



Réf :/UAMOB/F.SNV.ST/DEP.BIO/2018

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Microbiologie appliquée

Présenté par : MOKRANE Siham

Thème

*Effet du séchage au micro-onde et à l'étuve sur la
composition et l'activité antibactérienne du gingembre
(Zingiber officinale)*

Soutenu le : 06/ 07 / 2019

Devant le jury composé de :

Mme. HADIDI. L	M.A.B	Université de Bouira	Présidente
Mme. SAIT-DIB. S	M.C.B	Université de Bouira	Promotrice
Mme. DJOUAHRA. Dj	M.A.A	Université de Bouira	Examinatrice

Année Universitaire : 2018/2019

Remerciements

*Au nom de Dieu tout puissant Et à terme de notre mémoire on
tient à exprimer mes S'insères remerciements*

Et gratitudes

*J'adresse ma vive gratitude, mes sincères remerciements à ma
chère promotrice et mon enseignante Mme SALT Sabrina*

*De m'avoir encadré, pour son aide et sa patience, ces précieux
conseils, son encouragement, sa motivation, son suivi rigoureux
et même sa disponibilité durant ma préparation*

De ce mémoire.

*Je remercie les membres de jury d'avoir bien voulu accepter
de juger ce travail, je vous en suis très reconnaissante et en
espérant être à la hauteur de votre confiance.*

*Et A toutes personnes qui a participé de près ou de loin,
directement ou Indirectement à la réalisation de ce travail.*

Merci à toutes et à tous...

Dédicace

*Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une
immense joie, que je dédie mon travail à mes
chers, respectueux et magnifiques parents qui
m'ont soutenues tout au long de ma vie ainsi à
mes sœurs et frères.*

A mes amies, à mes enseignants

*A toute personnes qui m'ont encouragée et aidée
au long de mes études.*

Siham

SOMMAIRE

Liste des abréviations.

Liste des figures.

Liste des tableaux.

Introduction1

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur le gingembre

I.1 Historique	3
I.2 Etymologie	3
I.3 Description botanique	3
I.4 Position taxonomique	4
I.5 Culture et production de gingembre.....	5
I.6 composition	6
I.6.1 Composition nutritive.....	6
I.6.2 Composition chimique	7
I.7 activité antibactérienne	8
I.8 utilisation	9

Chapitre II : Généralités sur le séchage

II. Séchage....	11
II.1 Objectif de séchage.....	11
II.2 Efficacité d'une technique de séchage.....	11
II.3 Séchage par micro-onde	12
II.4 Séchage à l'étuve.....	13

Partie II : Partie pratique

Chapitre I : Matériels et méthodes

I. Matériels	15
I.1 Matériel végétal.....	15
II. Méthodes.....	15
II.1 Taux d'humidité.....	15
II.2 Séchage du matériel végétal.....	16

II.2.1 Séchage par micro-onde.....	16
II.2.2 Séchage par étuve (conventionnel)	16
II.3 Broyage	16
III. Extraction des composés phénoliques	17
IV. Dosage des composés phénoliques	18
IV.1 Dosage des polyphénols totaux	18
IV.2 Dosage des flavonoïdes totaux.....	19
IV.3 Dosage des caroténoïdes.....	19
V. Activité antibactérienne	20
V.1 Souches bactériennes	20
V.2 Préparation de l'inoculum.....	20
V.3 Evaluation de l'activité antibactérienne.....	21
VI. Etude statistique.....	22

Chapitre II : Résultats et discussion

I. Test d'humidité.....	23
II. Séchage.....	23
II.1. Par microonde.....	24
II.2. À l'étuve	25
II.3. Discussion générale sur le séchage	25
III. Etude phytochimique.....	27
III.1. Teneur en composés phénoliques	27
III.1.1. Dosage des polyphénols totaux.....	27
III.1.2. Dosage des flavonoïdes	29
III.1.3. Dosage des caroténoïdes	30
IV. Activité antimicrobienne.....	32
IV.1. Activité antibactérienne des extraits à l'égard des bactéries à Gram positif.....	34
IV.2. Activité antibactérienne des extraits à l'égard des bactéries à Gram négatif.....	35
IV.3. Activité antibactérienne de l'acide gallique.....	36
IV.4. Discussion générale sur l'activité antibactérienne.....	36
Conclusion Générale.....	38

Références bibliographiques

Annex

LISTE DES FIGURES

N° de figure	Titre	Page
01	Dessin de la plante entière de <i>Zingiber officinale</i> .	04
02	Rhizome de gingembre frais et séché.	04
03	Principaux composants chimiques du gingembre.	07
04	Structure de base d'un four à micro-ondes.	12
05	Photographie d'une étuve.	14
06	Rhizome de <i>Zingiber Officinale Roscoe</i> .	15
07	(A) : Photographies des tranches du gingembre, (B) : Photographie de gingembre séché à l'étuve et (C) : au micro-onde, (D) : photographie de la poudre de gingembre.	16
08	Six échantillons de poudre de Rhizome de <i>Zingiber Officinale</i> .	17
09	Les différentes étapes d'extraction par macération à l'éthanol.	18
10	Représentation du taux d'humidité du gingembre.	23
11	Evolution de la perte de poids en fonction du temps de séchage et de la puissance du micro-ondes.	24
12	Evolution de la perte de masse en fonction du couple temps-température du séchage à l'étuve.	25
13	Evolution de la perte de masse en fonction du couple temps-température du séchage à l'étuve et par micro-onde.	26
14	Teneurs en polyphénols totaux des différents extraits du <i>Zingiber officinale</i> .	27
15	Teneurs en Flavonoïdes des différents extraits du <i>Zingiber officinale</i> .	29
16	Teneurs en caroténoïdes des différents extraits du <i>Zingiber officinale</i> .	30

LISTE DES TABLEAUX

N° de tableau	Titre	Page
I	Classification botanique du gingembre.	05
II	Dix principaux pays producteurs de gingembre du monde.	05
III	Table de composition nutritionnelle de gingembre, poudre Ciqua 2017.	06
IV	Tableau représentatif des différentes souches bactériennes testées.	20
V	Activité antimicrobienne des différents extraits de <i>Zingiber officinale</i> étudiée et le standard l'acide gallique.	33

LISTE DES ABREVIATIONS

AlCl₃ : chlorure d'aluminium

EQ/g MS : équivalent quercétine par g de matière sèche

E.β.C : équivalent de la βCarotène

EAG / GE : Equivalent d'acide gallique par gramme d'extrait

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

H₂ : Dihydrogène

H₂O : eau

H₃PMo₁₂O₄₀ : 'acide phosphomolybdique

H₃PW₁₂O₄₀ : 'acide phosphotungestique

GHz : gigahertz

KJ : kilojoule

KOH : Hydroxyde de potassium

NaOH : Hydroxyde de sodium

NaNO₂ : nitrite de sodium

Nm : nanomètre

MHz : mégahertz

MO : Micro-onde.

Molybdène : Mo₈O₂₃

Min : Minutes

MS : Matière sèche

OH : hydroxydes

P : puissance

PPT : polyphénol total

Rmp : tours par minute

R₂ : Coefficient de corrélation

Tungstène : W₈O₂₃

UFC : Unité Formant Colonie

UV : Ultraviolet

V : Volume

W : Watts



Introduction

Au travers des âges, l'utilisation thérapeutique des vertus extraordinaires des plantes pour le traitement des maladies de l'homme est très ancienne et évolue avec l'histoire de l'humanité. La recherche de nouveaux agents pharmacologiques actifs via le screening de sources naturelles a résulté dans la découverte d'un grand nombre de médicaments utiles qui commencent à jouer un rôle majeur dans le traitement de nombreuses maladies humaines **(Gurib-Fakim, 2006)**.

Connaître une plante ayant des vertus médicinales suppose pouvoir décrire sa morphologie et son anatomie, connaître son origine et son mode d'action, apprécier l'incidence de ceux-ci sur sa qualité, analyser sa composition chimique et les facteurs qui peuvent la faire varier, connaître la structure et les propriétés des principes actifs aussi bien que leur activité pharmacologique, savoir apprécier la qualité par des éléments objectifs et mettre en œuvre des méthodes pour la contrôler **(Allinger, 1982)**.

Les plantes médicinales sont généralement appelées « mines d'or chimiques » car elles contiennent des produits chimiques naturels, qui sont acceptables pour les systèmes humains et animaux. Tous ces produits chimiques ne peuvent pas être synthétisés en laboratoire. De nombreux métabolites secondaires de plantes sont importants sur le plan commercial et trouvent une utilisation dans un certain nombre de composés pharmaceutiques. Les êtres humains dépendent des plantes pour leurs soins de santé depuis le début de la civilisation. Plus de 80 000 des 2 500 espèces de plantes supérieures de la planète sont de nature médicinale **(Allinger, 1982)**.

Les espèces de la famille de Zingibéracées, sont utilisées depuis des siècles dans la cuisine traditionnelle, comme colorant, en dermocosmétique et en médecine traditionnelle en tant que remèdes. Plusieurs ont été intégrées dans les pharmacopées occidentales **(Cheikh Ali, 2012)**. Citée dans le Coran comme étant la boisson du peuple de Paradis, l'espèce *Zingiber officinale* est une plante connue pour ces vertus médicinales et culinaires variées **(Chrubasik et al., 2005)**.

Traditionnellement, *Z. officinale* est utilisé dans les systèmes ayurvédique, siddha, chinois, arabes, africains, caribéens et de nombreux autres médicaments visant à traiter diverses maladies telles que nausées, vomissements, asthme, toux, palpitation, inflammation, dyspepsie, perte d'appétit, constipation, indigestion et douleur **(Jyotsna et al., 2017)**.

De nombreux produits agricoles, consommés en grandes quantités ne sont pas toujours disponibles toute l'année. Une grande partie de cette production agricole (tomate, dattes, etc.)

se prête parfaitement à une conservation par séchage pour assurer une continuité dans sa disponibilité. Diverses méthodes de transformation de ces derniers ont été adoptées pour une meilleure conservation. Parmi ces méthodes, le séchage à l'aire libre, à l'étuve, ou microonde est le procédé utilisé depuis l'époque ancestrale, dont l'avantage principal est la conservation à long terme des aliments, tels que les viandes, les fruits...mais aussi les plantes tel que le thé pour la préparation des infusions (**Lahmari et al., 2012**).

Dans le cadre de notre travail, nous nous intéressons à l'étude de l'effet du séchage au micro-onde et à l'étuve sur la composition et l'activité antibactérienne du gingembre (*Zingiber officinale*).

Notre travail se repartie en deux parties :

- La première partie est une synthèse bibliographique où nous apportons des généralités sur la plante, l'activité antibactérienne et les différentes méthodes de séchage.
- La deuxième partie est la partie expérimentale qui est consacrée au séchage et l'extraction des composés phénoliques à partir du rhizome de gingembre, leur dosage et leur effet antibactériens vis-à-vis de *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *E. coli*, *K. pneumoniae* et *Pseudomonas aeruginosa*. Puis la partie résultats et discussion est dédiée à l'illustration et la discussion des différents résultats obtenus.

Enfin, une conclusion qui résumera tous les résultats obtenus et quelques perspectives.

Chapitre I

Généralités sur le Gingembre

I.1 Historique

Le gingembre est l'une des premières épices orientales à rallier le bassin méditerranéen, probablement grâce aux phéniciens. En Egypte antique, il entre dans le processus de momification (**Chouleur et al, 2009**).

Au XIII^{ème} siècle, les arabes exportent le gingembre en Afrique orientale, et les portugais en Afrique occidentale. Dès le début du XVI^{ème} siècle, le gingembre est introduit dans le Nouveau Monde (Aux Antilles, au Mexique), et rapidement, la production dépasse les espérances. Au XVII^{ème} siècle, le gingembre gagne le Brésil où il est largement cultivé. C'est aussi à cette époque qu'il est introduit dans les jardins botaniques européens (**Chouleur et al, 2009**).

Ainsi, l'histoire des épices et plus précisément celle du gingembre remonte à l'Antiquité. Leur consommation dans le monde entier a beaucoup évolué au cours du temps. Aujourd'hui, les épices y compris le gingembre ont retrouvé une place assez importante dans notre alimentation même si nos plats sont nettement moins épicés qu'au Moyen Âge (**Chouleur et al, 2009**).

I.2 Etymologie

Le nom *Zingiber officinale* et sa traduction française « gingembre » proviennent du mot sanskrit *shringavera*, qui signifie « en forme de bois de cerf », en allusion à la forme des jeunes pousses sortant de son rhizome (**Butin, 2017**).

Apparaît ensuite le nom grec *ziggiberis*, qui découlerait du nom arabe zangabîl. Le terme latin *zingiber* apparaît plus tard, et est à l'origine du nom de genre botanique *Zingiber*. Il est adapté en vieux français en « gingibre », pour finalement s'écrire « gingembre » à partir du XIII^e siècle (**Butin, 2017 ; Minker et al, 2012**).

I.3 Description botanique

Le gingembre est une grande plante tropicale (**SNPE / SYMTIA, 2017**), herbacée vivace atteignant une hauteur d'environ 1 m. Le rhizome est horizontal, ramifié, aromatique, blanc ou jaunâtre à brun (**Rose, 2005**), dans laquelle sont concentrés les éléments nutritifs (**Minker et al, 2012**). Les feuilles se développent à partir du rhizome ramifié (**Kuete, Mbaveng, 2017**), elles sont pointues, étroitement ou linéaires-lancéolées, mesurent environ 20 cm de long et 1,5–2 cm de large, enserrant la tige (**Rose, 2005**). Les fleurs, qui ressemblent aux orchidées, sont discrètes et apparaissent en un épi dense, composé de plusieurs écailles

chevauchantes sur une tige allongée. Chaque fleur a trois pétales orange jaunâtre avec une structure supplémentaire violacée ressemblant à une lèvre (**Kuete et Mbaveng, 2017**).

Les Inflorescence, pointes oblongues-cylindriques latérales pédonculées radicalaires latérales (**Jyotsna et al, 2017**), elles sont issues directement du rhizome (**Chouleur et al, 2009**).

Il s'agit d'une plante stérile : les quelques graines et fruits produits n'entraînent pas de reproduction sexuée. La multiplication de la plante se fait grâce aux bourgeonnements de son rhizome à l'origine de nouvelles plantes (**Butin, 2017**).



Figure n°1 : Dessin de la plante entière de *Zingiber officinale* (**Vintage, 2011**)

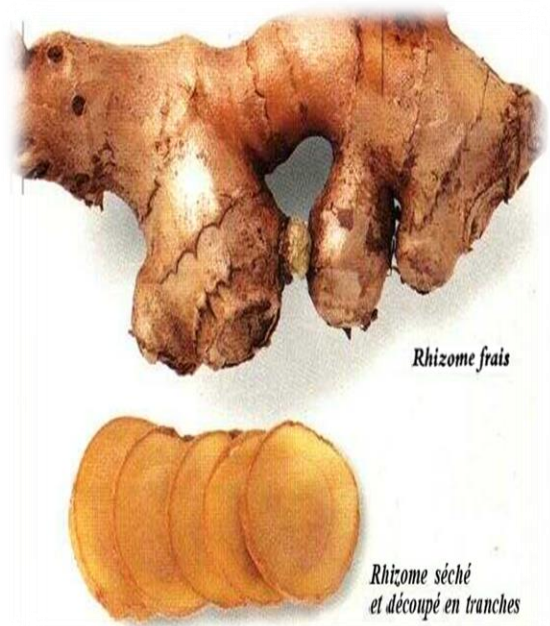


Figure n°2 : Rhizome de gingembre frais et séché (**Paul, 2001**)

I.4 Position taxonomique

La famille Zingiberaceae est la plus grande famille des Zingibérales et l'une des dix plus grandes familles monocotylédones. Elle est présente principalement dans les tropiques avec environ 52 genres et 1400 espèces, avec la plus grande concentration dans la région indo-malaise d'Asie et représentée par 22 genres et 178 espèces en Inde.

Les Zingiberaceae forment un groupe important ayant un potentiel économique et de nombreux membres de cette famille produisent des épices, des colorants, des parfums et des médicaments, dont certains sont des plantes ornementales (**Jyotsna et al, 2017**). Selon Faivre et al. (2006) et Gigon (2012), la classification botanique du gingembre est comme suit (Tableau I).

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

Règne	Plantae
Sous-règne	Trachéobionta
Division	Angiospermes
Classe	Monocotylédones
Sous-classe	Zingibéridées
Ordre	Zingibérales
Famille	Zingibéracées
Sous-famille	Zingibéroïdées
Genre	<i>Zingiber</i>
Espèce	<i>Zingiber officinale</i> (Roscoe)

I.5 Culture et production

Le gingembre est cultivé dans des pays comme l'Inde, la Chine, le Nigéria, l'Indonésie, le Bangladesh, la Thaïlande, les Philippines, la Jamaïque, etc. Il est également cultivé en Australie, à Fidji, au Brésil, en Sierra Leone et au Japon. Royaume-Uni, États-Unis, Japon et Arabie saoudite. Le Nigeria occupe la première place en ce qui concerne la superficie cultivée en gingembre (56,23% environ), suivi par l'Inde (23,6%), la Chine (4,47%), l'Indonésie (3,37%) et le Bangladesh (2,32%) (Tableau II) (Jyotsna et al, 2017).

Tableau II : Dix principaux pays producteurs de gingembre du monde (Jyotsna et al, 2017).

Pays	Production (Tonnes)
Inde	683000
Chine	425000
Népal	235033
Indonésie	232669
Nigeria	160000
Thaïlande	140000
Bangladesh	69000
Japon	57835
Cameroun	46350

L'Inde occupe la première place en ce qui concerne la production de gingembre, représentant environ 32,75% de la production mondiale, suivi par la Chine (21,41%), le Nigéria (12,54%) et le Bangladesh, qui sont les principaux fournisseurs de gingembre sur le marché mondial. Le Japon et les États-Unis sont les principaux importateurs. En termes de qualité, le gingembre jamaïcain et indien est considéré supérieur, suivi de la variété ouest-africaine (Jyotsna et al, 2017).

I.6 Composition

I.6.1 Composition nutritive

Le gingembre est largement utilisé dans de nombreux aliments en raison de sa haute valeur nutritionnelle. Les rhizomes de gingembre sont une riche source de glucides, de vitamines, de minéraux et de fer. Les différentes teneurs de sa composition sont présentées dans le tableau III (Jyotsna et al, 2017).

Tableau III : Table de composition nutritionnelle de gingembre (Ciquel, 2017).

Constituant	Teneur moyenne
Energie(kJ/100g)	1410
Protéines(mg/100g)	9,05
Glucides(mg/100g)	58,3
Lipides(mg/100g)	4,24
Sucres(mg/100g)	3,39
Sel chlorure de sodium(mg/100g)	0,068
Fer (mg/100g)	19,8
Magnésium (mg/100g)	214
Potassium (mg/100g)	1320
Sodium (mg/100g)	27
Vitamine B3 ou PP ou Niacine (mg/100g)	9,62
Vitamine B9 ou Folates totaux (µg/100g)	13
Vitamine C (mg/100g)	0,7

I.6.2 Composition chimique

La richesse et la variété des produits chimiques présents dans les rhizomes de *Zingiber officinale* sont responsables du goût, de l'arôme et des propriétés curatives du

gingembre. Les constituants spécifiques des extraits de gingembre dépendent de l'origine de la variante et de l'état des rhizomes (frais ou séchés) (Quave, 2012).

Le gingembre contient plusieurs composés parmi lesquels un mélange de zingérone, de shogaols, de gingérols et d'huiles volatiles (Kuete, Mbaveng, 2017). Le piquant du rhizome de gingembre frais est dû aux gingérols, dont le principal principe piquant est le [6] -gingérol, un liquide gras, et le constituant le plus abondant parmi les gingérols (Srinivasan, 2017). Bien que les gingérols soient principalement responsables du piquant du gingembre, ils se transforment en shogaols lorsqu'ils sont exposés à la chaleur ou à des processus de déshydratation, qui confèrent le parfum caractéristique épicé-sucré du gingembre (Figure 3). De plus, le gingembre frais ne contient pas de zingérone, bien qu'il puisse être généré à partir de gingérols par hydrolyse pendant le chauffage (Beristain-Banza et al, 2019).

La zingérone moins piquante est également produite à partir de gingérols au cours du processus de séchage (Srinivasan, 2017).

L'huile essentielle volatile du gingembre contient plus de 50 composants, présents à raison de 1 à 3% et responsables de l'arôme du gingembre frais (Quave, 2012).

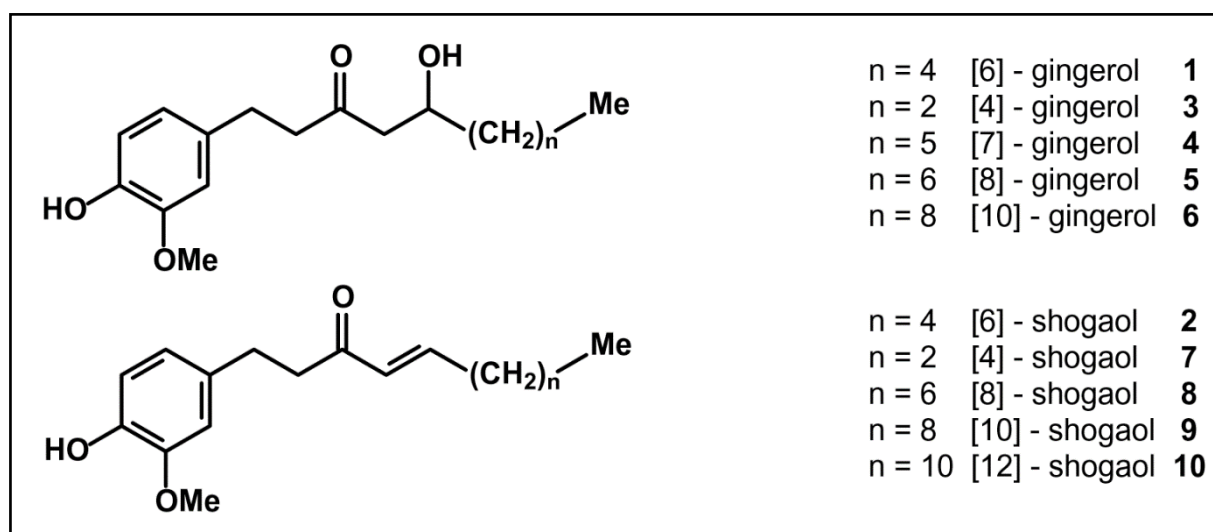


Figure n°3 : Principaux composants chimiques du gingembre (Badreldin, 2008).

I.7 Activité antibactérienne

L'activité antimicrobienne des extraits de plantes réside dans une variété de composants importants et essentiels à la survie des plantes. De nombreuses plantes et épices ont une activité antimicrobienne, déstabilisant probablement les parois et les membranes cellulaires pour provoquer la mort cellulaire. Cela démontre que différents antimicrobiens végétaux peuvent efficacement réduire et / ou inhiber les microorganismes pathogènes et peuvent donc devenir une bonne alternative aux antimicrobiens conventionnels, l'effet d'un antimicrobien peut être bactéricide (quand il détruit) et bactériostatique (quand il inhibe la croissance). De nombreuses études ont montré que les composés de gingembre bioactifs peuvent constituer un excellent antimicrobien contre divers agents pathogènes (Soares et al, 2018).

Le gingembre a traditionnellement été utilisé pour son activité antibactérienne contre les bactéries à Gram négatif et à Gram positif (Soares et al, 2018), tels que *Escherichia coli*, *Proteus spp*, *Pseudomonas aeruginosa* (Zainal et al, 2017), *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Streptococcus pneumoniae* et *Haemophilus*. Diverses familles de bactéries sont sensibles à l'action de *Zingiber officinale* ; il peut donc être qualifié d'agent antibactérien naturel (Butin, 2017). Il a été démontré que quelques composants liés au gingérol possèdent des propriétés antibactériennes (Park, 2008). La diversité bactérienne est immense et en constante évolution. C'est pourquoi l'effet antibactérien du gingembre n'a pu être déterminé de façon exhaustive (Butin, 2017).

- **Modes d'action des composés phénoliques sur les bactéries**

Les composés polyphénoliques sont reconnus d'être synthétisés par les plantes en réponse à l'infection microbienne. Donc il est logique qu'ils aient trouvé que ces composés soient des substances antimicrobiennes efficaces avec un large spectre in vitro (Boulekbache et al., 2013). Les polyphénols sont les principaux composés antimicrobiens des plantes, possédants des modes d'action divers et des activités inhibitrices et létales vis-à-vis d'un nombre important de microorganismes. La force et le spectre d'activité antimicrobienne varient selon le type d'extrait et le type de bactéries (Djenane et al. 2012).

- **Action sur la membrane cellulaire**

Les composés phénoliques peuvent agir à deux niveaux différents : la membrane cellulaire et la paroi de la cellule des micro-organismes. Ils peuvent réagir avec les protéines membranaires de bactéries par une liaison d'hydrogène à travers leurs groupements hydroxyles

et comme résultats ils entraînent une modification de la perméabilité membranaire puis la destruction cellulaire. Ils peuvent pénétrer aussi dans les cellules bactériennes et coaguler le contenu cellulaire (**Boulekbache et al. 2013**). Cependant, les bactéries à Gram positif sont généralement les plus sensibles aux effets de ces extraits polyphénoliques (**Djenane et al. 2012**).

➤ Action sur les enzymes et privation de substrat

Le mécanisme responsable à la toxicité des polyphénols sur les microorganismes inclue l'inhibition des enzymes par les composés oxydés, probablement à travers l'interaction des polyphénols, en particulier les quinones et les tannins, avec les protéines enzymatiques en se fixant sur leurs sites actifs, induisant l'inhibition de son l'activité (**Cowan, 1999**). En outre, les flavonoïdes ont montré une grande activité antimicrobienne (**Xiao et al. 2014**), la quercétine et d'autres composés réagissent essentiellement par l'inhibition de l'enzyme ADN-gyrase (**Pereira, 2007**).

➤ Privation des métaux

L'inhibition de l'activité bactérienne par la formation du complexe ion métallique composé phénolique (**Ksouri et al. 2009**).

I.8 Utilisation

Récemment, les études sur l'application du gingembre dans les produits alimentaires ont augmenté. Le gingembre a été appliqué sous forme d'huile essentielle, de poudre, d'extrait ou d'additif (**Beristain-Banza et al, 2019**).

Le gingembre est également utilisé à des fins médicales dans divers systèmes traditionnels, aussi bien dans les systèmes de médicaments traditionnels en Asie qu'en Afrique (**Kuete et Mbaveng, 2017**). Pour la médecine traditionnelle chinoise, le gingembre est une drogue de nature tiède et de saveur piquante. Elle réchauffe le cœur, calme la toux, arrête les vomissements. La médecine ayurvédique l'utilise notamment dans le traitement de la migraine connue comme une grande pourvoyeuse de nausées (**Gigon, 2012**).

L'industrie agro-alimentaire l'utilise notamment dans la fabrication de diverses boissons, tels que des sodas, des eaux et thés aromatisés, ou encore des bières. Il est de nos jours possible de trouver dans le commerce le gingembre sous de nombreuses formes, qui découlent soit de rhizomes frais, soit de rhizomes séchés :

- Les rhizomes frais peuvent être vendus tels quels, en conserve, ou encore sous forme d'extraits liquides (décoctions, teintures...).
- Les rhizomes séchés sont d'abord nettoyés avant d'être préparés de différentes façons : épluchés, fendus, moulus ou confits (trempés dans du sirop de sucre) (**Butin, 2017**).

Chapitre II

Généralités sur le séchage

II. Séchage

Le séchage est une opération unitaire qui consiste à éliminer totalement ou partiellement un liquide imprégnant un matériau par apport d'énergie thermique. Il consiste à l'évaporation de l'eau et de composés volatils, réduisant ainsi la croissance des micro-organismes et des réactions chimiques non désirées, afin d'augmenter la durée de vie du produit. Il aide à obtenir un produit sec et homogène à l'extrémité du séchage (**Verdier et al., 2016**), ce qui permet de réduire considérablement la masse et le volume des produits et facilite leur transport, stockage et manutention (**Djerroud et al., 2010**).

Le gingembre frais contient généralement entre 85 et 95% d'eau et est sensible à la détérioration microbienne et à la détérioration chimique. La déshydratation du gingembre est la procédure de traitement la plus pratiquée pour inhiber la croissance microbienne et retarder les réactions biochimiques de dégradation. C'est également une méthode de traitement fondamentale pour obtenir de nouveaux produits. Le gingembre séché peut être utilisé pour la fabrication d'épices à base de gingembre, de médicaments et de produits cosmétiques, ainsi que pour les aliments aromatisés au gingembre tels que les boissons sans alcool et les bonbons (**An et al., 2016**).

Cependant, le processus de séchage peut provoquer des dommages thermiques et de graves modifications des propriétés physiques, chimiques et organoleptiques de la plante aromatique. Par conséquent, le choix de la méthode de séchage est très important (**An et al., 2016**).

II.1 Objectif de séchage

L'objectif principal du séchage est de diminuer l'activité de l'eau de divers matériaux périssables qui consiste de convertir ce dernier en produits stabilisés. Il consiste à enlever l'excès d'humidité d'un produit par évaporation de l'eau qu'il contient, afin de permettre leur stockage à température ambiante (**Bonazzi et al., 2011**).

II.2 Efficacité d'une technique de séchage

L'efficacité d'une technique de séchage se mesure à deux niveaux, à savoir :

La qualité du produit obtenu

La qualité hygiénique, nutritionnelle, praticité, sensorielle comme flaveur, couleur, texture du produit séché dépend du processus adopté, des prétraitements éventuels (il s'agit

principalement de l'imprégnation pour les légumes et fruits), du taux d'élimination de l'eau, de l'état du fruit ou du légume impliquant le degré de maturité, mais également la taille des découpes (entiers, coupées, purée), ainsi que du matériau d'emballage utilisé (Yong, 2006).

✚ La performance du procédé utilisé

Elle est évaluée en termes de consommation d'énergie, cinétique, coût d'équipements et coût total ainsi qu'en terme de son impact sur l'environnement (Louka, 2002).

II.3 Séchage par micro-onde

Les micro-ondes font partie du spectre électromagnétique et forment la bande de fréquences s'étendant de 300 MHz à 300 GHz (10^9 Hz). Comme toutes les autres ondes électromagnétiques, elles interagissent avec la matière. Dans la mesure où elles ne rencontrent pas une surface métallique, sur laquelle elles se réfléchissent, les micro-ondes pénètrent les objets et s'y transforment en chaleur. Cette constatation se vérifie particulièrement dans le cas d'un matériau contenant de l'eau, qui les absorbe facilement. Ce phénomène de résonance entre l'eau et les micro-ondes est lié aux fréquences naturelles de rotation de la molécule H_2O , qui sont du domaine des micro-ondes. Quoi qu'il en soit, il conduit naturellement à l'utilisation de ces ondes pour élever la température des aliments (Figure 4) (Douglas, 1993).

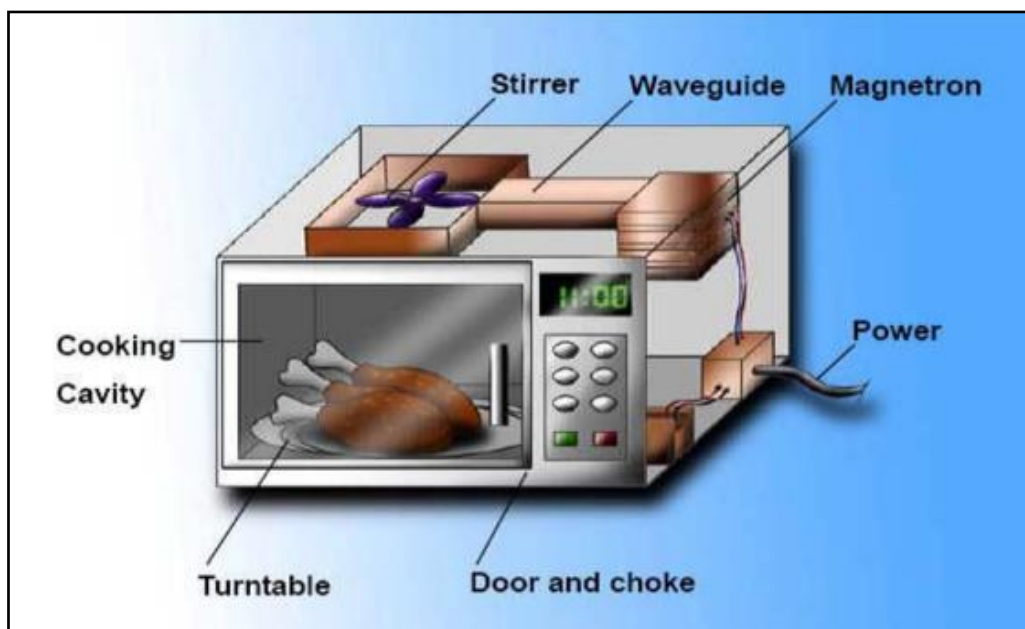


Figure n° 4 : Structure de base d'un four à micro-ondes (Mathavi, 2013).

L'application d'énergie à micro-ondes, notamment pour le séchage ou la déshydratation, a été commercialisée avec succès dans de nombreux secteurs de l'industrie alimentaire en raison de la réduction considérable du temps de séchage **(Prabhat et al, 2013)**.

Il a été rapporté qu'il était au moins deux fois plus efficace que les méthodes de séchage conventionnelles pour les aliments **(Rattanadecho et al, 2015)**.

La déshydratation du gingembre est une nécessité vitale pour réduire les pertes après récolte avec un minimum de modifications des propriétés physiques, chimiques et organoleptiques **(Ismail et al, 2012)**.

Mais Une exposition prolongée du produit à une température élevée entraîne une dégradation importante de la qualité du produit séché, principalement des attributs sensoriels (couleur, odeur, texture et saveur) et nutritifs (vitamines) **(Prabhat et al, 2013)**.

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

II.4 Séchage à l'étuve

Le séchage à l'air classique ou à l'air chaud est l'une des opérations les plus fréquemment utilisées pour la déshydratation des aliments. Le séchage à l'air, en particulier, est un processus ancien utilisé pour conserver les aliments dans lesquels le solide à sécher est exposé à un flux d'air chaud qui coule en permanence et où l'humidité s'évapore. Le phénomène sous-jacent à ce processus est un problème complexe impliquant à la fois de la masse et de l'énergie.

Le séchage à l'air offre des produits déshydratés pouvant avoir une durée de vie prolongée, mais malheureusement, la qualité d'un produit séché de manière conventionnelle est généralement considérablement réduite par rapport à celle du produit alimentaire d'origine **(Vasseur, 2009)**.

L'air chauffé est mis en contact avec le matériel humide pour faciliter la chaleur et le transfert massif ; la convection est principalement impliquée. Il faut préciser la consigne de température de l'étuve, le temps de séjour, et la taille de l'échantillon à tester. Le choix de ces deux critères doit être adapté au rapport surface/volume (Figure 5) (Vasseur, 2009).



Figure n° 5 : Photographie d'une étuve.

Ce type de séchage présente plusieurs avantages (Bimbenet *et al.*, 2002 ; Simon, 2012):

- Il est simple et relativement facile à utiliser,
- la température du séchage peut être contrôlée,
- la rapidité et la facilité sont aussi des caractéristiques non négligeables.

Néanmoins, plusieurs chercheurs ont souligné que le séchage conventionnel :

- Provoque une dégradation importante de la qualité du produit tel que : la couleur, la texture, la flaveur, les nutriments,
- longue durée du séchage,
- sévère rétrécissement, implique souvent une réduction de transfert de l'humidité et parfois réduction de transfert de chaleur (Yongsawatdigul et Gunaskaran, 1996 ; Freng et Tang, 1998 ; Maskan, 2000 ; Gowen *et al.*, 2008).

Chapitre III

Matériel et Méthodes

I. Matériel

I.1. Matériel végétal

Dans le présent travail, les racines de gingembre frais (*Zingiber officinale* Roscoe) ont fait l'objet de cette étude (figure 6). L'échantillon a été acheté sur le marché local de la ville de Bejaia.



Figure n°6 : Rhizome de *Zingiber Officinale* Roscoe

Les racines de gingembre ont été triées, bien lavés avec de l'eau de robinet et de l'eau distillée, puis découpées en fines tranches d'environ 4 mm d'épaisseur.

II. Méthodes

II.1. Taux d'humidité

Les échantillons sont pesés avant et après séchage, la perte de masse permet ainsi de calculer l'humidité de l'échantillon. 5 g de gingembre (coupé en rondelles) ont été séchés à 103 ± 2 °C. La teneur en eau est déterminée selon la formule suivante :

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

Avec :

H (%) : humidité ;

P₀ : représente le poids initial de l'échantillon ;

P_f : représente le poids final de l'échantillon.

II.2. Séchage du matériel végétal

Les racines de gingembre frais ont subi deux types du séchage étuve et micro-onde (à différentes températures et puissances).

II.2.1. Séchage par micro-onde

Pour le séchage au micro-onde, les tranches fines de gingembre ont été étalées sur une assiette en verre à montre en monocouche, ensuite séchées au micro-onde pour 5 puissances différentes (180, 360, 540, 720 et 900W). (Figure 7.C).

II.2.2. Séchage par étuve (conventionnel)

La même méthode que la précédente a été réalisée pour le séchage à l'étuve, où les tranches fines ont été étalées sur une assiette en aluminium, puis ont subi un séchage à 40°C (Figure 7.B).

Pour les deux types du séchage la perte de masse a été suivie périodiquement, jusqu'à avoir une valeur constante, et la cinétique a été réalisée en triples tests.

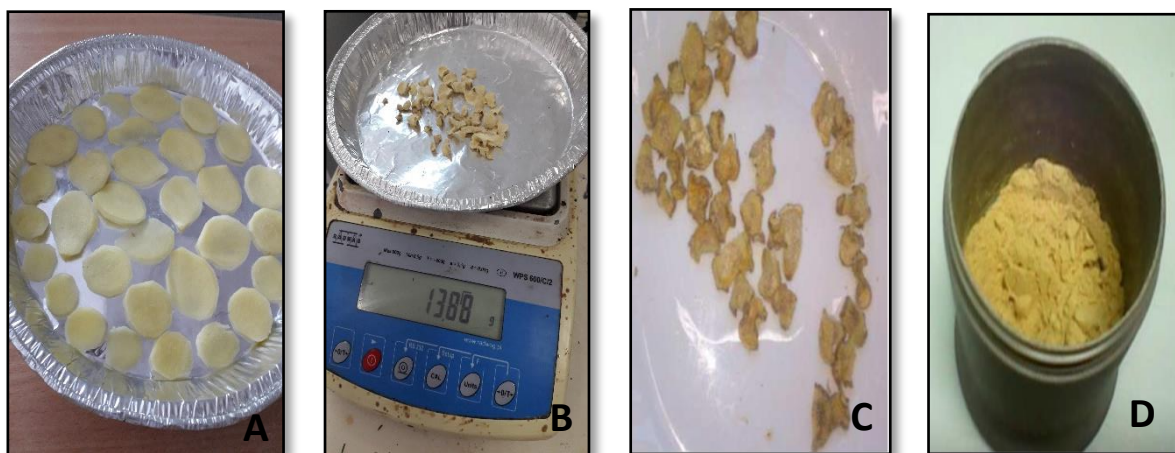


Figure n°7 : (A) : Photographies des tranches du gingembre, (B) : Photographie de gingembre séché à l'étuve et (C) : au micro-onde, (D) : photographie de la poudre de gingembre.

II.3. Broyage et tamisage

Après le séchage par les deux méthodes, le matériel végétal séché a été broyé à l'aide d'un broyeur électrique puis tamisé en fractions de granulométries < 250 μm (Figure 7.D). Les poudres récupérées ont été conservées dans des flacons, en verre fumé, fermés hermétiquement et stockés à l'abri de la lumière et de l'humidité pour des utilisations ultérieures.

Pour les dénominations des poudres obtenues :

- + P100 cela veut dire la puissance entière du micro-onde qui est de 900 watts,
- + P80= 80% de la puissance du micro-onde, c'est à dire 720 watts,
- + P60= 60% de la puissance du micro-onde, c'est à dire 540 watts,
- + P40= 40 % de la puissance du micro-onde, c'est à dire 360 watts,
- + P20= 20% de la puissance du micro-onde, c'est à dire 180 watts,
- + E40= 40°C de la température de l'étuve.



Figure n°8 : Six échantillons de poudre de Rhizome de *Zingiber Officinale*.

III. Extraction des composés phénoliques

L'extraction utilisée dans cette étude est de type solide-liquide. Son principe consiste à la séparation des composés phénoliques solubles par diffusion à partir d'une matrice solide (poudre) en utilisant une matrice liquide (solvant). Quand une matrice solide est en contact avec un solvant, les composants solubles dans le matériel migrent vers le solvant ; ainsi, l'extraction est due au transfert de matière du principe actif de la matrice vers le solvant, selon un gradient de concentration (**Kamaliroosta et al., 2012**).

+ Extraction par macération à l'éthanol

La poudre obtenue a été soumise à une extraction par macération selon la procédure décrite par **Mukherjee et al., (2014)**, avec quelques modifications. Un 1g de poudre de gingembre a été rajouté dans 25ml d'éthanol à 75%, le mélange a été mis sur un agitateur pour une agitation pendant 1h à 40 °C, puis ce dernier (mélange) a été centrifugé à 1800 rpm/ 30 min. Les extraits ont ensuite été passés sur un papier filtre (Whatman n° 4). Le 1^{er} surnageant a été récupéré dans un bécher (Figure 9).

Puis, le filtrat a été réextrait avec 25 ml dans les mêmes conditions et les deux fractions récupérées ont été combinées et conservés à 4°C à l'abri de l'humidité et de la lumière.

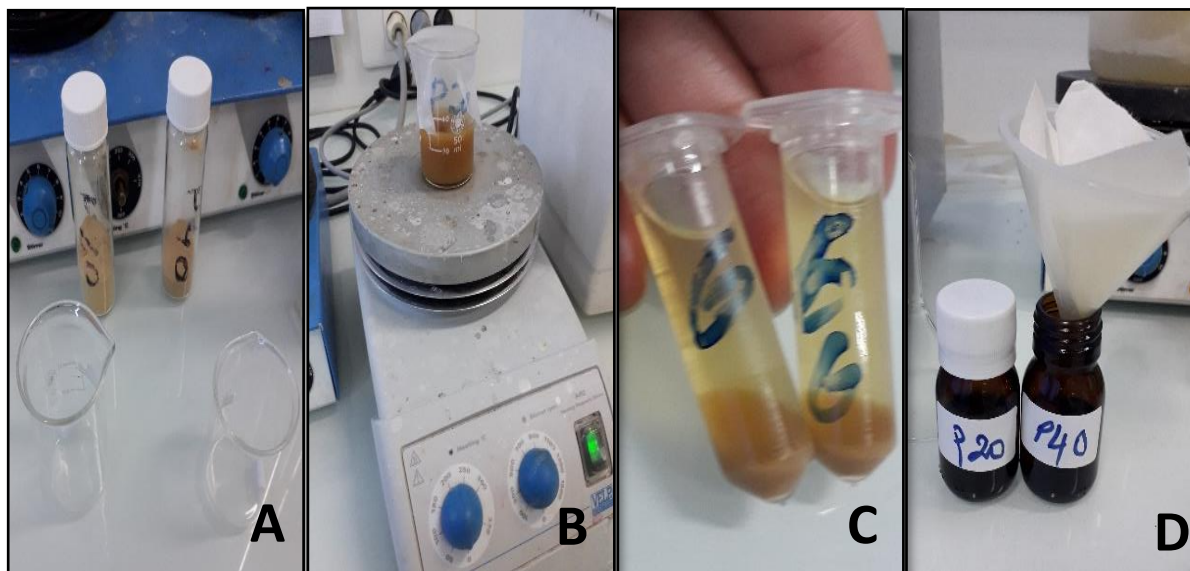


Figure n°9 : les différentes étapes d'extraction par macération à l'éthanol.

IV. Dosage des composés phénoliques

IV.1. Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux est déterminé en utilisant la méthode du réactif de Folin-Ciocalteu, cette méthode est basée sur la réduction en milieu alcalin du mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$), conduisant à la formation de produit de réduction de couleur bleue de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}) (**Enneb et al. 2015**). La coloration produite, dont l'absorption maximum est comprise entre 725 et 750 nm est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux (**Nathalie, 2006**).

La teneur en composés phénoliques totaux de l'extrait est estimée selon la méthode décrite par **Sharif and Bennet (2016)** avec quelques modifications apportées.

500 μ l de réactif Folin-Ciocalteu à 10% ont été ajoutés à 1 ml de chaque extrait dans un tube à essai. Au bout de 5 minutes dans l'obscurité, 4 ml de carbonate de sodium à 7,5% ont été ajoutés. La solution a été agitée et incubé à une température ambiante pendant une heure à l'obscurité. L'absorbance des extraits a été mesurée à 760 nm en utilisant un spectrophotomètre UV visible par rapport à un témoin préparé sans extrait.

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

IV.2. Dosage des flavonoïdes totaux

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

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

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

IV.3. Dosage des caroténoïdes

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

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

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

méthode résident dans l'absence de la centrifugation et la réalisation de la saponification avec le KOH. La détermination des absorbances est effectuée à la longueur d'onde de 450 nm.

Les concentrations en caroténoïdes sont estimés en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant le β carotène (annexe I) et les résultats sont exprimés en mg équivalent de β carotène par 100 grammes de poudre.

V. Activité antibactérienne

V.1. Souches bactériennes

Pour tester l'activité antibactérienne des extraits de *Zingiber officinale*, cinq souches ont été utilisées ; dont trois de type Gram-négatif ; *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*. Et deux de type Gram-positif ; *Bacillus subtilis*, et *Staphylococcus aureus*.

Ces souches proviennent du Laboratoire d'Ecologie Microbienne (L.E.M.) de l'Université A/Mira Bejaia. Le tableau IV montre les souches bactériennes testées.

Tableau IV : Tableau représentatif des différentes souches bactériennes testée

Souches	Références
<i>Escherichia coli</i>	ATCC 25922
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ATCC 27853
<i>Bacillus subtilis</i>	ATCC 6633
<i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC 25923
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	* KPC

ATCC : American Type Culture Collection ;

*Résistante aux β -lactamines (Carbapénème : KPC).

V.2. Préparation de l'inoculum

L'activité de tout agent antimicrobien dépend de la densité de la suspension cellulaire de la souche cible utilisée. La taille de l'inoculum bactérien est un élément primordial contribuant de façon essentielle à la qualité des résultats de l'antibiogramme, d'où la nécessité de standardiser l'inoculum bactérien.

Les souches microbiennes sont ensemencées par stries dans un milieu de gélose nutritive, après incubation 18 h à 37° C, quelques colonies bien isolées sont prélevées à l'aide

d'une anse de platine. Ensuite, on décharge l'anse de platine dans 10 ml d'eau physiologique stérile à 0.9 % et on homogénéise la suspension bactérienne à l'aide d'un vortex ensuite on fait des dilutions afin de standardiser la suspension bactérienne. L'inoculum est ajusté à 0.5 Mc Ferland correspondant à une densité optique de (0.08 à 0.10) à 625 nm. La concentration finale de l'inoculum est de 10^8 UFC/ml (**CA-SFM / EUCAST 2019**).

V.3. Evaluation de l'activité antibactérienne

L'activité antimicrobienne des extraits de *Zingiber officinale* est évaluée en utilisant la méthode de diffusion sur milieu gélosé " méthode de l'antibiogramme".

Le protocole suivi dans la présente étude, pour réaliser cet antibiogramme, est rapporté par plusieurs auteurs **Choi et al., 2006 ; Kablan et al., 2008 ; Abou Elkhair et al., 2010** ou les disques d'antibiotiques sont remplacés par des disques imprégnés avec les différents extraits.

A partir d'une culture jeune de 18 à 24 heures, des colonies isolées sont prélevées puis mises dans 9 ml d'eau physiologique, après homogénéisation de la suspension bactérienne, l'absorbance de la suspension est ajustée à une absorbance de 0,1 à 625 nm. Des boîtes de Petri coulées avec le milieu gélosé Mueller Hinton à raison de 4 mm d'épaisseur, sontensemencées, par écouvillonnage, à partir de suspensions de souches tests de 10^7 UFC/ml. Ensuite des disques de papier stériles sont déposés dans des boîtes de pétriensemencées puis imprégnés avec un volume de 20 µl des différents extraits de plante à différents concentrations (mg/ml) issus d'une SM (100mg/ml) (**Karabay et al., 2007 ; Abou Elkhair et al., 2010**). Les boîtes de Pétri sont mises au réfrigérateur à 4°C pendant trois heures pour une pré-diffusion. Des zones d'inhibition autour des disques sont mesurées en millimètres après incubation à 37°C/24 heures pour les souches bactériennes (**Bansemir et al., 2006**).

Le solvant d'extraction est utilisé comme témoin négatif. Un standard de polyphénol (acide gallique) est testé vis-à-vis de toutes les souches cibles.

Le dosage antibactérien a été réalisé en triple exemplaire avec chaque souche bactérienne.

Selon **Barros et Coll. (2007)**, l'activité antimicrobienne est exprimée en zones d'inhibition comme suit :

- Diamètres inférieurs à 7 mm : aucune activité antimicrobienne (–),
- Diamètres de 7 à 9,9 mm : activité antimicrobienne faible (+),

- Diamètres de 10 à 11,9 mm : activité antimicrobienne modeste (+ +),
- Diamètres de 12 à 15 mm : activité antimicrobienne élevée (+ + +),
- Diamètres supérieurs à 15 mm : activité antimicrobienne forte (+ + + +) (**Chikhi, 2014**).

VI. Etude statistique

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

Chapitre IV

Résultats et discussion

I. Test d'humidité

L'humidité et la matière sèche sont deux paramètres complémentaires importants pour connaître la teneur en eau, et pour pouvoir estimer le rendement après séchage. Le taux d'humidité du gingembre est de 63% et la matière sèche représente 37% (figure 10). Cela signifie que plus de la moitié de la plante fraîche est constituée d'eau.

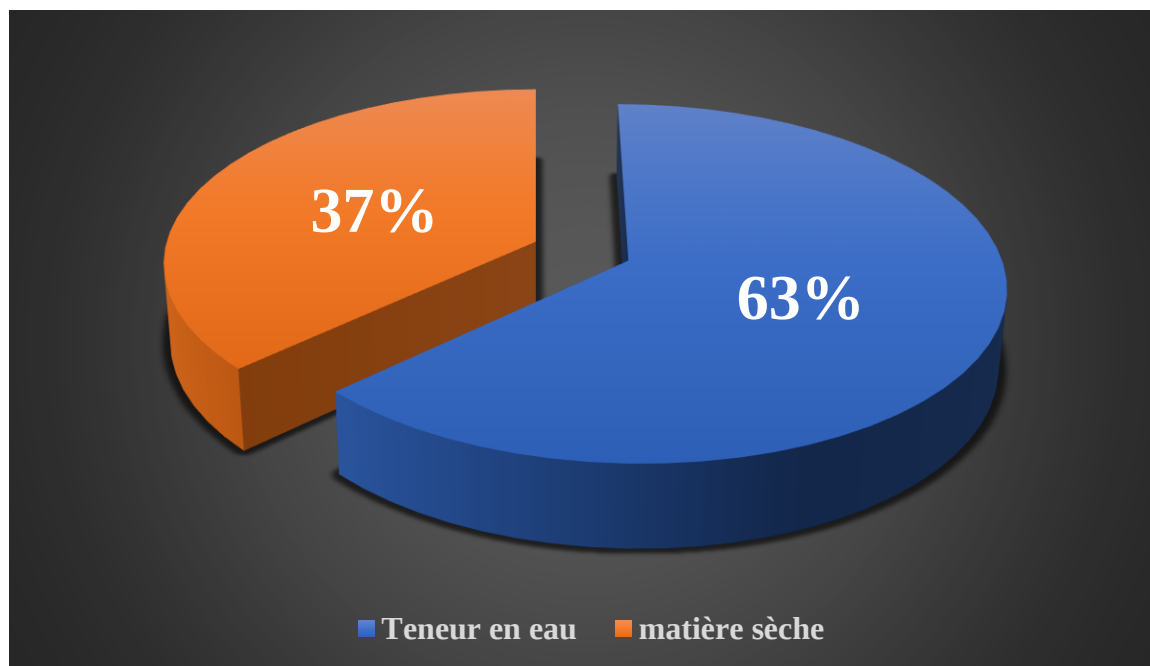


Figure n°10 : Représentation du taux d'humidité du gingembre.

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

II. Séchage

Le séchage des échantillons permet d'assurer une meilleure élimination d'eau, tout en préservant la composition en polyphénols. En outre, l'eau représente une source de dégradation des composés phénoliques par oxydation enzymatique telle que la polyphénols oxydase qui modifie leurs structures (**Tomas-Barberan et Espin, 2001**).

Le séchage conventionnel (air libre, étuve) et innovant (micro-onde) sont les méthodes adoptées dans cette étude et ce dans le but de comparer les performances des deux procédures.

II.1. Séchage par microonde

La perte de masse en fonction du couple temps-puissance du séchage assisté par microonde est représentée dans la figure 11.

Le temps de séchage le plus long est attribués à la puissance 180 W, qui est de 2000 s. Par contre, le temps le plus court est obtenu lorsque le séchage à 360 W, 720 W et à 900 W (la stabilité de la masse est atteinte à 1000 s)

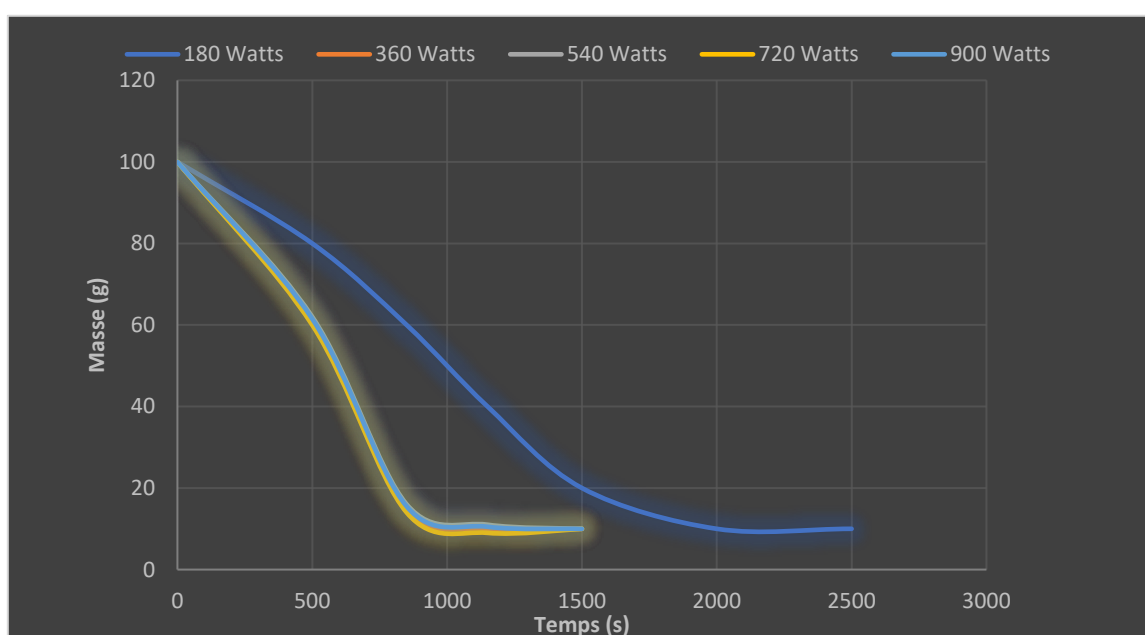


Figure n°11 : Evolution de la perte de poids en fonction du temps de séchage et de la puissance du micro-ondes.

Plus le niveau de puissance est grand, plus le temps de séchage est réduit. Cela a été démontré par **(Ghanem et al., 2012)** sur l'écorce d'agrumes.

Les résultats obtenus montrent que le temps de séchage est inversement proportionnel aux puissances de séchage, donc plus le niveau de puissance est élevé, plus le temps de séchage est réduit **(Chemat et al., 2008)**. L'efficacité du séchage par micro-ondes peut être expliquée par une pression interne élevée, ce qui donne un gradient de concentration qui augmente l'évaporation du liquide à travers le produit jusqu'à la stabilité de la perte de poids **(Chemat, Lagha et al. 2004)**.

II.2. Séchage par l'étuve

La perte de masse en fonction du couple temps-puissance du séchage assisté à l'étuve est représentée dans la figure 12.

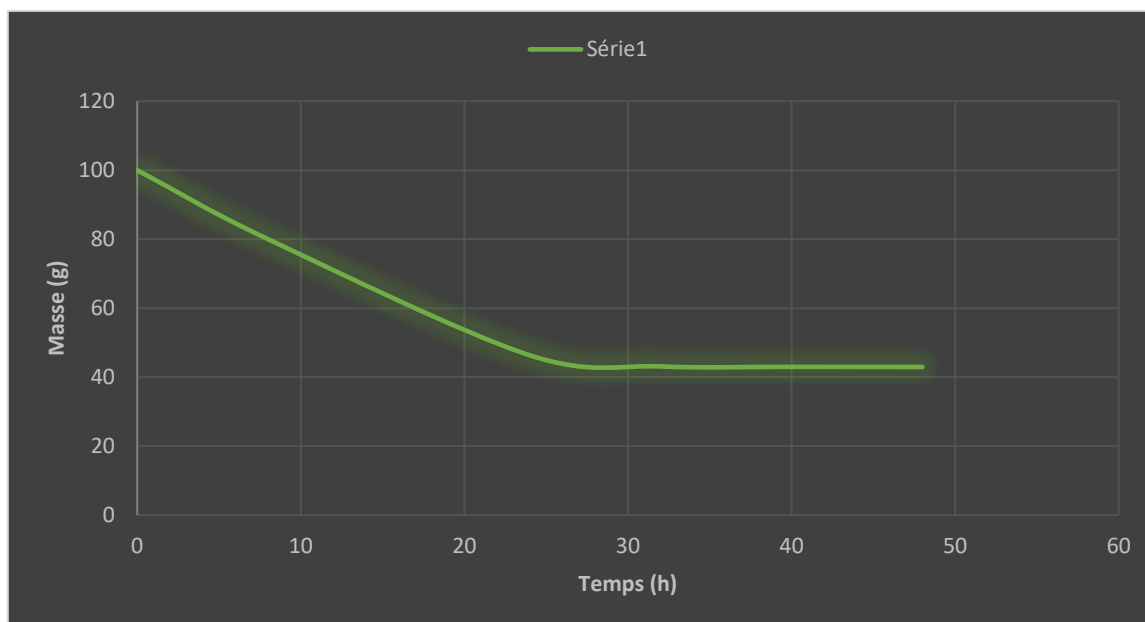


Figure n°12 : Evolution de la perte de masse en fonction du couple temps-température du séchage à l'étuve.

Le graphique montre la variation de la perte de poids en fonction du temps et de la température de séchage. Le poids de l'échantillon diminue avec la progression dans le temps. La stabilité en poids de l'échantillon séché à 40 ° C a été atteinte après 30 heures de séchage. Les résultats montrent que la température utilisée influe largement sur la vitesse de la perte de masse des rhizomes de gingembre pendant leur séchage.

La stabilité du poids peut être expliquée par le fait que la température de la surface atteint celle de l'air de séchage car la force de migration de l'eau de l'intérieur vers la surface est insuffisante. D'autre part, il est également possible qu'il n'y ait plus d'eau libre dans le produit donc l'humidité de la surface est en équilibre avec l'humidité de l'air de séchage, ce qui signifie que le séchage est terminé (Jean,2011 ; Jean-Jacques et al.,2003).

II.3. Discussion générale sur le séchage

Le temps de séchage à l'étuve est d'environ 30 h (40 ° C), ce qui est nettement supérieur à celui du micro-ondes 16 min (figure 13). Le temps de séchage le plus court obtenu par micro-ondes peut s'expliquer par le transfert rapide de masse dans les aliments pendant le chauffage.

L'absorption de l'énergie par le micro-onde génère de la chaleur dans les aliments et crée des gradients de température et de concentration élevés pour la pression interne (**Sumnu, Sahin et al., 2005**). La comparaison entre les deux types de séchage appliqués, conventionnel et microonde, a montré que l'utilisation du microonde réduit considérablement le temps de séchage.

Des résultats similaires sont obtenus par différentes études dans lesquelles le temps de séchage aux fruits et légumes aux micro-ondes est significativement plus court que celui obtenu pour le temps de séchage à l'air chaud (**Sumnu, Sahin et al., 2005 ; Sharma, Kumari et al., 2007**).

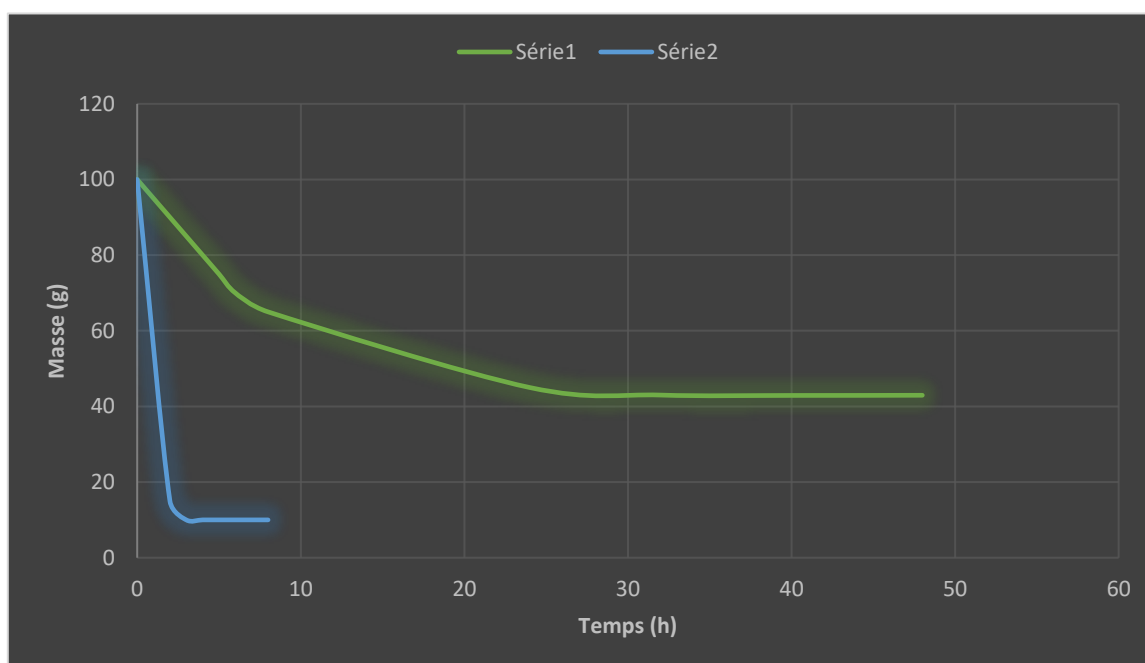


Figure 13 : Evolution de la perte de masse en fonction du temps, température et puissance du séchage à l'étuve et par micro-onde.

Les résultats montrent que le séchage par microonde permet de déshydrater mieux le matériel végétal que le séchage conventionnel. Ce qui confirme l'efficacité du séchage micro-onde en termes de temps.

Cette comparaison indique que le transfert de masse au sein de l'échantillon a été rapide au cours du chauffage par micro-ondes par rapport au séchage par étuve. Car le séchage innovant ne nécessite que 33min et 33s pour la puissance minimale de 180W, alors que, pour la température de 40°, le séchage conventionnel a été après 30h. L'accélération du séchage par

micro-onde observée a peut-être été provoquée par une ouverture de la structure physique, permettant l'évaporation rapide et le transport de l'eau (Maskan, 2000).

III. Etude phytochimique

III.1. Teneur en composés phénoliques

III.1.1. Dosage des polyphénols totaux

Les teneurs en polyphénols totaux des poudres de *Zingiber officinale Roscoe* issus du séchage par micro-onde et à l'étuve sont présentées sur la figure 14.

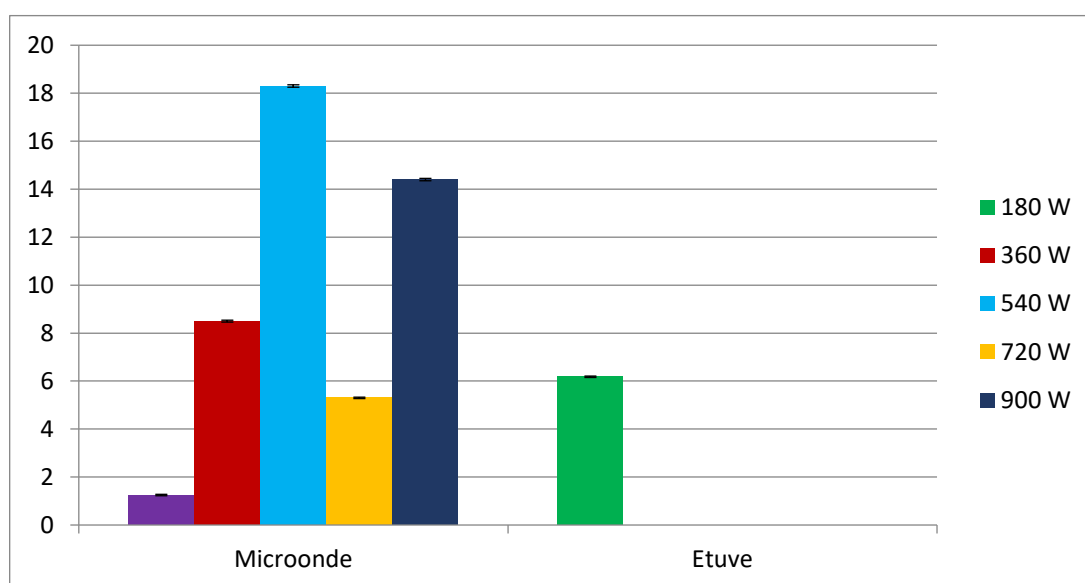


Figure n°14 : Teneurs en polyphénols totaux des différents extraits du *Zingiber officinale*.

📊 Séchage au micro-onde

La figure 14 montre une différence significative ($p < 0.05$) des teneurs en polyphénol totaux en fonction de puissance de séchage.

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

dégradation de ces composés par les fortes radiations et le temps de séjour des produits aux cours de séchage dans le four microonde qui sont des paramètres qui influencent sur la quantité des polyphénols totaux.

Rababah et al. (2004) ont analysé des extraits de gingembre (*Z. officinale*) et ont enregistré une teneur de 39,9 mg EAG/g en polyphénol totaux qui n'est pas en parfait accord avec nos résultats ($18,3 \pm 0,09$ mg EAG/g MS).

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

Les teneurs en composés phénoliques obtenues semblent beaucoup plus importantes que celles obtenues par **An et al., (2016)** qui ont rapporté, suite à une comparaison des différents types de séchages du gingembre, par le séchage par le micro-onde une valeur 8.41 mg EAG/g MS.

Une étude antérieure réalisée par **Li et al., (2016)** a indiqué que la teneur en composés phénoliques totaux, de l'extrait de gingembre, la plus élevée est de 27,40 mg GAE/g. Cette teneur est supérieure à celle obtenue dans notre étude.

Les différences observées entre les résultats des différents travaux et ceux obtenus dans la présente étude peuvent être liées à la méthode d'extraction, à la structure chimique des composés phénoliques, la taille des particules formant l'échantillon, au temps et aux conditions de stockage ainsi qu'à la présence d'interférents (**Naczki et Shahidi, 2004 ; Li et al., 2006**).

Séchage à l'étuve

La figure 14 montre une différence significative ($p < 0.05$) entre les teneurs en polyphénols totaux en fonction de la température de séchage. La teneur en polyphénol total de l'extrait étudiée est de 5 mg EAG/g MS (40°C).

Vanzani et al., (2005) ont déduit que le taux des polyphénols totaux augmente à des températures de 25°C à 55°C. L'augmentation de la température au-delà de ces valeurs induit à la dégradation des polyphénols qui sont déjà conservés à des basses températures.

Selon la méthode du séchage (étuve et micro-onde) et les résultats obtenus, la teneur élevée est obtenue avec le séchage par micro-onde (18,3mg EAG/g MS), et la plus faible avec l'étuve (5 mg EAG/g MS).

III.1.2. Dosage des flavonoïdes

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

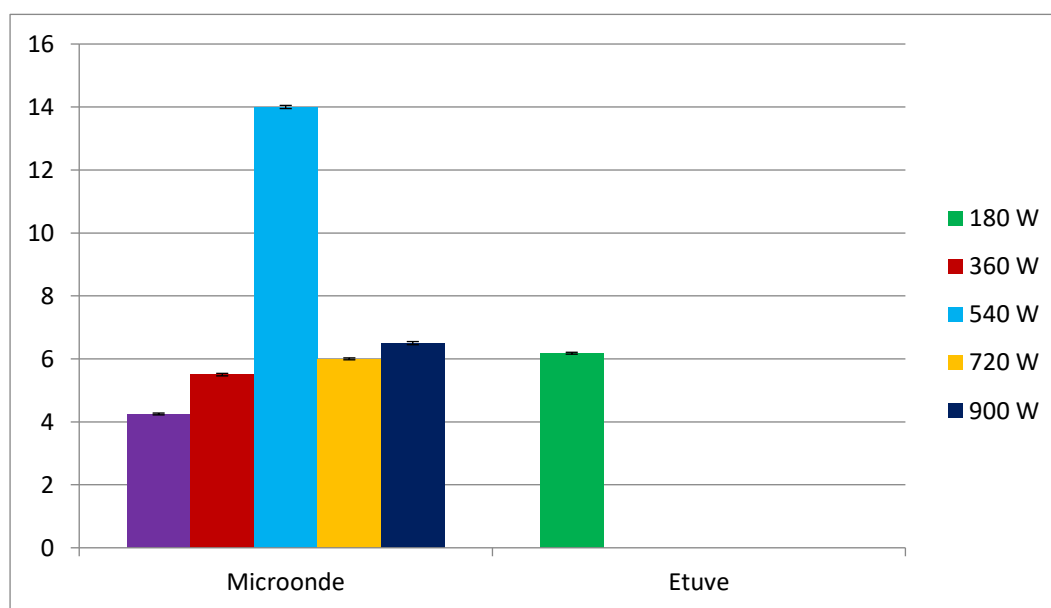


Figure n°15 : Teneurs en Flavonoïdes des différents extraits du *Zingiber officinale*.

🌈 Séchage au micro-onde

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

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

La teneur en flavonoïdes enregistré est de $14 \pm 0,09$ mg EQ /g MS. Cette teneur est supérieure à celle enregistré par **Tang et al. (2010)** qui ont obtenu une teneur de 6,14 mg EQ/g.

À l'exception d'Akinola *et al.* (2014) qui ont rapporté une valeur supérieure (90 mg/g) à celle obtenue dans notre étude, les autres travaux (Ghasemzadeh *et al.*, 2010 ; Jelled *et al.*, 2015) ont trouvé des teneurs inférieures qui sont de 3,90 mg/g et 13,52mg/g, respectivement.

🌈 Séchage à l'étuve

Les résultats montrent une différence significative ($p < 0.05$) de la teneur en flavonoïde en fonction de la température de séchage.

La teneur en flavonoïdes de l'extrait obtenu par séchage à l'étuve est de 6.18 mg EQ/g MS (40°C), selon Chan *et al.* (2009), la température élevée provoque la dégradation des flavonoïdes.

L'étude statistique a montré une différence significative $P < 0.05$ entre les rhizomes séchés à l'étuve et au micro-onde, dont la teneur élevée est obtenue avec le séchage au micro-onde ($14 \pm 0,09$ mg EQ /g MS à 540W), et la plus faible à l'étuve (6.18 mg EQ/g MS à 40°C).

III.1.3. Dosage des caroténoïdes

Les résultats de dosage des caroténoïdes obtenus, exprimés en mg d'équivalent de la β Carotène (E. β .C) par 100 g d'échantillon en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions (Annexe I), pour les différents extraits étudiés sont représentés dans la figure 16.

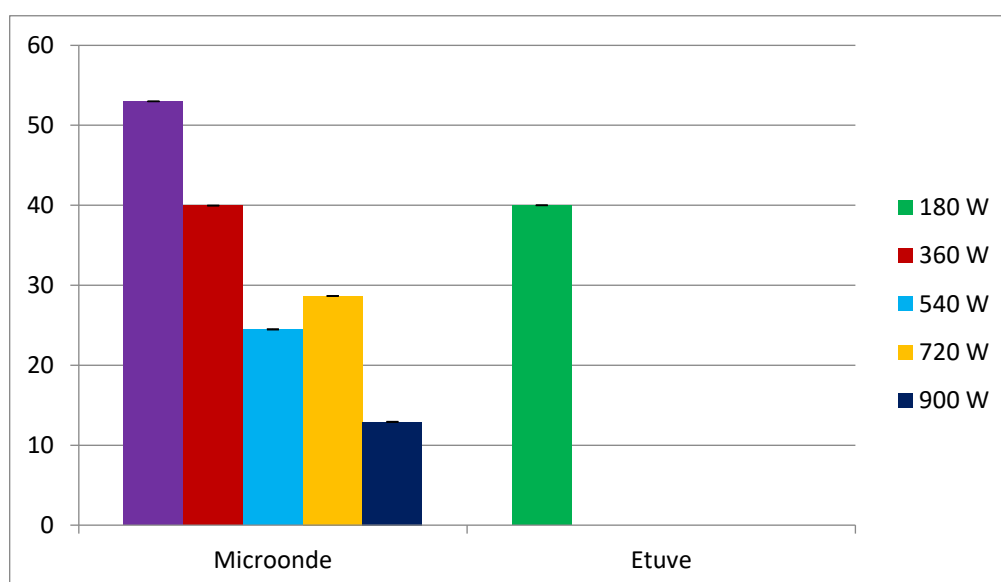


Figure n°16 : Teneurs en caroténoïdes des différents extraits du *Zingiber officinale*.

Séchage au micro-onde

Nos résultats montrent que la teneur en caroténoïdes des extraits séchées au microonde, pour les différentes puissances, varie entre $53 \pm 0,08$ mg /100g de MS et $12,91 \pm 0,06$ mg /100g de MS, le taux de caroténoïde le plus élevé est enregistrée pour P20 (puissance de 180W) ($53 \pm 0,08$ mg /100g de MS), suivie d'une valeur $39.96 \pm 0,06$ mg/100g obtenue à la puissance 360W (P40), $28.66 \pm 0,05$ mg/100g qui est attribuée à la puissance 720 W(P80) puis une teneur $24.48 \pm 0,09$ mg/100g à la puissance 540W (P60) et la valeur la plus faible est obtenue à la puissance de 900 W (P100) qui est $12.91 \pm 0,06$ mg /100g de MS.

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

La concentration en caroténoïdes des différents extraits sont supérieurs à celle trouvée par **Sangwan et al., (2012)** qui est de 0,78 mg/100 g.

Séchage à l'étuve

Selon les résultats obtenus on remarque que Le séchage conventionnel présente une teneur semblable à celle obtenue à la puissance 360W ($39.96 \pm 0,06$ mg/100g).

En comparaison aux autres extraits obtenus par séchage au microonde (720 W, 540W, 900 W), le rendement en caroténoïdes a augmenté au chauffage conventionnel.

Les résultats de la cinétique de séchage avec les deux méthodes montrent que le séchage par four à microonde accélère le séchage et réduit significativement le temps ce dernier, par la comparaison au séchage par l'étuve. En outre les résultats de dosage des différents paramètres montrant que la teneur la plus élevée en polyphénols totaux est obtenues pour l'échantillon séché par micro-onde à 520W (P60) ; pour les flavonoïdes le séchage par micro-onde à 520W (P60) donne le meilleur rendement, et les autres teneurs varié selon la température et la puissance.

Le séchage conventionnel du gingembre à 40°C a montré que la teneur en caroténoïde reste moins importante par rapport à la teneur obtenue par micro-onde.

IV. Activité antimicrobienne

Ces dernières années, plusieurs bactéries ont développé des résistances envers des antibiotiques utilisés pour le traitement des différentes infections chez l'Homme (**Zampini et al., 2005**). Chaque année plusieurs antibiotiques sont retirés des pharmacies à cause de leurs effets secondaires et de l'apparitions des maladies qui avant étaient rares et la résistance aux antibiotiques (**Karou et al., 2005 ; Zampini et al., 2005**). En effet, certaines souches arrivent à rétablir une multirésistance vis-à-vis de plusieurs antibiotiques à la fois donnant lieu à ce qu'on appelle les bactéries multi-résistantes aux antibiotiques (multidrug resistantes ou MDR) (**Bouyahya et al., 2017**).

Ces situations ont motivé les scientifiques à chercher de nouvelles substances antibactériennes à partir de sources multiples telles que les plantes médicinales.

En effet, des études basées sur la recherche des agents antibactériens ont montré que les plantes représentent une source potentielle de nouveaux antibactériens (**Arias et al., 2004 ; Zampini et al., 2005**).

Cette partie est consacré aux résultats de l'activité antibactérienne des différents extraits de gingembre sur 5 souches bactériennes. Ces souches sont responsables de diverses pathologies chez l'homme et elles sont aussi des agents des intoxications alimentaires.

L'objectif de cette partie est d'évaluer et comparer la capacité des différents extraits de gingembre à produire des composés bioactifs présentant un intérêt thérapeutique potentiel.

L'activités antibactérienne des différents extraits sont déterminées par la technique de diffusion sur gélose Muller-Hinton. Qui a été estimée en termes de diamètre de la zone d'inhibition autour des disques contenant les extraits à tester vis-à-vis de 8 bactéries. Les résultats sont exprimés selon trois niveaux d'activité : Résistant : $D < 8\text{mm}$, intermédiaire : $15\text{ mm} \geq D \geq 8\text{ mm}$ et sensible : $D > 15\text{ mm}$ (**Bansemir et al., 2006**).

L'activité antibactérienne des extraits de *Zingiber officinale* étudiées est illustrée dans le tableau VI.

Tableau V : Activité antimicrobienne des différents extraits de *Zingiber officinale* étudiée et le standard l'acide gallique.

Extraits	Dilution (mg/20µl)	Diamètre des zones d'inhibition (mm)				
		Bactéries à gram négatif			Bactéries à gram positif	
		<i>E. coli</i>	<i>K. pneumoniae</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>S. aureus</i>	<i>B. subtilis</i>
P20	50	09,00±0,06	12,00±0,02	14,00±0,03	12,00±0,02	17,00±0,03
	25	09,00±0,04	07,00±0,05	12,00±0,02	14,00±0,03	20,00±0,02
	12.5	08,00±0,06	07,00±0,06	11,00±0,01	13,00±0,04	17,00±0,01
	6.25	09,00±0,05	06,00±0,06	12,00±0,02	10,00±0,02	16,00±0,02
P40	50	11,00±0,02	09,00±0,03	07,00±0,02	10,00±0,02	09,00±0,05
	25	09,00±0,04	08,00±0,02	07,00±0,05	09,00±0,02	13,00±0,05
	12.5	09,00±0,03	08,00±0,01	06,00±0,05	10,00±0,01	08,00±0,01
	6.25	07,00±0,02	10,00±0,02	06,00±0,04	08,00±0,04	08,00±0,04
P60	50	12,00±0,05	11,00±0,02	09,00±0,01	15,00±0,02	13,00±0,04
	25	11,00±0,05	09,00±0,05	09,00±0,01	10,00±0,05	16,00±0,01
	12.5	11,00±0,01	08,00±0,03	09,00±0,01	12,00±0,03	15,00±0,05
	6.25	09,00±0,04	08,00±0,03	08,00±0,02	15,00±0,03	14,00±0,02
P80	50	10,00±0,07	10,00±0,01	11,00±0,05	12,00±0,02	16,00±0,02
	25	11,00±0,05	10,00±0,01	10,00±0,06	10,00±0,01	16,00±0,02
	12.5	13,00±0,05	11,00±0,01	09,00±0,05	12,00±0,01	13,00±0,06
	6.25	11,00±0,06	09,00±0,02	07,00±0,07	11,00±0,01	17,00±0,04
P100	50	14,00±0,02	12,00±0,05	16,00±0,04	12,00±0,06	16,00±0,02
	25	14,00±0,01	12,00±0,03	15,00±0,01	14,00±0,05	21,00±0,05
	12.5	12,00±0,01	11,00±0,05	15,00±0,05	16,00±0,05	22,00±0,06
	6.25	10,00±0,01	11,00±0,04	13,00±0,02	16,00±0,04	16,00±0,06
E40	50	15,00±0,04	14,00±0,02	15,00±0,02	10,00±0,02	14,00±0,02
	25	20,00±0,05	10,00±0,03	16,00±0,03	15,00±0,04	19,00±0,01
	12.5	20,00±0,05	08,00±0,04	20,00±0,04	09,00±0,03	15,00±0,01
	6.25	20,00±0,02	08,00±0,02	15,00±0,02	09,00±0,02	17,00±0,02
Acide gallique	50	19,00±0,02	15,00±0,06	13,00±0,05	07,00±0,04	22,00±0,06
	25	15,00±0,01	12,00±0,05	14,00±0,06	07,00±0,07	14,00±0,05
	12.5	17,00±0,02	11,00±0,05	13,00±0,04	10,00±0,05	17,00±0,06
	6.25	10,00±0,03	15,00±0,07	16,00±0,06	08,00±0,01	17,00±0,04

Les bactéries à Gram négatif étaient plus résistantes que les bactéries à Gram positif, comme le montre également tableau V.

Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés dans plusieurs publications concernant les extraits de plantes médicinales ou les bactéries à Gram négatif dévoilent une forte résistance aux extraits de plantes que les bactéries à Gram positif (Perry et al., 2004 ; Murray et al., 2009 ; Abou El-kheir et al., 2010 ; Athamina et al., 2010). Et ils sont conformes à la plupart des rapports publiés sur l'activité antimicrobienne du gingembre (Sebiomo et al., 2011 ; Akoachere et al., 2002).

IV.1. Activité antibactérienne des extraits à l'égard des bactéries à Gram positif

Activité antibactérienne des extraits vis-à-vis de *Staphylococcus aureus*

L'étude statistique n'a révélé aucune différence significative ($p < 0,05$) entre les différents extraits obtenus (P20, P40, P60, P80, E40), mais une différence significative ($p < 0,05$) est relevée entre ces derniers et l'extrait P100 vis-à-vis de *S. aureus*.

L'extrait éthanolique P100 possède le meilleur effet inhibiteur à l'encontre de cette souche. Les autres extraits exercent une activité intermédiaire avec une zone d'inhibition allant de 08 à 15 mm.

Nos résultats sont inférieurs comparés à ceux obtenus par **Santo Grace et al (2017)**. L'activité d'inhibition la plus forte de l'extrait de gingembre a été observée contre *Staphylococcus aureus* (zone de 23 mm).

L'activité antimicrobienne du gingembre brut à la fois à la température ambiante et à la température d'ébullition a été étudiée précédemment par **Pankaj et al (2012)**. Cependant, ils ont découvert que l'extrait de gingembre traité à la température d'ébullition avait perdu son activité antimicrobienne contre *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*.

Cette différence d'activité pourrait être attribuée à leurs profils en composés phénoliques.

Activité antibactérienne des extraits vis-à-vis de *Bacillus subtilis*

D'après les résultats de mesure de diamètre d'inhibition, il a été mis en évidence que les extraits éthanoliques de la poudre du gingembre, obtenus par deux méthodes, sont les plus efficaces vis-à-vis de *Bacillus*.

Il a également été possible de déduire que cette souche est la plus sensible aux extraits de gingembre, avec une activité antimicrobienne forte pour P20 et P100 de diamètres allant de 16 à 22 mm, et pour E40 : 17 et 19 mm pour les concentrations 25 mg et 6.25 mg/ 20 µl respectivement. Les zones d'inhibitions obtenues avec d'autres extraits varient de 8 à 15 mm.

L'étude réalisée par **Nguanpuag et al (2011)** a montré que *B. subtilis* était la plus sensible aux huiles de gingembre des deux méthodes, avec la plus grande zone d'inhibition de 23,3 et 11,7 mm de diamètre (hydrodistillation et extraction au solvant, respectivement).

IV.2. Activité antibactérienne des extraits à l'égard des bactéries à Gram négatif

Activité antibactérienne des extraits vis-à-vis de *E. coli*

Selon ces résultats, il apparaît nettement que les deux extraits du gingembre, étuvé et séché au micro-onde, montrent un effet inhibiteur sur la croissance de *E. coli*, il est à noter que l'extrait éthanolique du rhizome étuvé est actif à divers degrés et manifeste une activité antibactérienne plus prononcée, comparée à celle obtenu par micro-onde.

Le tableau V indiquent que la souche *E. coli* s'est révélée sensible à l'extrait éthanolique E40 étudié avec des zones d'inhibition de 15 et 20mm. Cependant, les zones d'inhibitions observées pour P20, P40, P60, P100 allant de 07 à 14 mm contre la souche *E. coli*.

Nos résultats sont meilleurs et supérieurs comparés à ceux obtenus par **Gull et al, (2012)** qui ont rapporté un effet inhibiteur vis-à-vis d'*E. coli* par l'extrait éthanolique de gingembre une zone d'inhibition de 15mm. Dans notre étude, nous avons mesuré des zones d'inhibition de 07 à 20 mm.

L'étude réalisée par **Pankaj et al (2012)** a montré que le gingembre présente sur *Escherichia coli* une zone d'inhibition de 19,0 mm à la température ambiante (26 ° C) et à une température plus élevée (100 ° C) 0 mm. Il a été constaté que, bien qu'une température plus élevée réduise de manière significative les propriétés antibactériennes du *Zingiber officinale*.

Activité antibactérienne des extraits vis-à-vis de *K. pneumoniae*

Aucune différence significative n'est observée entre les extraits vis-à-vis de *K. pneumoniae*, celle-ci s'est montrée sensible à ces deux extraits. Ils exercent une activité avec des zones d'inhibition allant de 7 à 14 mm. Sauf l'extrait P20 n'a pas d'effet inhibiteur à l'égard de *K. pneumoniae* à de faibles concentrations (25mg, 12.5mg et 6.25mg/20 µl) par contre à une concentration 50 mg/20µl, il exerce une activité intermédiaire avec une zone d'inhibition de 12 mm.

Gull et al, (2012) ont testé la sensibilité de *K. pneumoniae* vis-à-vis de trois extraits de gingembre (aqueux, éthanolique et méthanolique). Ils ont enregistré une activité inhibitrice avec des diamètres de 11 mm pour l'extrait éthanolique et aqueux et 12 mm pour l'extrait méthanolique. Elles sont inférieures à celles retrouvées dans notre étude concernant l'extrait éthanolique.

Dans les travaux de **Pankaj et al (2012)**, ils ont montré que l'extrait aqueux de rhizome est inactif sur *K. pneumoniae* à 100°C, en revanche l'extrait est actif à 26°C avec une zone d'inhibition de 20mm.

Activité antibactérienne des extraits vis-à-vis de *Pseudomonas aeruginosa*

Concernant la souche *P. aeruginosa*, la zone d'inhibition la plus large, 20 mm, est obtenues pour l'extrait P100 et E40. Par contre elle se montre résistante à P40, elle n'exerce aucune activité.

Les résultats des autres extraits présentent une activité antibactérienne faible à modeste sur la croissance de cette souche.

En **2014, Kumar et al** ont étudié l'effet de la zingérone, l'un des composés actifs de *Zingiber officinale* issu de la dégradation des gingérols, sur *Pseudomonas aeruginosa*. Ainsi montré que la zingérone modifie la structure du bacille pyocyanique, le rendant ainsi plus sensible au système immunitaire et aux antibiotiques.

IV.3. Activité antibactérienne de l'acide gallique

Les résultats illustrés dans le tableau V indiquent que le standard polyphénol (acide gallique) utilisé est actif vis-à-vis des souches testées. L'acide gallique a montré une activité faible à l'égard de *S. aureus*.

L'acide gallique exerce un effet inhibiteur, avec un diamètre d'inhibition de 11 à 16 mm, contre *P. aeruginosa* et *K. pneumoniae*, tandis que *E. coli* s'est révélée sensible à l'acide gallique avec des diamètres de 19 et 17 de concentration 50mg/20µl et 12,5 mg/20µl respectivement.

L'acide gallique s'est montré le plus actif vis-à-vis de *Bacillus subtilis* avec un diamètre d'inhibition de 22 mm à une concentration de 50mg/20µl.

IV.4. Discussion générale sur l'activité antibactérienne

Dans l'ensemble, les souches bactériennes testées à Gram positif étaient plus sensibles que les Gram négatifs. En effet les résultats obtenus par tous ces auteurs concordent avec ce qui a été observés dans la présente étude. En règle générale, les extraits de plantes sont habituellement plus actifs contre les bactéries Gram positif que les bactéries Gram négatif.

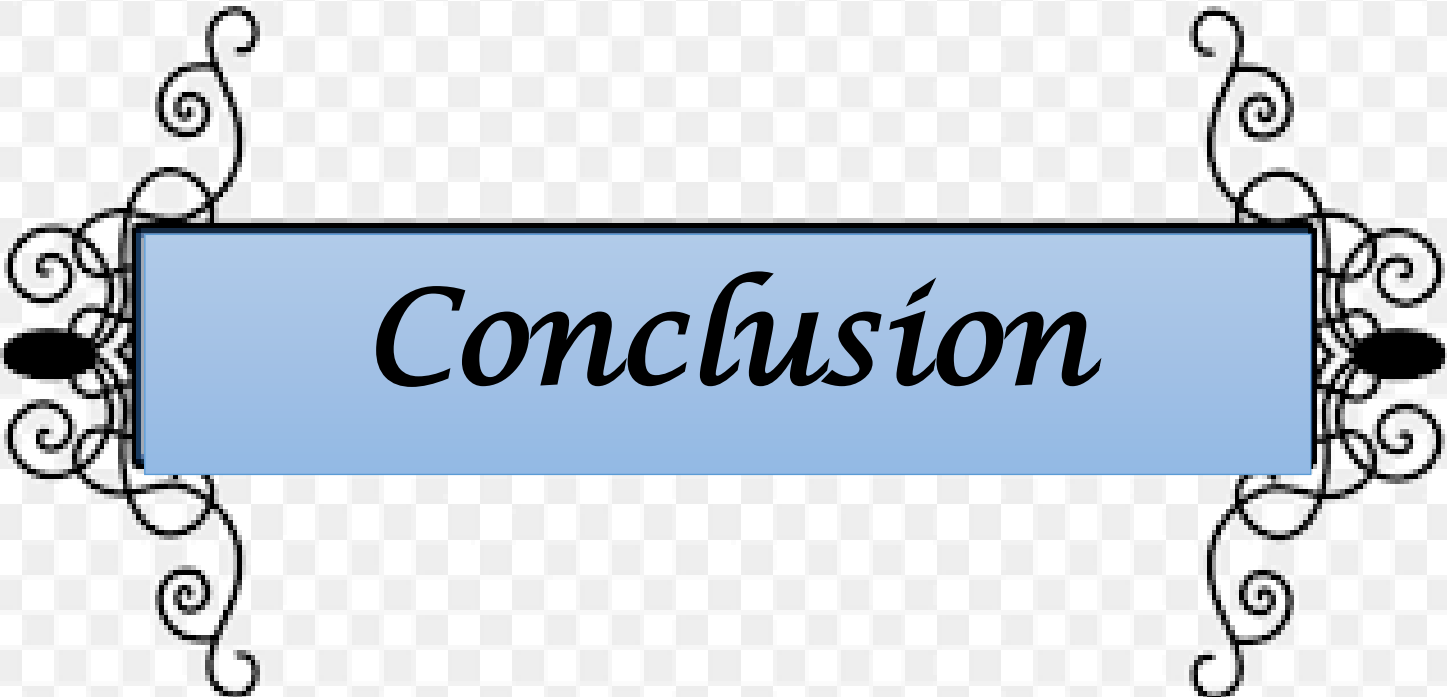
Ces variations d'inhibition peuvent être dues à des différences de composition et de surface de structure entre les bactéries Gram positives et Gram négatives (**Kandler, 1992**). En plus de la paroi cellulaire et de la membrane cellulaire, les bactéries à Gram négatif possèdent une membrane externe composée d'une bicouche phospholipidique, qui peut constituer une barrière protectrice contre ces composés phénoliques (**Oussalah et al., 2007**).

La plupart des phénols sont des agents de dénaturation des protéines ; ils peuvent modifier la perméabilité cellulaire, ce qui peut entraîner un gonflement et une rupture des cellules bactériennes. La plupart d'entre eux sont des chélateurs de métaux qui s'attachent au site actif des enzymes métaboliques, réduisant ainsi l'activité enzymatique et ralentissant ainsi le métabolisme et la reproduction bactériens (**Fisher, 1992**). Comme les bactéries à Gram négatif ont une membrane externe supplémentaire sur leur paroi cellulaire, l'entrée de phénols peut être interrompue et ses effets sont moins graves que ceux de la cellule. Cependant, les bactéries Gram positives manquent de la membrane externe et sont donc plus susceptibles d'entrer facilement dans les phénols (**Park et al., 2008**).

Les activités antibactériennes des extraits sont probablement dues aux composés tels que les flavonoïdes et l'huile volatile qui ont été dissous dans des solvants organiques. Il est rapporté que les sesquiterpénoïdes sont le composant principal du gingembre qui attribue son activité antibactérienne (**Malu, 2008**).

Concernant l'effet du séchage par les deux méthodes, micro-onde et étuve, sur l'activité antibactérienne du gingembre, les résultats montrent que les valeurs les plus élevées sont observées pour les extraits de la poudre issu par séchage au micro-onde.

Pour conclure, la rareté des études *in vivo* et des essais cliniques ne permet pas d'utiliser le gingembre comme traitement curatif des infections bactériennes. Cependant, les résultats de nombreuses études *in vitro* sont prometteurs : en effet, diverses familles de bactéries sont sensibles à l'action de *Zingiber officinale* ; il peut donc être qualifié d'agent antibactérien naturel. Bien que son action antibactérienne sur des souches multirésistantes reste à approfondir, il semble être une alternative efficace aux traitements antibiotiques classiques.



Conclusión

A travers les siècles, le savoir concernant les plantes s'est organisé, documenté et a été transmis de génération en génération. Aujourd'hui, le recours à la médecine par les plantes connaît un regain d'intérêt. Le présent travail s'intéresse à l'étude comparative des procédés de séchage et l'influence de ces procédés sur la quantité phénolique de *Zingiber officinale* ainsi que son activité antibactérienne.

Le résultat des cinétiques de séchage montre que, avec la méthode innovante du séchage assistée par micro-onde, la racine de gingembre se déshydrate plus rapidement que par la méthode conventionnelle. Avec la plus faible puissance utilisée du micro-onde (180W), il a fallu seulement 33 min pour stabiliser le poids d'échantillon, par contre, pour le rhizome séché avec des basses températures (40°C) de l'étuve, il a fallu 30h. Pour les fortes puissances du micro-onde (900W) 16 min ont été suffisantes pour déshydratées le gingembre.

Pour le dosage des polyphénols totaux, le rendement optimal est attribué au séchage par micro-onde à la puissance de 540W (18.3 mg EAG/g). Par contre, le séchage avec la méthode conventionnel le taux des PPT est de 5 mg EAG/g (40°C), qui reste inférieur et significatif au seuil obtenu au micro-onde. La même tendance a été constatée dans le cas des flavonoïdes.

D'autre part les résultats de dosage des caroténoïdes montrent que la teneur en caroténoïdes qui est de $53 \pm 0,08$ mg /100g de MS, revient à la puissance 180 W, et la teneur optimal pour l'étuve est attribuer pour la température 40°C (40 mg /100g de MS). Cette teneur reste moins importante par rapport à la teneur obtenue par micro-onde.

L'étude de l'activité antibactérienne des extraits de *Zingiber officinale* a montré que la plupart des souches bactériennes testées sont sensibles aux extraits étudiés. En comparant la sensibilité des souches cibles, nous remarquons des différences significatives dans la susceptibilité entre les bactéries Gram positives et Gram négatives. Cela est en accord avec quelques études réalisées dans cette optique.

La souche a Gram positive (*B. subtilis*), s'est révélé très sensible vis-à-vis des deux extraits du gingembre avec des zones d'inhibitions de 16 à 22 mm. Par contre, la souche à Gram négative (*Escherichia coli*), elle s'est révélée sensible à l'extrait obtenu par séchage conventionnel avec une zone d'inhibition de 20 mm, et pour les extraits obtenus par micro-onde exercent une activité intermédiaire contre cette souche.

Ceci pourrait refléter soit le large spectre d'activité d'un ou des composés phénoliques de ces extraits ou bien la variabilité des métabolites secondaires de la plante étudiée.

Cette étude nous a permis de mieux comprendre l'influence du séchage (microonde, étuve) sur la composition phytochimiques des poudres obtenues. A la lumière de cette recherche, on déduit que le séchage par micro-onde est plus favorable, d'une part le temps de séchage est beaucoup plus court par rapport au séchage à l'étuve. Et d'autre part en termes de rendement sur la composition phénolique, le séchage par micro-onde donne une meilleure rentabilité que celle de l'étuve.

Ainsi qu'en pouvoir antibactérien, le rhizome de gingembre possède une richesse. Ce qui pourrait le rendre une source potentielle de molécules bioactives en thérapeutique.

Tout fois, comme complément à la présente investigation, il serait souhaitable de :

- Faire d'autres températures ;
- Déterminer l'extraction avec d'autres solvants, et d'utiliser d'autres modes d'extraction ;
- Isoler et identifier les principes actifs responsables des activités antibactériennes ;
- Evaluation des différentes activités biologiques *in vivo* ;
- Réaliser des tests de cytotoxicité pour, éventuellement, éviter les doses toxiques en thérapeutique.

*Références
bibliographiques*

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES



Abou Elkheir, E., Fadde, H. and Abou Mohsen, U. 2010.Antibacterial Activity and PhytochemicalAnalysis of SomeAnalysis of SomeMedicinals Plants from Gaza StripPalestine. *Journal of Al Azhar University-Gaza*, **12**: 45-54.

Ajila CM, Bhat SG , Prasada Rao UJS. 2007. Des composants précieux d'écorces crues et mûres de deux variétés de mangues indiennes. *Food Chem*, 102 : 1006 – 1011.

Akoachere JF., Ndip RN., Chenwi EB., Ndip LM., Njock TE. andAnong DN. 2002. Antibacterial effect of *Zingiber officinale* and *Garcinia kola* on respiratory tract pathogens. *East Afr Med J*, **79** :588–592.

Akinola A. A., Ahmad S. andMaziah M., 2014, total anti-oxidantcapacity, flavonoid, phenolicacid and polyphenol content in tenselectedspecies of zingiberaceae rhizomes, *Journal Traditionel of Complement Alternative Medecine*, **11**:7-13.

Allinger. L ; Cava. P ; Jongh. C ; Johnson. R ; Lebel. A. Stevens chimie organique, Chp 28 (application 3) **1982**.

An Kejing, Dandan Zhao , Zhengfu Wang , Jijun Wu, Yujuan Xu , Gengsheng Xiao.2016. Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure. *Food chemistry*,**197**:1292-1300.

Arias, M.E., Gomez J.D., Cudmani N.M., Vattuone M.A and Isla M.I. 2004. Antibacterial activity of ethanolic and aqueous extracts of *Acacia aroma* Gill.ex HOOK et Arn. *Life Sciences*, 75:191-202.

Athamina S., Chalghem I., Kassah-laouar A., Laroui S. et Kherbi S. 2010. Activité antioxydante et antimicrobienne d'extraits de *Cuminumcuminum*. *Libanaise Science Journal*, **11**(1) :69-81.

Badreldin H. Ali., Blunden Gerald., Musbah O. T and Abderrahim N. 2008. Some phytochemical, pharmacological and toxicological properties of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) : A review of recent research. *Food and Chemical Toxicology*, **46** : 409–420.

Bahorun, T., Grinier, B., Trotin, F., Brunet, G., Pin, T., Luncky, M., Vasseur, J., Cazin, M., Cazin, C. and Pinkas, M. 1996. Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Arzneimittel-Forschung*, **46**(11): 1086-1089.

Bansemir A., Blume M., Schröder S. and Lindequist U. 2006. Screening of cultivated seaweeds for antibacterial activity against fish pathogenic bacteria. *Aquaculture*, **252** :79-84.

Barros L., Calhella R.C., Vaz J.A., Ferreira I.C.F.R., Baptista P., Estevinho L.M. 2007. Antimicrobial activity and bioactive compounds of Portuguese wild edible mushrooms methanolic extracts. *European Food Research and Technology*, Vol. 225, Issue: 2, pp. 151–156.

Beristain, Bauza., Silvia, D. C., Hernandez-Carranza, Paola., et al. 2019. Antimicrobial Activity of Ginger (*Zingiber Officinale*) and It's Application in Food Products. *Food Reviews International*, **12**: 2-11.

Boulekbache M. L., Slimani S. and Madani, K. 2013. Total phenolic content, antioxidant and antibacterial activities of fruits of *Eucalyptus globulus* cultivated in Algeria. *Industrial Crops and Products*, **41**: 85– 89.

Bouyahya, A., Bakri, Y., Et-Touys, A., Talbaoui, A., Khouchlaa, A., Charfi, S., Abrini, J. et Dakka, N. 2017. Résistance aux antibiotiques et mécanismes d'action des huiles essentielles contre les bactéries. *Phytothérapie*, 1-11.

Bonazzi.C et Dumoulin E. 2011. Quality Changes in Food Materials as Influenced by Drying Processes. 35 p.

Bimbenet, J.-J., Duquenoy, A., et Trystram, G., 2002. Génie des procédés alimentaires : des bases aux applications. Dunod.

Butin, A. 2017. Le gingembre : de son utilisation ancestrale à un avenir prometteur. Thèse de doctorat en Pharmacie. Université de Lorraine : faculté de Pharmacie, 117p.

CA-SFM / EUCAST 2019. Comité de l'antibiogramme de la Société Française de Microbiologie.Recommandations 2019 V.1.0 Janvier, p 138.

Chan E. W. C., Lim Y.Y., Wong S.K., Tan S.P., Lianto F.S. and Yong M.Y. 2009. Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species. *Food chemistry*, **112**(1) : 166-172.

Cheikh Ali Z. 2012. Études chimiques et biologiques d'Aframomum sceptrum (Zingiberaceae) et de la curcumine. Thèse de doctorat. Faculté de Pharmacie de ChâtenayMalabry. Université Paris-Sud (France) : 11.

Cheikha H. 2015. Chemical and antioxidant parameters of dried forms of ginger rhizomes, *Industrial crops and products*, **77** : 30–35.

Chemat S., A. Lagha et al. 2004. "Ultrasound assisted microwave digestion." *Ultrasonics sonochemistry*, **11**(1) : 5-8.

Chemat F., Tomas, V. et Viroth, M. 2008. Ultrasound-assisted extraction in food analysis. *Handbook of food analysis instrument* : 85-103.

Chikhi I. 2014. Composition chimique et activités biologiques des extraits de cinq plantes aromatiques et médicinales de l'ouest d'Algérie. Faculté des Sciences - Département de Chimie, Laboratoire des Substances Naturelles & Bioactives (LASNABIO). P 42.

Choi Y. M., Noh D. O., Cho S. Y., Suh H. J., Kim K. M. et Kim J. M. 2006. Activités antioxydantes et antimicrobiennes de la propolis de plusieurs régions de la Corée. *LWT - Food Science and Technology*, **39** (7), 756-761.

Chouleur, F., Gilson, C., Salell, M. 2009. Le gingembre : Des bienfaits prouvés. *DUT Génie Biologique Option Diététique*, 32 p.

Chrubasik S., Pittler M.H. et Roufogalis B.D. 2005. *Zingiberis rhizoma* : a comprehensive review on the ginger effect and efficacy profiles. *Phytomedicine*; **12**(9) : 684-701.

Ciqua, table de composition nutritionnelle des aliments. *Gingembre, poudre*. [En ligne]. (Modifié 2017) Disponible sur : <<https://ciqua.anses.fr/#/aliments/11006/gingembre-poudre>> (Consulté le 14/03/2019).

Cowan M.M. 1999. Plant products as antimicrobial agents. *American Society for Microbiology*, **12** (4): 564–582.

D

Djenane D., Yangüela J., Derriche F., Bouarab L., Roncales P. 2012. Utilisation des composés de feuilles d'olivier comme agents antimicrobiens ; application pour la conservation de la viande fraîche de dinde. Revue « *Nature et Technologie* », **07** : 53 – 61.

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

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

Douglas, C. G. 1993. Physique générale 2 : électricité et magnétisme. Canada : *DeBoeck Université*, p. 282, 287.

E

Enneb H., Belkadhi A., Cheour F., Ferchichi A., 2015. Comparaison des composés phénoliques et du pouvoir antioxydant de la plante de henné (*Lawsoniainermis L.*). *Journal of New Sciences*, **20**(2): 788-793.

F

Faivre C. I., Lejeune R., Staub H and Goetz P. 2006. *Zingiber officinale* Roscoe. Springer, 2: 299-102.

FAO / OMS. 2017. Commission du Codex Alimentarius ; rapport de la 3e session du comité du codex sur les épices et herbes culinaires. Inde : *FAO / OMS*, 47 p.

Fedemet, Fédération nationale des épices, aromates et mélanges Technologique. *Gingembre et galanga*. 2017. Newsletter SNPE / SYMTIA n°5. Paris, p.6.

Fisher C. 1992. Phenolic Compounds in Food and their effects on Health, *ACS Symp. Ser* Pp:506.

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

Freng, H. et Tang, J. (1998). Microwave Finish Drying of Diced Apples in a Spouted Bed. *Journal of food science*. 63(4): 679-683.



Ghanem KM, FA Al-Fassi, Biag AK. 2012. Optimisation de décoloration du méthyl orange par culture bactérienne mono et mixte techniques utilisant des modèles statistiques. *Journal africain de Microbiology Research* 6 : 436-446.

Ghasemzadeh, A., Jaafar H. E. et Rahmat, A. 2010. Antioxidant activities, total phenolics and flavonoids content in two varieties of Malaysia young ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Varieties Molecules*, 15: 4324-4333.

Gigon, F. 2012. Le gingembre, une épice contre la nausée. *Springer-Verlag*, vol.10, p.87-91.

Gómez-Caravaca, A. M., Gómez-Romero, M., Arráez-Román, D., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2006). Advances in the analysis of phenolic compounds in products derived from bees. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41, 1220-1234. PMid:16621403.

Gowen, A.; Abu-Ghannam, N.; Frias, J. et Oliveira, J. (2008). Modeling dehydration and rehydration of cooked soybean subjected to combined microwave- hot-air drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 9(1): 129-137.

Gull, I., Mariam, S., Shaukat, H., Aslam, S.M, Samra, Z.Q and Athar, A.M. 2012. Inhibitory effect of *Allium sativum* and *Zingiber officinale* extracts on clinically important drugres is tant pathogenic bacteria. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*, 11 :8.

Gurib-Fakim, A. 2006. Plantes médicinales : traditions d'hier et médicaments de demain. *Aspects moléculaires de la médecine*, 27 (1) : 1–93.

I

Ismail, R. Kubra., LingamalluJagan, Mohan Rao. 2012. Microwave drying of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) and it's effects on polyphenolic content and antioxidant activity. *International Journal of Food Science and Technology*, p. 1.

J

Jean-Jacques B., Catherine B. 2003. Séchage des produits alimentaires Principes Techniques de l'ingénieur Opérations unitaires du génie industriel alimentaire, base documentaire : TIB430DUO (ref. Article : f3000).

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

Jelled A., Fernandes A., Barros L., Chahdoura H., Achour L., Ferreira I., Ben Cheikh H. 2015. Paramètres chimiques et antioxydants des formes sèches de rhizomes de gingembre. *Produits et cultures industriels*, 77 : 30-35.

Jelled A., Fernandes A., Barros L., Chahdoura H., Achour L., Ferreira I.C.F.R. et Ben Cheikh H., Grace U.S., Sankari M., Gopi. 2017. Antimicrobial Activity of Ethanolic Extract of *Zingiber Officinale* – An in vitro Study. *J. Pharm. Sci. &Res*, 9(9):1417-1419.

Jyotsna, Dhanik., Neelam, Arya., VivekaNand. 2017. A Review on *Zingiber officinale*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(3): 174-184.

K

Kablan B. J., M. Adiko., D. P. Abrogoua. 2008. Évaluation in vitro de l'activité antimicrobienne de *Kalanchoecrenata* et de *Manotes longiflora* utilisées dans les ophtalmies en Côte d'Ivoire. *Phytothérapie*, **6**: 282–288.

Kamaliroosta, L., Gharachorloo, M., Kamaliroosta, Z., and KH A. Z. 2012. "Extraction of cinnamon essential oil and identification of its chemical compounds." *Journal of Medicinal Plants Research*, **6**(4): 609-614.

Kandler, O. 1992. Cell wall structure and their phylogenetic implications. A concise overview of the various kinds of bacterial walls and their chemical composition, including the archaeobacteria. *Syst Appl. Microbiol* **3**:149-160.

Karabay-Yavasoglu N.U., Sukatar A., Ozdemir G. and Horzum Z. 2007. Antimicrobial Activity of Volatile Components and Various Extracts of the Red Alga *Janiarubens*. *Phytotherapy research*, **21**: 153-156.

Karou D., Dicko M.H., Simpore J. and Traore A.S. (2005). Antioxidant and antibacterial activities of polyphenols from ethnomedicinal plants of Burkina Faso. *African Journal of Biotechnology*, **4**(8): 823-828.

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

Kumar, L., Chhibber, S., Harjai, K. 2014. Structural alterations in *Pseudomonas aeruginosa* by zingerone contribute to enhanced susceptibility to antibiotics, serum and phagocytes. *Life Science*. **117** (1) :24-32.

Kuete and Mbaveng. 2017. *Zingiber officinale*. In *Medicinal Spices and Vegetables from Africa 1ère édition Potentiel thérapeutique contre les maladies métaboliques, inflammatoires, infectieuses et systémiques*. Academic Press, p. 627-628.



L

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

Louka N. 2002. "New process for texturizing partially dehydrated biological products using controlled sudden decompression to the vacuum: application on potatoes." *Journal of Food Science* **67**(0): 3033–3038.

Li B.B., Smith B., Hossain Md. M. 2006. Extraction of phenolics from Citrus peels: II. Enzyme-assisted extraction method. *Separation and Purification Technology*, **48** : 189-196.

Li, Y., Hong, Y., Han, Y., Wang, Y., Xia, L. 2016. Chemical characterization and antioxidant activities comparison in fresh, dried, stir-frying and carbonized ginger. *Journal Chromatography B*, **10 (11)**: 223–232.

M

Malu, S. P., Obochi, G. O., Tawo, E. N., Nyong, B. E. 2008: Antibacterial activity and medicinal properties of ginger (*Zingiber officinale*). *Global J Pure Appl Sci*, **15** :365–368.

Mathavi, V., Sujatha, G., Bhavani, S. Ramya, B., Karthika, D. 2013. New trends in foodprocessing. *International Journal of Advances in Engineering &Technology*, **5**: 176-187.

Maskan M. 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering* **44**(2) :71-78 .

Minker, Carole., C. Pinson.2012. A la découverte du gingembre. **In** *Gingembre et Curcuma*. Paris : Groupe Eyrolles, p. 14,18.

Mukherjee SUPRABHAT., Bidyut BANDYOPADHAYAY., Bikram BASAK., Nilrudra MANDAL., Apurba DEY., Biswanath MONDAL. 2014. An Improved Method of Optimizing the Extraction of PolyphenolOxidasefrom Potato (*Solanum tuberosum L.*) Peel. *Not Sci Biol*, **4**(1) :98-107.

Murray, P.R, Rosnathal, K.S, Pfaller, M.A, 2009. Medical Microbiology, sixthed Mosby Elsevier, *Philadelphia*, 960 p.

N

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

Nguanpuag S., Kanlayanarat K.S., Srilaong V., Tanprasert K and Techavuthiporn C. 2011. Ginger (*Zingiber officinale*) oil as an antimicrobial agent for minimally processed produce: a case study in shredded green papaya. *Int. J. Agric. Biol*, **13**: 895–901.

Nathalie Boizot, Jean-Paul Charpentier, 2006. Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. *INRA - Amélioration, Génétique et Physiologie Forestières*, 79-82.

A grey rectangular box with a folded bottom-right corner, containing the letter 'O' in a blue serif font.

Oussalah M., Caillet S., Saucier L. and Lacroix M. 2007) Inhibitory effects of selected plant essential oils on the growth of four pathogenic bacteria : *E. coli* O157 : H7, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes*. *Food Control*, **18**: 414-420.

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

A grey rectangular box with a folded bottom-right corner, containing the letter 'P' in a blue serif font.

Pankaj, S., Balqees, A. T., Najat, A. N and Rahma, A. M. 2012. Effect of temperature on antibiotic properties of garlic (*Allium sativum* L.) and ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) *African Journal of Biotechnology* **11**(95):16192-16195.

Paul, I. 2001. Larousse encyclopédie des plantes médicinales : identification, préparation, soins. Paris: *Larousse-Borda*, 336 p. ISBN : 2-03-560252-1.

Park, M ; Bae. J.and Lee D.S. 2008. Antibacterial activity of [10] gingerol and [12] -gingerol isolated from ginger rhizome against periodontal bacteria. *Phytother. Res*, **22**(11) :1446-1449.

Pereira J. A., Oliveira I., Sousa A, Valenta P.c., Andrade PB., Ferreira I C.F.R., Ferreres F., Bento A., Seabra R., Estevinho LC. (2007). Walnut (*Juglansregia L*) leaves :Phenolic compounds, antibacterial activity and antioxidant potential of different cultivars. *Food and Chemical Toxicology*, **45**: 2287–2295.

Perry, J. J., Staley, J., Lory, S. 2004. Microbiologie. Ed. *Dunod*, Paris. 891p.

Prabhat K. Nema., Debabandya, Mohapatra., Ashikho, Daniel., Sarvesh, Mishra. 2013. Modeling pulse microwave drying kinetics of ginger (*Zingiber officinale R.*). *Journal Of Food Research And Technology*, **1**: 46-47.

A blue letter 'Q' inside a grey square with a folded bottom-right corner.

Quave, Cassandra L. 2012. *Medicinal Plant Monographs*. 4eme Edition. USA: Springer, p. 445

A blue letter 'R' inside a grey square with a folded bottom-right corner.

Rababah T.M., Hettiarachchy N.S., Horax R. 2004. Total phenolics and antioxidant activities of fenugreek, green tea, black tea, grapeseed, ginger, rosemary, gotu kola, and ginkgo extracts, vitamin E, and tert-butylhydroquinone. *Journal of agricultural and food Chemistry*, **52** (16): 5183-6.

Rattanadechoa P., Makulb N. 2015. Microwave-Assisted Drying: A Review of the State-of-the-Art. *Drying Technology: An International Journal*, p. 02.

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

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

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

Santo Grace ; M. Sankari ; Gopiet. 2017. Antimicrobial Activity of Ethanolic Extract of *Zingiber Officinale* – An in vitro Study. *Pharm. Sci. & Res.* Vol. 9(9), 1417-1419.

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

Sebiomo A, Awofodu AD, Awosanya AO, Awotona FE, Ajayi AJ., 2011: Comparative studies of antibacterialeffect of someantibiotics and ginger (*Zingiber officinale*) on two pathogenic bacteria. *J Microbiol Antimicro*, **3**:18–22.

Sharif M., Bennet M. 2016. The effect of different methods and solvents on the extraction of polyphenols in ginger (*Zingiber officinale*). *JurnalTeknologi*, **78**: 49-54.

Sharma P., P. Kumari et al. 2007. "Ternarybiosorptionstudies of Cd (II), Cr (III) and Ni (II) on shelled Moringa oleifera seeds." *BioresourceTechnology*, **98**(2): 474-477.

Simon, D. (2012). Le séchage : Economies d'énergies dans l'industrie du bois. *Cahier technique*. N° 9.

SNPE / SYMTIA, 2017. Newsletter éditée par FEDALIM n°5. ISSN : 2496 – 4875.

Soares, AndréiaAssunção., Jacomassi, Ezilda., et al. 2018. Antimicrobial activity of species *Zingiber officinale* Roscoe and *Alpinia purpurata* (Vieill.) K. Schum. (Zingiberaceae) – Review. *VeterinaryMedicine*, **39**(4):1851-1853.

Srinivasan, Krishnapura. 2017. Ginger rhizome (*Zingiber officinale*): A spicewith multiple health beneficial potentials. *Pharma Nutrition*, **5** (1) :18-28.

Sumnu, G., S. Sahin, et al. 2005. "Microwave, infrared and infrared-microwave combination baking of cakes." *Journal of food engineering* **71**(2): 150-155.

Tang, Y.-L., Ho, S.-C., Lin, S.-M., Liew, Y.-F., 2010. Evaluation of peroxynitrite scavenging capacities of several commonly used freshs pices. *Food chemistry*, **119** : 1102-1107.

Tomas –Barbera F. A. et Espin J. C., 2001. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of food and Agriculture*, **81** :853-876.



Vanzani P., Rossetto M., Rigo A., Vrhovsek U., Mattivi F., D'amato E., Scarpa M., 2005. Major phytochemicals in apple cultivars: contribution to peroxy radical trapping efficiency. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **53**: 3377–3382.

Vasseur J. 2009. Séchage : principe et calculs d'appareils-séchage convectif par air chaud (partie1). Techniques de l'ingénieur. Opérations unitaires : Evaporation et séchage. *Base documentaire* (Ref : article : j2451)

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

Vintage Printable [En ligne]. Botanical – Educational Plate – Black – Zingiber officinale Roscoe. (9 mai 2011) In Botanical – Educational charts and plates 2. Disponible sur : <http://vintageprintable.swivelchairmedia.com/wp-content/uploads/2011/05/Botanical-Educational-Plate-Black-Zingiber-officinale-Roscoe-710x1000.jpg>
(Consulté le 20 avril 2019)

Vuorela, S 2005. Analysis, isolation, and bioactivities of rapeseed phenolics (dissertation). EKT series 1343. University of Helsinki. Department of Applied Chemistry and Microbiology.



Xiao Z.T., Zhu Q and Zhang H.Y. 2014. Identify in ganti bacterial targets of flavonoids by comparative genomics and molecular modeling. *Open journal of genomics*, **3**(1):1-8.



Yong C. K., I. M. R., Mujumdar A.S 2006. "Mechanical Means of Enhancing Drying Rates: Effect on Drying Kinetics and Quality." **24**: 397-404.

Yongsawatdigul, J. et Gunaskaran, S. (1996). Microwave-vacuum drying of Cranberries: part II. Quality evaluation. *Journal of food processing and preservation*. 20(2): 145-156.



Zampini, I.C., Vattuone, M., Isla, M. 2005. Antibacterial activity of *Zuccagnia punctata* Cav. ethanolic extracts. *Journal of Ethnopharmacology*, 102: 450-456.

Zainal-Abidin, Zamirah., NorAkmal, Abdul-Wahab., et al. 2017. *In vitro* Antibacterial Activity of *Zingiber officinale* and *Orthosiphon stamineus* on *Enterococcus faecalis*. *Journal of Agricultural Science*, **9**(13) p 112.

Annexes

Annexe I : Courbes d'étalonnage pour le dosage des Antioxydants.

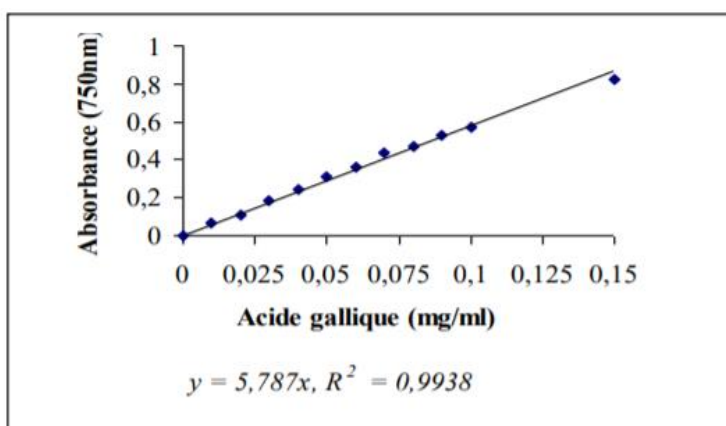


Figure 1: Courbe d'étalonnage pour le dosage des phénols totaux

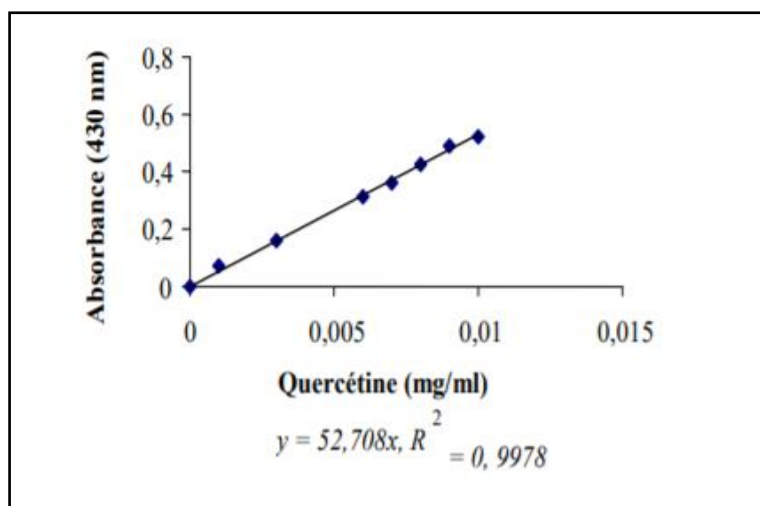


Figure 2: Courbe d'étalonnage pour le dosage des flavonoïdes.

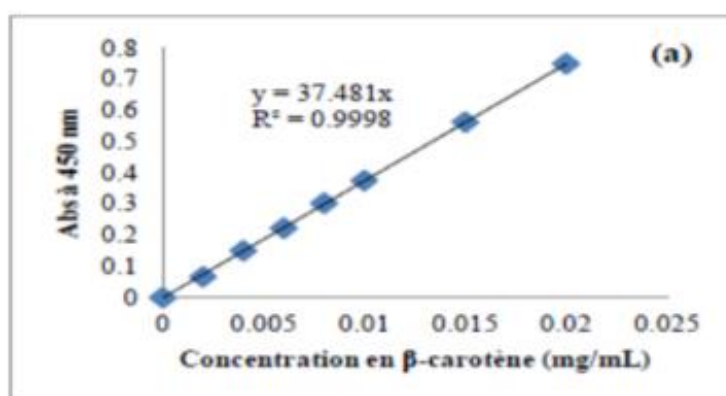


Figure 3: Courbe d'étalonnage pour le dosage des caroténoïdes

Résumé

El Zanjabil ou le gingembre appelé aussi *Zingiber officinale* est un arbuste qui appartient à la famille des Zingibéracées. C'est une plante médicinale largement utilisée en médecine traditionnelle à des fins thérapeutiques à cause de sa richesse en composés actifs.

Dans cette présente investigation, une étude comparative a été réalisée entre deux méthodes de séchage. Une méthode innovante par micro-ondes (de 180 à 900W), et une méthode conventionnelle (étuve à 40 °C). Des cinétiques de séchage ont été effectuées en fonction de la perte de masse au court du temps. L'évaluation de la composition phytochimique, ainsi que l'activité antibactérienne des différents échantillons ont été analysés.

Les cinétiques étudiées ont montrées que la stabilité du poids des échantillons est atteinte à un temps beaucoup plus court avec le séchage par micro-onde (900 W/16 min) qu'avec le séchage par étuve (40°C/165min). Le dosage des polyphénols totaux, flavonoïdes et des caroténoïdes, a montré que c'est l'extrait d'échantillon séché par micro-onde qui présente les teneurs les plus élevées (18,3mg EAG/g de MS), ($14 \pm 0,09$ mg EQ /g de MS) et ($53 \pm 0,08$ mg /100g de MS, respectivement).

L'activité antimicrobienne des extraits montrent que la plupart des souches microbiennes testées sont sensibles aux extraits étudiés. La souche à Gram positive *B. subtilis*, s'est révélé très sensible vis-à-vis des deux extraits du gingembre avec des zones d'inhibitions de 16 à 22 mm. Par contre, la souche à Gram négative *E. coli*, elle s'est révélée sensible à l'extrait d'échantillon séché à l'étuve avec une zone d'inhibition de 20 mm, et pour les extraits des échantillons séchés par micro-onde exercent une activité intermédiaire contre cette souche.

Mots-clés : *Zingiber officinale*, séchage, micro-onde, étuve, composés phénoliques et activité antibactérienne.

Abstract

El Zanjabil or ginger also called *Zingiber officinale* is a shrub that belongs to the family Zingiberaceae. It is a medicinal plant widely used in traditional medicine for therapeutic purposes because of its richness in active compounds.

In this present investigation, a comparative study was carried out between two drying methods. An innovative microwave method (from 180 to 900W), and a conventional method (baking at 40 ° C). Drying kinetics were performed as a function of mass loss over time. The evaluation of the phytochemical composition as well as the antibacterial activity of the different samples were analyzed.

The studied kinetics have shown that the stability of the weight of the samples is attained at a much shorter time with microwave drying (900 W / 16 min) than with oven drying (40 ° C / 165min). The determination of total polyphenols, flavonoids and carotenoids, showed that it is the microwave-dried sample extract that has the highest levels (18.3 mg EAG / g MS), ($14 \pm 0,09$ mg EQ / g MS) and (53 ± 0.08 mg / 100g MS, respectively). The antimicrobial activity of the extracts shows that most of the microbial strains tested are sensitive to the extracts studied. The Gram positive strain *B. subtilis* was found to be very sensitive to both extracts of ginger with inhibition zones of 16 to 22 mm. In contrast, the Gram-negative *E. coli* strain was found to be sensitive to the oven-dried sample extract with a 20 mm inhibition zone, and for the extracts of the microbial-dried samples. wave exert an intermediate activity in this strain.

Keywords : *Zingiber officinale*, drying, microwave, drying oven, phenolic compounds and antibacterial activity.

ملخص

الزنجبر أو الزنجبيل يسمى أيضا زينبيبر / أوفيسينال هو شجيرة التي تنتمي إلى عائلة زينجيبيراسي. وهو نبات طبي يستخدم على نطاق واسع في الطب التقليدي لأغراض علاجية بسبب ثراء في المركبات النشطة.

وفي هذا التحقيق، أجريت دراسة مقارنة بين طريقتين للتجفيف. طريقة مبتكرة للميكروويف (من 180 إلى 900 واط)، وطريقة تقليدية (40°C). تم إجراء الحركية التجفيف على أساس فقدان الشامل مع مرور الوقت. تم تحليل تقييم التركيبة النباتية الكيميائية، وكذلك النشاط المضاد للبكتيريا من مختلف العينات.

وأظهرت الحركية التي تمت دراستها أن استقرار وزن العينات يتحقق في وقت أقصر بكثير مع تجفيف الميكروويف (900 W/16 دقيقة) مما كانت عليه مع التجفيف بواسطة ستوفي (165min/40°C). وأظهرت جرعة من البوليفينول الكلي، الفلافونويدات والكاروتينات، أنه هو استخراج عينة الميكروويف المجفف الذي يحتوي على أعلى المستويات (18.3mg EAG / ز من MS)، (14-09 ملغ مكافئ / ز MS) و (53-08 ملغ / 10 ملغ على التوالي، MS). يظهر نشاط مضادات الميكروبات من مقتطفات أن معظم السلالات الميكروبية اختبار حساسة للمقتطفات التي تمت دراستها. السلالة لديها جرام إيجابية *B. subtilis*، كان حساسا جدا لمستخلصين من الزنجبيل مع مناطق تثبيط من 16 إلى 22 ملغ. من ناحية أخرى، سلالة الغرام السلبية *E. coli*، تم العثور على حساسية لخلصة عينة المجففة في العادم مع منطقة تثبيط من 20 ملغ، ولاستخراج عينات المجففة من قبل نشاط ممارسة الميكروويف وسيطة يقول هذا السلالة.

الكلمات الرئيسية: زينبيبر / أوفيسينال، التجفيف، الميكروويف، المركبات الفينولية، ومكافحة البكتيريا.