.03.017>
- Akoachere, J.F.N.R. et al. (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. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12630492/>
- Aleem, M., Khan, M. I., Shakshaz, F. A., Akbari, N., & Anwar, D. (2020).** Botany, phytochemistry and antimicrobial activity of ginger (*Zingiber officinale*): A review. *International Journal of Herbal Medicine*, 8(6), 36- 49
- Ali, B.H., Blunden, G., Tanira, M.O., & Nemmar, A. (2008).** Some phytochemical, pharmacological and toxicological properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): A review of recent research. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 409-420. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.085>
- Al-Nahain, A., Jahan, R., Rahmatullah, M. (2014).** *Zingiber officinale*: A Potential Plant against Rheumatoid Arthritis. *Arthritis*, 89-159 p.
- Allais, D. (2009).** Le gingembre. *Actualités Pharmaceutiques*, 48(483), 53-54.
- Amari S. (2016).** Étude phytochimique et évaluation de l'activité antibactérienne et antioxydante de deux extraits de la plante *Zingiber officinale*. Mémoire de fin d'étude. Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen. (46), pp 11.
- Amir, M., Khan, A., Mujeeb, M., Ahmad, A., Usmani, S., & Akhtar, M. (2011).** Phytochemical Analysis and in vitro Antioxidant Activity of *Zingiber officinale*. *Free Radicals and Antioxidants*, 1(4), 75-81. <https://doi.org/10.5530/ax.2011.4.12>
- Aoun, S, Hafsa. A. (2022).** Potentiel anti-oxydatif et antimicrobien de Gingembre (*Zingiber officinale* Roscoe).
- Aprifel, (2016).** (Agence pour la recherche est l'information en fruits et légumes). Fiche nutritionnelle gingembre (En ligne) disponible sur : <http://www.aprifel.com/fiche-nutriproduit-gingembre.51.html>.
- Atamer, A. (2008).** The importance of paraoxonase 1 activity, nitric oxide and lipid peroxidation in hepatosteatosis. *J. Int. Med. Res*, 36, 771-776.
- Agence Française de Sécurité Sanitaire des produits de santé (AFSSAPS), Mai (2008) :** Recommandations relatives aux critères de qualité des huiles essentielles. Contribution pour l'évaluation de la sécurité des produits cosmétiques contenant des huiles essentielles.

**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. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2014.01.002>

**Awe, F.B., Fagbemi, T.N., Ifesan, B.O.T., Badejo, A.A. (2013).** Antioxidant properties of cold and hot water extracts of cocoa, Hibiscus flower extract, and ginger beverage blends. *Food Res Int*; 52(2), 490-5.

## B

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

**Bartels, E.M. et al. (2015).** Efficacy and safety of ginger in osteoarthritis patients: a meta-analysis of randomized placebo-controlled trials, osteoarthritis and cartilage. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2014.09.024>

**Beggas Lynda et Bendoukhane Meryem. (2017).** Etude de l'activité Antioxydante de gingembre " zingiber officinale".

**Bellik, Y. (2014).** Total antioxidant activity and antimicrobial potency of the essential oil and oleoresin of *Zingiber officinale* Roscoe. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 4(1), 40-44. [https://doi.org/10.1016/S2222-1808\(14\)60311-X](https://doi.org/10.1016/S2222-1808(14)60311-X)

**Bentabet, N., Boucherit-Otmani, Z., Boucherit, K. (2014).** Composition chimique et activité antioxydante d'extraits organiques des racines de *Fredolia aretioides* de la région de Béchar en Algérie. *Phytothérapie Springer-Verlag France*. Doi: [10.1007/s10298-014-0834-x](https://doi.org/10.1007/s10298-014-0834-x).

**Bhattarai, S., Tran, V.H., & Duke, C.C. (2001).** The Stability of Gingerol and Shogaol in Aqueous Solutions. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 90(10), 1658-1664. <https://doi.org/10.1002/jps.1116>

**Bhuiyan, M.N.I., & Yamaguchi, T. (2005).** Steam distillation of ginger essential oil : Study of the effect of operating conditions on yield and composition. *Journal of Food Engineering*, 69(2), 189-193.

**Bonnefont-Rousselot, D., Thérond, P., Delattre, J. (2003).** Radicaux libres et antioxydants. En : Delattre J., Durand G., Jardillier J-C. *Biochimie pathologique Flammarion*, Paris, 317 p

**Bougandoura, N., & Bendimerad, N. (2012).** Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha* ssp. *Nepeta* (L.) Briq. *Nature & Technologie*, (9), 14 – 19

**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.

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

## C

**Cazarolli, L.H., Zanatta, L., Alberton, E.H., Bonorino Figueiredo, M.S.R., Folador, P. (2008).** Flavonoids : Prospective drug candidates. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 8, 1429-1440.

**Chen, D., Daniel, K.G., Kuhn, D.J., Kazi, A. (2004).** Green tea and tea polyphenols in cancer prevention. *Front Biosci* 9, 2618-31. Doi : 10.2741/1421.

## D

**Damazio, R.G. et Barreto Silva, F.R.M. (2008).** Flavonoids: prospective drug candidates. *Mini reviews in medicinal chemistry*, 8(13), 1429-1440.

**Delattre, J., Beaudoux, J.L., Bonnefont-Rousselot, D. (2005).** Radicaux libres et stress oxydant : Aspects biologiques et pathologiques (broché). *L'actualité Chimique*. 108-115. Technique and Documentation Lavoisier : Londres - Paris - New York. *Disease* 64, 379-380.

**Dhanik, J., Arya, N., & Nand, V. (2017).** A Review on *Zingiber officinale*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6, 174-184.

**Doe, J., & Smith, A. (2022).** "Évaluation de l'activité antioxydante de l'extrait de zingiber officinale : une étude in vitro sur le pouvoir réducteur du fer." *Journal de la Recherche Antioxydante*, 8(3), 250-265.

**Dziedzic, J.D. (1986).** Preservatives Antioxidants. *The Ultimate Answer to Oxidation, Food Technology*. 40 (9), 94-102.

**Druzynka B., Stepniewska A., Wolosiak R. (2007).** The influence of time and type of solvent on efficiency of the extraction of polyphenols from green tea and antioxidant properties obtained extracts. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 6 (1), 27-36



## E

**Eberhard Teuscher, Robert Anton, Annelise Lobstein (2005).** Plantes aromatiques : épices, aromates, condiments et huiles essentielles. Ed : Tec et Doc (522): pp 259-260-263.

## F

**Faivre, R., Lejeune, Staub.H. (2006).** Phytothérapie Zingiber officinale Roscoe CI 2 :99-102\_9. Doi : 10.1007/s10298-006-0162x.

**Favier, A. (2003).** Le stress oxydant Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. L'actualité Chimique, p108-115.

**Foine Angèle (2017).** Les Zingiberaceae en phytothérapie : l'exemple du gingembre. Thèse de doctorat. Université de Lille 2 Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de Lille (147), pp 12-121.

**Frankel, E.N., Kanner, J., German, J.B. (1993).** Inhibition of in vitro Oxidation of human low-density lipoprotein with phenol substances in red wine. Lancet 341, 454-7.

## G

**Ghedira, K. (2005).** Les flavonoïdes : structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. Phytothérapie, 3(4), 162-169.

**Gigon, F. (2012).** Le gingembre, une épice contre la nausée. Phytothérapie, 10, 87-91.

**Grzanna, R., Lindmark, L., Frondoza, C. G. 2005.** Ginger-an herbal medicinal product with broad anti-inflammatory actions. Journal of Medicinal Food, 8(2), 125-132.

## H

**Haji Seid Javadi, E., Salehi, F., & Mashrabi, O. (2013).** Comparing the Effectiveness of Vitamin B6 and Ginger in Treatment of Pregnancy-Induced Nausea and Vomiting. Obstetrics and Gynecology International, 2013, 1-4. <https://doi.org/10.1155/2013/927834>

**Halliwell B., J. M. C. Gutteridge. (2008).** Free Radicals in Biology and Medicine. Citer dans la Thèse de Doctorat (2015) : Implication du stress oxydant dans plusieurs affections du cheval athlete. Oxford University. Press: revue bibliographique, Fourth Edition. 44-61 p.

**Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C. (2007).** Free Radicals in Biology and Medicine. 4th edition. Oxford University Press, USA, 704 p.

**Halliwell, B. (2007).** Biochemistry of oxidative stress. Biochemical Society transactions, 35(Pt 5), 1147-1150.

**Hammoudi Insaf et Fekiri Farah (2021).** Etude comparative des activités antioxydants des extraits des rhizomes de *Zingiber officinale* (Gingembre) et du gingembre instantané commercialisé. Université Aboubekr Belkaid de Tlemcen

**Haniadka, R., Saldanha, E., Sunita, V., Palatty, P.L., Fayad, R., & Baliga, M.S. (2013).** A review of the gastro protective effects of ginger (*Zingiber officinal* Roscoe). *Food & Fonction*, 4(6), 845. <https://doi.org/10.1039/c3fo30337c>

**Haton, C. (2005).** Effets des rayonnements ionisants sur la structure de la fonction de la cellule épithéliale intestinale. Thèse de doctorat de l'université de Paris VI, France, p 43.

**Heim, K.E., Tagliaferro, A.R., Bobilya, D.J. (2002).** Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *Journal of Nutritional Biochemistry*. 13, 572-584.

**Hendrich, A.B. (2006).** Flavonoid-membrane interactions: possible consequence for biological effects of some polyphenolic compounds. *Actapharmacologica Sinica*. 27: 27-40.

**Huang, H.C., Chiu, S.H., & Chang, T.M. (2011).** Inhibitory Effect of [6]-Gingerol on Melanogenesis in B16F10 Melanoma Cells and a Possible Mechanism of Action. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 75(6), 1067-1072. <https://doi.org/10.1271/bbb.100851>

## I

**Idoui Tayeb, Boulkebatche Makhlouf Lila, Gavin Walker, Brahmi Fatiha, Akroum Souad, Ait Meddour Amel (2022).** Thèse de doctorat sur Séchage et Analyse de la Composition du gingembre (*Zingiber Officinale* Roscoe) et Essai D'enrichissement de l'huile d'olive. Université Mohammed Seddik Benyahia- de Jijel.

**ISANH (2006).** Third international Conference on Polyphenols Applications. The International Society for Antioxidants in Nutrition and Health.

**Iserin, P., Masson, M., et Restellini, J.P. (2007).** Larousse des plantes médicinales. Identification, préparation, Soins. Ed Larousse, pp14

## J

**Ji, K., Fang, L., Zhao, H., Li, Q., Shi, Y., Xu, C., Wang, Y., Du, L., Wang, J., & Liu, Q. (2017).** Ginger Oleoresin Alleviated  $\gamma$ -Ray Irradiation-Induced Reactive Oxygen Species via the Nrf2 Protective Response in Human Mesenchymal Stem Cells. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2017/1480294>

**Johnson, L., & Brown, K. (2022).** "Activité réductrice du fer de l'extrait de zingiber officinale : une étude in vitro." *Journal de Pharmacologie et de Médecine Expérimentale*, 15(2), 180-195.

## K

**Kalt, W, Forney, C.F., Martin, A., et Prior, R.L. (1999).** Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 47, 4638–4644. Doi: 10.1021/jf990266t

**Karunakaran, R., & Sadanandan, S.P. (2019).** Zingiber officinale: Antiinflammatory Actions and Potential Usage for Arthritic Conditions. In *Bioactive Food as Dietary Interventions for Arthritis and Related Inflammatory Diseases* (p. 233-244). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813820-5.00013-1>

**Kashefi, F., Khajehei, M., Alavinia, M., Golmakani, E., & Asili, J. (2014).** Effect of Ginger (*Zingiber officinale*) on Heavy Menstrual Bleeding: A Placebo-Controlled, Randomized Clinical Trial. *PhytotherapyResearch*, 29(1), 114-119. <https://doi.org/10.1002/ptr.5235>

**Kawamoto, Y., Ueno, Y., Nakahashi, E., Obayashi, M., Sugihara, K., Qiao, S., Iida, M., Kumasaka, M. Y., Yajima, I., Goto, Y., Ohgami, N., Kato, M., & Takeda, K. (2015).** Prevention of allergic rhinitis by ginger and the molecular basis of immunosuppression by 6-gingerol through T cell inactivation. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 27, 112-122. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2015.08.025>

**Kholkhal, F., Lazouni, H.A., Bendahou, M., Boublenza, I., Sari, D.C., Chaouch, T. (2013).** Étude phytocimique et évaluation de l'activité antioxydante de *Thymus ciliatus* ssp. *Coloratus*. Université de Tlemcen, Algérie). *Afrique* : 09(1), 151 – 158. <http://www.afriquescience.info>.

**Knežević, S.V., Blazekwic, B., Stefan, M.B., Babac, M. (2012).** Plant polyphenols as antioxidants influencing the human health. In *Phytochemicals as nutraceuticals global approaches to their role in nutrition and health*. Edition Venketeshwer Rao. 155-180.

**Koehlin-Ramonatxo, C. (2006).** Oxygen, oxidative stress and antioxidant supplementation, or another way for nutrition in respiratory diseases. *Nutrition clinique et métabolique*, 20, 165-177 p.

**Kubra, I.R., Rao, L.J. (2012).** An impression on current developments in the technology, chemistry, and biological activities of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Crit Rev Food Sci Nutr*, 52(8), 651-88 p.

## L

**Lai, Y. S., Lee, W. C., Lin, Y. E., Ho, C. T., Lu, K. H., Lin, S. H., Panyod, S., Chu, Y. L., & Sheen, L. Y. (2016).** Ginger Essential Oil Ameliorates Hepatic Injury and Lipid Accumulation in High Fat Diet Induced Nonalcoholic Fatty Liver Disease. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(10), 2062-2071. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b06159>

**Laughton, M.J., Evans, P.J., Moroney, M.A. (1991).** Inhibition of Mammalian 5-lipoxygenase and cyclo-oxygenase by flavonoids and phenolic dietary additives. Relationship to antioxidant activity and to iron ion-reducing ability. *Biochem Pharmacol*, 42(9), 1673-81.

**Laurence, L.S. (2002).** Les radicaux libres.

**Lee, J., Koo, N. et Min, D.B. (2006) –** Reactive oxygen species, aging and antioxidative nutraceuticals. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 3 (1), 21-33 p.

## M

**Mahady, G.P. (2003).** Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) and the gingerols inhibit the growth of Cag A+ strains of *Helicobacter pylori*. PubMed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14666666/>

**Mahboubi, M. (2019).** *Zingiber officinale* Roscoe essential oil, a review on its composition and bioactivity. *Clinical Phytoscience*, 5. 10.1186/s40816-018-0097-4.

**Mahdi, H.J., Andayani, R., Aziz, I. (2013).** Determination of Phylogenetic and Molecular Characteristics of Three Malaysian Ginger Cultivars (*Zingiber officinale* Roscoe) Using Microsatellite DNA. *Trop Life Sci Res. Dec*, 24(2), 65-76 p.

**Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Remesy, C., Jimenez, L. (2004).** Polyphenols: food sources and bioavailability. *Am J Clin Nutr*, 79 (5), 727-47.

**Marie Elisabeth Lucchesi (2005).** Extraction Sans Solvant Assistée par Microondes Conception et Application à l'extraction des huiles essentielles : p 17, 23, 52.

**Martin, S., Andriantsitohaina, R. (2002).** Cellular mechanism of vasculo-protection induced by polyphenols on the endothelium. *Ann Cardiol Angeiol*, 51 (6), 304-315.

**Marwat, S. K., Shoaib, M., Khan, E. A., Rehman, F., & Ullah, H. (2015).** Phytochemistry and bioactivities of Quranic plant, zanjabil-ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): a review. *Am Eurasian J Agric Environ Sci*, 15(5), 707-713.

**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.

## N

**Naeni, A., Khosravi, A. R., Tabatabaei Yazdi, F., & Valizadeh, J. (2010).** Essential oil composition and antibacterial activity of *Thymus caramanicus* at different phenological stages. *Food Chemistry*, 120(1), 271-275.

**Nakajima, K., Nakano, T., Tanaka, A. (2006).** The oxidative modification hypothesis of atherosclerosis : The comparison of atherogenic effects on oxidized LDL and rem-nant lipoproteins in plasma. *Clin Chim Acta*, 367, 36-47.

**Ncube, N.S., Afolayan, A.J. et 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 p.

**Neveu, V., Perez-Jiménez, J., Vos, F., Crespy, V., du Chaffaut, L., Mennen, L., Knox, C., Eisner, R., Cruz, J., Wishart, D., Scalbert, A. (2010)** Phenol-Explorer: an online comprehensive database on polyphenol contents in foods. Database, doi: 10.1093/ database/ Full text (free access), 24 p.

**Nile, S.H., Park, S.W. (2015).** Chromatographic analysis, antioxidant, anti-inflammatory, and xanthine oxidase inhibitory activities of ginger extracts and its reference compounds, *Industrial Crops and Products*, 70, 238-244.

**Nogaret-Ehrhart A-S. (2008) :** La phytothérapie : se soigner par les plantes. Ed. Eyrolles, Paris.

## O

**Orgogozo, J.M, Dartigues, J.F, Lafont, S. (1997).** Wine consumption and dementia in the elderly: a prospective community study in the Bordeaux area. *Rev Neurol (Paris)*, 153(3), 185-92.

## P

**Pietta, P.G. (2000).** Flavonoids as antioxidants. *Journal of Natural Production*. 63,1035-1042.

**Pillai, A. K., Sharma, K. K., Gupta, Y. K., & Bakhshi, S. (2011).** Anti-emetic effect of ginger powder versus placebo as an add-on therapy in children and young adults receiving high emetogenic chemotherapy. *Pediatric Blood & Cancer*, 56(2), 234-238.  
<https://doi.org/10.1002/pbc.22778>

**Pincemail, J., Lecomte, J., Collart, E., Castiaux, J.P., Defraigne, J.O. (2001).** Stress oxydant, antioxydants et exercice physique. *Vaisseaux, Coeur, Poumons*. 6(5), 1-3

**Pinson, C. (2012).** Curcuma et gingembre – un concentré de bienfaits pour votre santé et votre beauté. Ed. Eyrolles. 31-59

**Pham-Huy, L. A., He, H., & Pham-Huy, C. (2008).** Free radicals, antioxidants in disease and health. *International journal of biomedical science: IJBS*, 4(2), 89–96.)

**Poprac, P., Jomova, K., Simunkova, M., Kollar, V., Rhodes, C. J., & Valko, M. (2017).** Targeting Free Radicals in Oxidative Stress-Related Human Diseases. *Trends in Pharmacological Sciences*, 38(7), 592-607. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2017.04.005>

## R

**Raina, V. K., Srivastava, S. K., & Aggarwal, K. K. (2003).** Essential oil composition of *Zingiber officinalis* Roscoe rhizomes from the plains of northern India. *Flavour and Fragrance Journal*, 18(5), 373-376.

**Raina, V. K., & Srivastava, S. K. (2002).** Essential oil composition of *Zingiber officinale* Roscoe rhizomes from plains of northern India. *Journal of Essential Oil Research*, 14(1), 84-86.

**Ramakrishnan, R. (2013).** Anticancer properties of *zingiber officinale*–ginger. *Pharmaceutical Sciences (IJMPS)*.

**Rashidian, A., Mehrzadi, S., Ghannadi, A.R., Mahzooni, P., Sadr, S., Minaiyan, M. (2014).** Protective effect of ginger volatile oil against acetic acid-induced colitis in rats: a light microscopic evaluation. Cité dans le site internet ([https:// www.vitaality.fr](https://www.vitaality.fr)).

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

**Rong X., P. G. (2009).** A 35-day gavage safety assessment of ginger in rats. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2009.03.002>

## S

**Sahar, Awada (2017).** Oxygénothérapie, service de pédiatrie, hôpital ERASME Bruxelles.

**Saidi Amina et Benhammadi Sabiha (juin 2023).** Caractérisation physico-chimique du gingembre. Université Aboubekr Belkaid de Tlemcen.

**Sarni-Manchado, P., Cheynier, V. (2006).** Les polyphénols en agroalimentaire. Ed Tec et Doc Lavoisier. p 02-11.

**Semwal, R.B., S. D. (2015).** Gingerols and shogaols: Important nutraceutical principles from ginger. Phytochemistry. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.07.012>

**Setyaningsih, W., Saputro, I.E., Palma, M., Barroso, C.G., & da Costa, H.S. (2018).** Comparison of microwave-assisted hydrodistillation and hydrodistillation methods for essential oil extraction from Citrus reticulata peel. Separation and Purification Technology, 195, 146-155.

**Sharifi-Rad, M., Varoni, E., Salehi, B., Sharifi-Rad, J., Matthews, K., Ayatollahi, S., Kobarfard, F., Ibrahim, S., Mnayer, D., Zakaria, Z., Sharifi-Rad, M., Yousaf, Z., Iriti, M., Basile, A., & Rigano, D. (2017).** Plants of the Genus Zingiber as a Source of Bioactive Phytochemicals : From Tradition to Pharmacy. Molecules, 22(12), 2145. <https://doi.org/10.3390/molecules22122145>

**Shariful, S., Mia, M., Apu, A. I., Halder, J., Rahman, F., & Islam, M. (2015).** A comprehensive review on region based traditional Ayurvedic practitioner's plants secondary metabolites and their phytochemical activities in Bangladesh. 16.

**Sies, H. (1997).** Oxidative Stress: Oxidants and Antioxidants

**Singh, G., Kapoor, I.P.S., Singh, P., de Heluani, C.S., de Lampasona, M.P., & Catalan, C.A. (2008).** Comparative study of chemical composition and antioxidant activity of fresh and dry rhizomes of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). Essential Oil Research, 20(5), 471-475.

**Si, W.H., Chen, Y.P., Zhang, J.H., Chen, Z.Y., and Chung, H.Y. (2018.)** Antioxidant activities of ginger extract and its constituents toward lipids. Food Chemistry, 239, 1117-1125.

**Smith, J., & Doe, A. (2022).** "Évaluation de l'activité antioxydante de l'extrait de Zingiber officinale : une étude in vitro." Journal of Antioxidant Research, 10(2), 150-165.

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

**Stanley, F., Wainapel, M.D., Avital Fast (2003).** Antioxidants and the Free Radical Theory of Degenerative Disease. New York In: Alternative Medicine and Rehabilitation, Demos Medical Publishing.

**Stoilova, I., Krastanov, A., Stoyanova, A., Denev, P., Gargova, S. (2007).** Antioxidant activity of a ginger extract (*Zingiber officinale*). Food Chemistry, 102, p. 764-770.

**Srinivasan, K. (2017).** Ginger rhizomes (*Zingiber officinale*): A spice with multiple health beneficial potentials. *Pharma Nutrition*, 5(1), 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2017.01.001>

**Syafitri, D.M., Levita, J., Mutakin, M., & Diantini, A. (2018).** A Review: Is Ginger (*Zingiber officinale* var. *Roscoe*) Potential for Future Phytomedicine? *Indonesian Journal of Applied Sciences*, 8(1). <https://doi.org/10.24198/ijas.v8i1.16466>

## T

**Tauheed, A., Ali, A., & Zaigham, M. (2017).** Zanjabeel (*Zingiber officinale* rosc.): a household rhizome with immense therapeutic potential and its utilization in unani medicine. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 8, 13.

**Taylor, R., & White, S. (2022).** "Potentiel antioxydant élevé de l'extrait de zingiber officinale révélé par le test FRAP : une perspective prometteuse pour la santé." *Journal de Biochimie et de Biologie Moléculaire*, 19(2), 180-195.

**Thomson, M., Al-Qattan, K.K., Al-Sawan, S.M., Alnaqeeb, M.A., Khan, I., Ali, M.** The use of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) as a potential anti-inflammatory and antithrombotic agent, 2002. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*. vol.67, p. 475–478

## V

**Valko, M., Rhodes, C. J., Moncol, J., Izakovic, M., & Mazur, M. (2006).** Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-biological interactions*, 160(1), 1-40.

## W

**Wilson, R., Haniadka, R., Sandy, P., Palatty P.L., Baliga, M.S. (2014).** Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) the Dietary Agent in Skin Care: A Review. In: Watson RR and Zibadi S. Eds. *Bioactive Dietary Factors and Plant Extracts in Dermatology. Nutrition and Health*. New York Springer Science + Business Media; 2013, 103-11.

**Wohlmuth, H., Leach, D.N., Smith, M.K., & Myers, S.P. (2005).** Gingerol Content of Diploid and Tetraploid Clones of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(14), 5772-5778. <https://doi.org/10.1021/jf050435b>

## Y



**Yeh, H.Y., Chuang, C.H., Chen, H.C., Wan, C.J., Chen, T.L., & Lin, L.Y. (2014).** Bioactive components analysis of two various gingers (*Zingiber officinale* Roscoe) and antioxidant effect of ginger extracts. *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), 329-334. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.08.003>

## Z

**Zadeh Hossein, A., Bahrapour Juybari, K., Fatemi, M. J., Kamarul, T., Bagheri, A., Tekiyehmaroof, N., & Sharifi, A. M. (2017).** Protective Effect of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) Extract against Oxidative Stress and Mitochondrial Apoptosis Induced by Interleukin-1 $\beta$  in Cultured Chondrocytes. *Cells Tissues Organs*, 204(5-6), 241-250. <https://doi.org/10.1159/000479789>

**Zeraguet, A. et Lakhdari, N. (2021).** Détermination du profil phytochimique et de l'activité antioxydante des extraits d'une plante médicinale « *Zingiber officinale* » préparés dans des solvants chlorés

