

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE**

-----  
**UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU**

**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques  
Département de Biochimie et de Microbiologie**



**Mémoire de fin d'études  
En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Sciences Biologiques  
Filière : biotechnologie  
Spécialité : biotechnologie microbienne**

**THÈME**

**Extraction des huiles essentielles et des extrait phénoliques  
du gingembre (*Zingiber officinale*), caractérisation de leurs  
activités biologiques – caractérisation physicochimique,  
phytochimique du gingembre**

**Présenté par :**

- **Abdelli Salim**
- **Ait El Menceur Amina**

**Devant le jury :**

<b>Président de jury :</b> M <sup>me</sup> Benahmed Djilali A.	Professeur	UMMTO
<b>Examineur :</b> Mr Bouacem Kh.	Maître de conférences A	UMMTO
<b>Promotrice :</b> M <sup>me</sup> Benazzouz K.	Maître de conférences B	UMMTO

**Année universitaire : 2022/2023**



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

Nous tenant à remercier vivement notre promotrice Mme Benazzouz Kinza, pour avoir accepté de nous encadrer et aussi pour l'effort fournis, pour ses encouragements constants, ses précieux conseils, son soutien et surtout pour sa qualité humaine, sa modestie, sa disponibilité, tout au long de la réalisation de ce mémoire. Qu'il trouve ici l'expression de notre Profonde gratitude

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

À Madame Benahmed Djilali A, pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant de présider ce présent jury.

À monsieur Bouacem Kh, pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant d'examiner notre travail.

Le personnel de laboratoire pédagogique de microbiologie et de laboratoire physicochimique et de laboratoire de chimie pharmaceutique de l'UMMTO pour toute l'aide prodiguée afin de mener à terme nos expériences.

Nous voudrions aussi remercier très chaleureusement nos parents et tous les membres de nos familles pour le soutien moral ainsi que nos amis et tous les collègues de la promotion de Master 2 en Biotechnologie microbienne.

Enfin, nous exprimons notre gratitude à tous nos enseignants qui nous ont formé du primaire jusqu'à nos jours.



Nous dédions ce mémoire  
A nos chers parents ainsi qu'aux grands parents  
A nos chers frères et sœurs  
A tous nos familles  
A tous nos amis  
A tous les personnes que nous connaissons  
A ceux qui nous ont aidés et qui nous ont  
Donné l'espoir pour relever ce travail

## Liste des abréviations

- AFNOR** : Association Française de Normalisation
- ATCC**: American Type Culture Cells
- BHIB** : Bouillon cœur-cerveille
- DMSO** : Diméthylsulfoxyde
- EAG** : Equivalent d'acide gallique
- FDA** : Food and Drug Administration
- FeCl<sub>3</sub>** : Chlorure ferrique
- GN** : Gélose nutritive
- H1N1** : Grippe A
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** : Acide sulfurique
- HCl** : Acide chlorhydrique
- HEs** : Huiles essentielles
- HRSV** : Virus respiratoire syncytial humain
- IISR** : Indian Institute of Spices Research
- IR**: Indice de réfraction
- Mg** : Magnésium
- N** : Normalité
- Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** : Sulfate de sodium
- NaOH** : Hydroxyde de sodium
- NCIBI** : National Center of Biotechnology Information
- OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- P. aeruginosa*** : *Pseudomonas aeruginosa*
- S. aureus*** : *Staphylococcus aureus*
- T. castaneum*** : *Tribolium castaneum*
- Z.officinale***: *Zingiber officinale*
- UFC** : Unité formant de colonies

## Liste des figures

<b>Figure 01</b> : Rhizomes de gingembre.....	03
<b>Figure 02</b> : Culture de gingembre.....	04
<b>Figure 03</b> : Aspect général de <i>Zingiber officinale Roscoe</i> .....	05
<b>Figure 04</b> : Répartition mondiale des plantes de la famille des <i>Zingiberaceae</i> ...	06
<b>Figure 05</b> : Composés phytochimiques importants présents dans l'huile de gingembre.....	09
<b>Figure 06</b> : Structure de phénol.....	15
<b>Figure 07</b> : Anthocyanes.....	15
<b>Figure 08</b> : Structure générale des acides cinnamiques a substitution hydroxyle...	16
<b>Figure 09</b> : Structure générale des acides benzoïques a substitution Hydroxyle....	16
<b>Figure 10</b> : Structures des tannins.....	17
<b>Figure 11</b> : Structure de l'unité isoprénique.....	19
<b>Figure 12</b> : Salicine apparenté à l'aspirine.....	20
<b>Figure 13</b> : Type de saponine.....	21
<b>Figure 14</b> : <i>Tribolium castaneum</i> sous la loupe binoculaire.....	27
<b>Figure 15</b> : Dégâts causés par <i>Tribolium castaneum</i> sur la semoule.....	30
<b>Figure 16</b> : Etapes de la préparation du matériel végétal.....	34
<b>Figure 17</b> : Dispositif d'hydrodistillation.....	36
<b>Figure 18</b> : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.....	54
<b>Figure 19</b> : Résultats de l'activité antibactérienne.....	56
<b>Figure 20</b> : Résultats de l'activité antifongique.....	59
<b>Figure 21</b> : Evaluation de l'activité insecticide par le test de répulsion .....	61

## Liste des tableaux

<b>Tableau I:</b> Classification botanique du gingembre.....	06
<b>Tableau II :</b> Valeurs nutritionnelles de gingembre pour une portion de 100g.....	08
<b>Tableau III:</b> Propriétés biologiques des quelques poly phénols dans l'organisme.	18
<b>Tableau IV:</b> Souches bactériennes testées.....	35
<b>Tableau V:</b> Souche fongique testée.....	35
<b>Tableau VI :</b> Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald (1970)	50
<b>Tableau VII :</b> Résultats de quelques paramètres physico-chimiques et l'indice de réfraction caractérisant la plante de gingembre.....	51
<b>Tableau VIII :</b> Résultats d'analyses phytochimiques de gingembre.....	53
<b>Tableau IX :</b> Caractéristiques morphologiques observées chez les bactéries testées .....	55
<b>Tableau X :</b> Résultats de l'activité antibactérienne d'huile et d'extrait de gingembre.....	57
<b>Tableau XI :</b> Classement d'huiles essentielles de <i>Zingiber officinale</i> selon leur propriété de répulsion sur les adultes de <i>T.castaneum</i> .....	61
<b>Tableau XII :</b> Classement de l'extrait de <i>Zingiber officinale</i> selon leur propriété de répulsion sur les adultes de <i>T.castaneum</i> .....	62

# Sommaire

<b>Introduction générale.....</b>	<b>01</b>
<b>Chapitre I : Gingembre (Zingiber officinale)</b>	
I.1.Généralités sur la plante.....	03
I.2. Description de la plante.....	04
I.3. Nomenclature.....	05
I.4. Classification.....	06
I.5. Répartition mondiale de la production du gingembre .....	06
I. 6. Composition chimique et phytochimique de gingembre.....	07
I.6.1. Compositions chimique.....	07
I.6.2. Composition phytochimique.....	09
I.7.Utilisation de gingembre.....	10
<b>Chapitre II : Métabolites secondaires</b>	
II.1. Classification des métabolites secondaires.....	14
II.1.1. Les composés phénoliques.....	14
II.1.1.1.Flavonoïdes.....	15
II.1.1.2. Acides phénoliques.....	16
II.1.1.3. Tanins.....	16
II.1.1.4. Rôle et intérêt des composés phénoliques.....	17
II.1.2. Terpénoïdes.....	19
II.1.3. Alcaloïdes.....	19
II.1.4. Glucosides.....	20
II.1.5. Saponines.....	20
<b>Chapitre III : Huiles essentielles</b>	
III.1. Historique.....	23
III.2. Techniques conventionnelles d'extraction.....	23
III.3. utilisation des huiles essentielles.....	25
<b>Chapitre IV : Présentation de l'insecte</b>	
IV.1. Caractères généraux des <i>Tenebrionidae</i> .....	27
IV.2. Caractères généraux du genre <i>Tribolium</i> .....	27
IV.3. Classification taxonomique.....	28

IV.4. Description morphologique du <i>Tribolium castaneum</i> .....	28
IV.5. Etymologie.....	29
IV.6. Origine et répartition géographique .....	29
IV.7. Dégâts causés par <i>Tribolium castaneum</i> .....	29
IV.8. Distribution .....	30
IV.9. Ennemis naturels .....	30
IV.10. Moyens de lutte contre <i>Tribolium castaneum</i> .....	31

### **Chapitre V : Matériels et méthodes**

V.1. Cadre d'étude.....	33
V.2. Objectif d'étude.....	33
V.3. Matériel.....	33
V.3.1. Matériel végétal.....	33
V.3.2. Matériel laboratoire .....	34
V.3.2.1. Appareillage et réactif.....	34
V.3.2.2. Matériel biologique.....	34
V.4. Méthode.....	35
V.4.1. Extraction des huiles essentielles par Hydrodistillation .....	35
V.4.2. Détermination de l'indice de réfraction (IR).....	37
V.4.3. Détermination des caractéristiques physicochimiques de la partie racinaire de <i>Zingiber Officinale</i> .....	38
V.4.3.1. Teneur en eau (humidité).....	38
V.4.3.2. Détermination du pH.....	38
V.4.3.3. Acidité titrable .....	39
V.4.3.4. Teneur en cendres.....	40
V.4.4. Analyse phytochimique de la partie racinaire <i>Zingiber officinale</i> .....	41
V.4.5. Détermination de la teneur en polyphénols totaux.....	43
V.4.5.1 Extraction de polyphénol .....	43
V.4.5.2. Dosage des polyphénols totaux .....	43
V.4.6. Teste des activités biologiques .....	44
V.4.6.1. Activité antibactérienne .....	44
V.4.6.1.1. Repiquage et vérification de la pureté des souches bactériennes .....	44
V.4.6.1.2. Evaluation du pouvoir antibactérien.....	46

V.4.6.2. Activité antifongique .....	47
V.4.6.2.1. Préparation de l'inoculum.....	47
V.4.6.2.2. Evaluation du pouvoir antifongique.....	48
V.6.3 Activité insecticide .....	48
V.6.3.1 Mise en évidence de l'activité insecticide.....	48
<b>Chapitre VI : Résultats et discussions</b>	
VI.1. Indice de réfraction.....	51
VI.2. Résultats des paramètres physicochimique de Gingembre .....	51
VI.3. Résultats d'analyses phytochimiques du rhizome de Gingembre.....	52
VI.4. Résultats d'extractions et de dosage des polyphénols totaux .....	54
VI.5. Activité biologique .....	54
VI.5.1. Activité antibactérienne .....	55
VI.5.1.1. Vérification de la pureté des souches .....	55
VI.5.1.2. Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne.....	55
VI.5.2. Résultats de l'évaluation de l'activité antifongique.....	58
VI.5.3. Activité insecticide.....	59
VI.5.3.1. Test d'inhalation.....	60
VI.5.3.2. Test de répulsion .....	60
<b>Conclusion et perspective</b>	63
<b>Références bibliographiques</b>	
<b>Annexes</b>	
<b>Résumé</b>	

Depuis des milliers d'années, l'homme utilise les plantes trouvées dans la nature, pour traiter et soigner des pathologies (Sanago, 2006). L'utilisation des plantes en phytothérapie est très ancienne et connaît actuellement un regain d'intérêts auprès du public. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (2003), environ 65 à 80% de la population mondiale à recours à la médecine traditionnelle pour se soigner, en raison de la pauvreté et du manque d'accès à la médecine moderne (Ma et al., 1997).

Les plantes médicinales restent encore le premier réservoir de nouveaux médicaments, elles sont considérées comme source de matière première essentielle pour la découverte de nouvelles molécules nécessaire à la mise au point de futures médicaments (Morice, 1997). Cette matière végétale contient un grand nombre de composés bioactifs qui ont des intérêts multiples, mis à profit dans l'industrie alimentaire, en cosmétologie et en pharmacie. Parmi ces biomolécules on retrouve, les coumarines, les alcaloïdes, les acides phénoliques, les tannins, les terpènes et les flavonoïdes (Bahorun et al., 1996).

Par ailleurs, la maîtrise des infections bactériennes devient complexe, du fait que de nombreuses bactéries ont développées une résistance à la plupart des antibiotiques, ce qui constitue un problème de santé important à l'échelle mondial (Benbrinis, 2012). Face à ce problème de résistance, l'utilisation de la phytothérapie est devenue une nécessité. De ce fait, la recherche et l'identification de nouvelles molécules alternatives et efficaces possédant un pouvoir antibactérien sont depuis quelques années très actives (Atefibeibu, 2002).

En raison des effets négatifs des pesticides (intoxication, pollution de l'environnement, problème de résistance chez les insectes), de nombreuses études sont au cours pour isoler des substances secondaires extraites des plantes qui ont une activité insecticide répulsive vis-à-vis des insectes avec moins de conséquences nocives (Camara, 2009).

## **Introduction**

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à une plante de la famille des *Zingiberaceae*, dont on utilise le rhizome sous divers formes (Claire, 2012), il s'agit principalement du « *Zingiber officinale* » qui est consommée dans le monde entier comme épice et un agent culinaire aromatisant de l'ancien temps (Anne, 2017). Le gingembre fait partie intégrante de la médecine traditionnelle orientale, depuis des siècles sa racine est utilisée pour guérir de nombreux maux et constitue l'un des piliers de la médecine ayurvédique (Anne, 2017).

Ainsi le présent travail est consacré à l'analyse physico chimique, phytochimique de la plante, et l'étude de l'activité antimicrobienne et insecticide de l'huile essentielle et l'extrait de *Zingiber officinale*. Dans ce contexte nous avons divisé notre travail en deux parties :

- ✚ La première partie est consacrée à la synthèse bibliographique.
  
- ✚ La deuxième partie est expérimentale, elle est basée sur :
  - L'étude des caractères physicochimiques
  - Le screening phytochimique et ses principe actifs.
  - L'extraction des composés phénoliques de la plante.
  - Le dosage des polyphénols totaux.
  - L'étude de l'activité antibactérienne, antifongique et insecticide de l'extrait et de l'huile essentielle.
  - La discussion des résultats obtenus.

Enfin ce travail se termine par une conclusion et perspectives.



**CHAPITRE I**  
**GINGEMBRE (*ZINGIBER***  
***OFFICINALE*)**

## I.1.Généralités sur la plante

Le gingembre (Figure 1), racine de la plante *Zingiber officinale* Roscoe qui appartient à la famille des Zingiberaceae, est globalement l'une des épices et agents médicinaux les plus couramment utilisés. La plante est connue sous le nom de Sringavera en sanskrit et on suppose que ce terme a peut-être cédé la place à Zingiberi en grec, puis au terme latin Zingiber (Vasala, 2004).



**Figure 1** : Rhizomes de gingembre (Photo personnelle).

Des preuves historiques indiquent que la plante était à l'origine indigène de l'Asie du Sud-Est, mais qu'elle pousse aujourd'hui également dans d'autres parties du monde. À l'époque médiévale, le gingembre était exporté de l'Inde vers d'autres parties du monde. Aujourd'hui, le gingembre est cultivé dans les autres pays tropicaux comme le Nigeria, la Sierra Leone, l'Indonésie, le Bangladesh, l'Australie, les Fidji, la Jamaïque, le Népal, Haïti, le Mexique et Hawaï et aujourd'hui, l'Inde et la Chine sont les principaux fournisseurs du marché mondial (Govindarajan, 1982a, b ; Warriar, 1989).

Le gingembre est cultivé depuis des millénaires comme épice. C'est une culture commerciale importante en Inde et elle est cultivée principalement dans les États du Kerala, du Karnataka et du nord-est de l'Inde (Figure 2). Parmi les variétés indiennes, les gingembres Cochin et Calicut ont une note de citron et sont populaires. Comparé aux variétés indiennes, le gingembre chinois est peu piquant et est principalement exporté sous forme de conserves dans du sirop de sucre ou de sucre candi (Govindarajan, 1982a, b ; Vasala 2004).

Il existe de nombreuses variétés locales cultivées dans le monde. Plus de 400 accessions de gingembre sont conservées à l'Indian Institute for Spice Research (IISR) à Calicut, Kerala, Inde (Vasala, 2004). En ce qui concerne les variétés africaines, le gingembre jamaïcain est très populaire essentiellement en raison de son arôme délicat et de sa poudre à texture fine, tandis que le gingembre séché du Nigéria et de la Sierra Leone possède une odeur camphrée et plus grossière et est riche en facteurs d'arôme et de piquant (Govindarajan, 1982a, b ; Vasala, 2004).



**Figure 2 :** Culture de gingembre

### **I.2. Description de la plante**

Le *Zingiber officinale* est une plante monocotylédone de la région tropicale humide. C'est une herbe vivace de 2 à 4 pieds de haut avec des feuilles ressemblant à de l'herbe jusqu'à un pied de longueur. Il a un rhizome souterrain qui est utilisé à des fins culinaires et médicinales (Kemper, 1999).

La Plante de gingembre ayant une tige aérienne mince, qui s'élève jusqu'à 1 m de hauteur et est étroitement enveloppée par des bases de feuilles gainantes. Les feuilles vert clair disposées de manière alternée sont oblongues avec une extrémité fortement pointue, mesurant environ 15 cm de long et 2 cm de large avec une nervure médiane prononcée, et ont tendance à être enroulées vers le haut. Normalement, l'inflorescence est sans feuilles mais parfois feuillue qui est une pousse reproductrice d'environ 30 cm de long et apparaît directement à partir des rhizomes. L'émergence de fleurs dans les plantes de gingembre dépend des conditions de croissance de cet endroit.

Dans certaines parties du monde, il produit très rarement des fleurs, tandis que dans d'autres, il fleurit régulièrement. Lors de la floraison, les graines ne sont produites qu'occasionnellement. L'inflorescence connue sous le nom d'épi mesure environ 6 cm de long et porte des fleurs solitaires à l'aisselle des bractées jaune verdâtre. Les fleurs jaune pâle ont un court tube de calice et un tube de corolle plus long (1,5–2,5 cm) qui éclate à la bouche en trois lobes inégaux et pointus, le supérieur s'inclinant comme un capuchon sur l'anthere (Figure 3) (Kumari et *al.*, 2020).



**Figure 3 :** Aspect général de *Zingiber officinale* Roscoe

Les parties souterraines contiennent plusieurs petits rhizomes solides, le plus souvent ramifiés comme un palmier, mais la forme des rhizomes dépend principalement de la texture du sol du site de culture. Les rhizomes sont entourés de petites écailles et portent plusieurs racines fines et fibreuses, qui se ramifient fréquemment dans le sol de surface (Kumari et *al.*, 2020).

### I.3. Nomenclature

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

**I.4. Classification**

La classification botanique du gingembre est citée dans le tableau ci-dessous.

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

<b>Règne</b>	<b>Plantae</b>
<b>Sous-règnes</b>	<b>Trachéobionta</b>
<b>Division</b>	<b>Angiospermes (Magnoliophyta)</b>
<b>Classe</b>	<b>Monocotylédones (Liliopsida)</b>
<b>Sous-classe</b>	<b>Zingiberidae</b>
<b>Ordre</b>	<b>Zingibérales</b>
<b>Famille</b>	<b><i>Zingiberaceae</i></b>
<b>Genre</b>	<b><i>Zingiber</i></b>
<b>Espèce</b>	<b><i>Zingiber officinale Roscoe</i></b>

**I.5. Répartition mondiale de la production du gingembre**

Comme toutes les Zingiberaceae, le gingembre est majoritairement cultivé dans les pays de l'hémisphère sud (Figure 4).



**Figure 4** : Répartition mondiale des plantes de la famille des *Zingiberaceae* (Anonyme1)

Bien qu'implanté sur tous les continents, sa culture s'est intensifiée dans certains pays. La Chine et l'Inde sont les principaux exportateurs de gingembre : environ la moitié de la production mondiale provient de leurs exportations. Les autres pays d'Asie du Sud Est (Japon, Indonésie, Bangladesh, Thaïlande notamment) ont également leur propre production. Le Cameroun, l'Éthiopie et le Nigeria produisent la plupart du gingembre originaire d'Afrique, tandis que la production du continent américain se concentre sur la Jamaïque et la République Dominicaine (Butin, 2017).

## **I. 6. Composition chimique et phytochimique de gingembre**

### **I.6.1. Compositions chimique**

Le gingembre contient environ 50 % de glucides, 9 % de protéines et d'acides aminés libres, 6 à 8 % d'acides gras et de triglycérides, 3 à 6 % de cendres et 3 à 6 % de fibres brutes (sur la base de la matière sèche) selon la variété, la géographie et les conditions climatiques (Leung, 1984 ; Tang, 1992). Certaines variétés de gingembre africaines contiennent 5,98 g/100g(MS) de protéines et 3,72 g/100g(MS) de lipides (Adel, 2010). Des fibres solubles et insolubles se trouvent également dans le gingembre. Le gingembre est une bonne source d'oligoéléments essentiels tels que le potassium, le magnésium, le cuivre, le manganèse et le silicium. Le potassium et le manganèse aident à renforcer la résistance aux maladies et à protéger la muqueuse du cœur, des vaisseaux sanguins et des voies urinaires.

Le silicium favorise la santé de la peau, des cheveux, des dents et des ongles et aide à assimiler le calcium. Une petite quantité de vitamines A, E et quelques quantités de vitamines B et de vitamine C se trouvent également dans le rhizome de gingembre (Tableau II) (Adel et Prakash, 2010).

**Tableau II** : Valeurs nutritionnelles de gingembre pour une portion de 100g (Pinson et Eyrolles, 2012).

<b>Composants</b>		<b>Quantité pour 100g de matières fraiche</b>
Eau		10 g
Glucides	Totaux	70 g
	Amidon	55 g
	Sucres	3,5 g
	Fibres	De 12,5 à 14 g
Protéines		9 g
Lipides		De 4 à 6 g
<b>Vitamines</b>		<b>Quantité pour 100 g de matières fraiche</b>
Provitamine A : Béta carotène		18 µg
Vitamine A		3 µg
Vitamine B1		0,046 mg
Vitamine B2		0,17 mg
Vitamine B3		9,62 mg
Vitamine B5		0,477 mg
Vitamine B6		0,626 mg
Vitamine B9		34 µg
Vitamine C		0,7 mg
<b>Minéraux et oligo-éléments</b>		<b>Quantité pour 100 g matières fraiche</b>
Calcium		114 mg
Cuivre		0,48 mg
Fer		19,8 mg
Magnésium		214 mg
Manganèse		33,3 mg
Phosphore		168 mg
Potassium		1320 mg
Sodium		27 mg
Zinc		4 mg

I.6.2. Composition phytochimique

Le gingembre est une substance complexe composée de plus de 60 composés (Srivastava *et al.*, 2000). Le rhizome de gingembre contient une huile essentielle et une résine connues collectivement sous le nom d'oléorésine. La composition de l'huile essentielle varie selon l'origine géographique, mais les principaux constituants sont les hydrocarbures sesquiterpéniques, responsables de l'arôme caractéristique. Le gingerols est le principal composé phénolique et une fois dégradé donne des shogaols, de la zingerone et du paradol

De plus petites quantités d'autres sesquiterpénoïdes bisabolène, acétate de géranyle, terpèneol, terpanes, géraniol, alpha pinène, limonène, zigerbène, batabeasabolène, alpha paradol, farnésène et fraction monoterpénoïde ( $\beta$ -phelladrène, cinéol et citral) ont également été identifiées. Le gingembre contient un groupe spécial de composés appelés diasyleheptanoïdes, qui comprend la gingembrenone. Une très petite quantité de curcumine se trouve également dans le gingembre. En plus de cela, il contient également de petites quantités d'alcaloïdes, de tanins, de caroténoïdes, de saponines, de flavonoïdes, de stéroïdes et de cardinolides (Figure 5) (Adel, 2010).

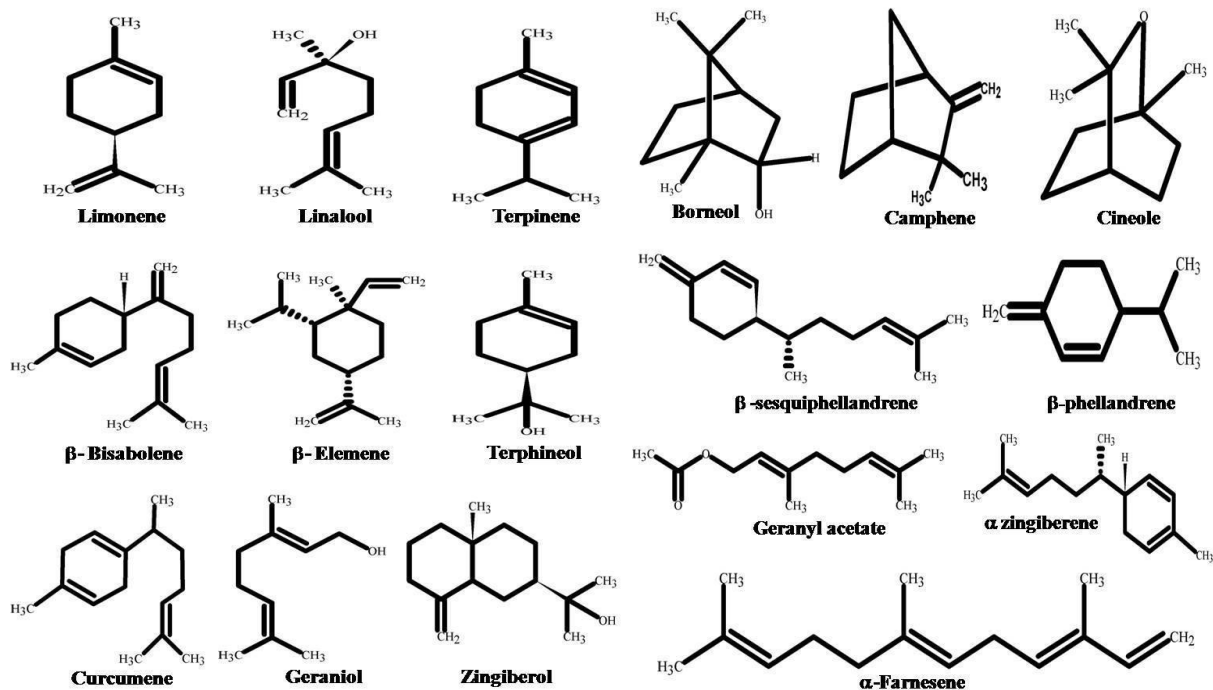


Figure 5 : Composés phytochimiques importants présents dans l'huile de gingembre (Ramakrishna, 2016)

La composition de l'huile de gingembre frais contient plus de composés oxygénés que l'huile de gingembre sèche, ce qui la rend plus puissante que l'huile de gingembre sèche. Il y a plus de composés d'hydrocarbures dans l'huile de gingembre sèche que dans l'huile de gingembre fraîche. Les composés monoterpéniques sont plus actifs que les composés sesquiterpéniques. L'huile de gingembre séché a également une teneur plus élevée en hydrocarbures sesquiterpéniques (Srivastava et *al.*, 2000 ; Sinha et *al.*, 1990 ; Sasidharan et Menon, 2010) ; y compris le  $\beta$ -sesquiphellandrène (27,16%), le caryophyllène (15,29%), le zingiberène (13,97%), l' $\alpha$ -farnésène (10,52%) et l'ar-curcumine (6,62%) (ElBaroty et *al.*, 2010).

### **I.7. Utilisation de gingembre**

Le gingembre est utilisé en toute sécurité dans les industries médicales, pharmaceutiques et alimentaires. La tige souterraine (rhizome) est le produit commercial le plus demandé.

#### **✓ Utilisation culinaire**

L'arôme stimulant et le goût piquant sont les caractéristiques clés du gingembre pour en faire un ingrédient essentiel de la plupart des cuisines du monde et de l'industrie agroalimentaire. Dans les pays occidentaux, le gingembre est utilisé dans le pain d'épice, les biscuits, les gâteaux, les puddings, les soupes, les cornichons, la bière et le vin. La propriété gustative unique du gingembre est essentiellement la combinaison du piquant et de l'huile essentielle aromatique (FT.PRD.09. A).

#### **✓ En cosmétique**

Il est utilisé dans la formulation de produits cosmétiques comme les poudres de massage, etc.

Le gingembre est très intéressant sur le plan cosmétique vu qu'il contient plusieurs dizaines de composés antioxydants réputés pour protéger les cellules des dommages causés par les radicaux libres, un des responsables du vieillissement cutané. Il contient également du cuivre, nécessaire à la formation du collagène (protéine servant à la structure et la réparation des tissus cutanés). Des études ont montré son effet sur les rides et l'élasticité de la peau (FT.PRD.09. A).

## ✓ Utilisation médicinale

Depuis des siècles, le gingembre est utilisé dans la médecine traditionnelle pour traiter divers troubles et améliorer le bien-être générale.

Le gingembre renferme une variété de composés bioactifs tels que les gingerols, les chogaols et les zingebrenes, qui les confèrent ses propriétés thérapeutiques. Ces composés ont été étudiés pour leurs effets sur le corps humain et ont révélé une gamme d'activités biologiques prometteuses.

Parmi les activités biologiques du gingembre, on retrouve :

### - Effet Antiviral

Il a été prouvé que le rhizome frais de *Z. officinale* a un effet antiviral contre l'infection par le virus respiratoire syncytial humain (HRSV) en diminuant la formation de plaque induite par le HRSV dans les lignées cellulaires de la muqueuse respiratoire. Par conséquent, une concentration élevée de *Z. officinale* pourrait stimuler les cellules muqueuses à sécréter l'IFN- $\beta$ , responsable de la lutte contre les infections virales en réduisant l'attachement et l'internalisation virales (Chang et al., 2013) Est aussi très bénéfique dans la gestion du rhume (pratishya) et de la fièvre associée aux sécrétions muqueuses et la gestion des complications dues à la toux et aux états asthmatiques.

L'extrait de *Z. officinale* est efficace contre l'infection virale de l'hépatite C (El Wahab et al., 2009), le calcivirus félin (Aboubakar et al., 2016), la grippe A (H1N1) (Sahoo et al., 2016).

### - Effet radioprotecteur

L'administration orale d'extrait hydroalcoolique de rhizome de *Z. officinale* chez la souris protège efficacement contre les maladies et la mortalité induites par les rayonnements gamma dues à des actions phytochimiques telles que la déshydrogingérone et la zingérone. De plus, la zingerone protège sélectivement les tissus normaux contre les effets tumoricides des radiations chez les souris porteuses de tumeurs (Baliga et al., 2012). L'extrait hydro-alcoolique de rhizome de *Z. officinale* représente une action gastro-protectrice contre l'aversion gustative conditionnée induite par les radiations chez le rat. Ses propriétés antioxydantes modulent l'aversion gustative induite par les rayonnements avec des propriétés radioprotectrices dues à la peroxydation des lipides et à la capacité de piégeage des anions superoxydes (Sharma et al., 2006).

**- Effet anti-inflammatoire**

*Z. officinale* est fortement efficace dans les maladies inflammatoires de l'intestin et les inflammations associées au tube digestif telles que la colite (Terry et *al.*, 2011). Le Gingerole de cette plante contient des effets anti-prostaglandines qui sont bénéfiques dans les douleurs menstruelles en cas de dysménorrhée (Jung et *al.*, 2009).

**- Effet anticancéreux**

*Z. officinale* présente des effets anti-inflammatoires et anti-tumorigènes en raison de ses molécules bioactives telles que le 6-gingerole, le 6-shogaol, le 6-paradol et le zerumbone, par conséquent la prévention ou le contrôle des infections colorectales, gastriques ovariennes, hépatiques, mammaires et cancers de la prostate est possible (Hung et *al.*, 2009).

*Z. officinale* active des enzymes telles que la glutathion peroxydase, la glutathion transférase et la glutathion réductase et supprime la carcinogenèse du côlon (Manju et Nalini, 2005). L'administration orale de Zerumbone a pour effet d'inhiber la multiplicité des adénocarcinomes du côlon en supprimant son inflammation (Brown et *al.*, 2009).

**- Activité antioxydant**

*Z. officinale* est efficace dans la maladie de Parkinson car la zingérone, un ingrédient actif du gingembre, élimine le peroxyde et les ions hydroxyle et supprime la peroxydation des lipides (Kabuto et *al.*, 2005). Le gingembre a aussi un effet rénoprotecteur dans les insuffisances rénales en raison de ses propriétés anti-inflammatoires (Mahmoud et *al.*, 2012) Grâce à une digestion et des absorptions appropriées, ainsi qu'au maintien d'une bonne circulation, le gingembre favorise l'élévation des productions de déchets tout en fonctionnant physiologiquement. Par conséquent, l'accumulation d'excrétions physiques s'évacue du corps et un renforcement immunitaire se produit.

### - **Activité antimicrobienne**

L'utilisation de composés et de substances d'origine naturelle contre l'activité microbienne par l'homme est une pratique séculaire. Actuellement, une attention accrue est accordée à l'utilisation et au développement de produits naturels à potentiel antimicrobien en raison de l'augmentation des cas de résistance microbienne et du coût des médicaments allopathiques (Emad, 2011).

L'extrait de gingembre et plusieurs de ses constituants présentent une activité antimicrobienne in vitro et in vivo et une activité antischistosomique (Akoachere et *al.*, 2002). Certains des principaux composants présents dans les huiles de gingembre peuvent pénétrer la membrane des micro-organismes et réagir avec les enzymes et les protéines membranaires ainsi que la bicouche phospholipidique, ce qui provoque une altération du système enzymatique microbien et/ou une perturbation de la fonctionnalité du matériel génétique (Farag et *al.*, 1989 ; Abd El-Baky et El-Baroty, 2008 ; Conner, 1993). Les travaux de Sasidharan et Menon (2010), ont démontré que l'huile de gingembre frais a une forte inhibition contre *Aspergillus niger* et *Candida*, tandis que l'huile de gingembre séché est plus active contre *Candida*, mais a une faible activité inhibitrice contre *Aspergillus niger*, *Pencillium* spp. et *Saccharomyces cereviseae*.

Le gingembre présente une propriété antibactérienne contre plusieurs espèces de bactéries Gram-positives et Gram-négatives ; à savoir, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *St. epidermidis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterococcus faecalis*, *Salmonella typhi*, *Sl. Typhimurium*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus* sp., *Bacillus cereus*, *Bc. subtilis*, *Bc. megaterium* et *Streptococcus faecalis* (Abdalla et Abdallah,2018).

A decorative red border with rounded corners and scroll-like ends on the left and right sides, framing the text.

# CHAPITRE II

## MÉTABOLITES SECONDAIRES

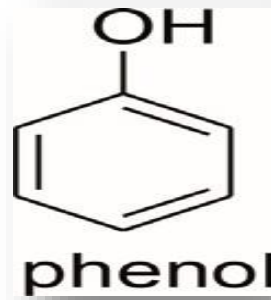
Les plantes possèdent la capacité de synthétiser différentes molécules organiques appelées métabolites secondaires. Les structures uniques du squelette carboné sont des propriétés de base des métabolites secondaires des plantes. Les métabolites secondaires ne sont pas nécessaires à la vie d'un organisme, mais jouent un rôle dans l'interaction de l'organisme avec son environnement, assurant l'existence continue de l'organisme dans ses écosystèmes. La formation de métabolites secondaires est généralement spécifique d'un organe, d'un tissu et d'une cellule et ce sont des composés de faible poids moléculaire. Ces composés diffèrent souvent entre les individus d'une même population de plantes en ce qui concerne leur quantité et leurs types. Ils protègent les plantes contre le stress biotique (bactéries, champignons, nématodes, insectes ou broutage par les animaux) et le stress abiotique (température et humidité plus élevées, ombrage, blessure ou présence de métaux lourds). Les métabolites secondaires sont utilisés comme produits chimiques tels que les médicaments, les arômes, les parfums, les insecticides et les colorants par l'homme en raison d'une grande valeur économique (Saurabh et *al.*, 2015).

### **II.1. Classification des métabolites secondaires**

La classification des métabolites secondaires comprend les terpénoïdes, les alcaloïdes et les composés phénoliques (Verpoorte, 1998). Les Glycosides, les saponines en font partie selon leur structure spécifique (Justin, 2014).

#### **II.1.1. Les composés phénoliques**

La structure de base d'un composé phénolique comprend un cycle aromatique avec un ou plusieurs groupes –OH (Figure 6). Cependant, les composés phénoliques trouvés dans la nature sont structurellement divers, des simples molécules phénoliques aux composés polymérisés complexes (Balasundram et *al.*, 2006). Les composés phénoliques couramment présents dans les plantes peuvent être classés en plusieurs groupes en fonction du nombre de carbones (Harborne, 1989 ; Baxter et *al.*, 1998 ; Robards et *al.*, 1999 ; Balasundram et *al.*, 2006)

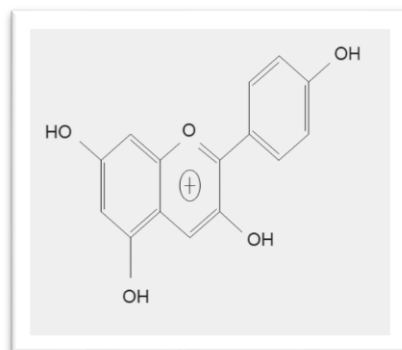


**Figure 6** : Structure de phenol (Hamad, 2021).

Les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tanins sont considérés comme les principaux composés phénoliques alimentaires (King et Young, 1999 ; Balasundram et *al.*, 2006).

#### **II.1.1.1. Flavonoïdes**

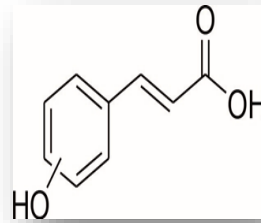
Constituent le plus grand groupe de composés phénoliques végétaux de faible poids moléculaire et ont été étudiés de manière plus approfondie (King et Young, 1999). Ce sont aussi les pigments végétaux les plus importants. Plus de 4 000 types différents de flavonoïdes se trouvent dans la nature (Harborne, 1989 ; Craig, 1999). Les flavonoïdes sont généralement liés aux molécules de sucre et consistent principalement en catéchines, proanthocyanines, anthocyanidines, flavons et flavonols et leurs glycosides (Ho, 1992 ; King et Young, 1999). Selon le degré d'hydroxylation et la présence d'une double liaison C2-C3 dans le cycle pyrone hétérocyclique, les flavonoïdes peuvent être divisés en 13 classes (González, 2002) et les plus importantes sont les flavonols, les flavones, les isoflavones, les anthocyanidines ou anthocyanes (Figure 7) et flavanones (Scalbert et Williamson, 2000).



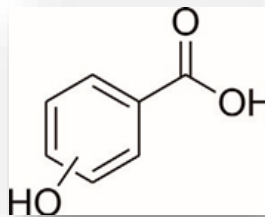
**Figure 7** : anthocyanes (Vincenzo, 2013)

### II.1.1.2. Acides phénoliques

Sont divisés en deux sous-groupes : les acides hydroxycinnamique (Figure 8) et hydroxybenzoïque (Figure 9) (Balasundram et *al.*, 2006). Les acides phénoliques sont des composants importants des fruits et légumes. Ces composés jouent un rôle important dans la stabilité de la couleur, le profil aromatique et l'activité antioxydante. Ils agissent comme des acides en raison de leur groupement carboxylique (Fleuriet et Macheix, 2003).



**Figure 8** : Structure générale des acides cinnamiques à substitution hydroxyle (Hamad, 2021).



**Figure 9** : Structure générale des acides benzoïques à substitution Hydroxyle (Hamad, 2021).

### II.1.1.3. Tanins

Sont le troisième groupe important de polyphénols qui peuvent être divisés en deux sous-catégories : les tanins condensés et hydrolysables (Figure 11) (Porter, 1989). Ce sont des polymères de haut poids moléculaire :

- Les tanins condensés qui sont principalement des polymères de catéchines ou d'épicatéchine, se trouvent dans les fruits, les céréales et les légumineuses. Les tanins condensés sont également connus sous le nom de proanthocyanidines et de polyflavonoïdes, constitués de chaînes d'unités flavan-3-ol. Ils s'accumulent généralement dans les couches externes des plantes (Ho, 1992 ; King et Young, 1999).
- Les tanins hydrolysables sont des polymères d'acide gallique ou ellagique et se trouvent dans les baies et les noix (King et Young, 1999).

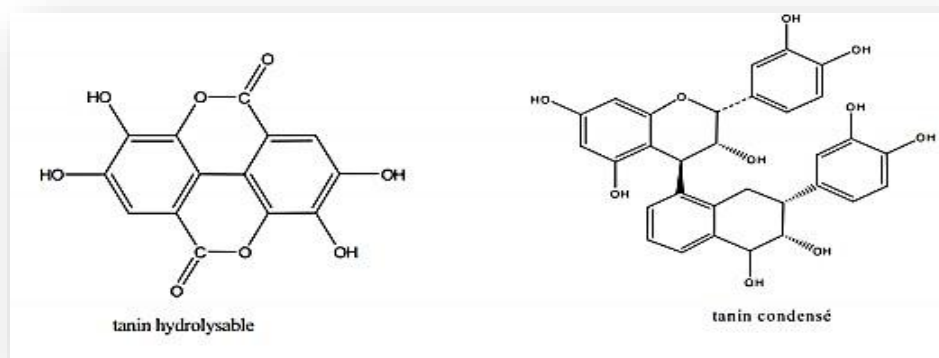


Figure 10 : Structures des tannins (Bahaz et Rachdi, 2010).

### II.1.1.4. Rôle et intérêt des composés phénoliques

#### ➤ Chez les végétaux

Les composés phénoliques peuvent jouer un rôle dans divers aspects de la physiologie des plantes, tels que la lignification, la régulation de la croissance et les interactions avec des microorganismes symbiotiques ou parasites. Ils sont également impliqués dans les interactions des plantes avec leur environnement biologique et physique, y compris les relations avec les bactéries, les champignons, les insectes et la résistance aux rayons UV. Ces composés peuvent agir directement dans la nature ou être présents lors de la conservation après la récolte de certains végétaux. De plus, ils influencent les critères de qualité, tels que la couleur, l'astringence, l'amertume et les qualités nutritionnelles, ce qui guide les choix de consommation des fruits, légumes, tubercules et produits dérivés. En outre, les traitements technologiques, tels que la préparation de jus de fruits et de boissons fermentées, peuvent provoquer des brunissements enzymatiques qui altèrent la qualité du produit final, ce qui peut également être lié aux composés phénoliques (Fleuriet et *al.*, 2005).

**➤ Chez les humains**

Les composés phénoliques jouent un rôle important dans la protection contre diverses maladies en raison de leur capacité à interagir avec de nombreuses enzymes et de leurs propriétés antioxydantes (Fleuriet *et al.*, 2005). Les flavonoïdes, en particulier, présentent une gamme variée de propriétés bénéfiques, telles que des effets veinotoniques, antitumoraux, antiradicalaires, anti-inflammatoires, analgésiques, antiallergiques, antispasmodiques, antibactériens, hépatoprotecteurs, estrogéniques et/ou anti-estrogéniques. De plus, ils sont connus pour moduler l'activité de différentes enzymes et récepteurs cellulaires. Les flavonoïdes favorisent la relaxation des vaisseaux sanguins et préviennent l'agrégation des plaquettes, ce qui réduit la coagulation sanguine et le rend plus fluide. Ils limitent également l'oxydation des lipides sanguins et contribuent ainsi à la lutte contre la formation de plaques d'athérome. En outre, ils ont des effets anxiolytiques et protègent nos artères contre l'athérosclérose, réduisant ainsi le risque de thrombose (formation de caillots dans les artères) (Tableau III).

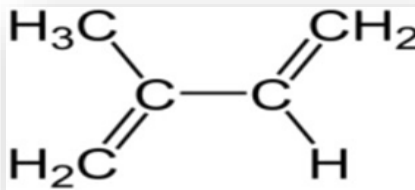
**Tableau III** : Propriétés biologiques des quelques poly phénols dans l'organisme

<b>Polyphénols</b>	<b>Activités biologiques</b>
<b>Acides phénols (cinnamiques et benzoïques)</b>	Antibactériennes, anti-ulcéreuses, antiparasitaires, antifongiques, antioxydantes. (Sannomiya <i>et al.</i> , 2005 ; Gurbuz <i>et al.</i> , 2009)
<b>Flavonoïdes</b>	Antitumorales, antiparasitaires, vaso, dilatoires, antibactériennes, anti carcinogènes, anti-inflammatoires, analgésiques, hypotenseurs, antivirales, diurétiques, ostéogène, antioxydantes, anti-atherogéniques, antithrombotique, anti-allergique (Wollgast et Anklam, 2000 ; Hitara <i>et al.</i> , 2009 ; Tripoli <i>et al.</i> , 2007 ; Shon <i>et al.</i> , 2004).
<b>Anthocyanes</b>	Protectrices capillaro-veineux, anti oxydant (Bruneton, 1993)
<b>Tannins galliques</b>	Antifongiques et anti-inflamatoires, antyoxydantes (Okamura <i>et al.</i> , 1993 ; Kubata <i>et al.</i> , 2005)
<b>Coumarines</b>	Protectrices vasculaires, anti- inflammatoires, anti parasitaires analgésiques et anti œdémateuses (Ito <i>et al.</i> , 2005 ; Smyth <i>et al.</i> , 2009)

**II.1.2. Terpénoïdes**

Les terpénoïdes constituent une grande famille de phytoconstituants de peu de points communs fonctionnels et structuraux. Les stéroïdes, les caroténoïdes et l'acide gibberellic ne sont que quelques-uns de ses membres. Ils sont composés du groupe le plus important de composés actifs dans les plantes avec plus de 23 000 structures connues. Ce sont des dérivés polymères d'isoprène (Figure 12) et synthétisés à partir d'acétate via la voie de l'acide mévalonique. Le nombre d'unités incorporées dans un terpène particulier sert de base à leur classification. Beaucoup d'entre eux ont une activité pharmacologique et sont utilisés pour le traitement de maladies tant chez l'homme que chez l'animal. Les diterpènes ont tendance à être les plus abondants dans la famille des Lamiacées et ont des propriétés antimicrobiennes et antivirales (Beaulieu et Baldwin, 2002).

Certains composés intéressants sont largement utilisés dans le secteur industriel comme arômes, parfums et épices (Styger *et al.*, 2011 ; Gershenzon et Dudareva, 2007).



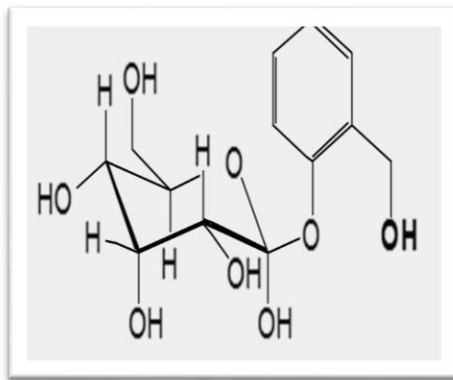
**Figure 11** : Structure de l'unité isoprénique (Side Larbi, 2016)

**II.1.3. Alcaloïdes**

Les alcaloïdes présentent le groupe des métabolites secondaires qui contiennent des atomes d'azote basiques. Certains composés apparentés aux propriétés neutres et faiblement acides sont également inclus dans les alcaloïdes. En plus du carbone, de l'hydrogène et de l'azote, ce groupe peut également contenir de l'oxygène, du soufre et rarement d'autres éléments tels que le chlore, le brome et le phosphore (Nicolaou, 2011). Les alcaloïdes sont produits par une grande variété d'organismes, tels que les bactéries, les champignons, les animaux, mais principalement par les plantes en tant que métabolites secondaires. Ils ont divers effets pharmacologiques (Aniszewski, 2007) et ont une longue histoire dans la médication (Giweli *et al.*, 2013).

### II.1.4. Glucosides

Les glycosides peuvent être des phénols, des alcools ou des composés soufrés. Ils sont caractérisés par une partie ou un fragment de sucre attaché par une liaison spéciale à une ou des parties non sucrées. De nombreuses plantes stockent des produits chimiques sous forme de glycosides inactifs, qui peuvent être activés par hydrolyse enzymatique (Polt, 1995). Pour cette raison, la plupart des glycosides peuvent être classés comme promédicaments puisqu'ils restent inactifs jusqu'à ce qu'ils soient hydrolysés dans le gros intestin conduisant à la libération de l'aglycone, le bon constituant ACTIF (Figure 12) (Justin, 2014).



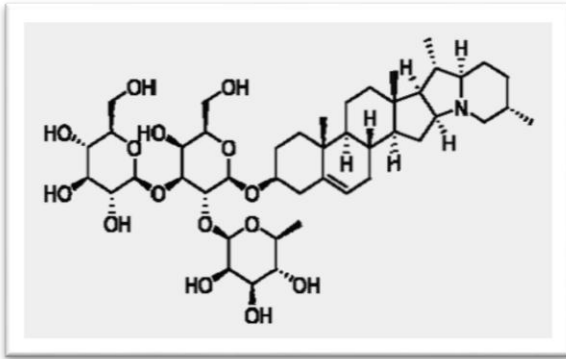
**Figure 12** : la salicine, un type de glucosides apparente à l'aspirine (Justin, 2014)

### II.1.5. Saponines

Les saponines sont des composés dont les parties actives forment des solutions colloïdales dans l'eau, qui produisent de la mousse lors de l'agitation et précipitent le cholestérol. Ils se présentent sous forme de glycosides dont l'aglycone est une structure tripénoïde ou stéroïdienne. La combinaison de sucres lipophiles à la fin leur donne la capacité d'abaisser la tension superficielle, produisant la caractéristique détergente ou l'effet savonneux sur les membranes et la peau (Güçlü-Üstündağ et Mazza, 2007)

Ils sont largement distribués dans le règne végétal, qui possède de nombreuses propriétés physicochimiques (moussage, émulsification, solubilisation, douceur et amertume) et biologiques (hémolytiques, antimicrobiennes, antioxydantes, moluscacides, insecticides et ichtyocides), exploitées dans de nombreuses applications alimentaires, cosmétiques, pharmaceutiques, industries et bioremédiation des sols.

Parmi les propriétés des saponines, la CMC (Critical Micell Concentration), la densité surfacique maximale et le nombre d'agrégation (nombre de monomères dans une micelle) sont d'une grande importance pour une application en tant que tensioactifs et agents moussants. Ceux-ci sont influencés par des variables telles que la température, la concentration en sel, le pH de la phase aqueuse, la concentration et le type de solvant, comme l'éthanol ou le méthanol (Justin, 2014).



**Figure 13 :** Types de saponines (Justin, 2014).



**CHAPITRE III**  
**HUILES ESSENTIELLES**

L'aromathérapie fait partie de la phytothérapie et vise à prévenir, soulager et traiter certains maux courants ou maladies en utilisant des huiles essentielles présentes dans certaines plantes médicinales. L'utilisation des plantes à des fins médicales remonte à l'Antiquité, tandis que les huiles essentielles sont utilisées depuis des millénaires à la fois à des fins thérapeutiques et dans des domaines tels que la parfumerie, la cosmétique et l'embaumement.

Les plantes ont toujours suscité l'intérêt de l'homme pour résoudre les problèmes de santé, et elles sont la base de la médecine traditionnelle en raison de leur richesse en métabolites secondaires, qui sont des composés actifs. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, environ 80 % de la population dépend de la médecine traditionnelle pour les soins de santé primaires (Ladoh et *al.*, 2014 ; Ventrella et Marinho, 2008).

Les huiles essentielles, également appelées huiles volatiles, huiles aromatiques, huiles éthériques, huiles essentielles ou alcools, sont des composants importants des produits chimiques végétaux. Ces huiles issues de plantes aromatiques peuvent être trouvées dans tous les organes végétaux (feuilles, fruits, écorces ou tige) (Bakkali et *al.*, 2008). Elles se présentent sous forme de liquides très odorants, plus ou moins visqueux ou épais, et leur couleur varie selon l'espèce de plante (Festy, 2008 ; Roux, 2008).

Les huiles essentielles des plantes aromatiques sont actuellement très appréciées en raison de la découverte progressive de leurs propriétés médicinales, telles que leurs effets antibactériens, anti-inflammatoires, antiseptiques, antiviraux, antifongiques, antioxydants, anti-tumoraux, insecticides et insectifuges. Elles sont également utilisées dans d'autres domaines économiques tels que la cosmétique, la parfumerie, l'aromathérapie et l'agroalimentaire (Chao et *al.*, 2000 ; Zenasni, 2014).

Les bienfaits des huiles essentielles sont indéniables de nos jours. Chaque huile essentielle est unique et possède des propriétés remarquables. Elles sont utilisées pour améliorer l'état de santé, soulager voire guérir certains petits maux du quotidien tels que le mal de gorge, la migraine, l'acné et les douleurs abdominales.

Différentes méthodes d'extraction sont utilisées pour obtenir les huiles essentielles, et le choix de la technique dépend de la partie de la plante sélectionnée, du rendement souhaité, de la durée d'extraction et du coût (Kaloustian et Hadji-Minaglou, 2012 ; Worwood, 2002).

La distillation à la vapeur d'eau et l'expression mécanique sont les deux principales méthodes d'extraction utilisées pour obtenir des huiles essentielles à usage thérapeutique. Ces deux techniques sont reconnues dans la Pharmacopée. L'extraction par solvant est une autre méthode, mais elle n'est pas utilisée pour les huiles essentielles à usage thérapeutique. Les huiles essentielles obtenues par enfleurage sont destinées à la parfumerie et à la cosmétologie (Grosjean, 1993).

De nouvelles techniques ont été développées pour augmenter le rendement de production des huiles essentielles, telles que l'extraction au moyen de dioxyde de carbone liquide à basse température et sous haute pression (Santoyo et *al.*, 2005), ainsi que l'extraction assistée par ultrasons ou micro-ondes (Kimbaris et *al.*, 2006).

### **III.1. Historique**

Depuis longtemps, les hommes avaient cherché le moyen de séparer les éléments huileux des produits aromatiques. Ils réussirent en soumettant la matière à l'action de la chaleur. Les substances aromatiques étaient transformées en vapeur ; il suffisait de les recueillir et de les refroidir pour les obtenir sous forme liquide. Ce procédé qui se faisait à feu nu, prit le nom de distillation. Il était certainement connu des Chinois et des Indiens depuis 20 siècles avant J.C. Les Egyptiens et les Arabes ont prévalu des caractéristiques médicinales et aromatiques des plantes : la conservation des momies, l'aromatisation des bains, la désinfection des plaies avec les onguents, les parfums et la fabrication des boissons aromatiques (Möller, 2008).

### **III.2. Techniques conventionnelles d'extraction**

Plusieurs méthodes sont utilisées pour l'extraction des huiles essentielles. D'après Guenther (1949), elles sont obtenues le plus souvent par distillation.

#### **✓ Distillation – Evaporation**

La différence entre distillation et évaporation, est l'intérêt porté aux produits séparés. Dans la distillation, c'est la phase vapeur qui a de la valeur car elle contient le ou les constituants à séparer, alors que dans l'évaporation, c'est le résidu solide ou liquide obtenu par vaporisation du solvant, qui est le produit intéressant (Peyron, 1992).

### ✓ **Extraction au moyen de solvants**

Utilisé pour certains organes de végétaux, en particulier les fleurs, trop fragiles et ne supportent pas les traitements par entraînement à la vapeur d'eau ou l'hydrodistillation (Garnero, 1996). L'extraction liquide/liquide, c'est-à-dire l'opération de transfert ou d'échange de matière entre deux phases liquides, la solution et le solvant. Il s'agit d'une extraction systématique en continu, utilisée pour extraire un constituant particulier ou pour en éliminer d'autres, en utilisant deux solvants non miscibles à pouvoir dissolvant plus spécifique de chaque groupe (Moulin *et al.*, 2002). Ce procédé permet d'obtenir des HEs utilisées en parfumerie et en cosmétologie (Bousbia, 2011).

### ✓ **Méthodes d'extraction à froid (Expression mécanique)**

Encore appelée « expression à froid », cette méthode s'applique particulièrement pour une variété de plantes : les agrumes. En effet, l'HE d'un agrume s'accumule dans des petites poches (nommées sacs oléifères) présentes dans l'écorce du fruit. L'expression mécanique consiste donc à exercer une forte pression sur la partie de la plante concernée à l'aide d'une presse hydraulique (De Bonneval et Dubus, 2014 ; Festy, 2008 ; Worwood, 2002). Ce processus ne nécessite pas de chauffage et peut s'effectuer, selon les cas, à partir du fruit entier ou seulement à partir de l'écorce (Franchomme et Péroël, 2001 ; Hoare, 2012).

De nos jours, l'expression mécanique reste le procédé le plus simple et le seul ne modifiant pas le produit obtenu.

### ✓ **Méthode d'hydrodiffusion**

L'hydrodiffusion, est une co-distillation descendante. Dans ce procédé, le végétal est disposé dans un parallélépipède métallique grillagé. On soumet donc le végétal à une pulsion de vapeur d'eau, saturée et humide, mais jamais surchauffée de haut en bas. La forme de l'appareillage permet une meilleure répartition des charges. La vapeur d'eau emporte avec elle toutes les substances volatiles. L'huile essentielle est recueillie grâce à un collecteur qui permet un équilibre avec la pression atmosphérique. On peut aussi préciser qu'il y a un procédé de cohobation qui renvoie dans la chaudière toutes les eaux qui sont séparées des huiles (Wijesekara *et al.*, 1997).

Il existe aussi d'autres méthodes d'extraction par des techniques innovantes, tel que l'extraction par des solvants supercritiques ; Détente Instantanée Contrôlée ; Extraction par ultrasons ; Extraction assistée par Micro-ondes ; Hydrodistillation assistée par micro-ondes.

**III.3. Utilisation des huiles essentielles**

Les huiles essentielles sont utilisées dans de nombreux domaines en raison de leurs propriétés bénéfiques pour la santé, la beauté et le bien-être. Voici quelques-uns des principaux domaines d'utilisation des huiles essentielles :

➤ **En Pharmacie**

L'industrie pharmaceutique adopte de plus en plus les huiles essentielles sous diverses formes (vaporisateurs complexes, pastilles, gélules, dentifrices, etc.) en se conformant aux réglementations des médicaments à base de plantes.

Dans certains médicaments, les huiles essentielles peuvent être utilisées comme excipients simples, servant par exemple d'arôme pour masquer le goût du principe actif (Kaloustian et Hadji-Minaglou, 2012). Elles peuvent également être employées comme agents de pénétration percutanée (Karande et Mitragotri, 2009) ou comme source de précurseurs pour des hémisynthèses, comme c'est le cas des citrals qui contribuent à la production de la vitamine A (Franchomme et Pénoël, 2001).

Parallèlement, la médecine vétérinaire s'intéresse de près aux huiles essentielles. Notamment depuis la limitation de l'utilisation des antibiotiques dans les élevages à l'Union Européenne en 2006, les propriétés antifongiques et antibactériennes des huiles essentielles sont exploitées. Elles sont désormais utilisées comme répulsifs ou insecticides, conservateurs dans l'alimentation animale, ou simplement pour soigner diverses affections chez les animaux (Burt, 2004 ; Baser et Buchbauer, 2009).

➤ **En agriculture**

L'utilisation des huiles essentielles dans le domaine de l'agriculture est encore débutante mais est appelée à se développer. En effet, le contexte réglementaire actuel incite fortement à développer des produits phytosanitaires d'origine naturelle comme alternative aux moyens de lutte chimique. Les huiles essentielles sont actuellement testées sur différentes cibles : les insectes, les champignons, les bactéries, les adventices et également pour la conservation des semences. Des produits à base d'huiles essentielles sont déjà commercialisés dans certains pays d'Europe. De nouveaux produits à base d'huiles essentielles tardent à arriver sur le marché en raison d'une réglementation complexe (Furet et Bellenot, 2013 ; Chavassieux, 2014).

### ➤ **En agroalimentaires**

L'utilisation d'huiles essentielles comme additifs antimicrobiens dans les aliments a été classée comme GRAS (Généralement Reconnu Comme Sûr) par la Food and Drug Administration des États-Unis et sont de riches sources de composés biologiquement actifs, avec des propriétés antimicrobiennes et antioxydantes connues, qui suscitent l'intérêt en tant qu'additifs dans l'industrie alimentaire (Llana-Ruiz-Cabello et *al.*, 2015 ; Atarés et Chiralt, 2016). Cependant, leur application en tant qu'additif alimentaire fait l'objet d'un intérêt croissant récent compte tenu de leurs fortes propriétés antimicrobiennes et antioxydantes (Juliany et *al.*, 2015). L'approche de base pour assurer la sécurité alimentaire est de minimiser la charge microbiologique initiale et/ou d'inhiber la croissance des micro-organismes restants pendant les applications post-processus, comme la production et le stockage, par l'utilisation d'un emballage actif (Selçuk, 2018).

Des études ont montré que les huiles essentielles présentent une forte activité antimicrobienne vis-à-vis des pathogènes d'origine alimentaire, qui peut être exploitée par l'industrie alimentaire pour l'utiliser comme conservateur ou pour l'incorporer dans l'emballage alimentaire comme agent antimicrobien (Simionato et *al.*, 2019 ; Maryam et *al.*, 2019).

### ➤ **En cosmétologie et parfumerie**

Les huiles essentielles sont largement utilisées dans le domaine de la cosmétologie et de la parfumerie, présentent l'avantage d'être à la fois des produits actifs, odorants et naturels (Fernandez et Chemat, 2012).

Les huiles essentielles sont utilisées en formulation cosmétique comme principes actifs pour leurs propriétés antioxydantes, antibactériennes et antifongiques, mais aussi comme excipients dans l'optique de remplacer les produits chimiques, notamment les conservateurs et pour masquer les odeurs (souvent peu agréables) des produits purs, tel que les dentifrices, les champoings, les crèmes solaires et les savons (Robine 2017).



**CHAPITRE IV**  
**PRESENTATION DE**  
**L'INSECTE**



**Figure 14 :** *Tribolium castaneum* sous la loupe binoculaire

### **1. Caractères généraux des Tenebrionidae**

La famille des Tenebrionidae compte 20000 espèces dans le monde, l'origine de ce nom vient que la plupart ont des élytres de couleur sombre cependant il existe des espèces de couleur claire et variée (Lerant,2015).

Selon (Haines 1991), le terme Tenebrionidae signifie ceux qui sont Tenebrio, un mot qui désigne plus tard littéralement les chercheurs d'endroits sombres.

C'est la famille la plus évoluée des coléoptères (Dajoz,2010).

Leur répartition est mondiale, mais c'est sans doute dans les régions désertiques et subdésertiques qu'ils atteignent leur plus grande diversité (Delobel et Trans,1993).

### **2. Caractères généraux du genre Tribolium**

Le genre Tribolium comporte 36 espèces dont quatre sont cosmopolites (Angelini et al,2008).

Pour l'identification du genre Tribolium, Ferrer (1995), deux caractères sont essentiels :

- L'existence d'une suture carénée
- La méso tibia et méta tibia sont simples.

Les Tribolium sont des Coléoptères Tenebrionidae qui sont très souvent associés aux denrées alimentaires.

Dans ce genre on trouve :

T.confusum, T.castaneum, T.destructoret, T.madens (Calmont et Soldati,2008).

### **3. Classification taxonomique**

D'après (Haine, 1991 ; Bolev, 2014 ; Myers et al. 2016) la classification systématique de *Tribolium castaneum* est comme suit :

- **Règne** : Animalia
- **Embranchement** : Arthropoda
- **Sous-embranchement** : Hexapoda
- **Classe** : Insecta
- **Sous-classe** : Pterygota
- **Ordre** : Coleoptera
- **Famille** : Tenebrionidae
- **Sous-famille** : Tenebrioninae
- **Genre** : *Tribolium*
- **Espèce** : *Tribolium castaneum*

### **4. Description morphologique du *Tribolium castaneum***

Le nom de l'espèce *Tribolium castaneum* vient du grec ; Tribolos qui signifie trois pointes (Larousse, 2017) et du latin ; Castaneum par rapport à la couleur brune rougeâtre de fruit du châtaignier (Clifford et Bostock, 2007).

*Tribolium castaneum*, dit également « Tribolium rouge de la farine » est un insecte appartenant à la famille des Tenberionidaes, il est un des insectes des stocks plus ubiquiste et le plus polyphage (Camara, 2009).

L'adulte mesure de 3 à 4 mm, de couleur uniformément brune rougeâtre. Il est étroit, allongé, à bords parallèles. La tête et la partie supérieur du thorax sont, couvertes de minuscules ponctions. Les ailes et les élytres sont striés sur toute leur longueur le dernier article des antennes est légèrement renflé avec des yeux de couleur rouges, et la partie terminale de l'abdomen porte deux épines. (Christine, 2001).

### **5. Etymologie**

D'après Delobel et Trans (1993), quelques appellations ont été accordées à *Tribolium castaneum* :

Nom commun français : *Tibolium* rouge de la farine, petit ver de la farine.

Nom anglais : Red or Rust - red floor beetle.

Nom espagnol : *Tribolio castaneo*, *Gorgojocastano* de la harina.

### **6. Origine et répartition géographique**

L'aire de répartition de *Tribolium castaneum* est très vaste à travers le monde. Lepesme (1944) pense que son foyer d'origine est l'Inde, néanmoins, il a été également retrouvé en Amérique du Nord.

Lepesme (1944), considère que *Tribolium castaneum* est un insecte des climats chauds qu'on trouve rarement au-dessus d'un quarantième degré de latitude Nord, sauf dans les magasins chauffés. La présence de cette espèce, à travers le monde résulte sans doute, des échanges commerciaux.

### **7. Dégâts causés par *Tribolium castaneum***

Le *Tribolium* rouge est un polyphage de très nombreuses denrées amylacées, surtout les farines de céréales. On le rencontre généralement dans les silos à grains, dans le fumier de volaille et il est attiré par la lumière. Cet insecte peut pénétrer dans les habitations, il est capable d'infester ; l'avoine grain et farine de blé, Riz, Maïs, Orge, Pois sec, Haricot, Cacao, Gingembre et divers épices (Delobel et Tan, 1993).

Les adultes et les larves de *T. castaneum* ne s'implantent dans les grains qu'après les attaques de ravageurs primaires qui leur ouvrent la porte (Camara, 2009), ou lorsque les grains sont brisés (Seck, 1992).

*T. castaneum* est considéré donc comme un ravageur secondaire strict causant d'importants dégâts sur les stocks (Bonneton, 2010) tels qu'une détérioration de qualité, des pertes pondérales et l'installation des maladies.



**Figure 15** : Dégâts causés par *Tribolium castaneum* sur le semoule

### 8. Distribution

Son mouvement et sa dispersion dans la nature sont favorisés par plusieurs facteurs (Campbell et Hagstrum, 2002) :

- Densité des insectes
- L'Age des insectes
- Qualité de nutrition
- L'héritabilité de dispersion
- La réponse aux substances volatiles de l'alimentation et aux phéromones d'agrégation

### 9. Les ennemis naturels

Selon Lepesme (1993), quelques arthropodes tendent à limiter l'activité des Triboliums en particulier les Acariens et les Béthylides :

Les Acariens :

- *Pyemotes ventricosus* Newp = (*Pediculoides venricosus* Newp).
- *Acarophenax tribolii* Newp.et Duv.

Les Béthylides : (Ordre : Hyménoptère)

- *Rabdepyris zae* Turn.et Waterst.
- *Scleroderma immigrans* Bridw qui parasitent les larves.

**10. Moyens de lutte contre *Tribolium castaneum***

Le souci majeur d'un stockeur est de garder son stock de denrées intactes. Pour se faire, il existe plusieurs méthodes qui permettent d'éradiquer et assez bas pour que les dégâts occasionnés soient économiquement tolérables.

**➤ Lutte préventive**

Elle consiste à éviter les infections et les attaques de la denrée stockée par : Le nettoyage et le traitement des locaux de stockage, des moyens de transport adéquat et de produit avant la mise en stock, l'utilisation d'un emballage résistant et hermétiquement fermé (Amari 2014), le maintien des bâtiments et les alentours en parfaites états de propreté, le triage des grains par tamisage mécanique, la destruction des détritiques qui pourraient constituer un foyer d'infestation, l'aération et le stockage des grains qui contiennent pas plus 12 % d'eau « grains séchés » (Doumandji, 1983).

**➤ Lutte curative**

Au cas où la méthode de lutte préventive n'est pas efficace, la protection des céréales stockées contre les attaques d'insecte soit intégrer un certain nombre de techniques différentes conduisant à une bonne valorisation de la denrée considérée.

**• Méthodes traditionnelles :**

Par l'enfumage des denrées, exposition au soleil et l'utilisation des plantes répulsives et de matière inertes (cendre, sable fine).

**• Méthodes modernes :****a) Lutte chimique**

Deux familles chimiques d'insecticides sont employées pour la désinsectisation (Fleurat-Lessard, 2011) : les organophosphorés et les pyréthrinoides (inclus les pyrétrine naturelles), leur utilisation sous deux formes :

- Liquide Pyrimiphos-méthyl Chlorpyriphos-méthyl, Deltaméthrine (Appert, 1992), cette dernière représente la moindre proportion des résidus dans les grains de céréales
- Fumigant : Gueye et al (2011) indiquent le Phosphore d'aluminium.

### **b) Lutte physique**

Cette méthode utilise des stimuli physiques et chimiques qui agissent sur le comportement et le développement des insectes nuisibles, il y a deux types :

- Piégeage de masse
- Technique de l'insecte stérile (TIS)

### **c) Lutte biologique**

Consiste à l'utilisation d'un organisme vivant, parasitoïde, parasite ou bien un produit qui provient d'un organisme vivant telle que la lutte par phytopesticide biodegradables en utilisant les substances issues de métabolites secondaires des plantes, pour le potentiel insecticide et répulsif comme les huiles essentielles (Carl et *al.*, 2011 ; Madene, 2014).

### **d) Lutte génétique**

Comme le *Tribolium* est capable de résister à toutes les classes d'insecticides, le contrôle de ce ravageur nécessite de nouvelles stratégies de lutte. Le séquençage du génome (Richards et *al.*, 2008), a justement permis d'identifier des protéines susceptibles d'être ciblées par de nouveaux insecticides, comme des canaux ioniques, des récepteurs nucléaires (Bonneton, 2010).



**CHAPITRE V**  
**MATÉRIEL ET MÉTHODES**

### **IV.1. Cadre d'étude**

Notre travail expérimental a été réalisé au sein des laboratoires pédagogiques d'analyses physicochimiques et microbiologiques du département Biochimie-Microbiologie, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, ainsi laboratoire des analyses pharmaceutiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO).

### **IV.2. Objectif d'étude**

L'objectif de notre travail était de mettre en évidence les caractéristiques physicochimiques, phytochimiques d'une plante médicinale *Zingiber Officinale* (gingembre), ainsi que l'évaluation de l'activité antibactérienne, antifongique et insecticide d'huiles essentielles et d'extraits de la plante.

Notre expérimentation est subdivisée en trois (03) parties principales :

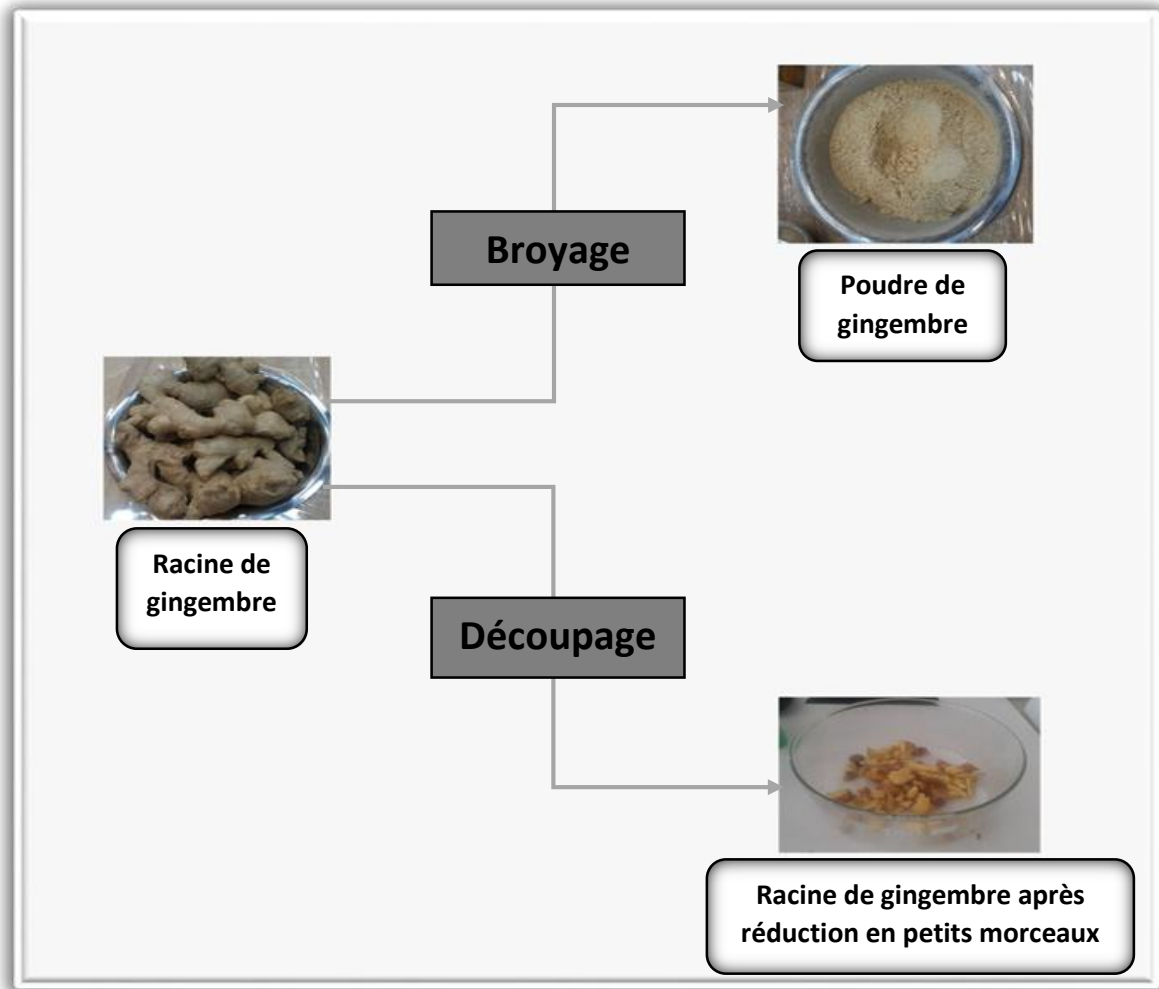
- Extraction des huiles essentielles à partir de l'échantillon étudié (le rizhème de gingembre)
- Analyse physicochimique et phytochimique ainsi qu'une extraction et dosage de polyphénol totaux.
- Evaluation de l'effet antibactérien de l'extrait et de l'huile essentielle.

### **IV.3. Matériel**

#### **IV.3.1. Matériel végétale**

Le matériel végétal choisi pour la réalisation de cette étude est la partie racinaire de Gingembre, puisque c'est à ce niveau que se trouve la majorité des substances actives, en d'autre terme c'est le lieu de mise en réserve temporaire des principaux composés du métabolisme primaire et secondaire.

Les échantillons ont été achetés auprès d'un herboriste situé au centre commercial Amyoude de la wilaya de Tizi-Ouzou. Les étapes de la préparation de l'échantillon sont résumées dans la figure ci-dessous.



**Figure 16** : Etapes de la préparation du matériel végétal.

### IV.3.2. Matériel de laboratoire

#### IV.3.2.1 Appareillage et réactif

Le matériel de laboratoire utilisé dans notre travail expérimental (solvant, réactif chimique, milieux de cultures et appareillages) sont cités en annexe 1.

#### IV.3.2.2. Matériel biologique

Le test de l'activité antimicrobienne a été effectué sur deux (02) espèces bactériennes et une espèce fongique. Provenant du laboratoire de microbiologie du département biochimie-microbiologie de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (Tableau IV).

**Tableau IV** : Souches bactériennes testées

Espèce Bactérienne	Type	Référence	Famille
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Bacille Gram négatif	ATCC 27853	<i>Pseudomonadaceae</i>
<i>Staphylococcus aureus</i>	Cocci Gram positif	MU 50	<i>Staphylococcaceae</i>

**Tableau V** : Souche fongique testée

Souche		Fongique
Espèce	Type	Famille
<i>Aspergillus niger</i>	Filamenteux	<i>Trichocomaceae</i>

#### IV.4. Méthodes

##### IV.4.1. Extraction des huiles essentielles par Hydrodistillation

###### ➤ Principe

L'hydrodistillation est la méthode la plus couramment employée pour l'extraction des huiles essentielles. Dans son principe, elle consiste à immerger la matière végétale dans un bain d'eau, l'ensemble est ensuite porté à l'ébullition. Sous l'action de la chaleur, les molécules odorantes des plantes sont libérées et entraînées par la vapeur d'eau qui est ensuite condensée, bien que la plupart des constituants des températures d'ébullition supérieures à 100°C, ils sont entraînés mécaniquement avec la vapeur d'eau. Le refroidissement par condensation conduit à la séparation du mélange eau-huile essentielle par décantation. Puis les deux phases, la phase aqueuse (hydrolat) et la phase organique surnageant (huile essentielle) sont séparés par leur différence de densité, l'HE est ensuite séchée par du sulfate de sodium puis récupérée et conservée à 4°C (Venturini, 2012 Herzi, 2013).

### ➤ Mode opératoire

- Introduire 250g de matière végétale et une quantité suffisante d'eau dans un ballon en verre de 2 L.
- Porter le mélange à l'ébullition à l'aide d'un chauffe ballon .



**Figure 17** : Dispositif d'hydrodistillation

- Récupérer le distillat dans une ampoule à décanter pour la séparation du mélange.
- Ajouter quelques mL d'éther et agiter l'ensemble puis dégazer, agiter plusieurs fois jusqu'à disparition du gaz.
- Fixer l'ampoule sur le statut puis laisser le mélange se reposer pendant 20 mn à 30 mn jusqu'à la séparation totale des deux phases (phases organiques et phase aqueux)
- Après la séparation des deux phases on évacue l'eau et on récupère la phase organique.
- Dessécher la quantité d'eau restante par filtration sur une surface du sulfate de sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) qui a pour rôle d'absorber l'eau (les gouttes d'eau restantes).
- Mettre la solution (huile essentielle et éther) dans des petites ampoules spécifiques fixées sur un évaporateur rotatif (Figure 18). L'huile essentielle obtenue est conservé dans des flacons en verres à 4°C.

### IV.4.2. Détermination de l'indice de réfraction (IR)

L'indice de réfraction symbolisé par (IR) est le rapport entre le sinus de l'angle d'incidence de rayon lumineux dans l'air et le sinus de l'angle de réfraction du rayon réfracté dans le milieu considéré.

**I** : rayon d'incidence

**R** : rayon réfracté

Cet indice permet de mesurer le pouvoir réfringent des huiles à 20°C par rapport à la raie D. L'Indice de Réfraction varie avec la température et la longueur d'onde de la lumière utilisée.

#### ➤ **Mode opératoire** (AFNOR, 2000)

- Procéder à l'étalonnage du réfractomètre en utilisant l'eau distillée jusqu'à ce que le curseur de la règle du réfractomètre soit en parallèle avec la valeur 1,330.
- Ouvrir le prisme secondaire puis déposer 2 ou 3 gouttes d'huile essentielle à analyser à l'aide d'une seringue sur la partie centrale du prisme principal.
- Ajuster le réfractomètre jusqu'à ce que la phase sombre soit égale à la phase claire, puis lire la valeur indiquée sur la règle pour déterminer l'indice de réfraction.

#### ➤ **Expression des résultats**

- Une formule empirique permet d'évaluer l'indice de réfraction d'un liquide à 20°C quand on l'a mesuré à une température légèrement différente :

$$\mathbf{I_r = I_t + 0,00045(T-20)}$$

**Ir20** = Indice à 20°C

**It** = Indice à la température de mesure.

**T** = Température de mesure.

**IV.4.3. Détermination des caractéristiques physicochimiques de la partie racinaire de *Zingiber Officinale*****IV.4.3.1. Teneur en eau (Humidité) (AFNOR, 1986)**

L'humidité ou la teneur en eau est la quantité d'eau (pourcentage d'eau) contenue dans l'échantillon à analyser (racine du gingembre).

**➤ Mode opératoire**

- Cinq gramme de rhizome broyé (en poudre) du gingembre mises dans une capsule en porcelaine.
- Placer la capsule dans l'étuve à 105° pendant 15 minutes.
- Retirer la capsule de l'étuve et la déposer dans un dessiccateur afin d'éviter la réhydratation.
- Peser l'échantillon au moyen d'une balance de précision 0,001. L'opération est refaite pour le même échantillon jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

**➤ Expression des résultats**

$$H \% = \frac{M_1 - M_2}{M} \times 100$$

**H** : Humidité (%).

**M<sub>1</sub>** : Masse de la capsule (tare) + la matière fraîche avant séchage en g.

**M<sub>2</sub>** : Masse de l'ensemble après séchage en g.

**M** : Masse de la prise d'essai en g.

**IV.4.3.2. Détermination du pH (NF V 05-108,1970)**

Le potentiel d'hydrogène (pH) est une variable qui permet la détermination de l'acidité d'un produit donné mesuré par un pH-mètre.

**➤ Principe**

A l'aide d'un pH-mètre, on mesure l'activité des ions hydrogène dans la solution indiquant son acidité ou son alcalinité. L'instrument utilisé est constitué généralement d'un boîtier électronique qui permet l'affichage de la valeur numérique du pH et une sonde de pH (électrode).

### ➤ **Mode opératoire**

- Peser à l'aide d'une balance 2g de l'échantillon étudié auquel on ajoute 15 mL d'eau distillée chaude.
- Broyer le mélange et laisser refroidir.
- Etalonner le pH-mètre avec des solutions tampons.
- Prélever un volume V de l'échantillon pour permettre l'immersion de l'électrode, puis noter la valeur affichée sur le pH-mètre.

### **IV.4.3.3. Acidité titrable (NF V 05-101,1974)**

L'acidité titrable consiste à l'ensemble des acides organiques libres et acides minéraux.

### ➤ **Principes**

Il correspond au titrage de NaOH en présence de phénolphthaléine comme étant un indicateur de pH.

### ➤ **Mode opératoire**

- Peser 2,5 g de la poudre de la partie du Rhizome de la plante *Zingiber officinale*.
- Placer l'échantillon dans un bécher ensuite ajouter 25 mL d'eau distillée chaude et mélanger jusqu'à avoir un mélange homogène.
- Chauffer au bain-marie pendant 15 minutes.
- Après refroidissement, verser le contenu dans une fiole jaugée de 125 mL et compléter avec l'eau distillée récemment bouillie refroidie.
- Homogénéiser puis filtrer avec une passoire puis un papier filtre.
- Prélever un volume  $V_0 = 25$  ML auquel on ajoute 3 à 5 gouttes de la phénolphthaléine.
- Verser à l'aide d'une burette la solution NaOH tout en agitant le contenu jusqu'à l'apparition d'une couleur rose persistante pendant 30 secondes, le volume de NaOH ayant décoloré la solution est déterminé en faisant la lecture sur la burette graduée.

➤ **Expression des résultats**

$$A (\%) = \frac{250 \times V_1 \times 100}{M \times V_0 \times 10} \times 0.07$$

**A %** = Pourcentage d'acidité titrable.

**V<sub>0</sub>** = Volume de la prise d'essai, exprimé en mL.

**V<sub>1</sub>** = Volume de NaOH (0.1 N) versé, exprimé en millilitre.

**M** = La masse de l'échantillon à analyser en gramme.

**0.07** = Le facteur de conversion de l'acidité titrable en équivalent de l'acide citrique.

#### **IV.4.3.4. Teneur en cendres (NF V 05-113,1972)**

➤ **Principes**

Calcination des échantillons à 550° dans un four à moufle jusqu'à l'obtention des cendres de couleur blanchâtre.

➤ **Mode opératoire**

- Peser 5 g de l'échantillon dans des capsules en porcelaine.
- Placer les capsules dans le four à moufle à 550 ° pendant 5 heures.
- Retirer les capsules et les mettre dans le dessiccateur.
- Après refroidissement peser à l'aide d'une balance de précision 0,00001.

➤ **Expression des résultats**

$$MO \% = \frac{M_1 - M_2}{P} \times 100$$

**MO** : Matière organique en g

**M<sub>1</sub>** : Masse de la capsule + prise d'essai en g

**M<sub>2</sub>** : Masse de la capsule + cendres en g

**P** : Masse de prise d'essai en g

La détermination de la teneur en cendres (Tc) est comme suit :

$$Tc = 100 - MO$$

#### **IV.4.4. Analyse phytochimique de la partie racinaire de *Zingiber officinale***

##### **IV.4.4.1. Préparation de l'infusée**

- Ajouter 10 g de l'échantillon (Gingembre) à 50 mL d'eau distillée.
- Effectuer une ébullition pendant 15 minutes.
- Filtrer le mélange et récupérer le filtrat.
- Le filtrat est ajusté à 100mL avec l'eau distillée.
- Obtenir l'infusé et l'utiliser pour la réalisation de l'analyse phytochimique.

##### **IV.4.4.2. Anthocyanes**

- Introduire 05 mL d'infusé dans un erlenmeyer.
- Ajouter quelques gouttes d'HCl.
- L'apparition d'une coloration rouge Indique la présence d'Anthocyane.

##### **IV.4.4.3. Glucosides**

- Ajouter quelques gouttes d' $H_2SO_4$  à 2 grammes de poudre de gingembre.
- L'apparition d'une couleur rouge brique puis violette indique la présence des glucosides.

##### **IV.4.4.4. Tanins**

- Ajouter quelques gouttes de la solution  $FeCl_3$  (5 %) à 5 mL d'infusé.
- L'apparition d'une coloration bleu noir indique la présence des tanins.

##### **IV.4.4.5. Tanins galliques**

- Saturer le filtrat par l'acétate de sodium ( $CH_3COONa$ ).
- Ajouter par la suite quelques gouttes de  $FeCl_3$ .
- L'apparition d'une coloration bleu foncée indique la présence des tanins galliques.

**IV.4.4.6. Quinones libres**

- Ajouter 2 ml d'HCl (1N) à 2 grammes de poudre de gingembre.
- Ajouter 20 ml de chloroforme et laisser reposer pendant 3 heures.
- Filtrer.
- Ajouter 5 ml d'ammoniaque.
- La réaction est dite positive lorsqu'une coloration rouge violette apparaît.

**IV.4.4.7. Saponosides**

Prendre deux tubes à essai fermés

- Ajouter au premier tube 05 ml d'HCl (0.1 N) et dans le deuxième 05 ml de NaOH (0.1 N).
- Introduire dans chacun des tubes 2 à 3 gouttes d'infusé, puis agiter bien verticalement pendant quelques secondes et laisser reposer pendant 15 minutes.

La présence des saponosides est indiquée par l'apparition d'une mousse persistante. Il y a deux cas probables :

- 1<sup>er</sup> cas, si on obtient dans les deux tubes le même volume de mousse, cela indique la présence des saponosides stéroïdiennes.
- 2<sup>ème</sup> cas, s'il y aura la formation d'une mousse plus grande par stabilité et par volume en milieu basique, cela indique la présence des saponines tri-terpénique.

**IV.4.4.8. Stéroïdes**

- Ajouter 5 ml de l'anhydride acétique a 5 ml de l'infusé.
- Ajouter par la suite 5 ml de l'acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- L'apparition d'une couleur verte indique la présence des stéroïdes.

**IV.4.4.9. Flavonoïdes**

- Ajouter 5 ml d'HCl à 5 ml de l'infusé puis un copeau de magnésium (Mg) et 1 ml de l'alcool iso-butanol.
- La réaction est dite positive lorsqu'une coloration rouge orangée apparaît.

### **IV.4.4.10. Coumarines**

- Ajouter 3 ml de NaOH (10 %) à 2 ml de l'infusé.
- L'apparition d'une coloration jaune indique la présence des coumarines.

### **IV.4.5. Détermination de la teneur en polyphénols totaux**

#### **IV.4.5.1. Extraction des polyphénols**

Un extrait aqueux a été préparé en utilisant de l'eau distillée comme solvant. Afin d'éviter l'oxydation phénolique l'extraction a été effectuée à l'abri de la lumière en recouvrant toute la verrerie avec du papier aluminium et les extraits sont conservés à 4°C jusqu'à leur utilisation (Chan et *al.*, 2009).

##### **IV.4.5.1.1. Préparation des extraits**

Dix grammes du matériel végétal finement broyé sont soumis à l'extraction par macération dans 100 ml d'eau distillée (Falleh et *al.*, 2008) avec agitation pendant 3 h, puis laisser pour macération à température ambiante et à l'obscurité pendant 24 h.

Après une double filtration, une grossière avec une passoire et une autre avec du papier filtre, Après évaporation de solvants on le récupère dans l'eau distillée (0.1 g/ml) et conservé à 4 °C.

##### **IV.4.5.2. Dosage des polyphénols totaux**

La teneur en polyphénols totaux (PPT) des extraits de la plante a été déterminée selon la méthode colorimétrique basée sur l'utilisation de réactif de Folin-Ciocalteu (Singleton et Rossi, 1965).

###### **➤ Principe**

Le réactif de Folin-Ciocalteu (FCR) est un mélange de couleur jaune composé de deux acides : l'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et l'acide phosphomolybdique ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ). Au moment de l'oxydation des phénols, il est réduit en un complexe bleu d'oxydes de tungstène ( $W_8O_{23}$ ) et de molybdène ( $M_8O_{23}$ ). La quantité de phénols présents est proportionnelle à la couleur bleuâtre qui en résulte (Boizot et Charpentier, 2006).

### **➤ Mode opératoire**

Le protocole de dosage des polyphénols totaux suivit est celui décrit par Miceli et *al.* (2016). L'extrait aqueux de la plante a été récupéré dans l'eau distillée, subit une dilution jusqu'à l'obtention d'une absorbance comprise entre 0.8 et 1. Ajouter 500 µL de réactif de Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois) et 1 mL d'eau distillée à 100 µL de l'extrait végétal dilué, bien agiter et laisser reposer à température ambiante pendant 1 min. Puis compléter avec 1.5 ml de la solution de carbonate de sodium (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) à 20 %. Après une bonne agitation, la solution est incubée à l'obscurité et à température ambiante pendant 2 heures. La lecture des absorbances des échantillons est mise en évidence à l'aide d'un spectrophotomètre réglé à 740 nm. Trois répétitions ont été réalisées pour l'extrait. Le blanc a été préparé en remplaçant l'échantillon par 100 µL d'eau distillée.

La concentration en polyphénols est calculée avec l'équation de régression de la gamme d'étalonnage. Les résultats obtenus sont exprimés en milligramme équivalent d'acide gallique par gramme de matière sèche (mg EAG/ g de MS)

### **IV.4.6. Test des activités biologiques**

#### **IV.4.6.1. Test de l'activité antibactérienne**

##### **IV.4.6.1.1. Repiquage et vérification de la pureté des souches bactériennes**

### **➤ Repiquage des souches bactériennes**

Dans des boites de Pétri contenant de la gélose nutritive (GN), un repiquage a été effectué pour la souche *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 , *Staphylococcus aureus* MU 50 en faisant recours à la méthode des stries serrés puis incubé à 37°C pendant 24h.

### **➤ Vérification de la pureté des souches bactériennes**

La pureté des souches *Staphylococcus aureus* MU 50 ; *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 50 est vérifiée par la coloration de Gram.

- **Coloration de Gram**

La coloration de Gram est une coloration différentielle microbiologique qui permet de distinguer la forme des cellules bactériennes ainsi que leurs modes de regroupement et de les classer selon la composition et la structure de leurs parois, elle est établie par Hans Christian Gram 1884.

- **Principe**

Lors de la réalisation de la coloration de Gram, les bactéries réagissent de deux façons différentes :

- Bactéries à Gram négatif se décolorent rapidement : leurs parois sont pauvres en peptidoglycanes et riches en lipides, elles deviennent poreuses suite à la dissociation des lipides ce qui entraîne la décoloration du cytoplasme.
- Bactéries à Gram positif gardent leurs coloration violette car la composition de la paroi est en majorité protéinique (couche épaisse de peptidoglycanes) ce qui empêche l'action de l'alcool.

- **Mode opératoire**

Selon la méthode décrite par Delarras (2007), ce test s'effectue comme suit :

- Préparation du frottis : déposer sur une lame une goutte d'eau sur laquelle on ajoute un prélèvement provenant d'une culture jeune, bien étaler en une couche mince homogène ensuite une fixation s'effectue par passage du frottis dans la flamme du bec bunsen 4 à 5 fois.
- Recouvrir le frottis avec le colorant primaire (violet de Gentiane) et laisser agir pendant une minute. Le colorant est rejeté sans rinçage.
- Verser le Lugol et laisser agir une minute, puis rincer avec l'eau distillée.
- Décolorer à l'alcool entre 15 et 30 secondes et rincer à l'eau.
- Recouvrir avec la Fushsine pendant une minute.
- Laver à l'eau courante.
- Sécher la lame et observer à l'immersion sous microscope optique au grossissement X 100.

**IV.4.6.1.2. Evaluation du pouvoir antibactérien**

Le test de l'activité antibactérienne d'huiles et d'extraits de la plante *Zingiber officinale* a été réalisé sur les souches bactériennes provenant de laboratoire pédagogique de Microbiologie, une souche à Gram positif (*S. aureus* MU 50) et une autre à Gram négatif (*P. aeruginosa* ATCC 27853).

**➤ Préparation des disques**

Découper le papier wattman en disques de 6 mm de diamètre, les stériliser et les conserver jusqu'à leur utilisations.

**➤ Préparation de l'inoculum****• Préparation pré-culture**

Les souches bactériennes à tester ont été cultivées dans des boites de Pétri contenant la gélose nutritive puis incubées pendant 24 heures à 37°C afin d'obtenir une culture jeune, en phase exponentielle de croissance.

**• Préparation de suspension bactérienne**

A partir d'une culture jeune de 18 heures quelques colonies identiques et isolées sont prélevées puis émulsionnées dans l'eau physiologique stérile à 0,9 %, bien homogénéisé la suspension bactérienne. Pour la standardisation, l'absorbance (DO) est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre réglé à une longueur d'onde de 620 nm, on admet uniquement une valeur comprise entre 0,08 et 0,1 qui est l'équivalent d'une charge bactérienne de  $10^7 - 10^8$  UFC /ml.

**➤ Ensemencement des boites**

A partir de cet inoculum préalablement préparé, de nouvelles boites sont ensemencées par écouvillonnage en faisant tourner trois fois la boite d'environ 60° afin de maintenir une distribution homogène des souches bactériennes par la méthode des stries serrées sur milieu Mueller Hinton (MH). Deux boites sont préparées pour chaque souche (la première pour l'extrait et la deuxième pour l'huile essentielle).

**➤ Préparations des dilutions**

Diluer l'huile et l'extrait avec le DMSO, pour permettre leurs diffusions.

### **➤ Méthode de l'antibiogramme**

La détermination du pouvoir antibactérien d'huile et d'extrait de la plante *Zingiber officinale* vis-à-vis des deux souches a été évaluée par la méthode de diffusion sur milieux solide (Perez et al., 1990 ; Nair et Chanda, 2005).

Des disques de papier Wattman stériles de 6 mm de diamètre, sont déposés sur la surface du milieu MH pour chaque boîte.

Des disques sont imprégnés par 10 µL de l'extrait aqueux, d'autres sont imprégnés de 10 µL d'huile essentielle de gingembre.

Un témoin négatif (imbibé de DMSO) et un témoin positif d'antibiotique (Gentamicine) sont utilisés.

La méthode des puits a été réalisée aussi pour tester l'huile essentielle et l'extrait de cette plante. Les boîtes ont été laissées à température ambiante pendant 15 à 20 min afin de permettre la diffusion des extraits puis incubées à 37° pendant 24 heures

La lecture des résultats est effectuée par le calcul du diamètre de la zone d'inhibition qui entoure chaque disque à l'aide d'une règle.

Le comportement des souches vis-à-vis de l'extrait / l'huile essentielle est exprimé comme suit :

- Souche résistante ou non sensible (-) : diamètre < 8 mm
- Souche sensible (+) diamètre entre 9 et 14 mm
- Souche très sensible (++) diamètre en 15 et 19 mm
- Souche extrêmement sensible (+++) diamètre > 20 mm

### **IV.4.6.2. Activité antifongique :**

Le teste de l'activité antifongique d'huile et d'extrait de gingembre a été réalisé sur l'espèce fongique *Aspergillus niger*.

### **➤ Préparation de l'inoculum**

La souche *Aspergillus niger* isolée au laboratoire de Microbiologie a été ensemencée sur milieu Sabouraud et incubée à 25°C pendant 5 à 7 jours.

### ➤ Mise en évidence de l'activité antifongique

A l'aide d'une pipette Pasteur, des disques d'*Aspergillus niger* issus d'une culture jeune de 5 à 7 jours sont découpés et déposés au centre des boîtes de Pétri préalablement coulées par le milieu Sabouraud.

Des disques de papier wattman sont ensuite imprégnés de 10 µL d'extrait et d'huile à tester et déposés sur la gélose Sabouraud. Un témoin négatif sans extrait a été également réalisé, par la suite les boîtes sont incubées à 25°C pendant une semaine.

L'évaluation la croissance mycélienne est effectuée en utilisant la formule suivante :

$$I\% = \frac{D - Di}{D} \times 100$$

**D** : diamètre de la croissance mycélienne sans molécules (extrait)

**Di** : diamètre de la croissance mycélienne en présence de molécules (extrait)

**I %** : croissance mycélienne

### IV.4.6.3. Test de l'activité insecticide

Le test de l'activité insecticide d'huile et d'extrait de gingembre a été réalisé sur une espèce d'insecte appelée *Tribolium castaneum* ( Tribolium rouge de la farine).

Ces insectes ont été fournis aimablement par Mme BENAZZOUZ (Laboratoire de Recherche Entomologie Appliquée de l'UMMTO).

Un élevage en masse a été effectué dans des bocaux en verre contenant 250 gramme de semoule pendant deux semaines (couvercles perforés).

### IV.4.6.3.6. Mise en évidence de l'activité insecticide

L'activité insecticide d'huiles et d'extrait de gingembre a été mise en évidence par le test d'inhalation et le test de répulsion sur les adultes de *Tribolium castaneum*.

### ✓ Test d'inhalation sur des adultes de *Tribolium castaneum*

L'objectif de ce test est d'étudier l'effet de l'extrait et d'huiles essentielles de gingembre sur le taux de mortalité par inhalation en faisant recours à la méthode représentée par Papachristos et Stampoulos (2002).

- Dans des bocaux en verre, déposer sur des disques en papier filtre de 2 cm de diamètre une dose de l'extrait et d'huile essentielles de gingembre. Les disques sont suspendus avec un fil vers la face interne du couvercle.
- Introduire dans chaque bocal dix (10) individus de *T.castaneum*, puis fermer hermétiquement.
- Utiliser une dose de 20 µL dans chaque bocal, d'un autre côté un témoin négatif sans extrait a été réalisé.
- Le comptage des individus morts se fait chaque jour pendant une semaine.

Le taux de mortalité est calculé en suivant la formule d'Abbott (1925), et cela en prenant en considération la mortalité naturelle ( $M_t$ ) observé au niveau du témoin négatif

$$M_c = \frac{M_o - M_t}{100 - M_t}$$

**$M_c$**  : Mortalité corrigée.

**$M_o$**  : Mortalité de l'échantillon testé.

**$M_t$**  : Mortalité dans le témoin non traité (témoin négatif)

### ✓ Test de répulsion sur *Tribolium castaneum*

Il a été réalisé dans une boîte de pétri pour évaluer l'effet d'huiles et d'extrait de gingembre

Pour la réalisation de ce test nous avons suivi les étapes suivantes :

- Découper un disque du papier filtre de 10 cm en deux parties.
- Un demi-disque est imprégné avec l'huile, et l'autre partie avec de l'eau distillée.
- Après l'évaporation du solvant, les deux parties (celle qu'on a imprégnée par l'extrait et l'autre traitée avec l'eau distillée) sont rassemblées à l'aide d'un ruban adhésif et déposées au fond d'une boîte de Pétri.

- Dix *T.castaneum* sont déposés au centre de la boîte Pétri.
- Au bout d'une heure, nous avons compté le nombre d'individus présents sur chaque demi-disque.  
→ Les mêmes étapes sont répétées pour l'extrait.

Le pourcentage de répulsion est déterminé en utilisant la formule suivante :

$$Pr (\%) = \frac{(Ne - Nt)}{(Ne + Nt)} \times 100$$

Ne : Nombre d'insectes présents dans demi disque traité avec l'eau distillée

Nt : Nombre d'insectes présent sur le demi-disque traité avec l'extrait

Le pourcentage de répulsion est calculé et attribué à l'une des différentes classes répulsives, selon le classement de Mc Donald (1970), qui sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau VI** : Pourcentage de répulsion selon le classement de Mc Donald (1970)

Classe	Intervalle de répulsion	Propriétés
<b>Classe 0</b>	PR ≤ 0.1 %	Très faiblement répulsif
<b>Classe I</b>	0.1 % < PR ≤ 20 %	Faiblement répulsif
<b>Classe II</b>	20 % < PR ≤ 40 %	Modérément répulsif
<b>Classe III</b>	40 % < PR ≤ 60 %	Moyennement répulsif
<b>Classe IV</b>	60 % < PR ≤ 80 %	Répulsif
<b>Classe V</b>	80 % < PR ≤ 100 %	Très répulsif



**CHAPITRE VI**  
**RÉSULTATS ET**  
**DISCUSSION**

**V.1. Indice de réfraction**

L'indice de réfraction d'huile essentielle de gingembre obtenu est cité dans le tableau (VII).

L'indice de réfraction est une propriété optique importante qui permet de caractériser un matériau en fonction de la façon dont la lumière se propage à travers lui.

D'après nos résultats obtenus, l'indice de réfraction de l'HE de gingembre est de 1,688, l'association française de normalisation (AFNOR) confirme que cette valeur est conforme aux normes. Ce qui renforce la fiabilité de nos mesures.

**V.2. Résultats des paramètres physico-chimiques de gingembre**

Les données recueillies concernant certains paramètres physico-chimiques du rhizome de *Zingiber officinale* sont présentées dans le tableau (VII).

**Tableau VII :** Résultats de quelques paramètres physico-chimiques caractérisant la plante de gingembre et son indice de réfraction

Tests	Gingembre
Teneur en eau (Humidité) %	6,35%
pH	5,26
Acidité	2,1
Teneur en cendres (%)	4,02
Indice de réfraction	1,688

L'humidité de la poudre de gingembre est un paramètre important qui peut affecter sa qualité, sa stabilité et sa durée de conservation. Selon les résultats obtenus, la teneur en eau de la poudre de gingembre est de l'ordre de 6,35% ce qui signifie que la poudre de gingembre contient 6,35% d'eau par rapport à son poids total. Une teneur en humidité de 6,35% est relativement basse, ce qui suggère que la poudre de cette plante est relativement sèche. et cette faible teneur en humidité aide à prévenir la croissance de micro-organismes tels que les bactéries et les moisissures. De plus, une faible teneur en humidité peut également prolonger la durée de conservation du produit. Ces résultats sont similaires à ceux de Leistner et Gould (2002).

Les résultats de notre recherche montrent un pH de 5,26 pour la poudre de gingembre ce qui indique une légère acidité. Alors que les résultats de l'étude menée par Sharmin et *al.* (2017), ont révélé des valeurs de pH situées entre 5,5 et 6,6 pour la poudre de gingembre.

Cette variabilité peut être due à l'origine de la plante, il existe différentes variétés de gingembre provenant de différentes régions géographiques, ce qui peut entraîner des variations dans les propriétés chimiques, y compris le pH. Il est donc possible que les échantillons de gingembre utilisés dans cette étude et celle de Sharmin et *al.* présentaient des caractéristiques différentes.

De plus, les conditions de stockage de la poudre de gingembre peuvent également affecter son pH. Des facteurs tels que l'humidité, la température et la durée de stockage peuvent entraîner des changements chimiques dans la poudre de gingembre, ce qui pourrait expliquer les différences observées.

Les cendres sont une mesure de la quantité de minéraux inorganiques présents dans la poudre de gingembre. Les résultats obtenus indiquent une teneur en cendre de 4,02%, ce qui correspond à la valeur obtenue dans l'étude menée par Sharmin et *al.* (2017).

L'acidité titrable est une mesure importante qui permet de quantifier la présence d'acides dans un échantillon et est généralement exprimée en termes de concentration d'acide citrique équivalent (mg d'acide citrique par gramme de poudre). Les résultats enregistrés ont révélé une acidité titrable de 2,1 qui peut être considérée comme relativement faible, indiquant une acidité modérée dans la poudre de gingembre. Cette valeur est similaire à celle énoncée par Bhattacharya et *al.* (2011).

### **V.3. Résultats d'analyse phytochimique de la plante de gingembre (rhizome)**

Le screening phytochimique a permis de détecter la présence de métabolites secondaires dans la poudre de gingembre. Les tests effectués ont été classés en résultats négatifs (-) ou positifs (+) en fonction de l'intensité de la couleur observée (Tableau VII).

Tableau VII : Résultats d'analyse phytochimique de gingembre

Tests	Couleur ou caractère	Gingembre
Anthocyanes	Rouge	-
Tanins	Bleu-noir	-
Tanins gallique	Bleu foncé	-
Saponosides	Saponines stéroïdiennes : même volume  Saponines tri-terpéniques : milieu Basique	+
Glucosides	Rouge brique	+++
Coumarines	jaune	+
Stéroïdes	Vert	-
Quinones libres	Rouge violet	-
Flavonoïdes	Rouge orangé	+

**Légende :** (-) : négatif ; (+) : faiblement positif ; (++) : Positif ; (+++) : Fortement positif

L'objectif de cette analyse est de détecter et d'identifier les différents composés chimiques présents dans l'échantillon, afin de mieux comprendre les propriétés médicinales, les activités biologiques et les utilisations potentielles de *Zingiber officinale*.

Les résultats de l'analyse phytochimique révèlent la présence de saponosides, de glucosides, de coumarines et de flavonoïdes, mais avec des proportions variables. Cette combinaison de métabolites secondaires confère à la plante une diversité de propriétés et de fonctions. En revanche, les tests effectués pour révéler la présence d'anthocyanes, de quinones libres, de stéroïdes et de tanins ont donné des résultats négatifs.

Plusieurs études, dont celles menées par Ghasemzadeh et *al.* (2015), Abd Kadir (2017), Sugumaran et Venkatesan (2020), Prasad et Tyagi (2015), ont également identifié la présence de saponosides, de glucosides, de coumarines et de flavonoïdes dans le gingembre.

Par ailleurs, les résultats de Wang et *al.* (2019) ont révélé la présence de tanins dans l'extrait de la poudre de rhizome de *Zingiber officinale*. Ces différences peuvent être dues à plusieurs facteurs, tels que la variété de gingembre utilisée, les conditions de croissance ou encore les méthodes d'extraction employées.

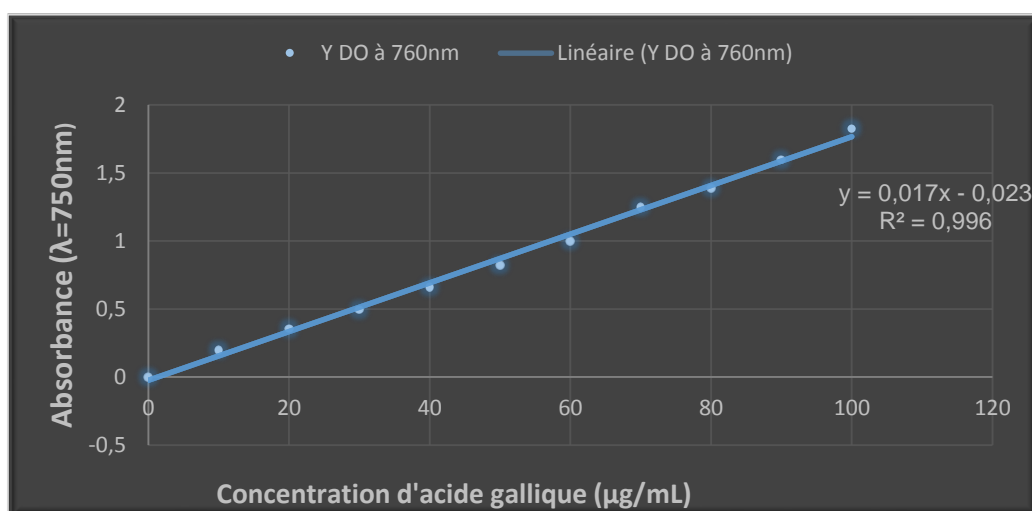
#### V.4. Résultats d'extraction et de dosage des Polyphénols totaux

##### V.4.1. Dosage des polyphénols totaux

La détermination de la teneur en polyphénols totaux de la poudre de gingembre a été effectuée suivant la méthode colorimétrique au réactif de Folin-Ciocalteu (Singleton et Rossi, 1965).

La Concentration en polyphénols de l'extrait a été calculée en utilisant l'équation de régression linéaire de la courbe d'étalonnage établie, grâce à des concentrations précises d'acide gallique comme standard ( $y = 0,017x + 0,0023$ ) et coefficient de corrélation  $R^2 = 0,996$  (Figure 20).

Les résultats sont exprimés en milligramme équivalent d'acide gallique par gramme de matière sèche (mg EAG/g MS).



**Figure 18** : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.

Les résultats de cette étude ont révélé une teneur en polyphénols de 44,11 mg EAG/g MS dans l'extrait aqueux de gingembre, Ce qui indique une concentration relativement élevée de ces composés dans l'extrait. Cette valeur est significativement plus élevée que celle rapportée par Hinneburg et *al.* (2006) dans leur étude, où ils ont trouvé une teneur de 23,5 mg EAG/gMS.

Les variations observées dans les résultats peuvent être attribuées à divers facteurs, tel que les méthodes d'extraction et d'analyse utilisés, la variété de gingembre, les conditions de culture, la saison de la récolte et le séchage de la plante.

## V.5. Activités biologiques

### V.5.1. Test de l'activité antibactérienne

#### V.5.1.1. Vérification de la pureté des souches

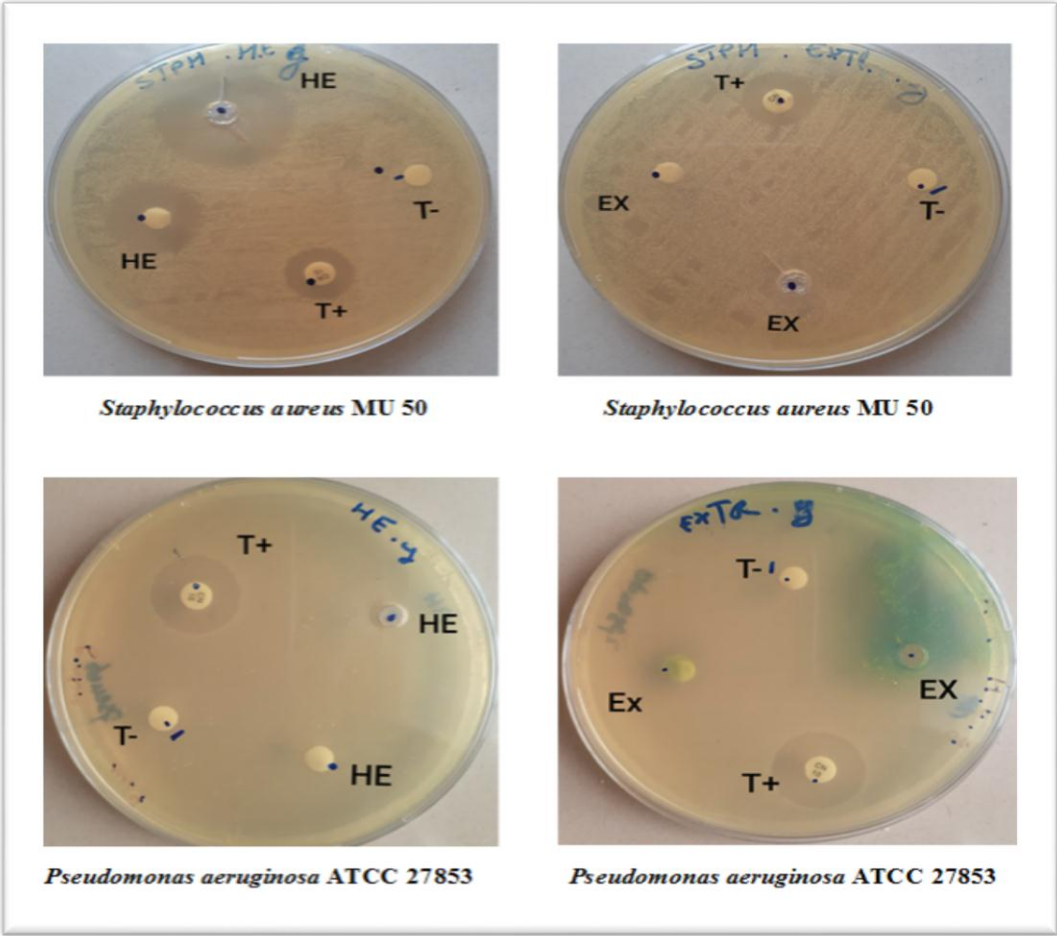
Les observations que nous avons faites en examinant la pureté des bactéries sous un microscope optique sont résumées dans le tableau (VIII) et annexe.

**Tableau VIII** : Caractéristiques morphologiques observées chez les bactéries testées.

Espèce bactérienne	Gram	Aspect morphologique
<i>Staphylococcus aureus</i> MU 50	Positif	Cocci en grappe en violet
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	Négatif	Bacille en rose

#### V.5.1.2. Résultats d'évaluation de l'activité antibactérienne

Dans cette évaluation, deux méthodes ont été utilisées, la méthode des puits et la méthode des disques. Il a été constaté que les zones d'inhibitions sont plus importantes pour la méthode des puits, qui permet une bonne diffusion d'huile et d'extrait sur la gélose (Tableau IX).



**Figure 19** : Résultats de l'activité antibactérienne

**Tableau IX :** Résultats de l'activité antibactérienne d'huile et d'extrait de gingembre

	<i>Staphylococcus aureus</i>		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	
	Puits	Disques	Puits	Disques
<b>Extrait aqueux</b>	<b>13</b> (+)	<b>07</b> (-)	<b>0</b> (-)	<b>06</b> (-)
<b>Huiles essentielles de gingembre</b>	<b>27</b> (+++)	<b>2</b> (+++)	<b>0</b> (-)	<b>06</b> (-)
<b>Témoin positif (disque d'ATB gentamicine)</b>		<b>15</b> (++)		<b>2</b> (+++)
<b>Témoin négatif (DMSO)</b>		<b>06</b> (-)		<b>06</b> (-)

**Résistante (-) ; sensible (+) ; Très sensible (++) ; Extrêmement sensible (+++)**

Selon les résultats enregistrés dans le tableau IX, l'Huile essentielle a donné une zone d'inhibition de diamètre de 27 mm, comparé au témoin positif (Gentamicine) qui a donné une zone d'inhibition de diamètre de 15mm ce qui indique que *Staphylococcus aureus* MU 50 est extrêmement sensible à l'huile essentielles de *Zingiber officinale*.

Cela suggère que l'huile essentielle de gingembre pourrait être une option prometteuse pour lutter contre les *Staphylococcus aureus* MU 50.

La grande sensibilité de *S. aureus* MU 50 à l'huile essentielle de gingembre a été confirmée dans l'étude menée par Mahboubi (2019) et liu et al. (2012).

Tandis qu'une zones d'inhibition de diamètre de 13 mm a été enregistrée, ce qui indique que *Staphylococcus aureus* MU 50 est sensible vis-à-vis de l'extrait aqueux de gingembre

Aucun effet n'a été présenté sur *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853. Selon ces résultats, cette espèce est résistante à l'huile essentielle et l'extrait aqueux de gingembre. Selon sayyad et chaudhari (2010), l'huile de gingembre est efficace contre *P. aeruginosa* ATCC 27853.

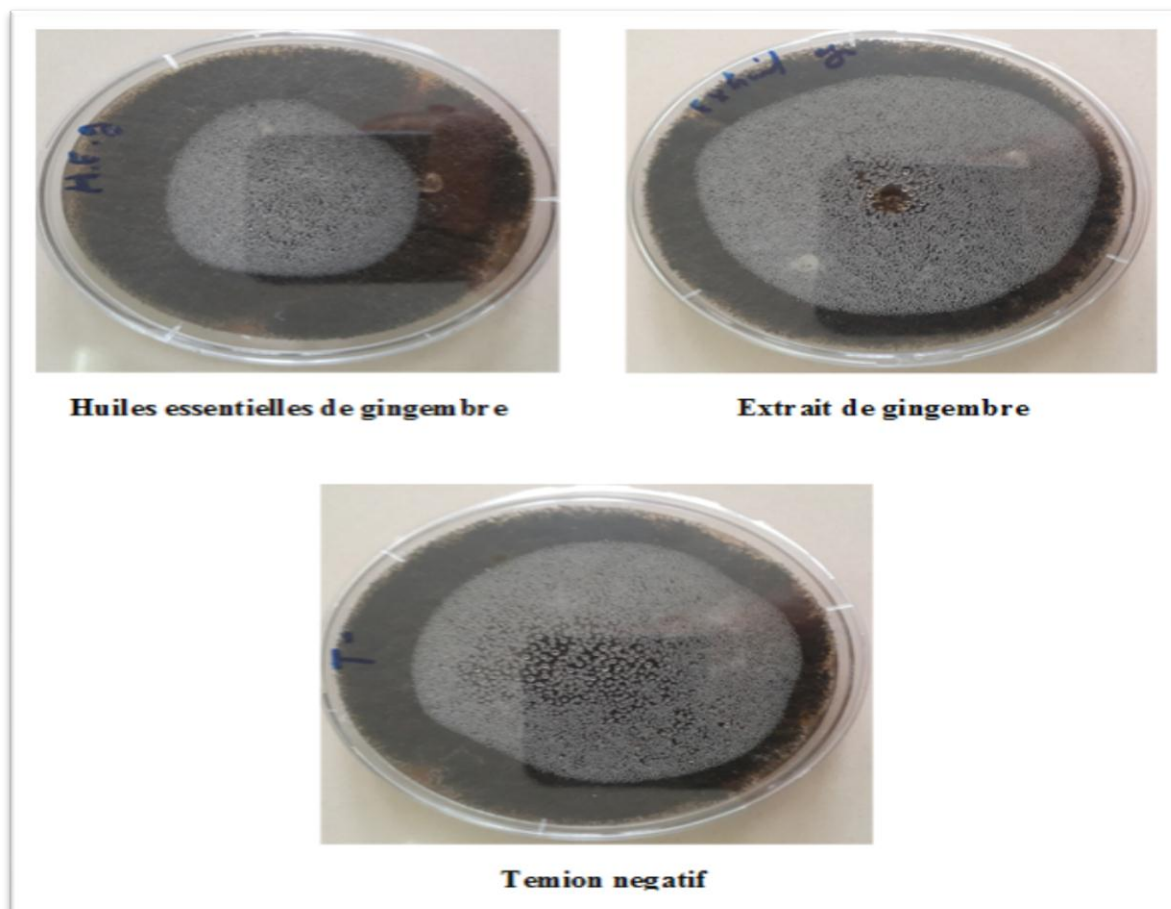
Les divergences entre les résultats de notre étude et celle de sayyad et chaudhari pourraient être dues à plusieurs facteurs. Tout d'abord, les huiles essentielles peuvent varier en composition chimique en fonction de nombreux facteurs tel que la source de l'échantillon et la méthode d'extraction. Ainsi que les conditions expérimentales, telles que la concentration des huiles essentielles testées, la méthode d'application et le milieu de culture.

L'huile essentielle et l'extrait de gingembre ont montré la meilleure activité antibactérienne contre les bactéries Gram positives que les bactéries Gram négatives.

### **V.5.2. Résultats de l'évaluation de l'activité antifongique**

Beaucoup de travaux ont été menés sur le pouvoir antifongique d'huile et de l'extrait de la plante gingembre. Lors de cette étude nous avons testé l'action de l'extrait aqueux et l'huile essentielle de la partie racinaire (Rhizome) de l'espèce végétale *Zingiber officinale* vis-à-vis le champignon *Aspergillus niger*.

L'activité antifongique a été évaluée par la méthode de diffusion sur le milieu gélosé (milieu Sabouraud). Après l'incubation des boîtes à 25° pendant 5 jours, une lecture a été réalisée.



**Figure 20** : Résultats de l'activité antifongique

L'huiles essentielles et l'extrait aqueux de gingembre, n'a aucune action inhibant la croissance de *l'Aspergillus*.

Malgré les vertus thérapeutiques antiseptiques et même antibiotiques de la plante *Zingiber officinal* mais notre cas elle s'est avérée très peu efficace vis-à-vis l'espèce mycélienne.

Nous n'avons pas obtenu des résultats escomptés bien que plusieurs auteurs Manima,2004 ; Umba, 2004 ; Muhuruka, 2005 ; Ivami, 2006 ; Khasa, 2006 ; Luyila, 2006 ; Makuba, 2007.

### **V.5.3. Activité insecticide**

L'évaluation de l'activité insecticide de l'extrait aqueux Gingembre (Rhizome) vis-à-vis l'espèce *Tribolium castaneum* a été mise en évidence par les deux tests : d'inhalation et de répulsion.

**V.5.3.1. Test d'inhalation**

L'huile essentielle et l'extrait aqueux de *Zingiber officinal* n'avaient aucun effet sur l'insecte *Tribolium castaneum*.

Les résultats obtenus ont montré une valeur constante de la population de *T. Castaneum* (Pas de mortalité) pour la dose testée en fonction de temps 24 h à 72 h.

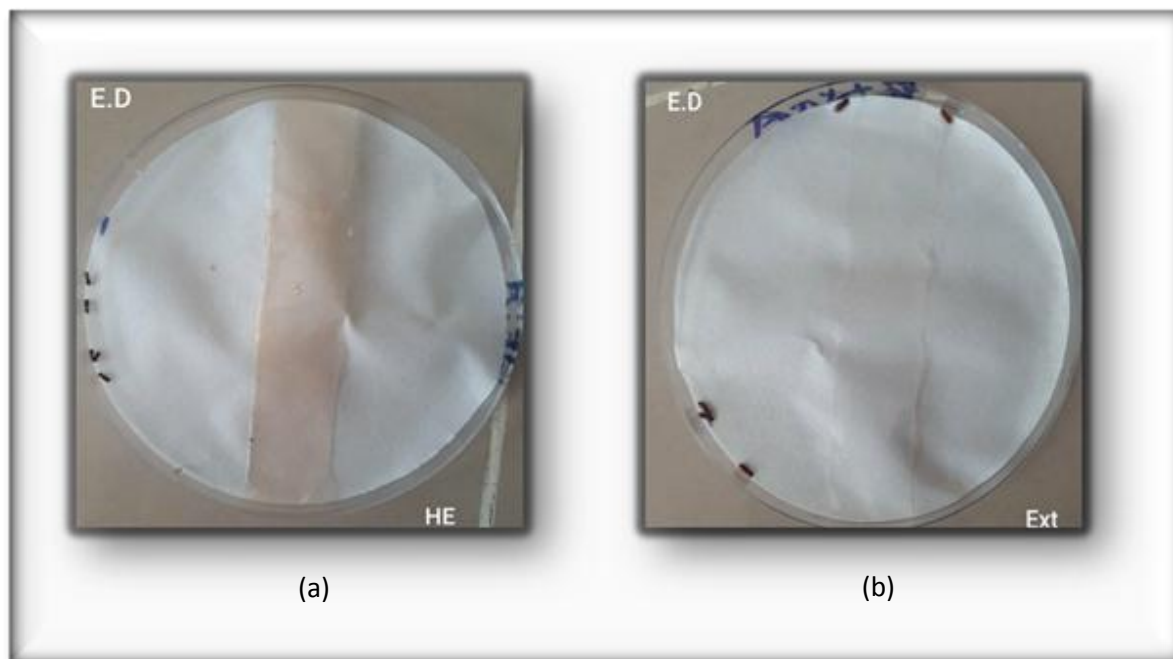
Ebadollahi et al (2010) ont signalé un effet insecticide par inhalation d'huile essentielle de *Zingiber officinal* pour *T. Castaneum* et cela ne concorde pas avec nos résultats.

Les résultats obtenus par Kim et al (2003) montrent que l'HE de gingembre a une activité insecticide sur les adultes de *Tribolium castaneum* par inhalation. D'après ces auteurs cette huile essentielle s'est révélé plus efficace dont les fortes doses provoquent 84,2% de mortalité au bout de 48 h. Ces résultats sont appréciables et prouvent que les huiles essentielles de genre *Zingiber* peuvent être efficaces et toxiques envers cette espèce d'insecte (avec une DL 50 = 0,60 µL/cm<sup>2</sup>).

La différence entre nos résultats est ceux obtenus par Ebadollahi et Kim pourrait être expliquée par la dose testée.

**V.5.3.2. Test de répulsion**

Le pourcentage de répulsion (PR) de l'extrait aqueux de la plante médicinale *Zingiber officinale* a été calculé et attribué à l'une des différentes classes répulsives selon le classement de Mc Donald (1970).



**Figure 21** :Evaluation de l'activité insecticide d'huile (a) et d'extrait (b) de gingembre par le test de repulsion

D'après Mc Donald (1970), l'effet répulsif d'huile essentielle du gingembre est très répulsif avec un pourcentage de 100% (Classe V) alors que l'effet d'extrait aqueux est Moyennement répulsif avec un pourcentage de 60 % (Classe III).

**Tableau X** : Classement d'huiles essentielles de *Zingiber officinale* selon leur propriété de repulsion sur les adultes de *T. Castaneum*

Huile	<i>Gingembre officinal</i>
Taux de repulsion (%)	<b>100 %</b>
Classe de repulsion	<b>V</b>
Effet	<b>Très répulsive</b>

**Tableau XI** : Classement de l'extrait de *Zingiber officinale* selon leur propriété de répulsion sur les adultes de *T. Castaneum*

<b>Extrait</b>	<b><i>Gingembre officinal</i></b>
<b>Taux de répulsion (%)</b>	<b>60 %</b>
<b>Classe de répulsion</b>	<b>III</b>
<b>Effet</b>	<b>Moyennement répulsif</b>

L'espèce étudiée présente une activité insecticide par répulsion vis-à-vis *Tribolium castaneum*, elle rejoint une série d'autres huiles essentielles qui ont des effets insecticides similaires dans la gestion des organismes nuisibles des grains stockés (Bekele et al., 1996 ; Bouda et al., 2001 ; Hassanali et al., 1990).

D'après Brown et Herbert (1997), les huiles essentielles agissent par répulsion en émettant des substances volatiles (terpènes) qui constituent une barrière empêchant les insectes et les autres arthropodes de se mettre en contact avec la surface de l'hôte.

Notant que l'efficacité insecticide et répulsive des plantes médicinales contre les insectes ravageurs des denrées stockées a été confirmée par plusieurs chercheurs. Ko et al., (2009), ont expérimenté l'effet répulsif de l'huile essentielle des racines de *Zingiber officinale*. L'huile essentielle de cette plante a montré une forte répulsion contre *T. Castaneum*.



**CONCLUSION ET  
PERSPECTIVES**

## Conclusion et perspectives

Aujourd'hui les plantes médicinales occupent une place très importante en médecine traditionnelle et moderne grâce à leur vertu thérapeutique, elles agissent sur l'organisme vivant de façon curative et préventive, par des molécules odorantes qui constituent les huiles essentielles capable d'exercer un effet similaire aux antibiotiques.

L'objectif initial du travail était de démontrer l'effet antibactérien, antifongique et insecticide d'huile essentielle et d'extrait de gingembre (*Zingiber officinale*), plusieurs aspects de cette plante ont été étudiés.

L'étude physicochimique a révélé que la partie racinaire (rhizome) de la plante *Zingiber officinale* possède un pH légèrement acide, une teneur en eau, en acidité titrable et en cendre faibles.

Les résultats des tests phytochimiques sur l'extrait de la plante Gingembre ont montré la présence des molécules bioactives à savoir, les glucosides, les flavonoïdes, les saponosides et les coumarines. Ces biomolécules jouent un rôle essentiel pour la survie de la plante

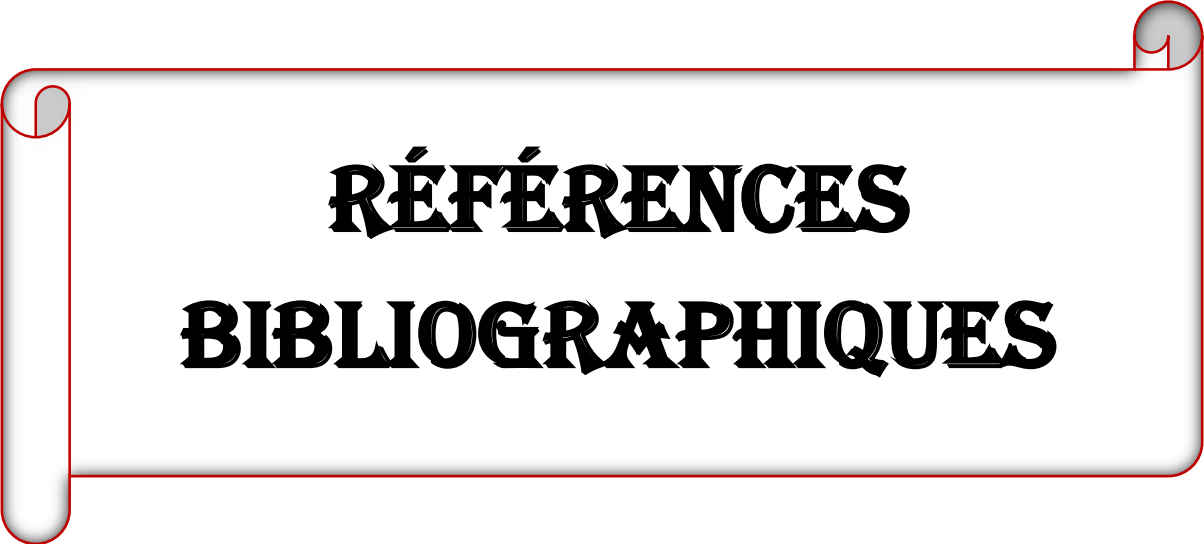
L'étude de l'activité antibactérienne s'est avérée très intéressante sur *Staphylococcus aureus* MU 50 pour l'extrait et l'huile avec des zones d'inhibition de diamètres entre 13 mm et 27 mm respectivement. Par contre l'activité antifongique était nulle.

L'activité insecticide sur l'espèce *Tribolium castaneum* a montré un taux de répulsion très élevé par contre aucun effet n'a été constaté pour le test d'inhalation.

A la lumière des résultats obtenus dans cette étude on peut conclure que *Zingiber officinale* est une source considérable de biomolécules, dotée d'activité antibactérienne et insecticide très importantes.

Dans ce contexte, nous proposons comme perspectives :

- Etudier l'effet antivirale, antioxydant et anti-inflammatoire de la plante.
- Tester l'HE sur une large gamme de microorganismes (bactérie et champignon) d'intérêt médical
- Etudier la partie aérienne de *Zingiber Officinale*



**RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références bibliographiques



- Abbot W.S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Ent.*, 18, pp 265-267.
- Abd El-Baky HH, El-Baroty GS. (2008). Chemical and biological evaluation of the essential oil of Egyptian Moldavian balm. *Int. J. Essential Oil Therap.*, 2: 76-81.
- Abd Kadir, S. L., Yaakob, H., Sabran, S. F., & Ramli, N. S. (2017). Phenolic composition, antioxidant, anti-wrinkles and tyrosinase inhibitory activities of cocoa pod extract. *Food Chemistry*, 221, 1031-1038. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.11.010
- Abdalla WE, Abdallah EM. Antibacterial Activity of Ginger (*Zingiber Officinale* Rosc.) Rhizome: A Mini Review. *Int J Pharmacogn Chinese Med [Internet]* 2018;2(4):000142. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/325999178>
- Abdel-Moneim A, Morsy BM, Mahmoud AM, Abo-Seif MA, Zanaty MI. Beneficial therapeutic effects of *Nigella sativa* and/or *Zingiber officinale* in HCV patients in Egypt. *Excli J.* 2013, 12, 943–955.
- Aboubakar HA, Nauertz A, Luong NT, Agrawal S, El-Sohaimy SAA, Youssef MM, Goyal SM. In vitro antiviral activity of clove and ginger aqueous extracts against feline calicivirus, a surrogate for human norovirus. *J Food Prot.* 2016, 79(6), 10011012.
- AFNOR (1986). Association française de normalisation Recueil de norme française des fruits et produits dérivés AFNOR 3 ED, Paris.
- AFNOR (2000). Huiles essentielle, échantillonnage etb méthodes d'analyse monographie relatives aux huiles essentielles (Tome 2)
- AFNOR: T 75-112
- Akoachere JF, Ndip RN, Chenwi EB. (2002). Antibacterial effect of *Zingiber officinale* and *Garcinia kola* on respiratory tract pathogens. *East Afr Med J.* 79(11):588-92 2002.
- Amalraj A, Haponiuk JT, Thomas S, Gopi S. Preparation, characterization and antimicrobial activity of polyvinyl alcohol/gum arabic/chitosan compositefilms

## Références bibliographiques

incorporated with black pepper essential oil and ginger essential oil. International Journal of Biological Macromolecules. 2020;151:366–375

- Amari N. (2014). Etude du choix de ponte de la bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* en présence de différentes variétés d'haricot et de pois chiche, et influence de quelques huiles essentielles (Cèdre, Ciste, Eucalyptus) sur activité biologique de l'insecte. mémoire de magistère.
- ANGELINI D.R., JOCKUSCH E.L., 2008. Relationships among pest flour beetles of the genus *Tribolium* (Tenebrionidae) inferred from multiple molecular markers. *Mol Phylogenet Evol*; 46.
- Aniszewski, T. 2007. *Alkaloids-Secrets of Life: Alkaloid Chemistry, Biological Significance, Applications and Ecological Role*. Elsevier.
- Anne Butin. *Le gingembre: de son utilisation ancestrale à un avenir prometteur*. Sciences pharmaceutiques. 2017. hal-01932085
- Anonyme1 : Angiosperm Phylogeny Website. Zingibérales. (En ligne) disponible sur : <http://www.mobot.org/mobot/research/apweb/orders/zingiberalesweb.htm>
- Appert J., 1992 a. le stockage des produits vivriers et semenciers. Ed .Maisonneuve et Larose , Paris, 110 p.
- Atarés L and A Chiralt (2016) Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends in food science & technology* 48: 51-62.
- ATEFBEIBU E.S.I., 2002-Contribution à l'étude des tanins et de l'activité antibactérienne de *Acacia Nilotica* Var *Adansonii*. Thèse de doctorat. Université Cheikh Anta Diop. Dakar, Sénégal. 37 p.

## B

- Bahaz M. et Rachdi H.(2010).Quantification des principes actifs (Les composés phénoliques) de *Rhazinolepis Lonandoides* Coss (Tichert). Thèse d'ingénieur, Université de Ouargla, Algérie, 54p.

## Références bibliographiques

- BAHORUN T., GRESSIERB., TROTINF., BRUNETC., DINET., LUYCKXM., VASSEURJ., CAZINM., CAZINJ. C., PINKASM., 1996-Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Arznei. Forschung*. Vol. (46): 1086-1089.
- Bakkali, F., S. Averbeck, D. Averbeck, and M. Idaomar. 2008. Biological effects of essential oils. *Rev. Food. Chem. Toxicol.* 46(2):446–475. doi: 10.1016/j.fct.2007.09.106.
- Balasundram, N., K. Sundram and S. Samman. 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence and potential uses. *Food Chem.* 99: 191–203.
- Baliga MS, Haniadka R, Pereira MM, Thilakchand KR, Rao S, Arora R. Radioprotective effects of *Z. officinale* Roscoe (ginger): past, present and future. *Food Funct.* 2012 Jul, 3(7), 714-723
- Baser K.H.C., Buchbauer G. *Handbook of essential oils : science, technology and applications*. CRC Press (2009). 1ère éd. 991p.
- Baxter, H., J. B. Harborne and G. P. Moss. 1998. *Phytochemical Dictionary: A Handbook of Bioactive Compounds from Plants*. CRC press
- Beaulieu, J. C. and Baldwin, E. A. 2002. Flavor and Aroma of Fresh-Cut Fruits and Vegetables, *Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Science, Technology, and Market*. CRC Press, 391-425.
- Bekele AJ., Obeng-Ofori D. & Hassanali A., (1996). Evaluation of *Ocimum suave* (Willd) as a source of repellent, toxicants and protectants in storage against three stored product insect pests. *Int. J. Pest Manage.* 42(2): 139-142.
- BENBRINISS., 2012-Evaluation des activités antioxydante et antibactérienne des extraits de *Santolinachamaecyparissus*. Thèse de Magister en biochimie. UniversitéFerhat Abbas-Sétif. Algérie. 84p.
- Bhattacharya, S., Chatterjee, S., & Bhattacharya, D. K. (2011). Evaluation of different quality parameters of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) rhizomes. *International Journal of Pharma Sciences and Research (IJPSR)*, 2(3), 73-76.

## Références bibliographiques

- Boizot N. et Charpentier J.P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composé phénolique des organes d'un arbre foustier. Le cahier des techniques de l'Inra, P79.82p. (cited in Djemai zoueglach S, 2008).
- BOLEV, V. 2014. Bug guide. Species *Tribolium castaneum*. Iowa State University, Department of Entomology. Accessed at <http://bugguide.net/node/view/478936>.
- BONNETON F., 2010. The beetle by the name of *Tribolium* Typology and etymology of *Tribolium castaneum* Herbst, 1797. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 38, description
- Bouda H., Taponjou L. A., Fontem D. A. & Gumedzoe M. Y. D., 2001. Effect of essential oils from leaves of *Ageratum conyzoides*, *Lantana Camara* and *Chromolaena odorata* on the mortality of *Sitophilus zeamais*(Col.: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, 37: 103-109.
- Brown AC, Shah C, Liu J, Pham JT, Zhang JG, Jadus MR. Ginger's (*Zingiber officinale* Roscoe) inhibition of rat colonic adenocarcinoma cells proliferation and angiogenesis in vitro. *Phytother Res*. 2009. 23, 640-645.
- Brown M., Herbert A.A. (1997). Insect repellents: an overview. *J. Am. Acad. Dermatol.* 36:243-249.
- Bruneton J, 1993. *Pharmacognosie et phytochimie plantes médicinales*. Paris, France: Lavoisier. 278 - 279p.
- Burt S. Essential oils : their antibacterial properties and potential applications in food - a review. *International journal of food microbiology*, 94 : 223-253, 2004

## C

- CALMONT, B., ET SOLDATI, F. (2008). Découverte de *Tribolium madens* (Charpentier, 1825) dans le département du Puy-de-Dôme (France) ; clé de détermination et distribution des espèces du genre *Tribolium* en France. *Research Gate*. T. XVII (2).
- CAMARA A., 2009-Lutte contre *Sitophilus oryzae* L. (coleoptera: curculionidae) et *Tribolium castaneum*herbst (Coleoptera: Tenebrionidae) dans les stocks de riz par la

## Références bibliographiques

technique d'étuvage traditionnelle pratiquée en basse-guinée et l'utilisation des huiles essentielles végétales. Thèse. Doctorat., Univ., Québec, Montréal.

- CAMPBELL, J.F., HAGSTRUM, D.W. (2002). Patch exploitation by *Tribolium castaneum*: movement patterns, distribution, and oviposition . *Journal of Stored Products Research*, 38 (2002).
- Castleman M (2001) *The new healing herbs*, 2nd edn. Rodale Press, Pennsylvania
- Chang JS, Wang KC, Yeh CF, Shieh DE, Chiang LC. Fresh ginger (*Zingiber officinale*) has anti-viral activity against human respiratory syncytial virus in human respiratory tract cell lines. *Journal of Ethnopharmacology*, 2013, 145(1), 146-151.
- Chang Y, Liu C, Wu C, Chiang C, Lian J, Hsieh S. Dietary administration of zingerone to enhance growth, non-specific immune response, and resistance to *Vibrio alginolyticus* in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) juveniles. *Fish and Shellfish Immunology*. 2012;32: 284-290.
- CHAO S.C., YOUNG D.G. et OBERG G. J., 2000 : Screening for Inhibitory Activity of Essential Oils on Selected Bacteria, Fungi and Viruses. *J. Essent. Oil Res.*, Vol. 12 (Sep/Oct 2000), pp : 639-649
- Chavassieux D. *Les huiles essentielles en protection des cultures ? Analyse et Enquêtes*. Institut Technique de l'Agriculture Biologique (ITAB). 2014
- Chen BH, Wu PY, Chen KM, Fu TF, Wang HM, Chen CY. Anti-allergic potential on RBL-2H3 cells of some phenolic constituents of *Zingiber officinale* (Ginger). *J Nat Prod*. 2009. 72, 950-953.
- CHRISTINE, B., 2001. *Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux, guide pratique*. 2ième Edition.
- Clarke, E. G. C. 1970. *The Forensic Chemistry of Alkaloids, in the Alkaloids*. Vol. XII. Edited by Manske, H. F. New York: Academic Press, 514-590.
- CLIFFORD TREVOR, H., BOSTOCK, P. D. (2007). *Etymological Dictionary of Grasses*. New York: Springer –Verlagheidelberg.
- Conner DE (1993). Natural occurring compounds. In: *Antimicrobial in food*, Davidson P. M.; Branan A. L. (eds.). Marcel Dekker Inc., NewYork, pp. 441-468.

## Références bibliographiques

- Craig, W. J. 1999. Health-promoting properties of common herbs. *Am. J. Clin. Nutr.* 70: 491s–499s.

### D

- *DAJOZ, R. (2010). Dictionnaire D'entomologie. Paris : Tec & Doc. 348 p*
- Delarras C. (2007). Microbiologie pratique pour le laboratoire d'analyse ou de contrôle sanitaire. Technique et documentation. Lavoisier, Paris.
- DELOBEL, A., TRAN, M. (1993). Les coléoptères des denrées entreposées dans les régions chaudes. Paris: IRD édition.
- Doumandji S. E., 1983. Insectes des denrées stockées. Fiche technique N°2, 5p.

### E

- Ebadollahi A., Safaralizadeh M.H. & Pourmirza A.A., 2010b. Fumigant toxicity of essential oils of *Eucalyptus globulus* Labill and *Lavandula stoechas* L. grown in Iran, against the two coleopteran insect pests; *Lasioderma serricorne* F. and *Rhyzopertha dominica* F. *Egypt. J. Biol. Pest. Con.* 20 (1): 1–5.
- El-Baroty, GS, Abd El-Baky, HH, Farag, RS, and Saleh MA. (2010). Characterization of antioxidant and antimicrobial compounds of cinnamon and ginger essential oils. *African Journal of Biochemistry Research*, 4(6); 167-174
- El-Wahab AA, El-Adawi H, El-Demellawy M. In-vitro study of the antiviral activity of *Zingiber Officinale*. *Planta Med.* 2009, 75PF7
- Emad MA. Plants: An alternative source for antimicrobials. *Journal of Applied Pharmaceutical Science.* 2011;01(06): 16-20.
- Emmanuel T, Aristide B, Leopold T, Benoît NM, Joseph MT. Phytochemical screening, chemical composition and antimicrobial activity of *Zingiber officinale* essential oil of

## Références bibliographiques

Adamaoua region (Cameroon). Journal of Chemical and Pharmaceutical Research. 2013;5(7):296-301.

### F

- Faivre Cl, Lejeune R, Staub H, Goetz P.(2006) :Zingiber officinale Roscoe. Phytothérapie ; 4(2): 99-102
- Falleh H., Ksouri R., Chaieb K., Karray-Bouraoui N., Trabelsi N., Boulaaba M. et Abdelly C. (2008). Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities. *C. R. Biologies*, 331: 372-9.
- Farag, R.S, Daw, Z Y, Abo-Raya S H. (1989b). Influence of some essential oils on *Aspergillus parasiticus* growth and aflatoxin production in a synthetic medium, *J. food Sci.*, 54: 74-67.
- Fernandez X., Chemat F. La chimie des huiles essentielles. Editions Vuibert 2012). 288p.
- FERRER, J. (1995) . A key to the Flour beetles of the genus *Tribolium* Macleay in Sweden (Coleoptera, Tenebrionidae), with distributional notes. *Ent. Tidskr.* 116 :123
- Festy D. 2011. Les huiles essentielles ça marche ! Avec 78 formules à commander en pharmacie, S. Leduc (Ed.), 22-26, ISBN: 978-2- 84899-316-4.
- FLEURAT-LESSARD, F. (2011). Détermination des facteurs de transfert des résidus de pesticides des céréales traitées aux produits transformés par une approche expérimentale a priori [présentation], INRA, 11/06/2011 paris
- Fleuriet A., Jay-Allemand C., Macheix J.J., 2005. Composés phénoliques des végétaux un exemple des métabolites secondaires d'importance économique. Presses polytechniques et universitaires romandes pp 121-216.
- Franchomme P., Pénéol D. L'aromathérapie exactement. Encyclopédie de l'utilisation thérapeutique des huiles essentielles. Roger Jollois (2001). 445p
- Furet A., Bellenot D. Les huiles essentielles dans la protection des cultures: une voie en cours d'exploration. Institut technique interprofessionnel des plantes médicinales, aromatiques et industrielles (ITEIPMAI). 2013

## Références bibliographiques

### G

- Garneau F.X. Huiles essentielles : de la plante à la commercialisation - Manuel pratique. Corporation Laseve, Université du Québec à Chicoutimi (2005). 185p
- GARNERO J., 1996 : Huiles essentielles. Techniques de l'ingénieur K345 pp 1-45.
- Gershenzon, J., and Dudareva, N. 2007. "The Function of Terpene Natural Products in the Natural World." *Nature Chemical Biology* 3 (7): 408-14.
- Ghasemzadeh, A., Jaafar, H. Z., Rahmat, A., & Ashkani, S. (2015). Secondary metabolites constituents and antioxidant, anticancer and antibacterial activities of *Etilingera elatior* (Jack) R.M.Smith flowers. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 15, 335. doi: 10.1186/s12906-015-0848-9
- Gigon F. (2012) : Le gingembre, une épice contre la nausée. *Phytotherapie* ; 10(2) :87-91.
- Giweli, A. A., Džamić, A. M., Soković, M., Ristić, M., Janačković, P., and Marin, P. 2013. "The Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activities of the Essential Oil of *Salvia fruticosa* Growing Wild in Libya." *Archives of Biological Sciences* 1 (65): 321-9.
- González, C. S. M. 2002. Compuestos polifenólicos: estructura y clasificación: Presencia en alimentos y consumo: biodisponibilidad y metabolismo. *Alimentaria* 329: 19-28.
- Govindarajan, V. S. (1982a) Ginger – chemistry, technology, and quality evaluation: part 1. *Crit Rev Food Sci Nutr* . 17:1-96.
- Govindarajan, V. S. (1982b) Ginger – chemistry, technology, and quality evaluation: part 2. *Crit Rev Food Sci Nutr* .17:189-258.
- Grzanna R, Lindmark L, Frondoza CG. Ginger an herbal medicinal product with broad anti-inflammatory actions. *J med Food*. 2005. 8(2), 125-132.
- Güçlü-Üstündağ, Ö., and Mazza., G. 2007. "Saponins: Properties, Applications and Processing." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 47 (3): 231-58.
- GUENTHER E., 1949 : The essential oils. D. Van Nostrand Co., New York, N.Y.

## Références bibliographiques

- GUEYE, M .T. SECK, D., WATHELET, J .P., LOGNAY ,G. (2011). Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale : Synthèse bibliographique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 15(1).194
- Gurbuz I., Yesilada E., Ito S., 2009. An anti-ulcerogenic flavonol diglucoside from *Equisetum palustre* L. *Journal of Ethnopharmacology* 121: 360 -365.

## H

- Habib SH, Makpol S, Abdul HNA, Das S, Ngah WZ, Yusof YA. Ginger extract (*Zingiber officinale*) has anti-cancer and anti-inflammatory effects on ethionineinduced hepatoma rats. 2008. 63(6), 807813.
- HAINES, C. P. (1991). *Insects and arachnids of tropical stored products: their biology and identification (a training manual)*.
- Haksar A, Sharma A, Chawla R, Kumar R, Arora R, Singh S, Prasad J, Gupta M, Tripathi RP, Arora MP, Islam F, Sharma RK. *Zingiber officinale* exhibits behavioral radioprotection against radiation induced CTA in a gender specific manner. *Pharmacol Biochem Behav.* 2006 June, 84(2), 179-188.
- Hamad H. Al Mamari. *Phenolic Compounds: Classification, Chemistry, and Updated Techniques of Analysis...* DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.98958>.2021.
- Harborne, J. 1989. General procedures and measurement of total phenolics. pp. 1–28. In: J. B. Harborne (ed.). *Methods in Plant Biochemistry*. Academic Press, London.
- Hassanali A., Lwande W., Ole-Sitayo N., Moreka L., Nokoe S. & Chapya A., (1990). Weevil repellent constituents of *Ocimum suave* leaves and *Eugenia caryophyllata* cloves as grain protectants in parts of Eastern Africa. *Discovery Innov.*, 2: 91-95.
- Hinneburg I, Damien Dorman H, Hiltunen R (2006). Antioxidant activity Of extracts from selected culinary herbs and spices. *Food Chem.*, 97 : 122-129
- Hitara T., Fujii M., Akita K., Yanaka N., Ogawa K., Kuroyanagi M., Hongo D., 2009. Identification and physiological evaluation of the components from Citrus fruits as potential drugs for anti-obesity and anticancer. *Bioorganic & Medicinal Chemistry* 17: 25- 28.

## Références bibliographiques

- Ho, C. -T. 1992. Phenolic compounds in food. pp. 2–7. Phenolic Compounds in Food and their Effects on Health I. ACS Symposium Series. American Chemical Society. Washington, DC.
- Hung JY, Hsu YL, Li CT, Ko YC, Ni WC, Huang MS, Kuo PL. 6-shogaol an active constituent of dietary ginger, induces autophagy by inhibiting the AKT/mTOR pathway in human non-small cell lung cancer A 549 cells. J Agri Food Chem. 2009. 57(20), 9809-9816.

### I

- Imanishi N, Andoh T, Mantani N, Sakai S, Terasawa K, Shimada Y, Sato M, Katada Y, Ueda K, Ochiai H. Macrophage mediated inhibitory effect of ingiber officinale Rosc, a traditional oriental herbal medicine, on the growth of influenza A/Aichi/2/68 virus. 2006. 34(1), 157-169.
- Ishiguro K, Ando T, Maeda O, Ohmiya N, Niwa Y, Kadomatsu K, Goto H. Ginger ingredients reduce viability of gastric cancer cells via distinct mechanisms. Biochem Biophys Res Commun. 2007. 362(1), 218223.
- Ito C., Itoigawa M., Onoda S., Hosokawa A., Ruabgrungsi N., Okuda T., Tokuda H., Nishino H. Furukawa H., 2005. Chemical constituents of *Murraya siamensis*: three coumarins and their anti- tumor promoting effect. Phytochemistry 66: 567 -572.
- Ivami Emeka C. 2006 – 2007 Inhibition de l'Aspergillus par l'acide acétique, Mémoire d'Ingénieur, faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Kinshasa, Travail de Fin de Cycle, inédit, 33p.

### J

- Janaki C, Sailatha E, Gunasekaran S. Synthesis, Characteristics and Antimicrobial activity of ZnO nanoparticles, Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy; 2015.
- Jeong CH, Bode AM, Pugliese A, Cho YY, Kim HG, Shim JH, Jeon YJ, Li H, Jiang H, Dong Z. 6-gingerole suppresses colon cancer growth by targeting leukotriene A4 hydrolase. Cancer Res. 2009. 69(13), 55845591.

## Références bibliographiques

- Julianny RiveraCalo, Philip G Crandall, Corliss A O'Bryan, Steven C Ricke (2015) Essential oils as antimicrobials in food systems—A review. *Food Control* 54: 111-119.
- Jung HW, Yoon CH, Park KM, Han HS, Park YK. Hexane fraction of *Zingiberis Rhizoma crudus* extract inhibits the production of Nitric oxide and proinflammatory cytokines in LPSstimulated BV2 microglial cells via the NF kappa B pathway. *Food Chem Toxicol.* 2009, 47, 1190-1197.
- Justin Kabera. 2014. *Plant Secondary Metabolites: Biosynthesis, Classification, Function and Pharmacological Classification, Function and Pharmacological Properties.*

## K

- Kabuto H, Nishizawa M, Tada M, Higashio C, Shishibori T, Kohno M. Zingerone [4-(4hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-butanone] prevents 6-hydroxydopamine depression in mouse striatum and increases superoxide scavenging activity in Serum. *Neurochem Res.* 2005. 30(3), 325-332.
- Kaloustian J., Hadji-Minaglou F. *La connaissance des huiles essentielles. Qualitologie et aromathérapie.* Springer (2012). 210p
- Karande P., Mitragotri S. Enhancement of transdermal drug delivery via synergistic action of chemicals. *Biochimica and biophysica acta*, 1788 (11) : 2362 – 2373, 2009
- Kemper (1999) *Ginger.* The Longwood Herbal Task Force and The Center for Holistic Pediatric Education and Research, pp 1–18
- Khasa M., 2006 *Inhibition de l'Aspergillus flavus par l'acide propionique*, Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Kinshasa Travail de Fin de Cycle, inédit, 33p.
- Kim BR., Nam HY., Kim SU., Kim SI & Chang YJ., 2003. Normalization of reverse transcription quantitative-PCR with housekeeping genes in rice. *Biotechnology Letters* 25, 1869–1872
- Kim M, Miyamoto S, Yasui Y, Oyama T, Murakami A, Tanaka T. Zerumbone, a topical ginger sesquiterpene, inhibits colon and lung carcinogenesis in mice. *Int J Cancer.* 2009. 124, 264-271.

## Références bibliographiques

- King, A. M. Y. and G. Young. 1999. Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals. *J. Am. Diet. Assoc.* 99: 213–218.
- Ko K., Juntarajumnong W., Chandrapatya A., 2009. Répulsivité, fumigant et de contact toxicités de *Litsea cubeba* (Lour.) Persoon contre de *Sitophilous Motschulsky* et *Tribolium castaneum* de Herbst. *Kasetsart J. Nat. Science.* 43, 56-63.
- Koch C, Reichling J, Schnee J, Schnitzler P. Inhibitory effect of essential oils against herpes simplex virus type 2. *Phytomedicine.* 2008, 15(1), 71-78.
- Kubata BK., Nagamune K., Murakami N, Merkel P., Kabututua Z., Martin SK., Kalulug TM., Mustakuk H., Hoshida M., Ohnishi-kameyama M., Kinoshita T., Duszenko M., Uradea Y., 2005. Kola acuminate proanthocyanidins: a class of antitrypanosomal compounds effective against trypanosome brucei. *International Journal for Parasitology* 35: 91- 103.

## L

- Lee HS, Seo EY, Kang NE, Kim WK. 6gingerol inhibits metastasis of MDA-MB231 human breast cancer cells. *J Nutr Biochem.* 2008. 19, 313-319.
- Leistner, L., & Gould, G. W. (2002). *Hurdle technologies: combination treatments for food stability, safety and quality.* Springer Science & Business Media.
- Leung AY. (1984). *Chinese Herbal Remedies;* Universe Books; New York
- LEPESME P., 1944-*Les coléoptères des denrées alimentaires et des produits industriels entreposés* Ed. Chevalier., Paris, 335p
- LERANT, P. (2015).*Les insectes : Histoires insolites.* Versailles : Quae.
- Liu L, Shao W, Lin G. Microcalorimetry studies on the antimicrobial actions of volatile oil of dry ginger. *J Therm Anal Calorim.* 2012;107(2):831–5. <https://doi.org/10.1007/s10973-011-1589-3>.

## Références bibliographiques

- Llana-Ruiz-Cabello M, Pichardo S, Maisanaba S, Puerto M, Prieto AI, et al. (2015) In vitro toxicological evaluation of essential oils and their main compounds used in active food packaging: a review. *Food and Chemical Toxicology* 81: 9-27.
- Luyila M. M 2005 – 2006 Action inhibitrice de l'acide acétique sur le développement de l'*Aspergillus flavus* responsable de la toxicité de quelques aliments consommés en RD Congo. Mémoire de Licence, ISP/Gombe, inédit, 43p.

## M

- Mahmoud MF, Diaai AA, Ahmed F. Evaluation of the efficacy of ginger, Arabic gum and boswellia in acute and chronic renal failure. 2012. 34(1), 73-82.
- Makuba I., 2006 – 2007 Effets inhibiteurs des extraits de *Muringa oléifera* et de *Citrus grandis* sur le développement de l'*Aspergillus flavus* et sur la production des alatoxinesm T.F.E., ISAV/KIMWENZA, inédit, 35p.
- Manima P., 2004 – 2005 Contribution à la lutte microbiologique contre les Aflatoxines –Antagonisme entre *Aspergillus flavus* et *propionibacterium*, Mémoire d'Ingénieur, Faculté des SciencesAgronomiques de l'Université de Kinshasa, inédit, 29p.
- Manju V, Nalini N. Chemoprotective efficacy of ginger, a naturally occurring anticarcinogen during the initiation, postinitiation stages of 1,2 dimethylhydrazine induced colon cancer. *Clin Chim Acta*. 2005. 358(1-2), 60-67.
- Mao QQ, Xu XY, Cao SY, Gan RY, Corke H, Beta T, Li HB. Bioactive compounds and bioactivities of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Foods*. 2019, 8(185), 1-21.
- Maryam Nazari, Babak Ghanbarzadeh, Hossein Samadi Kafil, Mahdi Zeinali, Hamed Hamishehkar (2019) Garlic essential oil nanophytosomes as a natural food preservative: Its application in yogurt as food model. *Colloid and Interface Science Communications* 30: 100176.
- Mashadi NS, Ghiasvand R, Askari G, Hariri M, Darvishi L, Mofid MR. Anti-oxidative and anti-inflammatory effects of ginger in health and physical activity. Review of current evidence. *Int J Prev Med*. 2013. 4(Suppl 1), S36-S42.

## Références bibliographiques

- MAURICE N., 1997-L'herboristerie d'antan à la phytothérapie moléculaire du XXIe siècle. Ed. Tec et Doc, Paris. France. Pp 12-14.
- Mc Donald L.L., Guy R.H. et Speirs, R.D. (1970). Preliminary evaluation of new candidate materials as toxicants, repellents and attractants against stored product insects. Marketing Research Report Number882 (Washington: Agricultural Research, Service, US Department of Agriculture pp. 8.
- Meenakshi Kumari, Shashank S. Solankey, Manoj Kumar. Zingiber officinale Roscoe: Ginger 2020 en ligne disponible sur: <https://www.researchgate.net/publication/346151665>
- Miceli N., Buongiorno L.P., Celi M.G., Cacciola F., Dugo P., Mondello L., Bonaccorsi I. et Taviano M.F. (2016). Role of the flavonoid- rich fraction in the antioxidant and cytotoxic activities of *bauhinia forficata* Link. (Fabaceae) leaves extract. Nat. prod. Res. 30, 1229-1239. [CrossRef] [PubMed].
- Mohaddese Mahboubi, Zingiber officinale Rosc. essential oil, a review on its composition and bioactivity. (2019). 5:6 <https://doi.org/10.1186/s40816-018-0097-4>
- MÖLLER K., 2008 : La distillation à l'alambic, un art à la portée de tous. Editorial UNICO. 152 P.
- Moreira M., Ponce A., Del Valle C., Roura S., 2005. Inhibitory parameters of essential oils to reduce a foodborne pathogen. LWT- Food Science and Technology, 38(5): 565-570.
- MOULIN J.-P., PAREAU D., RAKIB M. et STAMBOULI M., 2002 : Transfert de matière. Extraction liquide – liquide. Techniques de l'ingénieur J1073, pp : 1 – 13.
- Muhuruka B., 2005, Effet de l'acide acétique sur le développement de l'Aspergillus flavus et la production de l'Aflatoxine, TFC Faculté des Sciences Agronomiques, UNIKIN, inédit, 27p.
- Myers, P., R. ESPINOSA, C. S. PARR, T. JONES, G. S. HAMMOND, and T. A. DEWEY. 2016. The Animal Diversity Web (online). Accessed at <http://animaldiversity.org>.

## Références bibliographiques

- Nair R, Chanda S. (2005). Antibacterial activity of *Punica granatum* exhibited in different solvents. *Ind. J. Pharm, Sci*, 67: 239-243.
- NFV 05-101., (1974). Produit dérivent des fruits et légumes. Détermination de l'acidité titrable.
- NFV 05-108., (1970). Produit de l'agriculture. Produit dérivés des fruits et légumes. Détermination conventionnelle du potentiel hydrogène.
- NFV 05-113., (1972). Détermination des cendres totales, Vol 49, n°4,0289-0298
- Nicolaou, K. C., Jason S. Chen, and Elias James Corey. 2011. *Classics in Total Synthesis. Further Targets, Strategies, Methods III III*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Nigam N, Bhui K, Prasad S, George J, Shukla Y. 6-gingerol induces reactive oxygen species regulated mitochondrial cell death pathway in human epidermoid carcinoma A431 cells. *Chem Biol Interact*. 2009. 181(1), 77-84.
- Nikolić M, Vasić S, Đurđević J, Stefanović O, Čomić L. Antibacterial and Anti-Biofilm Activity of Ginger (*Zingiber officinale* (Roscoe)) Ethanolic Extract. *Kragujevac J. Sci*. 2014;36: 129-136.

## O

- Okamura H, Mimura A, Yakou Y, Niwano M, Takahara Y, 1993. Antioxidant activity of tannins and flavonoids in *Eucalyptus rostrata*. *Phytochemistry* 33: 557-561.

## P

- Papachristos D.P. et Stamopoulos D.C. (2002). Repellent, toxic and reproduction inhibitory effects of essential oil vapours on *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Stored Products Research*, 38:117-128.
- Parasad S, Tyagi AK. (2015). Ginger and its constituents: role in prevention and treatment of gastrointestinal cancer. In *Gastroenterology Research and Practice*, 2015
- Perez C., Paul M., Bazerque P. (1990). An antibiotic assay by the agar well diffusion method. *Acta Biol. Med. Exp*, 15: 113-115.

## Références bibliographiques

- PEYRON L., 1992 : Techniques classiques actuelles de fabrication des matières premières naturelles aromatiques. Chapitre 10, pp 217 – 238. Cité In : Les arômes alimentaires. Coordinateurs RICHARD H. et MULTON J.-L. Ed. Tec & Doc-Lavoisier et Apria. 438 p
- Pinson C. Curcuma et gingembre – un concentré de bienfaits pour votre santé et votre beauté. Eyrolles Ed. 2012. p 35
- Polt. R.L. 1995. Method for Making Amino Acid Glycosides and Glycopeptides, U.S. Patent No. 5,470,949. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office
- Porter, L. J. 1989. Tannins. pp. 389–419. In: J. B. Harborne (ed.). Methods in Plant Biochemistry. Academic Press. produits alimentaires. Projet de thèse de doctorat en Sciences agronomiques.

## R

- Ramakrishna Pai Jakribettu, Raghavendra Haniadka, Rekha Bolor, Manoj Rai. Ginger (Zingiber officinale Rosc.) Oils 2016 en ligne disponible sur : <https://www.researchgate.net/publication/301257332>
- Rhode J, Fogoros S, Zick S, Wahl H, Griffith KA, Huang J, Liu JR. Ginger inhibits cell growth and modulates angiogenic factors in ovarian cancer cells. BMC Complement Altern Med. 2007. 7,44.
- RICHARDS et al., 2008. The genome of the model beetle and pest tribolium castaneum nature. 452: 949–55. [Google scholar]. ROBINSON (2005), Urban Insect and Arachnids: A Handbook of Urban Entomology. Cambridge: Cambridge University Press. 472p.
- Robards, K., P. D. Prenzler, G. Tucker, P. Swatsitang and W. Glover. 1999. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. Food Chem. 66: 401–436.
- Robin Deschepper. Variabilité de la composition des huiles essentielles et intérêt de la notion de chémotype en aromathérapie. Sciences pharmaceutiques. 2017.
- ROBINSON, W. H. (2005). Urban Insects and Arachnids: A Handbook of Urban.

### **S**

- Sahoo M, Jena L, Rath SN, Kumar S. Identification of Suitable Inhibitor against Influenza A (H1N1) Neuraminidase Protein by Molecular Docking. *Genomics and Informatics*. 2016, 14(3), 96-103.
- SANAGO R., 2006. Le rôle des plantes médicinales en médecine traditionnelle. Université Bamako(Mali): 53.
- Sannomiya M., Fonseca V B., Da silva M A., Rocha LRM. Dos Santos L C, Hiruma-Lima C A., Brito A R M S, Vilegas W., 2005. Flavonoids and antiulcerogenic activity from *Byrsonima crassa* leaves extracts. *Journal of Ethnopharmacology* 97: 1- 6.
- Saurabh Pagare, Manila Bhatia, Niraj Tripathi, Sonal Pagare and Y.K. Bansal .Secondary Metabolites of Plants and their Role: Overview . 2015
- Sayyad, S. F., Chaudhari, S. R. (2010). Isolation of Volatile Oil from Some Plants of Zingiberaceae Family and Estimation of Their Antibacterial Potential. *J Curr Pharma Res*. 4: 1-3
- Scalbert, A. and G. Williamson. 2000. Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *J. Nutr*. 130: 2073S–2085S.
- Schnitzler P, Koch C, Reichling J. Susceptibility of drug resistant clinical Herpes simplex virus type 1 strains to essential oils of ginger, thyme, hyssop and sandalwood. *Antimicrob Agents Chemother*. 2007.
- SECK, D. 1992. Importance économique et développement d'une approche de lutte intégrée contre les insectes ravageurs des stocks de maïs, mil et niébé en milieu paysan Proceedings deuxième séminaire sur la lutte intégrée contre les ennemis des cultures vivrières dans le Sahel, Bamako (Mali), 2-4 Janvier 1990.
- Selçuk Yildirim, Bettina Röcker, Marit Kvalvåg Pettersen, Julie Nilsen-Nygaard, Zehra Ayhan, et al. (2018) Active packaging applications for food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17: 165-199.

## Références bibliographiques

- Sharma A, Haksar A, Chawla R, Kumar R, Arora R, Singh S, Prasad J, Islam F, Arora MP, Sharma RK. Zingiber officinale Rosc modulates gamma radiation induced conditioned taste aversion. Pharmacol Biochem Behav. 2006 August, 81(4), 864870.
- Sharmin, F., Nahar, K., & Jahan, S. (2017). Quality assessment of ginger (Zingiber officinale Roscoe) in Bangladesh market. Food science & nutrition, 5(3), 492-498.
- Sharmin, F., Nahar, K., & Jahan, S. (2017). Quality assessment of ginger (Zingiber officinale Roscoe) in Bangladesh market. Food science & nutrition, 5(3), 492-498.
- Shirin Adel PR, Prakash J. (2010). Chemical composition and antioxidant properties of ginger root (Zingiberofficinale) . J. Med. Plants Res. 4(24), 2674-2679
- Shon H Y, Son K H, Kwon C S, Kang S S. , 2004. Antimicrobial and cytotoxic activity of 18 prenylated flavonoids isolated from medical plants: Morus alba Echinosophara koreesis Nakai. Phytomedicine 11: 666 - 672.
- Side Larbi, K., 2016. Potentiel du contenu polyphénolique et huiles essentielles de quelques plantes médicinales à activités anticartilagineuse et biologiques. Thèse de Doctorat.
- Simionato I, Domingues FC, Nerín C, Silva F (2019) Encapsulation of cinnamon oil in cyclodextrin nanosponges and their potential use for antimicrobial food packaging. Food and Chemical Toxicology 132: 110647.
- Singleton V.L. et Rossi J.A (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. American Journal of Technology and Viticulture, 16, 144-153.
- Singleton V.L. et Rossi J.A (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. American Journal of Technology and Viticulture, 16, 144-153.
- Sinha GK, Gulati BC. (1990). Antibacterial and antifungal study of some essential oils and some of their constituents., Indian Perfum. 34:204-208
- Smyth T; Ramachandran V. N.; Smyth W. F., 2009. A study of the antimicrobial activity of selected naturally occurring and synthetic coumarins. International journal of antimicrobial agents 33: 421 - 426.

## Références bibliographiques

- Srivastava A, Shukla YN, Kumar S.(2000). Recent development in plant derived antimicrobial constituents-A Review. *J Med Arom Plant Sci* 22: 349-405.
- Styger, G., Prior, B., and Bauer, F.F. 2011."Wine flavor and Aroma." *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 38 (9): 1145-59.
- Sugumaran, M., & Venkatesan, R. (2020). Exploring the potential of Zingiberaceae plants against COVID-19 through computational investigation: Molecular docking, molecular dynamics simulations, and ADMET studies. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 39(15), 5673-5685. doi: 10.1080/07391102.2020.1792529
- Sung B, Jhurani S, Ahn KS, Mastuo Y, Yi T, Guha S, Liu M, Aggarwal BB. Zerumbone down regulates chemokine receptor CXCR4 Expression Leading to Inhibition of CXCL 12 induced invasion of breast and pancreatic tumor cells. 2008. *68*(21), 8938-8944.
- Sung B, Murakami A, Oyajobi BO, Aggrawal BB. Zerumbone abolishes RANKL induced NF-kappa B activation, inhibits osteoclastogenesis and suppresses human breast cancer induced bone loss in athymic nude mice. *Cancer Res.* 2009. *69*, 1477-1484.
- Sunilson JAJ, Suraj R, Rejitha G, Anandarajagopal K, Anita AV, Kumari G, Promwichit P. In-vitro Antimicrobial Evaluation of Zingiber officinale, Curcuma longa and Alpinia galangal Extracts as Natural Food Preservatives. *American Journal of Food Technology.* 2009;*4*(5):192-200.

## T

- Tang W, Eisenbrand G. 1992. *Drugs of plant origin. Chemistry, Pharmacology and use in Traditional and modern medicine.* Springer Verlag: Berlin.
- Terry R, Posadzki P, Watson LK, Ernst E. The use of ginger (*Zingiber officinale*) for the treatment of pain: a systemic review of clinical trials. *Pain Medicine.* 2011, *12*, 1808-1818.
- Tripoli E., Guardia M L Giammanco S. Di Majo D. Giammanco M., 2007. Review Citrus flavonoids: Molecular structure, biological activity and nutritional properties: *Food chemistry* 104: 466 - 479.

## Références bibliographiques

### U

- Umba, J. M. 2004 Production d'agents anti – fongiques par culture de cellules immobilisées sur supports solides et étude de leur application dans le contrôle des moisissures (productrices d'aflatoxines) contaminant certains

### V

- Vasala, P.A. (2004). Ginger. (ed) Peter, K. V. Handbook of Herbs and Spices Vol 1. Cochin India.
- Velmurugan P, Anbalagan K, Manosathyadevan M, Lee K, Cho M, Lee SM, Park JH, Oh S, Bang K, Oh B. Green synthesis of silver and gold nanoparticles using Zingiber officinale root extract and antibacterial activity of silver nanoparticles against food pathogens. *Bioprocess Biosyst Eng.* 2014;37(10):1935-43.
- Verpoorte, R. 1998, “Exploration of Nature’s Chemodiversity: The Role of Secondary Metabolites as Leads in Drug Development.” *Drug Discovery Today* 3 (5): 232-8.
- Vincenzo Lattanzio, Phenolic Compounds: Introduction, 2013

### W

- Wang, Y., Tang, C., Chen, M., & Huang, W. (2019). Identification and characterization of tannins from the rhizomes of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) by liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry. *Molecules*, 24(11), 2057. doi: 10.3390/molecules24112057
- Warriar, P.K. (1989). Spices in Ayurveda. In: Strategies for Export Development of Spices. Ed. CK George, CR Sivadasan, D Devakaran, KP. Sreekumari, Spices Board, Cochin and International Trade Centre, Geneva, p.28.
- WHO (World Health Organization). Rhizoma Zingiberis. (En ligne) disponible sur : <http://apps.who.int/medicinedocs/en/d/Js2200e/30.html>

## Références bibliographiques

- Wollgast J., Anklam E., 2000. Review on polyphenols in Theobroma cacao: changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. Food Research International 33: 423 - 447.

### Y

- Yemitan OK, Izebu MC. Protective effects of Zingiber officinale (Zingiberaceae) against carbon tetrachloride and acetaminophen-induced hepatotoxicity in rats. Phytother Res. 2006. 20(11), 997-1002.
- Yusuf AA, Lawal B, Abubakar AN, Berinyuy EB, Omonije YO, Umar SI, Shebe MN, Alhaji YM. In-vitro antioxidants, antimicrobial and toxicological evaluation of Nigerian Zingiber officinale. Clinical Phytoscience. 2018;4(12):1-6.

### Z

- Zehsaz F, Farhangi N, Mirheidari L. The effect of Zingiber officinale R. rhizomes (ginger) on plasma pro-inflammatory cytokine levels in well-trained male endurance runners. Cent. Eur. J. Immunol. 2014, 39, 174–180.
- Zenasni, L. 2014. Etude de polymorphisme chimique des huiles essentielles de Thymus satureioides Coss et d'Origanum compactum Benth et du genre Nepeta et évaluation de leur propriété antibactérienne. Thèse Doc. Université Mohammed V Agdal, Rabat. p. 155.
- Zhang S, Liu Q, Liu Y, Qiao H, Liu Y. Zerumbone, a southeast Asian ginger sesquiterpene induced apoptosis of pancreatic carcinoma cells through p53 signaling pathway. Evid Based Complement Alternat Med. 2012. 2012, 1-8



**ANNEXE**

### Annexe 01 : Matériels utilisés : appareillages, solvants, réactifs chimiques et milieux de cultures

Appareillage	Verreries et autres matériels	Solvants	Colorants et réactifs
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Le dispositif d'hydrodistillation</b></li> <li>• <b>rotavapeure</b></li> <li>• <b>Réfractomètre</b></li> <li>• <b>Etuve</b></li> <li>• <b>Spectrophotomètre</b></li> <li>• <b>pH-mètre</b></li> <li>• <b>Bain-marie</b></li> <li>• <b>Autoclave</b></li> <li>• <b>four pasteur</b></li> <li>• <b>Four a moufle</b></li> <li>• <b>Dessiccateur</b></li> <li>• <b>microscope optique</b></li> <li>• <b>Agitateur magnétique</b></li> <li>• <b>Hôte</b></li> <li>• <b>Plaque chauffante.</b></li> <li>• <b>Balance</b></li> <li>• <b>Balance de précision (0.0001)</b></li> <li>• <b>Bec bunsen</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Béchers</li> <li>• Bouteilles en verre</li> <li>• Ampoules</li> <li>• Erlenmeyer</li> <li>• Fiole conique</li> <li>• Fiole jaugé</li> <li>• Entonnoirs</li> <li>• Cristallisoirs</li> <li>• Burette de graduation</li> <li>• Boites pétri</li> <li>• Pipettes Pasteur</li> <li>• Lames</li> <li>• Ense à boucle</li> <li>• Micropipettes</li> <li>• Ecouvillons</li> <li>• Papiers Wattman.</li> <li>• Papiers filtre</li> <li>• Seringues</li> <li>• Tubes a essaie</li> <li>• Passoir</li> <li>• Spatule</li> <li>• Verre de montre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eau distillée</li> <li>• DMSO</li> <li>• Ether</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sulfate de sodium(<math>\text{Na}_2\text{SO}_4</math>)</li> <li>• Fushine</li> <li>• Violet de gentiane</li> <li>• Alcool</li> <li>• <math>\text{FeCl}_3</math></li> <li>• Acétate de sodium(<math>\text{CH}_3\text{COONa}</math>)</li> <li>• Magnésium</li> <li>• Ammoniaque</li> <li>• Chloroforme</li> <li>• NaOH</li> <li>• Alcool isobutanol</li> <li>• <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math></li> <li>• Lugol</li> <li>• HCl</li> <li>• Huile d'immersion</li> <li>• Réactif de Folin-Ciocalteu</li> <li>• Acide gallique</li> <li>• Carbonate de sodium <math>\text{Na}_2\text{CO}_3</math></li> <li>• Eau physiologique</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Capsule en porcelaine</li><li>• Barreau magnétique</li><li>• Pince stérile</li></ul>		
--	--	--	--

### Milieux de cultures

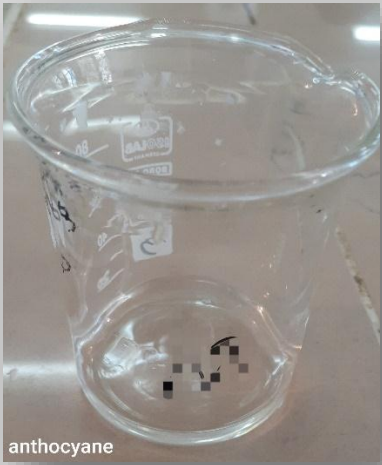
- Gélose nutritive
- Gélose Mueller Hinton.
- Gélose Sabouraud.

### L'antibiotique utilisé

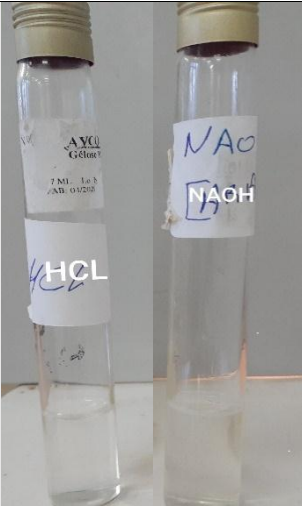

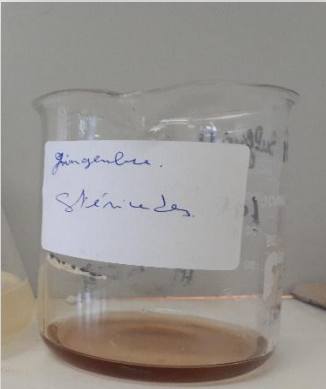
- Disque d'antibiotique Gentamicine.

Antibiotique	Abréviation	Famille	Dose
Gentamicine	CN10	Aminoglycosides ou aminosides	10 µg /disque

## Annexe 02 : Résultats de l'analyse phytochimique

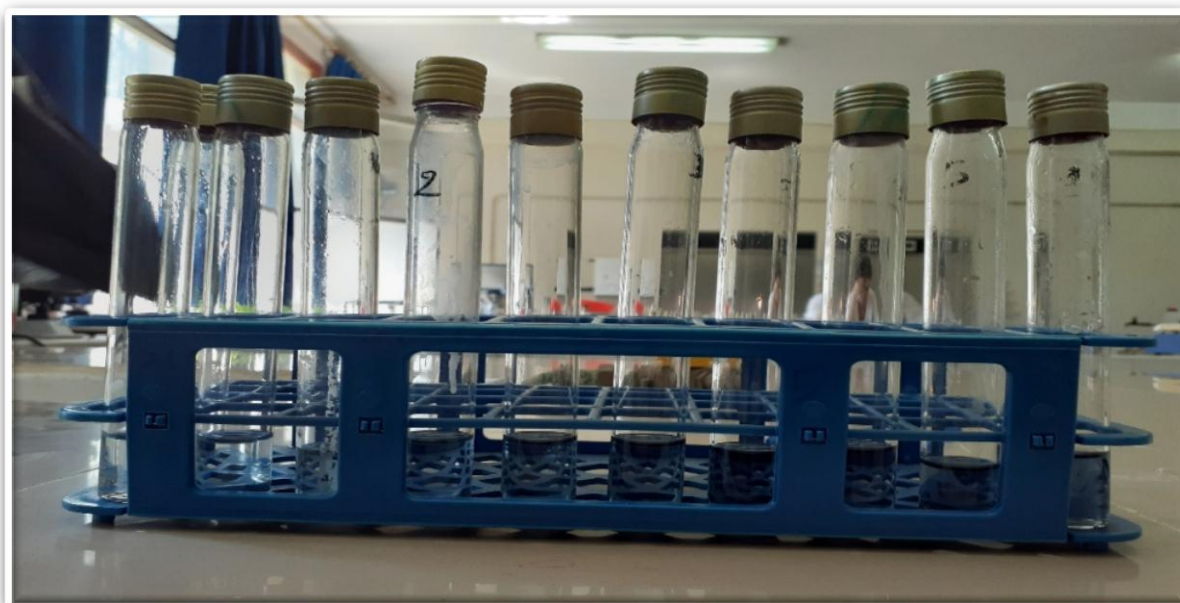
Tests	Observation	Résultats
Anthocyanes		-

<p>Tannins</p>	 <p>Tanins</p>	<p>-</p>
<p>Tannins galliques</p>	 <p>Tanins galliques</p>	<p>-</p>

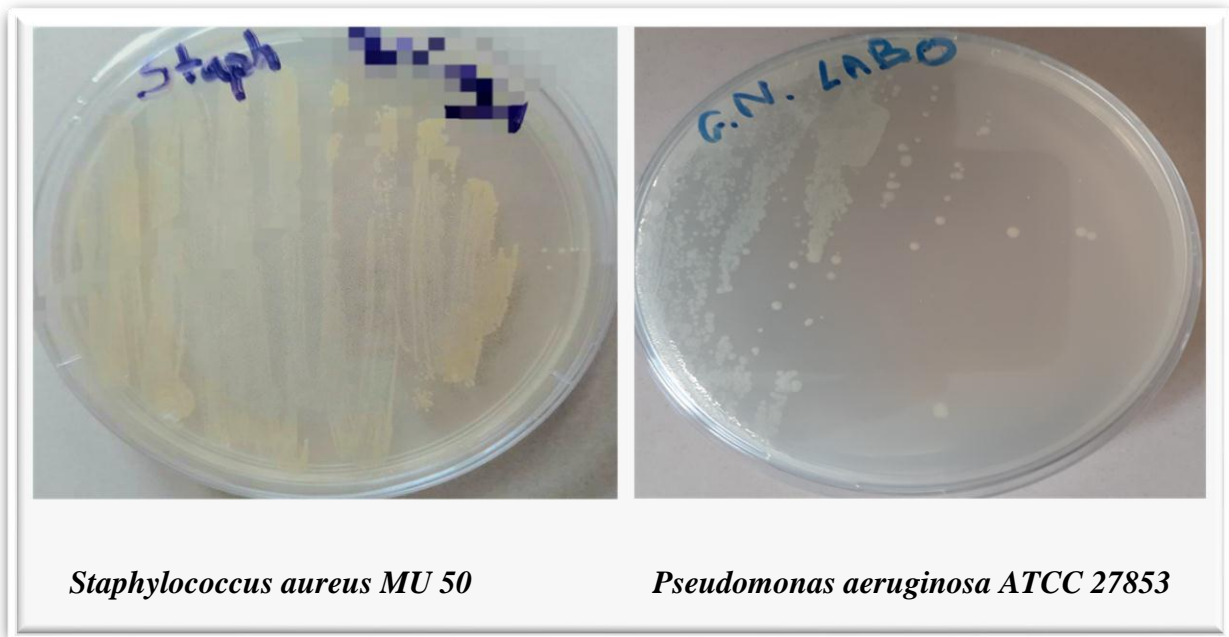
Saponosides		+
Glucosides		+++
Stéroïdes		-

<p>Coumarines</p>		<p>+</p>
-------------------	---	----------

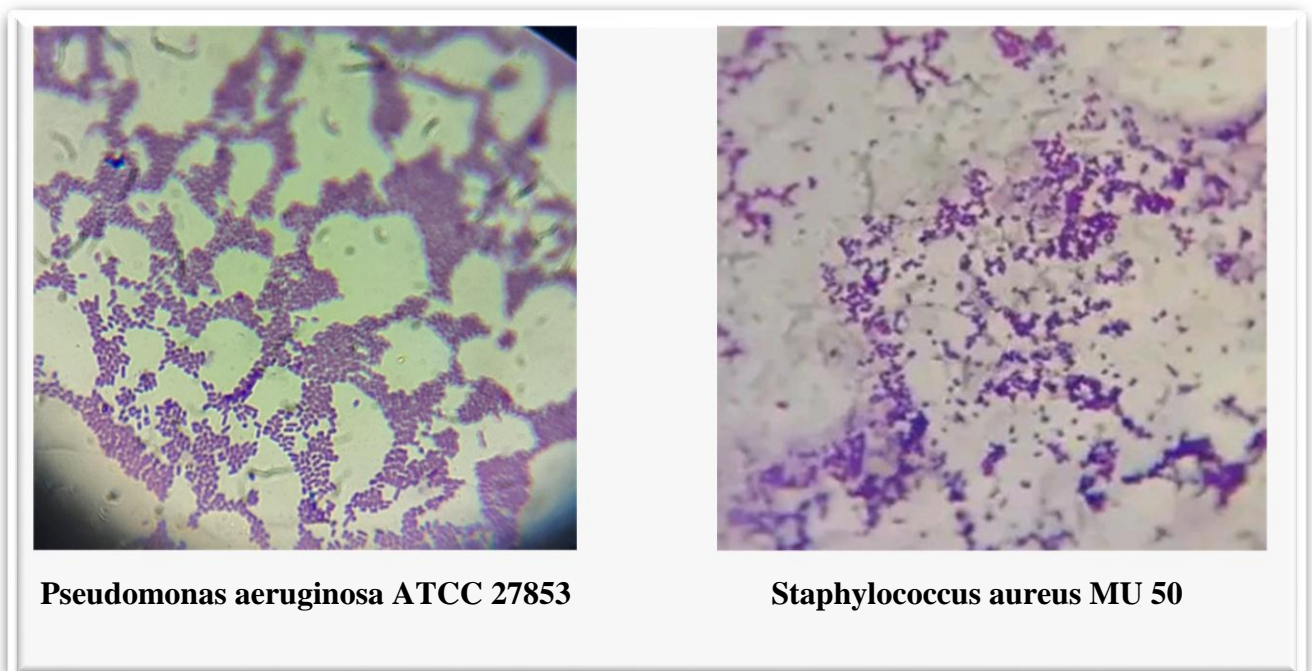
**Annexe 03 : Gamme d'étalonnage de l'acide gallique**



**Annexe 04 :** Repiquage des souches bactériennes sur gélose nutritive



**Annexe 05 :** Résultats de la coloration de Gram, observation sous microscope photonique au grossissement  $\times 100$ .



## Résumé

Les plantes médicinales offrent une source antimicrobienne naturelle, dans ce contexte le présent travail repose essentiellement sur l'étude physicochimique, phytochimique et l'évaluation de l'activité biologique de la plante *Zingiber officinale* appartenant à la famille des *Zingiberaceae*.

La plante présente des caractéristiques physicochimiques particulières telles qu'un faible taux d'humidité (7%) et un pH légèrement acide (5.22), une acidité titrable et une teneur en cendre faibles.

Le screening phytochimique réalisé sur l'extrait aqueux a révélé la présence de composés secondaires actifs notamment les flavonoïdes, les coumarines, les saponosides et les glucosides.

L'activité antibactérienne a montré que l'extrait et l'huile de *zingiber officinale* ont un effet inhibiteur sur la croissance de *Staphylococcus aureus* MU 50.

La mise en évidence de l'activité antifongique a révélé que la plante ne présente aucun effet vis-à-vis du champignon *Aspergillus niger*.

L'évaluation de l'activité insecticide de l'extrait et d'huile essentielle par le test de répulsion a montré un effet fortement répulsif contre *Tribolium castaneum*, en revanche le test d'inhalation n'a montré aucun effet.

**Mots clés :** *Zingiber officinale* ; *Tribolium castaneum* ; screening phytochimique ; activité antibactérienne ; activité antifongique ; activité insecticide.

## **Abstract**

Medicinal plants offer a natural antimicrobial source, so the present work is based essentially on the physicochemical and phytochemical study and evaluation of the biological activity of the *Zingiber Officinale* plant, belonging to the *Zingiberaceae* family.

The plant has particular physicochemical characteristics such as a low moisture content (7%) and a slightly acidic pH (5.22) and titratable acidity with a low ash content.

Phytochemical tests carried out on the aqueous extract revealed the presence of active secondary compounds including flavonoids, coumarins, saponosides and glucosides.

The antibacterial activity showed that the extract and oil of *zingiber officinale* have an inhibitory effect on the growth of *Staphylococcus aureus* MU 50.

Antifungal activity revealed that the plant had no effect on the fungus *Aspergillus*, although normal development of the species was observed in the negative control.

Evaluation of the insecticidal activity of the extract and essential oil using the repellency test showed a highly repellent effect against *Tribolium castaneum*, while the inhalation test showed no effect on the insect studied.

**Key words:** *Zingiber Officinale*; *Tribolium castaneum*; phytochemical screening, antibacterial activity; antifungal activity; insecticidal activity.