



Faculté de Technologie
Département de Génie des Procédés
Spécialité : Génie alimentaire

Mémoire de fin de cycle en vue
de l'obtention du diplôme
MASTER

Thème

**Etude comparative du séchage par micro-onde
et l'étuve du Gingembre.**
**Etude de cas : Infusion des poudres séchées du
Gingembre.**

Présenté par :

KENNICHE Rebiha & RAHMOUNI Hassiba.

Soutenu le : **28 Juin 2018**

Devant le jury composé de :

M^{me} ACHAT .S
M^r MADANI .K
M^{me} BRAHIMI .F

MCA
Professeur
MCA

Présidente
Encadreur
Examinatrice

Année Universitaire : 2017 / 2018

Remerciements



Au terme de ce travail,

Nous sincères et chaleureux remerciements vont à :

Notre promoteur **M^r MADANI.K**, pour avoir proposé ce thème et avoir supervisé à la concrétisation de notre travail.

Notre Co-promotrice **M^{me} GUEMOUNI.S**, de nous avoir encadrée, nous l'a remercie également pour ses précieux conseils qui nous ont beaucoup aidée pour réaliser ce modeste travail de recherche.

La présidente du jury **M^{me} ACHAT.S**, pour l'honneur qu'elle nous a fait d'avoir acceptée de présider le jury d'examinations.

L'examinatrice : **M^{me} BRAHIMI.F**, d'avoir acceptée d'examiner ce travail.

Tout le personnel du laboratoire de l'analyse instrumentale en l'occurrence **M^{me} GUENDOZ**, **M^{me} YAALAOUL.D** ainsi que la responsable de l'animalerie **M^{me} SMAIL.L** pour sa précieuse aide sans oublier bien sûr **M^{me} BENAMER.S** pour son aide et ces conseils.

On remercie tous nos enseignants et tous ceux qui font que les départements génies des procédés et sciences alimentaires fonctionnent dans les meilleures conditions.

On remercie nos familles de nous avoir soutenus et encouragés.

On remercie les doctorantes **M^{elle} BENHAMEL.C** et **M^{elle} BENSIDHOUM.L** pour leurs aides. Un grand merci à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans l'accomplissement de ce travail.



Dédicace

Avant tout, merci à Dieu le tout puissant de m'avoir accordée la force, la santé et les moyens de pouvoir accomplir ce modeste travail.

Je dédie mon mémoire à:

A mes chers parents que dieu les protège, en témoignage de ma profonde affection. Qu'ils sachent que ce travail est en partie le fruit de leur soutien, je leur suis très reconnaissante. Leur fierté à mon égard aujourd'hui est pour moi la meilleure récompense.

Mes quatre très chers neveux Adam et Rayane, Mohamed et Anaïs qui m'ont appris la définition du mot joie.

A mes sœurs Nora et son mari, Naima et son mari, et mes frères Nadir et sa femme, Rafik et Karim,

A toute la famille, oncles et tantes, cousines et cousins.

A ma chère Binôme Hassiba ainsi que toute sa famille.

A mes chères Hania et sa sœur Lamia, Linda, Lamia, Meriem, Rahma, Fatma, Lina, Sabrina, Amel, Chahrazad, pour la motivation et le soutien inconditionnel qu'elles m'ont offert durant toute la période du mémoire, sans elles ce travail n'aurait pas été accompli. Merci beaucoup, je vous aime.

A mes amis(es) de la protection civile de la wilaya de Bejaïa en l'occurrence M^{rs} LAIDI A/Krim et CHABOU Fouad et M^{lle} MESSALI Saida ainsi que M^{me} LAIDI Naima (ma chère sœur) pour leurs précieuses aides.

Mes derniers remerciements et ce ne sont pas les moindres, vont à tous mes enseignants du primaire à l'université, à toute la promotion du génie alimentaire 2017/2018 et à toutes personnes en qui j'ai trouvé un soutien et qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce modeste travail. J'ai certainement oublié des gens involontairement je vous l'assure, la réalisation d'un mémoire a un effet désastreux sur ma mémoire. Je remercie ceux dont le nom n'apparaît pas dans ce manuscrit. Ils se reconnaîtront.

Je dédie ce mémoire à tous ceux que j'aime, sans lesquels tout ceci n'aurait aucun sens.

REBIHA

Dédicaces

Avant tout, merci à Dieu le tout puissant de m'avoir accordée la force, la santé et les moyens de pouvoir accomplir ce modeste travail.

Je dédie ce modeste travail

À mes parents pour leur amour et leur support continu à qui je dois le mérite d'être arrivée là, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude et mon affection.

À mes très chers frères, A mes très chères sœurs

À ma belle-sœur : HAMIDA

À mes chères cousines

À mon neveu : AYOUB

À toute la famille

À ma chère copine, Rebiha et à tout sa famille.

À tous mes amis et à ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour l'accomplissement de ce travail.

A toute la promotion Génie Alimentaires : 2017/2018

Et enfin à tous ceux que j'aime.

HASSIBA

Liste des Figures

Figures	Titre	Page
Figure 01 :	Rhizomes de gingembre.	03
Figure 02 :	<i>Zingiber officinale Roscoe</i> .	05
Figure 03 :	Structure de quelques composés de l'huile essentielle du gingembre.	08
Figure 04 :	Principaux constituants actifs du gingembre.	08
Figure 05 :	Quelques diarylheptanoïdes du gingembre et leurs effets pharmacologiques.	09
Figure 06 :	Schéma d'un four à micro-onde.	20
Figure 07 :	Répartition éogographique de la production mondiale du thé (2005).	23
Figure 08 :	Les macros étapes de l'analyse sensorielle	28
Figure 09 :	Schéma général du plan de travail.	30
Figure 10 :	Rhizome de <i>Zingiber Officinale Roscoe</i> .	31
Figure 11 :	Photographies des tranches de gingembre.	32
Figure 12 :	Photographie du broyeur et de la poudre du gingembre.	33
Figure 13 :	aphie photographie d'un colorimètre.	33
Figure 14 :	Présentation des infusions pour la dégustation.	35
Figure 15 :	Les cabines d'analyse sensorielle.	36
Figure 16 :	Représentation du taux d'humidité du gingembre	37
Figure 17 :	Evolution de la perte de masse en fonction du couple temps-température du séchage à l'étuve.	38
Figure 18 :	Evolution de la perte de masse en fonction du couple temp - température du séchage à l'étuve (100C°,80C° et 60C°,40C°).	38
Figure 19 :	Evolution de la perte de masse en fonction du couple temps-puissance de séchage par micro-onde.	39
Figure 20 :	Représentation de la modélisation de séchage par le modèle Exponentiel à T=100C°	40
Figure 21 :	Représentation de la modélisation de séchage par le modèle Modified Power à T= 100C°	41
Figure 22 :	Représentation de la modélisation de séchage par le modèle Exponentiel à T=80C°	42
Figure 23 :	Représentation de la modélisation de séchage par le modèle Modified Power à T=80C°	42

Figure 24 :	Représentation de la modélisation de séchage par le modèle Exponentiel à T=40C°	43
Figure 25 :	Représentation de la modélisation de séchage par le modèle Modified Power à T=40C°	44
Figure 26 :	Modélisation de séchage par le modèle Exponentiel à P= 900w	45
Figure 27 :	Modélisation de séchage par le modèle Modified Power à P= 900w	45
Figure 28 :	Observation macroscopique des poudres du gingembre à différentes températures et à différentes puissances.	48
Figure 29 :	Spectre uv-vis de l'infusion du gingembre séché par étuve.	49
Figure 30 :	Spectre uv-vis de l'infusion du gingembre séché par micro-onde.	50
Figure 31 :	Pouvoir discriminant par descripteur	51
Figure 32 :	Coefficient des modèles des infusions de gingembre A et D	52
Figure 33 :	Corrélations entre les variables et les facteurs	54
Figure 34 :	Profil des classes	55
Figure 35 :	Courbe des niveaux et carte des préférences	56

Liste des tableaux

Tableaux	Titre	Page
Tableau I	Différentes appellations de gingembre .	04
TableauII	Classification botanique du gingembre.	05
TableauIII	Les valeurs nutritionnelles du gingembre.	06
TableauIV	Structure de base des polyphénols.	11
TableauV	Les principaux pays producteurs du gingembre.	13
TableauVI	Représente les valeurs des paramètres des deux modèles à 100C°	41
TableauVII	Représente les valeurs des paramètres des deux modèles à 80C°	43
Tableau VIII	Représente les valeurs des paramètres des deux modèles à 40C°	44
Tableau IX	Représente les valeurs des paramètres des modèles à 900W	46
Tableau X	Les résultats du test colorimétrique pour les différentes poudres obtenues par les deux types du séchage.	47
Tableau XI	Les résultats du test de pH des infusions de gingembre pour les différentes températures et puissances.	51
Tableau XII	Moyennes ajustées par produit	53
Tableau XIII	Pourcentage de juges satisfaits pour chaque objet	56

Liste des abréviations

ACP : Analyse en Composantes Principales.

Aw : Activité de l'eau.

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique.

CCP : Connaissance, Compétence et Performance.

DL50 : Dose létale pour 50% des animaux de l'expérience.

GHZ : gigahertz (pour la mesure d'ondes électromagnétiques).

(H%) : Taux d'humidité.

MS : Matière Sèche.

MHz : mégahertz (pour la mesure d'ondes électromagnétiques).

P : Puissance.

PA : Penalty Analysis.

pH : potentiel d'hydrogène.

PREFMAP : Preference Mapping.

T : Température.

t : temps.

UV : Ultra-violet.

Vit : Vitamine.

Sommaire

Liste des abréviations.
Liste des figures.
Liste des tableaux.
Liste des annexes.

Introduction 1

Partie théorique

Chapitre I :Généralités sur le gingembre..... 3

I.1 Historique 3

I.2 Etymologie 4

I.3 Description botanique 4

I.4 Classification..... 5

I.5 Principaux constituants du gingembre 6

I.6 Activité antioxydante et métabolites secondaires 9

I.6.1Activité antioxydante 9

I.6.2 Métabolites secondaires 10

I.7 Culture et production de gingembre..... 12

I.8 Usage thérapeutique 13

I.8.1 Action anti-inflammatoire 13

I.8.2Action hypoglycémiante 14

I.8.3 Activité anti-bactérienne et antivirale 14

I.8.4 Action antioxydante 14

I.8.5Autres utilisations..... 14

I.9Formes pharmaceutiques de gingembre..... 15

I.10 Toxicité de gingembre..... 15

Chapitre II : Généralités sur le séchage 16

II.1 Définition 16

II.2 Objectifs du séchage 16

II.3 Notion de l'activité de l'eau 17

II.4 Principe du séchage 17

II.5 Méthodes du séchage	18
II.5.1 Séchage par entraînement	18
II.5.2 Séchage par ébullition	19
II.5.3 Séchage à l'air libre	19
II.5.4 Séchage par micro-onde	19
II.5.4.1 Définition	19
II.5.4.2 Principe	20
II.5.5 Séchage à l'étuve	20
II.6 Phénomènes se produisant au cours du séchage	21
II.7 Intérêts du séchage des fruits et légumes.....	22
Chapitre III : Généralités sur l'infusion	23
III.1.1.Historique	23
III.1.2.Définition.....	24
III.1.3.Quelques infusions connues.	24
III.1.4. Les techniques de préparation des infusions	24
III.1.5.Quels mécanismes sont mis en jeu lors d'une infusion ?	25
III.1.6. Les infusions ou tisanes : des plantes bienfaitrices	25
III.2.Evaluation sensorielle	25
III.2.1.Historique	26
III.2.2.Définition.....	26
III.2.2.1.Evaluation sensorielle.....	26
III.2.2.2.Analyse sensorielle	27
III.2.3.Objectifs de l'analyse sensorielle dans l'agroalimentaire	27
III.2.4.Les principales étapes de l'évaluation sensorielle.....	28
<i>Partie pratique</i>	
Chapitre I : Matériel et méthodes.....	29
I.1.Présentation du sujet	29
I.2. Matériel végétal.....	31
I.3.Traitements des échantillons	31
I.3.1.Taux d'humidité.....	31
I.3.2.Séchage du matériel végétal	32
I.3.3.Broyage	32

I.4. Etude phénoménologique des poudres obtenues.....	33
I.4.1.Mesure de l'intensité de couleur des poudres	33
I.5. Infusion du gingembre	34
I.5.1.Préparation d'une infusion	34
I.5.2.Analyse physico-chimiques de l'infusion du gingembre	34
I.5.2.1.Analyse spectrale UV-VIS	34
I.5.2.2.Le pH.....	34
I.6.Evaluation sensorielle	34
I.6.1.Produits analysés	35
II.6.2.Salle d'évaluation sensorielle	35
II.6.3.Traitement des résultats	36
Chapitre II : Résultats et discussions.....	37
II.1. Test d'humidité	37
II.2.Cinétique de séchage	37
II.2.1.Cinétique de séchage à l'étuve ventilée (conventionnel) du gingembre	37
II.2.2. Cinétique de séchage par micro-onde (innovant) du gingembre	38
II.3. Modélisation de la cinétique de séchage.....	40
II.3.1. Cinétique de séchage à l'étuve (conventionnel) du gingembre	40
II.3.2. Modélisation de séchage par micro-onde (innovant) du gingembre.....	45
II.4. Résultats d'analyse physicochimiques.....	46
II.4.1. La couleur	46
II.4.2. Analyse spectrale UV-VIS	48
II.4.3. Le PH	5
II.5.Résultats de l'analyse sensorielle	51
II.5.1 Caractérisation des produits.....	51
II.5.2. Analyse en composante principale (ACP).....	53
II.5.3. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).....	54
II.5.4. Cartographie des préférences (PREFMAP).....	55
Conclusion	57

Références bibliographiques.

Annexes.

Résumé.

Introduction

Introduction

L'Homme a toujours été ébloui par les épices non seulement pour rehausser le goût des Aliments à moindre coût mais aussi pour leurs vertus médicinales, c'est pour cela que ces Épices ont été aussi désirés avec validité (**Birlouez, 2012**). Parmi ces épices le *Zingiber Officinale Roscoe* communément connue sous le nom de gingembre en français, ginger en anglais et zanjabil en arabe (**Faivre et al., 2006**).

Le gingembre est utilisé comme épice depuis plus de 2000 ans (**Datta et al., 2011; Elkirdasy et al., 2015; Kamran et al., 2014; Mukherjee et al., 2014**). Il comprend 47 genres et 1400 espèces (**Datta et al., 2011; Elkirdasy et al., 2015; Kamran et al., 2014; Mukherjee et al., 2014; Nandkangreet et al., 2015**). Largement employé dans la cuisine asiatique pour ses qualités tant gustatives que facilitatrices de la digestion, le gingembre est aussi une épice médicinale aux multiples propriétés (**Gigon, 2012**), Il est aussi considéré comme un important ingrédient dans la phytothérapie pour le traitement de diverses maladies (**Nile et Park, 2015**).

Actuellement plus de 80% de la population mondiale utilise la médecine traditionnelle pour ces principaux soins médicaux, et plusieurs études ont été conduites sur le gingembre (**Tanaka et al., 2015**).

Diverses méthodes de transformation des fruits et légumes ont été adoptées pour une meilleure conservation de ces derniers. Parmi ces méthodes, le séchage à l'aire libre, à l'étuve, ou microonde est le procédé utilisé depuis l'époque ancestrale, dont son avantage principale 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. 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 (**Lahmari et al., 2012**).

Le séchage est par définition l'opération dont l'objectif est d'éliminer par évaporation l'eau d'un corps humide (solide ou liquide) le produit final obtenu étant toujours un solide. Cette définition peut être généralisée à l'élimination par évaporation de toute substance volatile d'un mélange (**Kisselmina, 2011**). Le séchage est l'une des opérations d'unité les plus grandes

consommatrices d'énergie dans les industries de transformation. Dans un processus de séchage, un grand nombre d'énergie est nécessaire pour le changement sensible de chauffage et de phase de l'eau (**Haoet al., 2012**).

C'est dans cette optique que nous proposons dans le présent travail, l'intérêt du séchage de gingembre (*Zingiber Officinale Roscoe*), dans le but de préparer des infusions.

Afin de mieux situer le contexte dans lequel s'inscrit cette étude, une revue bibliographique est présentée incluant des généralités sur le gingembre, le séchage et l'infusion.

L'objectif du présent travail, vise à démontrer l'influence de deux méthodes sur le séchage de gingembre (*Zingiber Officinale Roscoe*), et le cas de préparation d'une infusion, pour cela notre étude englobe trois aspects :

- La première partie est consacrée au séchage de la plante aux microondes à deux puissances (600 et 900 W) et à l'étuve à différentes températures (40, 60, 80 et 100 °C).
- La deuxième partie est consacrée à la préparation de l'infusion à partir des poudres séchées du gingembre, et le suivi d'une analyse spectrale UV-VIS et le pH.
- La dernière est axée sur une séance d'analyse sensorielle pour évaluer l'acceptabilité de la boisson formulée par le public.

Partie théorique

Généralités sur le gingembre

I.1.Historique

Le terme « Gingembre » est dérivé du nom anglais ginger. Cette plante est aussi appelé Zingiberis en grec et Zingiberi en latin (**Bode et Dong, 2011**), bien que dans la médecine indienne le *Zingiber officinale* est connu en tant que «vishwabhesaj», qui veut dire «remède universel» (**Specketal., 2014**).

Depuis plus de 3000 ans, cette plante médicinale ou bien épice orientale (Figure 1) a traversé la mer Méditerranée pour la première fois grâce aux phéniciens pour arriver à l'Europe durant l'Empire romain dès le premier siècle (**Gigon,2012**). Le gingembre s'est répondu après dans l'Egypte antique comme un composant des techniques de momification. La production de gingembre comme une racine tonique est apparue depuis plus de 5000 ans chez les Indiens et les Chinois pour traiter de nombreuses affections. Aujourd'hui, cette plante est cultivée dans les régions tropicales humides, bien que l'Inde reste le plus grand producteur (**Bode et Dong, 2011**).



Figure (01) : Rhizomes de gingembre (Anonyme, 1).

I.2. Etymologie (Noms et traductions)

On trouve plusieurs appellations de gingembre en différents langues sont présentées dans le tableau suivante ;

Tableau (I) : Différentes appellations de gingembre en plusieurs langues (Anonyme, 2000).

LANGUE	APPELLATION
Arabe	zanjabile
Française	Gingembre
Anglaise	Ginger
Espagnol	Jengibre
Allemand	Ingwer
Provenç	gingebre, gingibre, gingiebre
Japonais	Shōga
Canada	Sunthi

I.3. Description botanique

Concernant la description botanique du gingembre, c'est une plante vivace tropicale herbacée, à port de roseau, qui mesure jusqu'à 3 m de haut (Figure 02-A)(Faivre *et al.*, 2006). La partie souterraine utilisée est le rhizome, celui-ci se divise dans un seul plan et il est constitué de tubercules globuleux ramifiés (Figure 02-B)(Gigon, 2012). Ce dernier est caractérisé par une odeur forte aromatique et une saveur âcre, chaude et poivrée (Ross, 2010). Il a une peau beige pâle, chair jaune juteuse et il devient de plus en plus fibreux avec l'âge (Figure 2-C), couvert de feuilles écailleuses et pourvu à sa partie inférieure de racines cylindriques. Ses feuilles sont persistantes bisériées, longues, étroites, lancéolées, pointues et longues de 20 cm (Faivre *et al.*, 2006), dont les plus petites sont fertiles et se terminent par une inflorescence aux nombreuses fleurs (Ross, 2010).

Cette plante possède deux sortes de tiges, une haute stérile et autre plus courte (portant des fleurs irrégulières en épi). Elle a des fleurs parfumées blanc jaune, avec des traînées rougissures des lèvres. La floraison a lieu entre les mois d'août et novembre (Faivre *et al.*, 2006). Si les fruits arrivent à maturité, ils sont constitués d'une petite capsule trivalve (à trois loges) contenant plusieurs graines anguleuses noirâtre d'odeur agréable (Ross, 2010).

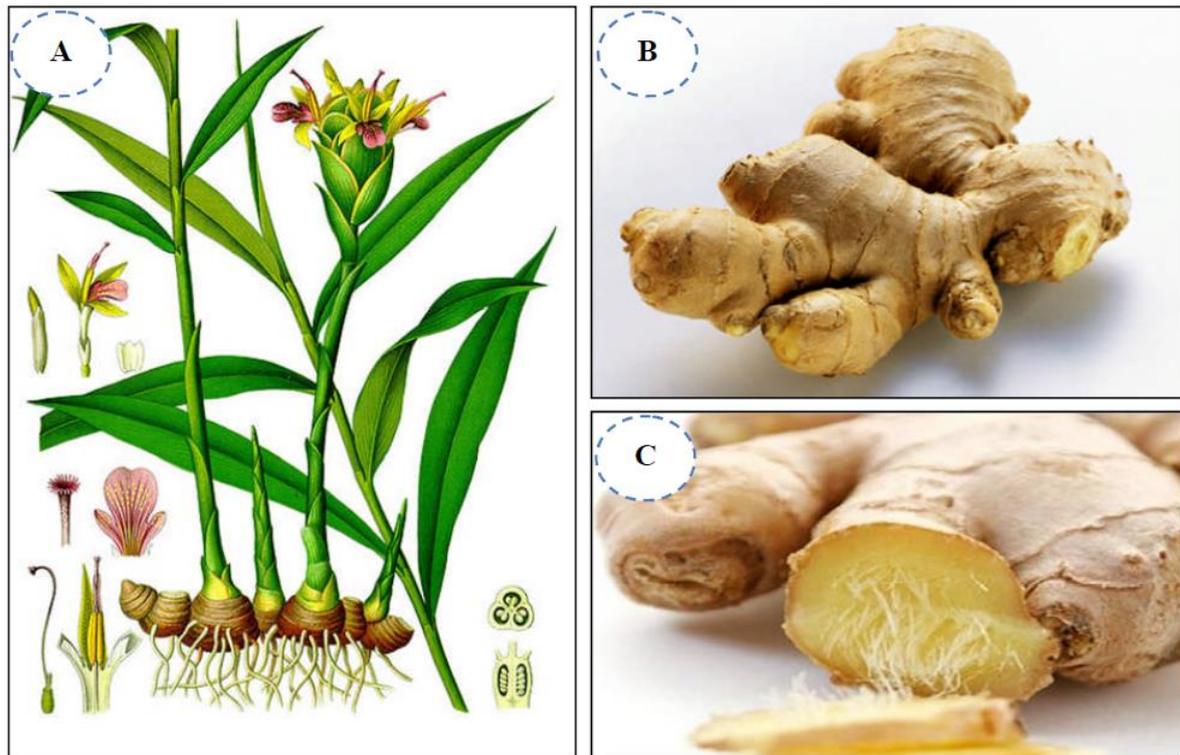


Figure (02): *Zingiber officinale* Roscoe (Gigon, 2012).

A) La plante entière ; B) et C) Le rhizome.

I.4. Classification

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

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

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida
Sous-classe	Zingiberidae
Ordre	Zingiberales
Famille	Zingiberaceae
Sous-famille	Zingiberaceae
Genre	<i>Zingiber</i>
Espèce	<i>Officinale</i>
Nom binomial	<i>Zingiber officinale</i> Roscoe

I.5.Principaux constituants du gingembre

Des études photochimiques innombrables ont montré que le rhizome du gingembre renferme une grande variété de composés biologiques actifs et que leur rapport et la concentration varient selon la saison, le lieu, la période de la récolte et l'état des rhizomes(frais ou secs).

Comme cela est le cas avec beaucoup d'autres préparations à base de plantes, les extraits du gingembre sont des mélanges complexes de constituants biologiquement actifs.

Plus de 400 composés chimiques ont été isolés et identifiés dans les extraits de rhizome de gingembre et de nouveau le neuf sont toujours en train d'être détectés (Grzanna ,2005 ;Wilson,2013).Les valeurs nutritionnelles du gingembre sont listées dans le Tableau (II) ci-dessous :

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

Racine de gingembre	Valeur nutritive pour 100g
Hydrate de carbone	1.77 g
Energie	20 Kcal
Sucre	1.7 g
Fibres alimentaires	2 g
Graisses	0.75 g
Protéines	1.82 g
Vitamine C	5 mg
Acide folique (Vit, B9)	11mg
Pyridoxine (Vit, B6)	0.16 mg
Niacine (Vit, B3)	0.075 mg
Acide pantothénique (Vit, B5)	0.203 mg
Thiamine (Vit, B1)	0.025 mg
Riboflavine (Vit, B2)	0.034 mg
Calcium	16 mg
Magnésium	43 mg
Potassium	415 mg
Zinc	0.34 mg
Phosphore	34 mg
Fer	0.6 mg

Le rhizome, très riche en amidon (60 %), renferme des protéines, des graisses de types acides oléique et linoléiques (10 %), de l'huile essentielle (à raison de 10 à 25 ml/kg de rhizome), un complexe oléo résineux (qui contient des composés non volatils et une enzyme, la zingibaïne) (Aweetal., 2013).

L'odeur du gingembre dépend principalement de son huile volatile, dont le rendement varie de 1% à 3%. Plus de 50 composants de l'huile ont été caractérisés et ceux-ci sont principalement des composés monoterpéniques [β -phellandrène, (+)camphène, cinéole, géraniol, curcumène, citral, terpinéol, bornéol] et sesquiterpéniques [α -zingibérène (30-70 %), β -sesquiphellandrène (15-20 %), β -bisabolène (10-15 %), (E-E)- α -farnésène, arcurcumène, zingibérol]. Certains des composés de l'huile sont convertis en composés moins âcre après dessiccation. L'âcreté du gingembre frais est due principalement aux gingérols, qui sont une série homologue de phénols dont le plus abondant est le [6]-gingérol.

L'âcreté du gingembre sec résulte principalement de shogaols (Par exemple, le [6]-shogaol), qui sont des formes déshydratées des gingérols, les shogaols sont formées à partir du gingérol correspondant au cours du traitement thermique, ou stockage (Corrigan, 1997 ; Langner, 1998) (Figure 3). Certains appartiennent à la famille des vanilloïdes, ils sont accompagnés de gingédiols, de zingérones, de déhydro-zingérones, de paradols, de cétones et d'esters correspondants.

Les constituants phytochimiques âcres et non-volatils du gingembre comprennent les composants biologiquement actifs, prédominés par le gingérol, le shogaol, le paradol et le zingérol (Gigon, 2012). Les constituants du gingembre sont nombreux et varient selon l'origine de la plante et état frais ou séché et les méthodes d'extraction. Seulement il est réputé de renfermer une grande quantité d'amidon qui est d'environ de 45%, et parfois plus (Braga, *et al.*, 2006).

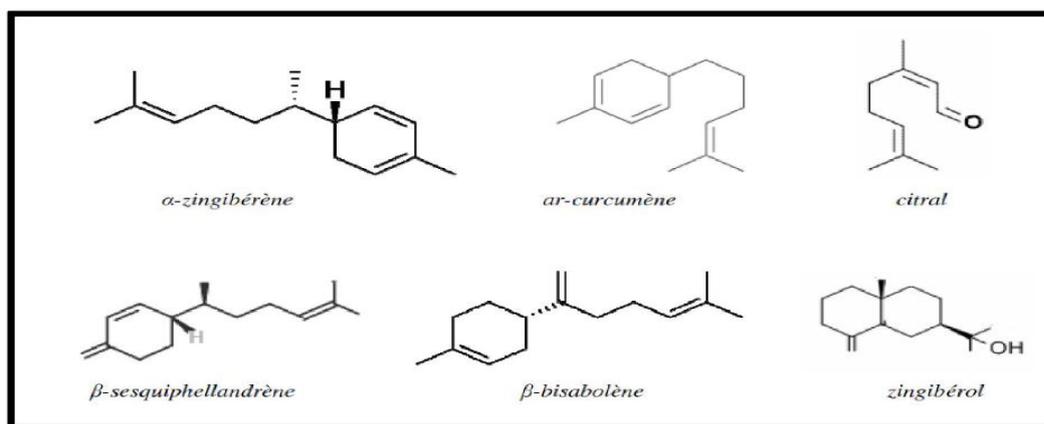


Figure (03) : Structure de quelques composés de l'huile essentielle du gingembre (Braga, *etal.*, 2006).

Le goût piquant du gingembre frais est dû principalement aux gingérols (Figure 4) qui sont des séries d'homologues des phénols. Le plus abondant est le (6)-gingérol, mais il y a aussi de petites quantités d'autres gingérols avec différentes longueurs de chaîne. Alors que le goût piquant du gingembre sec est dû aux shogaols (Figure 4), qui sont les composés

déshydratés des gingérols. Les shogaols sont formés durant le traitement thermique de la plante (Dugasani, 2010 ;KimS.Y , 2012).

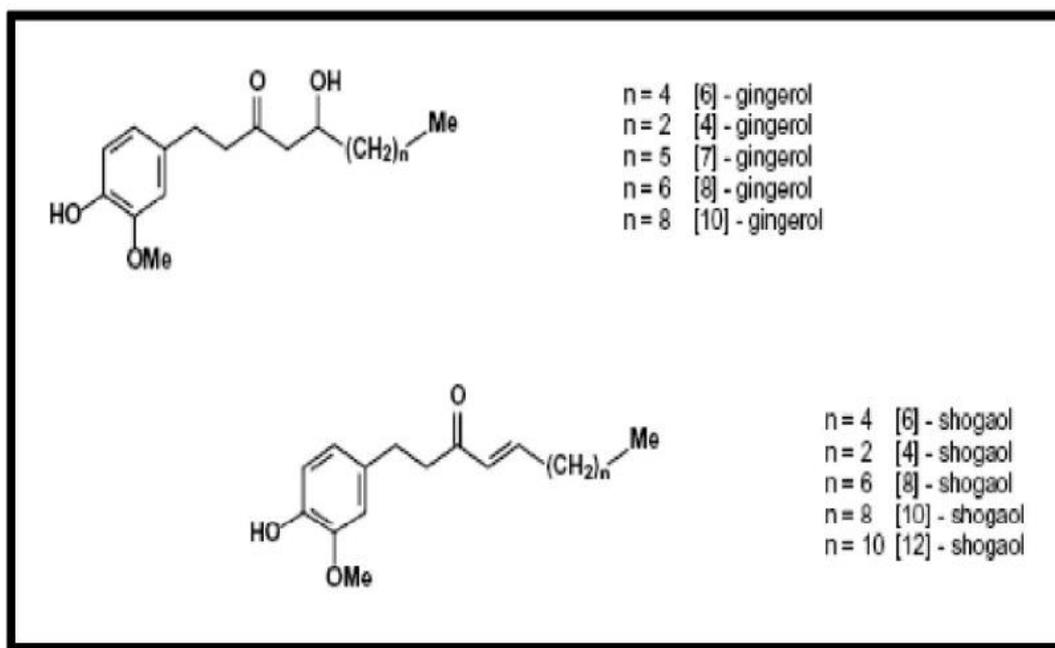


Figure (04) : Principaux constituants actifs du gingembre (Gigon, 2012).

D'autres molécules caractéristiques de la famille des *Zingiberaceae*, les diarylheptanoïdes (Figure 5) ont été isolés des extraits du gingembre, certains d'entre eux ont fait l'objet d'études pharmacologiques (Zhou, 2007 (Kim, 2012).

Hexahydrocurcumine, antiagrégant plaquettaire, et le (3*S*, 5*S*)-3,5-diacetoxy-1,7-bis(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)heptane possède une activité cytotoxique (Zhou, et al.,1992).

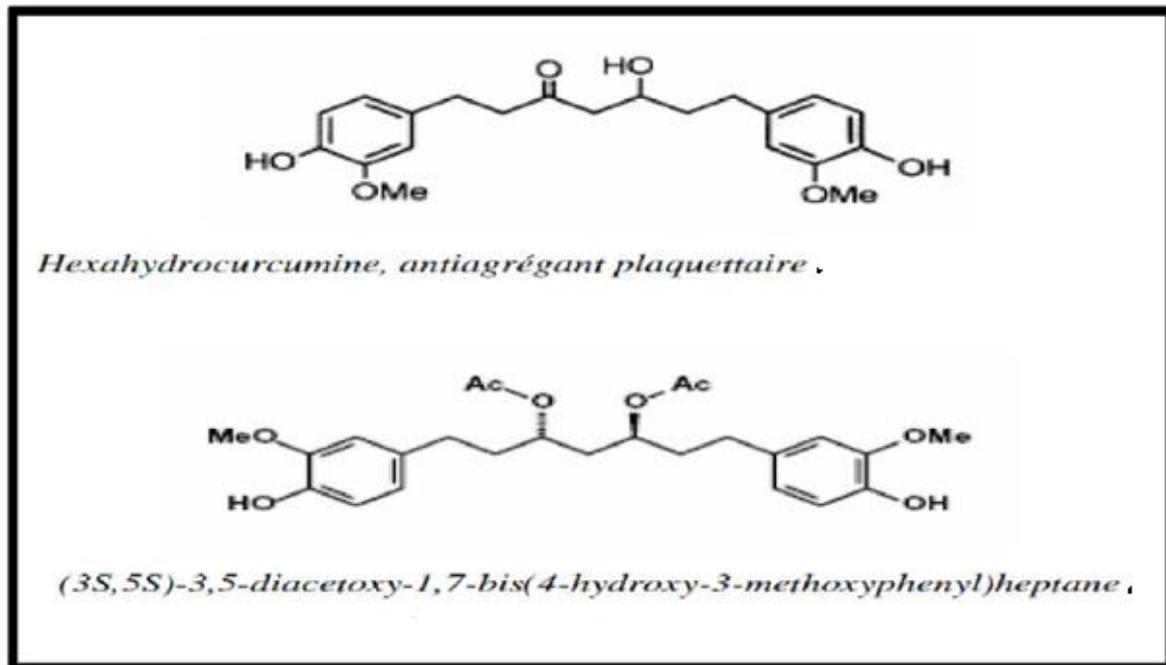


Figure (05) : Quelques diarylheptanoïdes du gingembre et leurs effets pharmacologiques (Kiuchi F *et al.*,1992).

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

I.6.Activité antioxydante et métabolites secondaires

I.6.1.Activité antioxydante

- Radicaux libres

Un radical libre est une molécule ou un atome instable, ayant un ou plusieurs électrons non appariés ce qui le rend extrêmement réactif (Favier, 2003; Gardès-Albert *et al.*, 2003; Pastre, 2005). En effet, ce radical libre aura toujours tendance à remplir son orbitale pour devenir plus stable ; il va donc se réduire en oxydant un autre composé (Boubekri, 2014).

Il convient de distinguer un ensemble restreint de composés radicalaires qui jouent un rôle particulier en physiologie et que nous appellerons radicaux libres primaires. Ce sont les plus dangereux car ils dérivent directement de l'oxygène tel que le radical superoxyde $O_2^{\cdot-}$, le radical hydroxyl OH^{\cdot} , le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 ou encore l'oxygène singulet $O_2(^1O_2)$ (Favier, 2003; Mohammedi, 2006; Harrar, 2012). Les autres radicaux libres dits

radicaux Secondaires tels que les radicaux peroxy (ROO•) et alkoxy (RO•), sont issus de l'action d'un radical libre primaire sur un composant cellulaire (acides nucléiques, lipides Membranaires, protéines, etc) (Harrar, 2012).

L'ensemble des radicaux libres sont souvent appelés espèces réactives de l'oxygène, Ces derniers ne sont pas uniquement toxiques, au contraire ils sont produits par divers Mécanismes physiologiques afin de détruire des bactéries au sein des cellules phagocytaires ou réguler des fonctions cellulaires telles que la mort cellulaire programmée ou l'apoptose (Favier, 2003).

- **Antioxydants**

Un antioxydant est toute substance, présente à concentration inférieure à celle du Substrat oxydable, qui est capable de retarder ou de prévenir l'oxydation de ce substrat (Van Antwerpen, 2006; Pastre et Priymeuko, 2007). Les antioxydants sont endogènes ou exogènes (naturels ou synthétiques) (Gilgun-Sherkiet *al.*, 2002 ; Metherell, 2010).

Les antioxydants endogènes sont représentés par superoxyde dismutase (SOD), la catalase et la peroxydase (glutathion ascorbate) (Harrar, 2012). Les antioxydants exogènes sont des Molécules qui ne sont pas synthétisées par l'organisme, mais qui sont apportées par l'alimentation ou la pharmacothérapie. Cette catégorie d'antioxydants, est représentée par les Oligoéléments (Mg, Zn, Se et Mn), vitamines E, C, caroténoïdes et polyphénols (Metherell,

2010; Kanoun, 2011). Ils peuvent être aussi synthétiques tels que le butylhydroxyanisole (BHA), le butylhydroxytoluène (BHT), le gallate propylée (PG) et le tétra-butylhydroquinone (TBHQ) (Kanoun, 2011).

I.6.2. Métabolites secondaires

Les plantes possèdent des métabolites dites « secondaires » par opposition aux métabolites primaires. Ces métabolites secondaires sont classés en plusieurs grands groupes : parmi ceux-ci, les composés phénoliques, les terpènes et les stéroïdes et les composés azotés dont les alcaloïdes (Bouزيد, 2009).

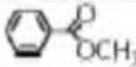
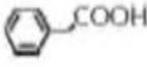
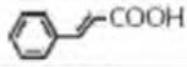
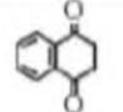
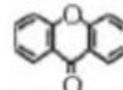
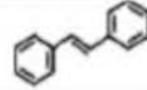
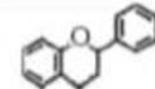
- **Polyphénols**

Les polyphénols constituent le groupe de métabolites secondaires le plus large et le plus répandu du règne végétal et font partie intégrante de l'alimentation humaine et animale (Bougandoura et Bendimerad, 2012 ; Morand et Mileukovic, 2014). Ces

composés ont un rôle protecteur sur la santé en contribuant à diverses activités biologiques (WatreLOT, 2013; Barcheath, 2014; Bouterfaset *al.*, 2014).

L'élément structural fondamental qui caractérise les composés phénoliques est la présence d'au moins d'un noyau aromatique à 6 atomes de carbone, auquel est directement lié au moins à un groupe hydroxyle (OH) libre ou engagé dans une autre fonction ; éther, ester ou hétéroside (Rombaut, 2013; Concençoet *al.*, 2014). Ils peuvent être classés selon le nombre d'atomes de carbone et la structure du squelette de base (Antolovichet *al.*, 2000 ; Benhammou-Belyagoubi, 2012) (Tableau IV).

Tableau (IV): Structure de base des polyphénols (Benhammou-Belyagoubi, 2001).

Nombre de carbones	Squelette	Classification	Exemple	Structure de base
7	C ₆ -C ₁	Acides phénols	Acide gallique	
8	C ₆ -C ₂	acétophénones	Gallacetophénone	
8	C ₆ -C ₂	Acide phénylacétique	Acide p-hydroxyphénylacétique	
9	C ₆ -C ₃	Acides hydroxycinamiques	Acide p-coumarique	
9	C ₆ -C ₃	Coumarines	Esculitine	
10	C ₆ -C ₄	Naphthoquinones	Juglone	
13	C ₆ -C ₁ -C ₆	Xanthones	Mangiférine	
14	C ₆ -C ₂ -C ₆	Stilbènes	Resveratrol	
15	C ₆ -C ₃ -C ₆	Flavonoïdes	Naringénine	

Parmi les composés phénoliques, les flavonoïdes dont le terme flavonoïde provient du mot latin flavus qui signifie jaune. Ils constituent des pigments responsables des colorations jaune, orange et rouge de différents organes végétaux (Nkhili, 2009 ; Manallah, 2012 ; Boubekri, 2014). Les flavonoïdes représentent environ deux tiers de l'apport alimentaire des

polyphénols (Jaakola, 2003; Metherell, 2010). Ils se répartissent en plusieurs classes de molécules dont les plus importantes sont les flavones, les flavonols, les flavones, les dihydroflavonols, les isoflavones, les chalcones, les aurones et les anthocyanes (Mohammedi, 2006 ; Dai et Mumper, 2010). Les flavonoïdes sont des piègeurs efficaces des radicaux libres et sont essentiels afin d'inhiber la peroxydation lipidique. Ils chélatent les métaux de transition et ils peuvent prévenir la dégradation catalytique du peroxyde d'hydrogène (Eversley, 2012).

- **Caroténoïdes**

Les caroténoïdes sont des pigments liposolubles, responsables de la couleur jaune, orange ou rouge (Ravanet *al.*, 2000; Derradji-Benmeziane, 2015; Ilget *al.*, 2014). Ces pigments appartiennent à la famille des tétraterpénoïdes (C₄₀) formés de 8 unités isoprènes (C₅) liées et forment une molécule symétrique (Rodriguez-Amaya, 2001 ; Giovanni, 2014).

Cependant, les caroténoïdes sont constitués de carbone et de l'hydrogène et ils sont appelés carotènes (α -carotène et β -carotène), alors que ceux contenant des atomes d'oxygènes dans leurs structures sont appelés xanthophylles (lutéine, zeaxanthine etc) (Rodriguez-Amaya, 2001). Généralement les caroténoïdes ne sont pas synthétisés par l'organisme, par conséquent, ils doivent être apportés par l'alimentation. Ces composés agissent comme des antioxydants car ils sont capables de piéger les radicaux libres et de protéger les LDL contre l'oxydation *in vitro* (Voutilainen *al.*, 2006). Les caroténoïdes sont impliqués dans l'activité provitaminique A, l'inhibition de cancers, la prévention des maladies cardiovasculaires, la diminution du risque de cataracte, la prévention de la dégénérescence musculaire liée à l'âge et l'immuno-augmentation (Amoussa Hounkpatin, 2011).

I.7. Culture et production de gingembre

Le gingembre est principalement cultivé en Inde et dans tout le Sud-est asiatique, notamment en Chine, en Indonésie et aux Philippines, mais aussi en Afrique tropicale (Nigeria). Sa répartition géographique concerne toute l'Asie, les Caraïbes, l'Afrique et le Brésil, mais plus de 50 % de sa production mondiale provient de l'Inde et de la Chine (Gigon, 2012). Le gingembre jamaïcain et indien est considéré comme le gingembre ayant une qualité supérieure (Charles, 2013).

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

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

I.8. Usages thérapeutiques

Au cours des dernières années, le gingembre est utilisé pour traiter certaines pathologies en raison de ses activités biologiques. (Malhotra et Singh, 2003)

I. 8.1. Action anti-inflammatoire

Le gingembre permet d'abaisser certaines douleurs grâce à ses composés shagoal, [6]-gingérol et paradoltels que:

- Les douleurs musculaires et articulaires (l'arthrite, l'arthrose et les rhumatismes).
- Les blessures et les fractures.
- Les œdèmes et les douleurs intestinales (Grzanna *et al.*, 2005).

Aussi bien, le gingembre modulerait certaines voies biochimiques activées lors d'une inflammation (Grzanna *et al.*, 2005) où le [6]-gingérol est un puissant inhibiteur de la synthèse du monoxyde d'azote, des prostaglandines E2 par inhibition de COX-1, COX-2 (Efthimiou et Kukar, 2010).

I.8.2. Action hypoglycémiante

Le gingembre baisse la glycémie et permet une meilleure résistance à l'insuline, de ce fait il est conseillé pour les personnes diabétiques (**Mobasserietal., 2013; Mozaffarietal., 2014**).

I.8.3. Activité anti- bactérienne et antivirale

Les études récentes ont été réalisées sur l'huile, l'oléorésine, les extraits et les molécules actives du gingembre et elles dévoilent diverses propriétés, soit activité antivirale respiratoire, anti-VIH1 (**Lee et al., 2008; Chang et al., 2013; Schnitzler et al., 2007**); soit activité antibactérienne. Il réduit les symptômes de la fièvre, les états grippaux, la toux, les angines, l'asthme et les allergies (**Platel et Srinivazan , 2004**).

I.8.4. Action antioxydante

Le gingembre entre dans la formulation de produits cosmétiques comme les poudres de massage. Il est très intéressant sur le plan cosmétique puisqu'il contient plusieurs composés antioxydants. Ces derniers protègent les cellules contre les dommages causés par les radicaux libres (un des facteurs responsables du vieillissement cutané). Il contient également du cuivre, nécessaire à la formation du collagène (protéine servant à la structure et la réparation des tissus cutanés). Des études ont montré son effet sur les rides et l'élasticité de la peau (**Baobab, 2011**). Cette propriété antioxydante de *Zingiber officinale* est liée au gingérol qu'il contient (**Sharma et al., 2009**). Aussi la consommation de gingembre aide à lutter contre l'action des radicaux libres et de prévenir les maladies neurodégénératives et certains cancers comme

le cancer de la prostate (**Aggarwal et Shishodia, 2006 ; karnaetal., 2012**). Il améliore l'efficacité d'un traitement du cancer cervical (**Sharma et al., 2009**).

I.8.5. Autres utilisations

- En Asie, le gingembre est utilisé comme plante médicinale pour soigner les problèmes d'estomac et la diarrhée (**Platel et Srinivazan, 2004**).
- Plusieurs essais cliniques sur des femmes enceintes, ont démontré que le gingembre était plus efficace que la vitamine B6 et aussi efficace qu'un traitement sur les nausées et les vomissements pendant la grossesse. Cette propriété antiémétique est confirmée pour la prévention des patientes en chirurgie postopératoire (gynécologie, laparoscopie) (**Gigon, 2012**).
- Son goût piquant est parfois utilisé pour masquer le goût désagréable d'autres médicaments (**Van wyk et wink, 2004**).

- L'association d'un repas protéiné à du gingembre diminue de façon importante les nausées retardées observées après une chimiothérapie et permet de réduire l'utilisation d'un traitement antiémétique (**Gigon, 2012**).
- Cette plante possède un effet antiulcéreux très proche de celui du médicament «Omeprazole» (**Uz zaman et al., 2014**).
- Le gingembre a été utilisé aussi en médecine vétérinaire *in vivo* comme vermifuge de nématodes gastro-intestinaux des moutons (**Iqbal et al., 2006**).

I.9. Formes pharmaceutiques de gingembre

Le gingembre est couramment utilisé dans des préparations pharmaceutiques sous différentes formes galéniques, ces dernières ont pour but de faciliter l'administration de l'ensemble des principes actifs (**SchauenbergetParis, 1977**), on le trouve sous différentes formes : Teinture, Capsule, Pommade, Infusion, Sirop, Comprimée, Crème et Pansement.

I.10. Toxicité de gingembre

Le gingembre est généralement considéré comme une plante médicinale sans danger (**Rongetal., 2009**). L'alittérature scientifique abondante sur le gingembre ne met pas en évidence de toxicité particulière concernant cette plante.

Les précautions d'emploi résident, comme d'habitude, dans la prévention des risques encourus par l'emploi de l'huile essentielle concentrant des principes aromatiques par hydro-distillation, comme les carbures mono et sesquiterpéniques (**Gigon, 2012**).

D'après les littératures, le gingembre est considéré comme une plante médicinale sûre, car La DL₅₀ est de 6.284 g/Kg d'oléorésines (**Ravindran et al., 2005**).

Généralités sur le séchage

II. Généralités sur le séchage

Le séchage est l'une des anciennes méthodes de conservation des aliments. Selon (Alibas, 2007), le séchage est défini comme étant l'une des méthodes de stockage, qui confère une meilleure conservation pour une longue période à un aliment, tout en préservant sa qualité nutritionnelle. Le séchage est le processus d'élimination d'eau dans un produit jusqu'à une valeur constante par évaporation (Li et al., 2011).

(Bonazzi et bimbenet., 2003) ont défini le séchage comme l'opération consistant à évaporer l'eau contenu dans l'aliment, ce qui permet la stabilité des denrées périssables en diminuant l'activité de l'eau (a_w), pour avoir des produits solides et secs avant utilisation dans les procédés industriels.

Quel que soit le mode de séchage (air-chaud ou aux micro-ondes), le transfert d'eau est due à la différence de pression de vapeur d'eau entre l'intérieur et la surface du produit, ce qui fournit une force entrainante pour l'humidité (Maskan, 2001).

II.1. Définition

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 telles que le brunissement enzymatique, 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).

II.2. Objectifs de séchage

L'utilisation du séchage dans les industries agro-alimentaires à des multiples buts dont le principal est le prolongement de la durée de conservation des aliments (viandes, fruits, graines, pâtes, thé, épices) (Alibas, 2007 ; bonazzi et bimbenet., 2003), ceci est dû à l'inhibition de l'activité des micro-organismes, des enzymes ou les constituants de la matière, afin de stabiliser les produits agricoles (maïs, riz, lait, tomate) (Alibas, 2007 ; maskan, 2001).

II.3. Notion de l'activité de l'eau

L'activité de l'eau, définie comme étant le rapport de la pression de vapeur d'eau (P) du produit à la pression de vapeur d'eau pure (P₀) dans les mêmes conditions (la température) (**Kerdudo, 2014**).

$$A_w = P/P_0$$

L'activité d'eau est un indicateur principal de la qualité des produits alimentaires. L'eau contenue dans les produits alimentaires est largement classée par catégories dans deux classes : eau libre et liée. L'eau libre est définie comme eau qui peut être facilement extraite à partir des nourritures par le serrage, le découpage ou le pressurage, alors que l'eau liée n'est pas facile à extraire car elle est liée aux nutriments tels que les protéines et les pectines, donc elle n'est pas libre pour agir en tant que dissolvant pour les sels et les sucres (**Gowen, 2012**).

La teneur moyenne en eau des aliments frais est d'environ de 70% d'eau, alors que les fruits et légumes frais peuvent contenir jusqu'à de 95%. L'eau est un vecteur des infections bactériennes, chimique et biochimique, elle est impliquée dans les réactions de dégradation du produit. Il est donc nécessaire de déshydrater partiellement le produit pour le stabiliser, en enlevant une partie de l'eau "libre" (**Smida et al., 2014**).

Cependant, l'élimination de l'eau par le séchage inévitablement change la structure et la composition de nourriture, et par conséquent la détérioration de sa qualité, qui dépend à la fois de la méthode de séchage et des conditions de traitement (**Gowen, 2012**).

II.4. Principe de séchage

L'élimination de l'eau peut être effectuée par trois voies principales :

➤ **Voie mécanique**

Se réalise par un simple transfert de quantité de mouvement mais pas avec un transfert thermique exemple : Centrifugation, filtration, égouttage, essorage, pressage (**Bonazzi et Bimbenet, 2003**).

➤ **Voie chimique**

Méthodes extractives basées sur des interactions chimiques, physiques ou physicochimiques, telle que la déshydratation imprégnée par immersion (**Jaean-Jacques et al., 2003**).

➤ **Voie thermique**

Ce type d'opération est essentiellement un transfert de masse nécessitant au préalable, une activation de l'eau par une certaine quantité d'énergie apportée par un transfert de chaleur (**Jaean-jacques B et al., 2003**).

Durant le séchage, la chaleur est transférée au produit selon trois mécanismes (**Bimbenet et al., 2002**).

- ✓ Par conduction : le produit humide est en contact direct avec une surface chaude. La Chaleur se déplace du corps le plus chaud au moins chaud (**Jean V, 2011**)

- ✓ Par convection : il s'agit du mode de transfert le plus courant à partir de la vapeur d'eau surchauffée ou d'un liquide non miscible à la vapeur d'eau. Il s'agit alors d'un séchage par ébullition. Ou bien à partir d'un gaz vecteur de chaleur. Dans ce cas, le gaz sert aussi de vecteur à La vapeur d'eau. C'est un séchage par entraînement (**Jean V, 2011**).

- ✓ Par rayonnement : le produit est exposé à un rayonnement infrarouge ou microondes, ainsi que le séchage solaire à ensoleillement directe (**Jean V, 2011**).

II.5. Méthodes du séchage

Pour extraire l'eau d'un produit, différents modes peuvent être utilisés :

II.5.1. Séchage par entraînement

Lorsqu'un corps humide est placé dans un courant d'air (ou dans un autre gaz) suffisamment chaud et sec, il s'établit spontanément entre ce corps et l'air un écart de température et de pression partielle de vapeur d'eau (**Linden et Lorient, 1994**). Il s'ensuit un transfert de chaleur de l'air vers le produit, sous l'effet de l'écart de température et un transfert d'eau en sens inverse, du fait de l'écart de pression de vapeur d'eau entre la surface

du produit et l'air environnant. Le séchage est dit « isenthalpique » si l'énergie nécessaire à la vaporisation de l'eau est exactement égale à celle apportée par l'air chaud (**Daudin, 1983 ; Jean V, 2011**).

II.5.2. Séchage par ébullition

Un séchage par ébullition a lieu lorsque le flux thermique transféré au produit est très intense à cause d'un écart de température très élevé entre la source chaude et le produit (par conduction sur une surface chaude (séchoir cylindre), par rayonnement (séchoir microondes), par convection (séchoir à vapeur d'eau surchauffée), par immersion dans de l'huile chaude). Dans toutes ces conditions la température du produit atteint un niveau tel que la pression de vapeur d'eau (p) de ce produit est égale ou dépasse à la pression totale ambiante (p_t): $p \geq p_t$ (**Bimbenet et bonazzi, 2003**). L'ébullition proprement dite s'observe difficilement dans les solides ou les corps pâteux que dans les liquides (**Perkin, 1980 ; Jean, 2011**).

II.5.3. Séchage à l'air libre

Cette méthode est la plus ancienne et elle est utilisée jusqu'à nos jours. Elle est basée sur un transfert de l'eau de la matrice voulue séchée vers l'air ambiant. En effet, une faible humidité relative de l'air correspond à une température élevée, ce qui lui confère une plus grande capacité d'entraînement de l'humidité. Ainsi l'augmentation de la température de l'air ambiant et sans effet sur sa teneur en vapeur d'eau, mais les variations de température dans une matrice hydratée aura une incidence sur le contenu en vapeur d'eau de cette dernière (**Hossain et al., 2003**).

II.5.4. Séchage par micro-onde

Plusieurs méthodes de séchage existent, entre autres le séchage par microondes qui est efficace en énergie et en temps et peut dans certains cas, améliorer la préservation de la qualité du produit (**Li et al., 2010**).

II.5.4.1. Définition

Le séchage par microondes appartient au type de séchage par ébullition et obéit à un transfert de chaleur par rayonnement. Ce rayonnement, issu des ondes électromagnétiques, à une fréquence qui se situe entre celle de la lumière infrarouge et celle des ondes de télévision, sa longueur d'onde est comprise entre 1 mm et 1 m, et sa fréquence varie de 300 Mhz à 300

GHz, en utilisant comme énergie primaire l'électricité. Dans le spectre, elles se situent dans les hyperfréquences, entre les ondes radios (108 Hz) et l'infrarouge (1012 Hz) (Rougier, 2003).

II.5.4.2. Principe

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

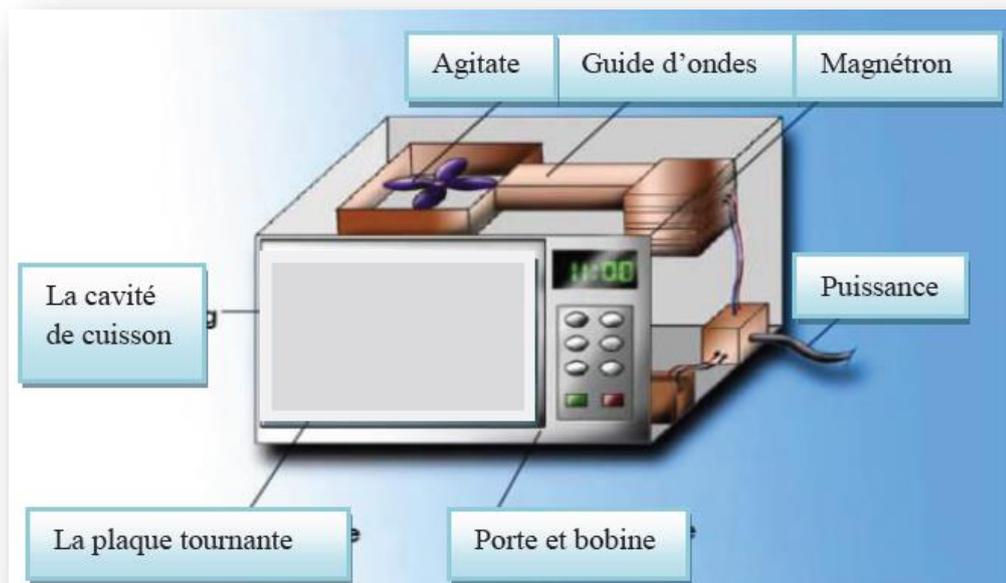


Figure (06) : Schéma d'un four à micro-onde (Mathavi et al., 2013).

II.5.5. Séchage à l'étuve

Cette méthode, l'air chauffé est mis en contact avec le matériel humide pour faciliter de la chaleur et le transfert massif; la convection est principalement impliquée (Dikbasan, 2007). Il faut préciser la consigne de température de l'étuve, le temps de séjour, et la taille de l'échantillon à tester. Même si cette taille n'est pas en général critique, le temps de séjour dans l'étuve doit être adapté au rapport surface/volume (Vasseur, 2009).

Il existe d'autres modes de séchage, entre autre :

- Séchage par friture ; qui est l'immersion d'un produit humide dans un bain d'huile chaude (**Gardeli et al., 2008**).
- Séchage par lyophilisation, dont l'eau passe directement de l'état solide (glace) vers la phase vapeur sans l'étape de fusion, ce changement d'état étant appelé « sublimation » (**Kivçak et al., 2005**).

II.6. Phénomènes se produisant au cours du séchage

Les interactions entre l'eau et les autres constituants dépendent de la mobilité de l'eau et des solutés, entraînant des réactions, des transformations physiques, des phénomènes mécaniques lors du séchage, du stockage et de la consommation (**Le Meste et al., 2001**).

▪ Les réactions biochimiques

Il s'agit des réactions de Maillard, de l'oxydation des vitamines et des matières grasses, de la dénaturation des protéines, des réactions enzymatiques, etc. Certains prétraitements permettent de réduire la vitesse de ces réactions. Les exemples classiques sont un traitement (léger) au SO₂ pour limiter les réactions de Maillard dans les fruits secs et le blanchiment pour réduire les réactions enzymatiques dans les légumes séchés.

Certaines réactions biochimiques sont recherchées : c'est le cas de la torréfaction du malt qui constitue un séchage poussé, destiné à développer des couleurs et des arômes produits par caramélisation (**Bonazzi et al., 2008**).

▪ Les transferts physiques

Il y'a divers types : diminution de l'activité de l'eau a_w , transition vitreuse, fusion des matières grasses, évaporation des constituants volatils, migration ou rétention des constituants volatils ou non.

Ces transferts sont liés à la perte et aux évolutions de températures du produit au cours du séchage (**Bonazzi et al., 2008**).

▪ Les phénomènes mécaniques

Nous citons le croûtage, les déformations, les fissures...ces changements ne sont que partiellement réversibles lors de la réhydratation (**Bonazzi et al., 2008**). En un mot, le séchage industriel des aliments impose un besoin constant d'améliorer les coûts, l'efficacité du procédé et la qualité du produit final (**Bonazzi et al., 2008**).

II.7. Intérêts du séchage des fruits et légumes

La transformation des fruits et légumes frais en produits séchés présente divers avantages :

- L'activité de l'eau du produit ainsi traité atteint des valeurs suffisamment basses pour inhiber le développement des microorganismes et stopper les réactions enzymatiques et donc la dégradation de l'aliment (**Nout et al., 2003**).
- les activités des micro-organismes, des enzymes ou des ferments dans le matériel sont éliminés par l'opération du séchage (**Alibas et al., 2007**).
- La diminution du poids et du volume est une économie importante pour le conditionnement, le transport et le stockage (**Guersson, 2004**).
- Le séchage des fruits et légumes permet d'améliorer leurs indices de digestibilité, de donner une meilleure acceptabilité des produits par les consommateurs s'il est sous une forme attrayante, de valoriser les produits locaux et de diversifier les produits existants (**Ramboatiana, 2010**).
- Le séchage permet la conservation des récoltes pour une vente ultérieure. Les produits séchés et bien emballés peuvent être vendus à des prix plus intéressants (**Guersson, 2004**).
- Faire sécher fruits et légumes est une technologie simple et aiderait beaucoup à la diversification du régime alimentaire (**Guersson, 2004**).

Généralités sur l'infusion

III.1. Généralités sur l'infusion

III.1.1. Historique

Les infusions ou liqueurs du thé représentent la boisson préparée à partir des feuilles du Théier (*camellia sinensis*). L'histoire de cette boisson remonterait, selon la légende chinoise, à 3 000 ans avant Jésus-Christ. Par contre, elle n'est apparue en Europe qu'au XVII^{ème} siècle par la voie maritime mise en place par les Hollandais. Depuis, sa consommation s'est augmentée pour devenir de nos jours la seconde boisson la plus consommée au monde après l'eau plate (non gazeuse). Le marché du thé est un marché singulier étant donné que les principaux pays producteurs, (Figure 7) la Chine et l'Inde, sont également les principaux consommateurs. Le 3^{ème} pays exportateur est le Kenya avec seulement 9% de la production mondiale (Mossion, 2007).



Figure (07) : Répartition géographique de la production mondiale du thé (2005) (Anonyme, 2).

III.1.2. Définition

Le mot infusion désigne une technique de préparation de plantes consistant à verser de l'eau chaude sur des plantes pour en extraire leurs principes actifs ou aromatiques pendant quelque minute (**Wichtlet al Anton,2003**). Très souvent et indifféremment, ce terme « infusion » est employé à la place de tisane ou vice versa (**Séchareenberg et paris, 2006**). Or le vocable « tisane » désigne plus largement les boissons infusées excepté le café. Quant au terme « infusion », il englobe les thés et les « tisanes » auxquelles on attribue des vertus médicinales. Aujourd'hui, les infusions connaissent un regain d'intérêt certain grâce notamment à la phytothérapie, aromathérapie et gemmothérapie s'expliquant par l'attrait de la médecine douce, traditionnelle et aussi par la quête de nouvelles saveurs aromatiques (**Bugnard et Hirschi,2007**).

III.1.3. Quelques infusions connues

- l'infusion au gingembre ((**Benkhniue et al.,2011**).
- l'infusion à la menthe (**Turner, 2009**).
- le maté ou le yerba maté argentin (**Oner et al., 2007**).
- le roibossud africain(**Ollier, 2006**).
- l'infusion d'hibiscus (**Mady et al., 2008**).
- l'infusion à la camomille (**Benkhniue et al., 2011**).

III.1.4. Les techniques de préparation

- la décoction : c'est tremper une plante dans de l'eau bouillante et la laisser quelques minutes (tiges de cerises, d'avoine...) ((**Bugnard et Hirschi,2007**).
- la macération : c'est laisser tremper une plante dans l'eau froide pendant de longue d'heures (menthe, mélisse...) (**Bugnard et Hirschi,2007**).
- l'infusion : c'est verser de l'eau chaude sur une plante pendant quelques minutes (Verveine, tilleul...). Pour préserver toute l'efficacité de l'infusion, il est préférable de sucrer votre infusion avec du miel (**Séchareenberg et paris, 2006**).

III.1.5. Quels mécanismes sont mis en jeu lors d'une infusion ?

L'infusion repose sur la dissolution d'espèces chimiques dans un liquide, il est donc nécessaire de choisir un solvant où la solubilité de ces espèces est suffisante.

L'utilisation d'un liquide chaud permet d'une part d'accroître la solubilité des espèces chimiques et d'accélérer le phénomène de dissolution, cette dernière peut être facilitée en utilisant un solide sous forme « divisée », c'est-à-dire séparé en des petites parties telles que des morceaux ou des grains ou de la poudre. Cette division permet de faciliter le contact entre le solvant et les espèces chimiques ce qui accélère leur dissolution (**Bugnard et Hirschi, 2007**).

III.1.6. Les infusions ou tisanes : des plantes bienfaitrices

Contrairement aux médicaments qui résultent de l'isolement de certains principes actifs dans l'objectif de traiter une affection bien spécifique, les plantes médicinales ne subissent aucun isolement de leurs principes actifs. En utilisant les techniques d'infusion, de macération ou de décoction, c'est la totalité des molécules actives qui sont employées ; c'est la phytothérapie.

A l'instar des médicaments, il est également attribué aux plantes des vertus thérapeutiques. Ainsi, leurs propriétés peuvent être tonifiantes, apaisantes, sudorifiques, antibactériennes, revitalisantes, minéralisantes, digestives...

En outre, l'association des plantes ayant des propriétés identiques peuvent renforcer ou améliorer l'efficacité des plantes (**Mossion, 2007**).

III.2. Evaluation sensorielle

L'aliment fait partie du quotidien de l'homme. La relation qui existe entre eux est beaucoup plus complexe. En effet, l'homme n'est pas un simple tube digestif, il se différencie des autres êtres vivants : pour se nourrir il fait appel à des systèmes de plus en plus complexes. Il est également un être sensible. Cette sensibilité envers les aliments se manifeste surtout par la vue, l'odorat et le goût, mais également par le toucher et l'ouïe. L'apparence de l'aliment détermine l'envie de le goûter. Il est capable de sentir la température, la rugosité, la mollesse ou la dureté d'un aliment (**Birca et al., 2005**).

III.2.1. Historique

Les hommes ont utilisé leurs sens pour évaluer les aliments depuis plusieurs milliers d'années. Nous faisons tous des jugements au sujet des aliments à chaque fois que nous mangeons ou buvons (Lawless et al. 2010). Les individus peuvent souvent dire par la vue, l'odeur, le goût et dans une moindre mesure le touché, si les aliments sont bons ou mauvais (Clark et al., 2009).

A la fin des années 40 et dans les années 50, l'évaluation sensorielle d'un intérêt considérable a été mise en valeur en partie par l'effort du gouvernement fédéral Américain pour fournir des produits alimentaires plus acceptables aux militaires (Peryam et al., 2012), aussi bien que par le développement dans les secteurs privés (Stone et al., 2012).

A la fin des années 1950, l'Université de Californie à Denis donnait une série de cours sur l'évaluation sensorielle, fournissant une des rares sources académiques pour la formation des professionnels en évaluation sensorielle (Stone et al., 2012).

Dans les entreprises, l'évaluation sensorielle est maintenant reconnue autant comme un outil au service de la production et de la recherche et développement que comme un outil au service du marketing, utilisé par exemple lorsqu'il s'agit de décrire le marché ou d'étudier les préférences sensorielles des consommateurs (Giboreau., 2009).

Après les développements applicatifs performants et généralisés dans les industries alimentaires, ces techniques sont adaptées aux produits d'hygiène et de beauté dans les années 70 – 80 puis étendues à l'ensemble des produits industriels, tels que les téléphones portables, les voitures etc. (Meiselman et al., 2001).

III. 2.2.Définition

III.2.2.1. Evaluation sensorielle

Elle est définie comme étant la discipline scientifique pour évoquer, mesurer, analyser et interpréter les réactions aux caractéristiques organoleptiques des aliments. C'est une méthode qui s'est fortement normalisée ces dernières années. (Branger et al., 2008).

L'évaluation sensorielle devrait être envisagée en termes beaucoup plus larges pour dépasser sa contribution aux questions de savoir quelle saveur est meilleure (Stone et al.,2012). Elle permet d'étudier différents problèmes ou de répondre à diverses questions posées par le fabricant, et elle est utilisée dans de nombreux domaines (Totte.,2008).

III.2.2.2. Analyse sensorielle

Les techniques d'analyse sensorielle ont été développées en vue de mesurer, contrôler et maîtriser la qualité des aliments grâce à des résultats fournis par des sujets humains (**Giboreau et al., 2010**). Considérant l'homme comme un instrument de mesure, l'analyse sensorielle permet de quantifier des sensations complexes en éliminant toute subjectivité dans l'appréciation d'un produit (**Urvoy et al., 2012**).

III.2.3. Objectifs de l'analyse sensorielle dans l'Agroalimentaire

C'est une technique de caractérisation objective, qui fait appel à des sujets entraînés qualifiés pour décrire et quantifier les caractéristiques sensorielles des produits étudiés. Selon (**Ferrand et al., 2007**) ses objectifs sont :

- Décrire et caractériser les produits afin d'établir un profil sensoriel ;
- Suivre l'évolution des matières premières au cours du temps ou l'évolution des produits dans leur emballage ;
- Définir la durée de vie des produits ;
- Mettre en évidence l'influence des procédés technologiques ou de certains paramètres sur les qualités organoleptiques des produits (type d'alimentation, conditions de stockage) ;
- Amélioration et optimisation des produits ;
- Connaître les atouts et les limites des produits ;
- Connaître le positionnement des produits par rapport aux produits concurrents

III.2.4. Les principales étapes de l'évaluation sensorielle

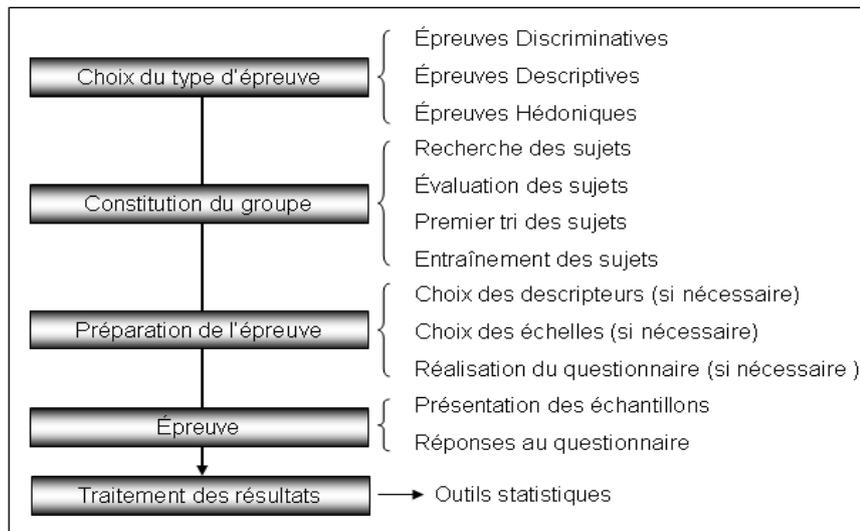


Figure (08) : Les macros étapes de l'analyse sensorielle (Guerra., 2009).

Partie pratique

Matériel et méthodes

Chapitre I : Matériel et méthodes

I-1- Présentation du sujet

Le gingembre (*Zingiber officinale Roscoe*), est l'une des espèces les plus largement utilisées de la famille des zingibéracées. C'est un condiment commun pour divers aliments et boissons. Il a une longue histoire d'une utilisation médicinale qui remonte à 2500 années (Shukla et Singh, 2007). Le gingembre a suscité une attention croissante à cause de son activité antioxydant, anti-inflammatoire, antidiabétique et anticancéreuse (Cheng, *etal.*, 2011). Sa chimie a été intensivement étudié avec plus de 100 composés identifiés dans les échantillons frais et secs (Araya *et al.*, 2011).

Comment peut-on obtenir une poudre du Gingembre à partir du Gingembre frais ?

Quelle est la méthode la plus adéquate pour le séchage du Gingembre ?

Est-ce que notre infusion à pu être apprécié par les consommateurs ?

La réponse à ces questions fera l'objet du développement du sujet de cette étude expérimentale. Ce travail se penche sur l'obtention d'une poudre du gingembre à partir du gingembre frais, par séchage micro-onde et conventionnel (étuve). Un suivi de cinétique du séchage est effectué pour les deux procédés de séchage et enfin des analyses physico-chimiques ont été réalisées. La poudre obtenue est utilisée pour la préparation d'une infusion. Cette dernière a subit des analyses physico-chimiques et sensorielles.

Le schéma suivant (Figure 09) résume le plan général du travail :

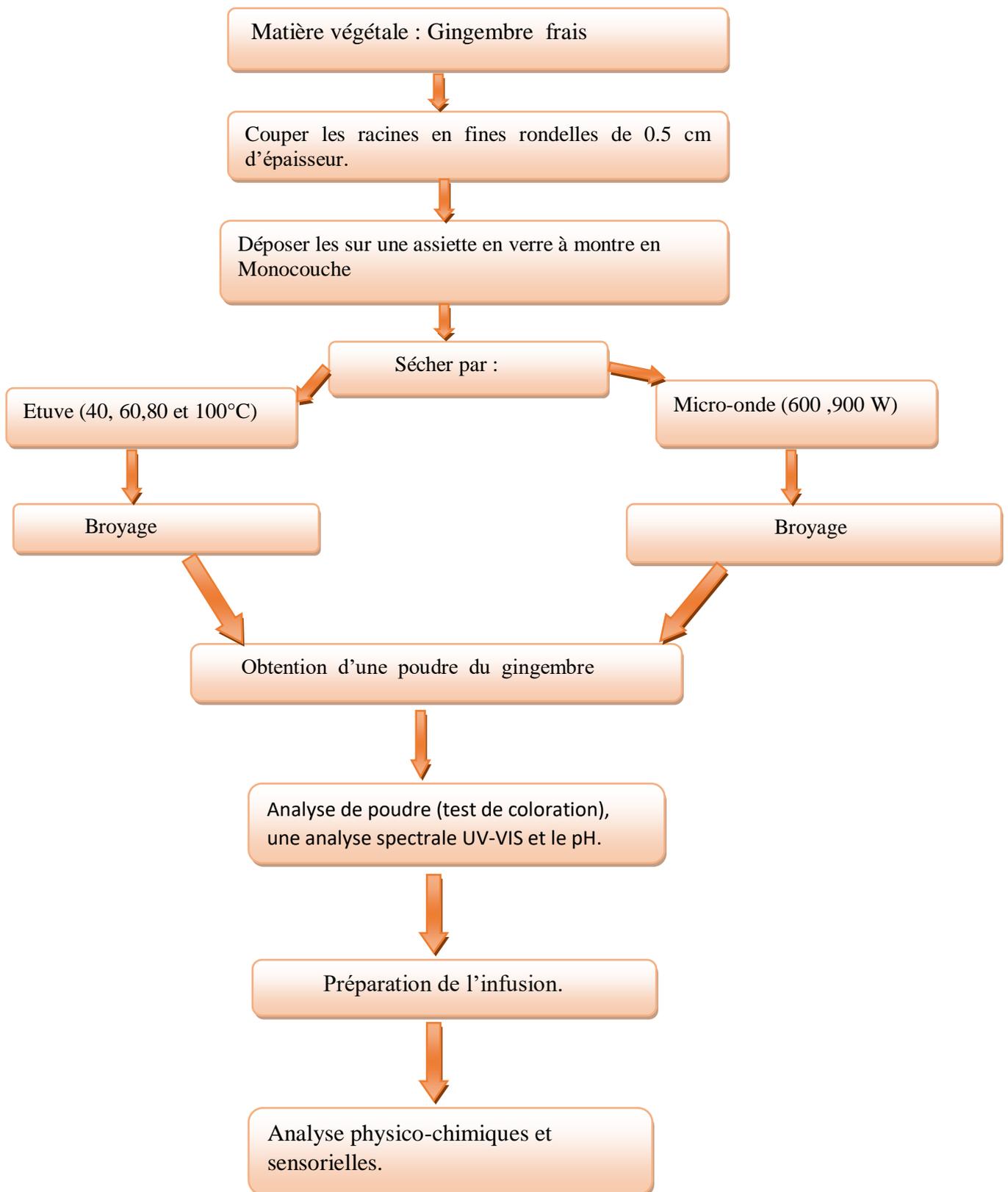


Figure (09) : Schéma général du plan de travail.

I.2. Matériel végétal

Le présent travail a été réalisé sur les racines de gingembre frais (*Zingiber officinale*

Roscoe) qui a été procuré d'un supermarché de la ville de Béjaia.



Figure (10): Rhizome de *Zingiber Officinale Roscoe*.

I-3- Traitements des échantillons

I.3.1. Taux d'humidité

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

La teneur en eau est déterminée selon la formule suivante :

$$H(\%) = \left(\frac{P_0 - P_f}{P_0} \right) \times 100$$

Avec

H(%) : humidité ;

P₀ : représente le poids initial de l'échantillon (g) ;

P_f : représente le poids final de l'échantillon (g).

I-3-2-Séchage du matériel végétal

Au laboratoire, les racines du gingembre ont été triées, bien lavés avec de l'eau de robinet et de l'eau distillée, ces racines sont découpées en fines tranches d'épaisseur d'environ 0.5 cm (Figure 10A), le séchage a été réalisé par deux techniques ; séchage conventionnel dans une étuve à différentes températures (40, 60,80 et 100°C) (Figure 10B) et séchage au four à



microondes à différentes puissances (600,900 W)(Figure 10 C).

Figure (11) : (A) : Photographies des tranches du gingembre, (B) : Etuve et (C) : Four à micro-onde.

La cinétique de séchage des échantillons de 25 g de tranche du gingembre (*Zingiber Officinale Roscoe*) a été suivie au four à micro-onde à des puissances séparément de 600 et 900 W ; à l'étuve à une température séparément de 40, 60, 80 et 100 °C. Les cinétiques de séchage ont été suivies par la pesée de l'échantillon jusqu'à la masse constante. La cinétique a été réalisée en triples tests.

I-3-3- Broyage

Après le séchage par les deux méthodes, le matériel végétal séché a été broyé à l'aide D'un broyeur électrique de type (IKA model A11 basic) dans le but d'obtenir une poudre Du gingembre pour les différents échantillons. Puis ces poudres (Figure 12.C) ont été conservées dans des boites en plastiques alimentaires, hermétiquement scellées, à l'abri de la lumière et de l'humidité pour des analyses ultérieures.



Figure (12) : Photographie du broyeur et de la poudre du gingembre.

I-4- Étude phénoménologique des poudres obtenues

L'analyse physico-chimique des poudres obtenues a été réalisée au niveau du Laboratoire d'analyse instrumentale de l'université Abderrahmane Mira de Béjaïa.

I-4-1- Mesure de l'intensité de couleur des poudres

L'intensité de la couleur des poudres séchées par les différentes méthodes de séchage à savoir l'étuve, le four à microondes a été mesurée par le système **L.a.b** à l'aide d'un colorimètre de type (CM-2500 d MINOLTA) (Figure 13). Ce dernier fonctionne en présence d'un logiciel open RGB (Red Blue Green) signifie les couleurs primaires avec des



longueurs d'ondes dominantes pour le rouge, le vert et le bleu.

Figure(13): photographie d'un colorimètre.

I-5- Infusion du gingembre

I-5-1- Préparation d'une infusion

L'infusion des poudres séchées du gingembre par l'étuve et de micro-onde ont été réalisées selon les étapes suivantes :

- On introduit 0.45 g de poudre dans des sachets spéciaux ;
- On introduit les sachets dans douze béchers qui contient 35 ml d'eau chauffé a 100°C pour chaque bécher avec une agitation,pendant une durée de 10 à 60 min;

I-5-2- Analyse physico-chimiques de l'infusion du gingembre

I-5-2-1- Analyse spectrale UV-VIS

➤ Protocole

- on fait tout d'abord le spectre d'une solution concentrée de l'infusion du gingembre, le graphe est obtenu par un balayage dans le domaine s'étalant de 200 à 700nm.
- on réalise le spectre d'absorption de l'eau distillée dans le même domaine spectrale.
- A partir de la solution mère de l'infusion du gingembre, on réalise des dilutions de 1/10 dans 12 béchers.

L'analyse des spectres UV-VIS a été enregistrée de 200 à 700 nm pour tous les extraits des poudres séchées au four à microonde et l'étuve (**Vijayalakshmi and Ravindhran, 2012**).

I-5-2-2- Le pH

Le pH de l'infusionobtenue est mesuré à 25°C directement par le PH-mètre du type EXTECH instruments (EC 500).

I.6. Evaluation sensorielle

L'évaluation sensorielle a été réalisée au niveau du Laboratoire d'analyse sensorielle de l'université de Bejaia. Une analyse sensorielle des caractéristique organoleptiques a été

effectuée, dont nous avons fait appel à un panel expert constitué de 10 jurys formés et entraînés à l'évaluation sensorielle au sein de l'université Abderrahmane Mira de Bejaia.

Une analyse hédonique a été effectuée par le même jury en classant les produits selon leur préférence.

I.6.1. Produits analysés

Quatre échantillons d'infusions de gingembre codés ont été présentés pour chaque jury accompagné d'un questionnaire à remplir voir (Annexe II).

Les différents échantillons présentés sont quatre infusions de gingembre, leur préparation est décrite précédemment et sont présentées comme suit :

- Infusion A : préparée à base de poudre de gingembre séchée au microonde à 900W
- Infusion B : préparée à base de poudre de gingembre séchée à l'étuve à 80°C
- infusion C : préparée à base de poudre de gingembre séchée au à l'étuve à 100°C
- Infusion D : préparée à base de poudre de gingembre achetée au niveau du commerce.



Figure (14) : Présentation des infusions pour la dégustation.

I.6.2. Salle d'évaluation sensorielle

Les séances d'évaluation sensorielles se déroulent dans un laboratoire prévue à cet effet, constitué de cabines de dégustation individuelles permettant ainsi à chaque personne de se concentrer et d'éviter toute influence extérieure. Chaque cabine est éclairée par une lumière standard. Le matériel utilisé est généralement des ustensiles de cuisine de préférence jetables pour éviter le nettoyage et rangement (Depledt et al., 2002).



Figure (15): Les cabines d'analyse sensorielle.

I.6.3. Traitement des résultats

Les données rassemblées à partir des questionnaires distribués aux juges, ont été traités en utilisant le logiciel XLSTAT version 2014.5.03, qui est un outil complet d'analyse de données et de statistiques développé par addinsoft dont la particularité est d'être parfaitement intégrée à Excel. L'accès aux différents modules est possible grâce à des menus et à des barres d'outils. XLSTAT utilise Microsoft Excel comme une interface de récupération des données et d'affichage des résultats.

Les principales fonctionnalités de ce logiciel utilisé pour interpréter nos résultats sont :

- Caractérisation de produit.
- Analyse en composante principale (ACP).
- Classification ascendante hiérarchique (CAH).
- Cartographie de préférence PREFMAP.

Résultats et discussion

Chapitre II : Résultats et discussion

II.1. Test d'humidité

Le taux d'humidité du gingembre est de 89,53% la matière sèche ne représente que 10,47% comme le montre la (Figure 16). Cette figure montre que le gingembre contient une quantité d'eau très élevée.

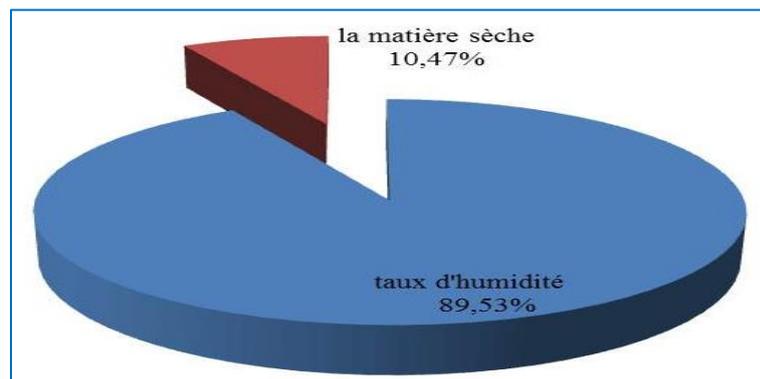


Figure (16) : représentation du taux d'humidité du gingembre

II.2. Cinétique de séchage

Le séchage conventionnel (étuve) et innovant (micro-onde) sont les méthodes adoptés dans cette étude, dans le but de comparer les performances de ces deux procédures.

II.2.1. Cinétique de séchage à l'étuve (conventionnel) du gingembre

Le séchage est l'une des méthodes les plus anciennes et les plus utilisées généralement pour la conservation des fruits, légumes et des produits aquatiques car il abaisse l'activité de l'eau, prolonge la durée de conservation (**Huangetal., 2016**)

ralentissant la croissance microbienne, l'activité enzymatique, et la réaction chimique (**Ricardo et al., 2016**). L'utilisation de diverses méthodes de séchage est pour une meilleure conservation de ces paramètres (**Samotichaet al., 2016**).

Les résultats de l'évolution de l'humidité des différentes tranches de gingembre séchées à l'étuve à différentes températures sont représentés dans la (Figure 17)

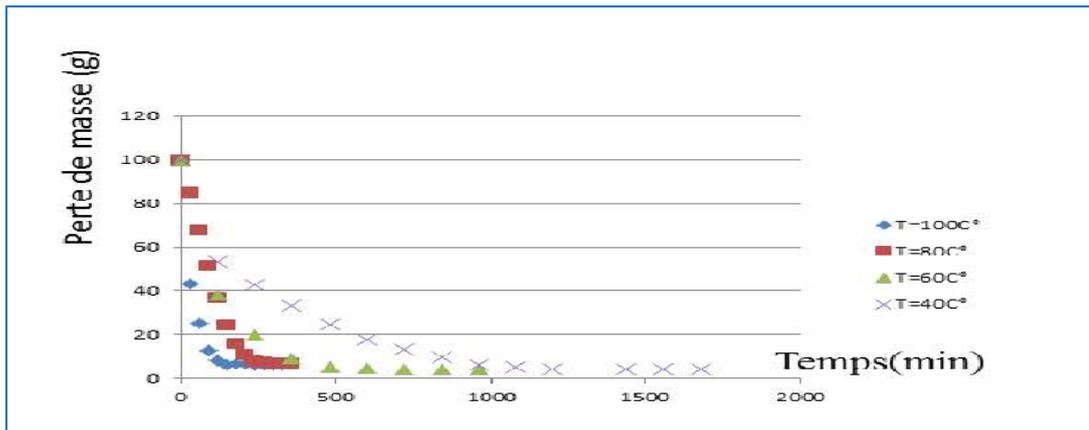


Figure (17) : Evolution de la perte de masse en fonction du couple temps-température du séchage à l'étuve.

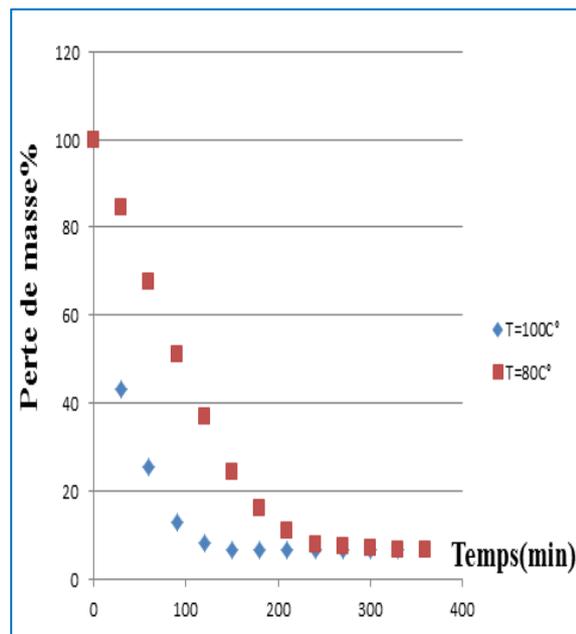
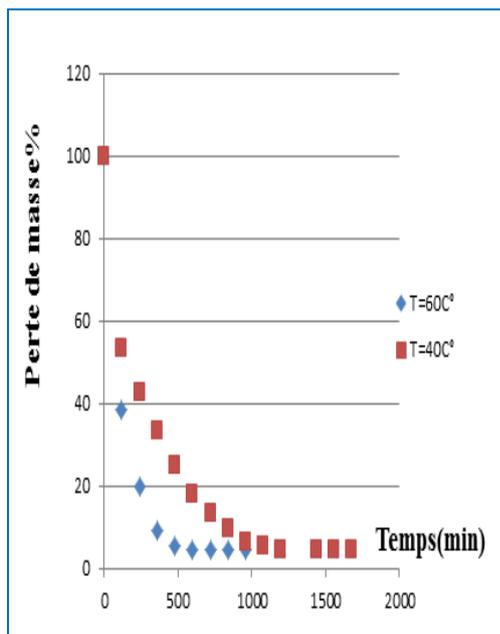


Figure (18) : Evolution de la perte de masse en fonction du couple temps-température du séchage à l'étuve (80°C et 100°C et 60°C et 40°) .

A partir de la courbe on constate que la perte de masse des tranches de gingembre est proportionnelle au couple temps-température pour toutes les températures étudiées. En effet, à haut température (80°C et 100°C) la perte en eau est beaucoup plus rapide (360 et 330min, respectivement). Alors qu'à 60°C et 40°C, la masse est devenue stable après (390,440min) donc la vitesse de la perte est lente par rapport à les températures précédentes. Les résultats obtenus montrent que le temps de séchage est inversement proportionnel à la température appliquée.

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 et Jean-Jacques *et al*,2003).

II.2.2. Cinétique de séchage par micro-onde (innovant) du gingembre

La (Figure 18) montre que le temps de séchage pour la puissance 900W est de 560s et de 725s pour la puissance 600W.

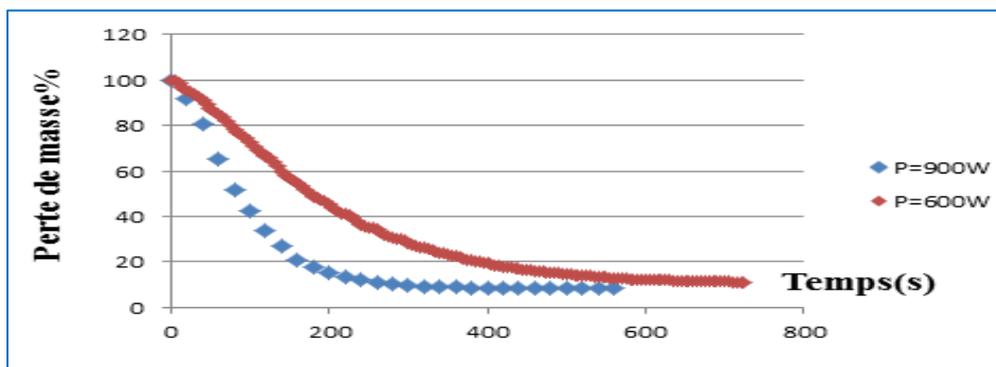


Figure (18) : Evolution de la perte de masse en fonction du couple temps-puissance de séchage par micro-onde.

La courbe nous laisse constater que la perte en poids des tranches de gingembre est proportionnelle au couple temps-puissances pour les deux puissances étudiées. Le temps de séchage les plus courts est attribués à 900 W avec 9 min alors que à 600 W avec 12 min.

Les résultats obtenus montrent que la durée de séchage est inversement proportionnelle aux puissances de séchage ; les temps de séchage les plus rapides sont obtenus à des fortes puissances, donc plus le niveau de séchage est élevé, plus le temps de séchage est réduit.

Le temps de séchage le plus court dans la micro-onde peut être expliqué par une haute pression interne et les gradients de concentration qui augmentent l'évaporation du liquide à travers le produit jusqu'à la stabilité (Chemat F, 2008).

Les résultats montrent que le séchage par microonde permet de déshydrater mieux le matériel végétal que le séchage conventionnel. Ce constat est confirmé par les niveaux d'activité de l'eau atteints par le séchage micro-onde. Ce qui confirme l'efficacité du séchage micro-onde en termes de temps et d'activité d'eau.

II.3. Modélisation de la cinétique de séchage

L'objectif consiste à modéliser la vitesse de séchage selon de la courbe caractéristique de séchage (CCS). Il s'agit de déterminer les coefficients de corrélations par deux modèles empiriques (Exponentiel $Y=A*EXP(B*X)$ Modified power $Y=A*B*X$) qui ont été proposées pour représenter les isothermes par des fonctions mathématiques on trouvera les résultats dans les tableaux ;

II.3.1. Cinétique de séchage à l'étuve (conventionnel) du gingembre

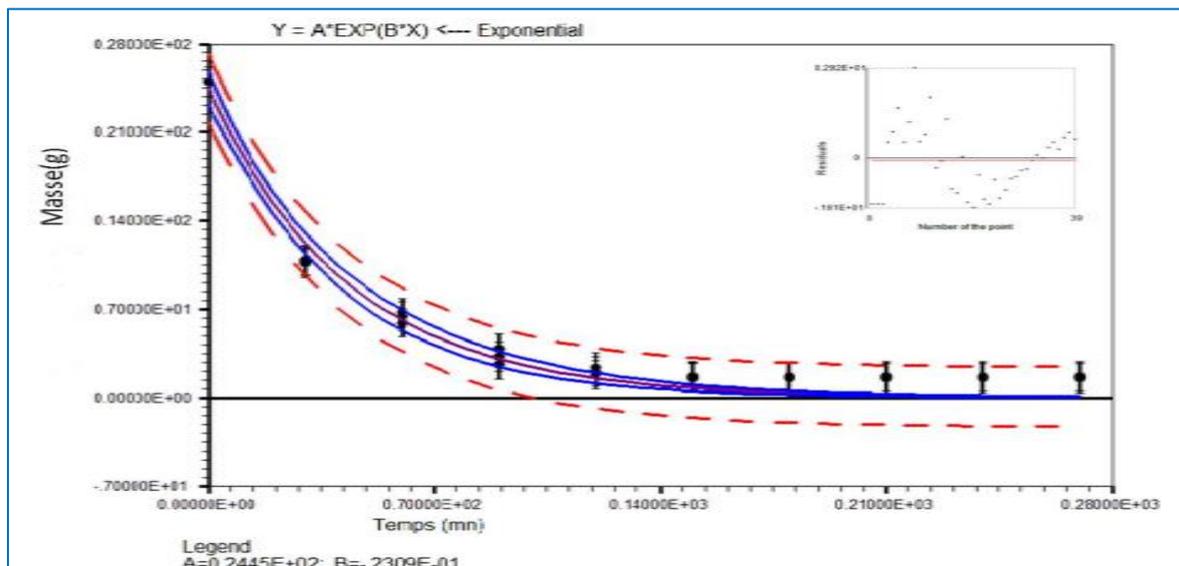


Figure (19) : modélisation de séchage par le modèle Exponentiel à T=100°C

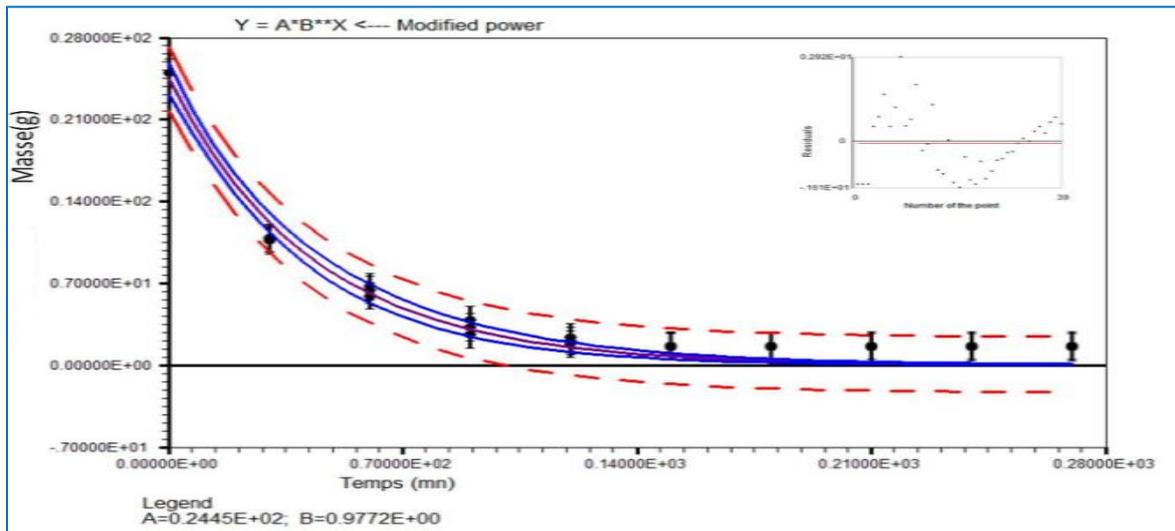


Figure (20) : modélisation de séchage par le modèle Modified Power à T= 100C°

Tableau VI: les valeurs des paramètres des deux modèles à 100C°

100C°	Exponentiel $Y=A*EXP(B*X)$	Modified power $Y=A*B*X$
A	0,2145203616720E+02	0,2445E+02
B	-0,3006381842180E-2	0,9772 E+00
R ²	0,972762	0,972762
ChiSq	0,340000E+2	0,340000E+2
RedChiSq	0,100000E+01	0,100000E+01

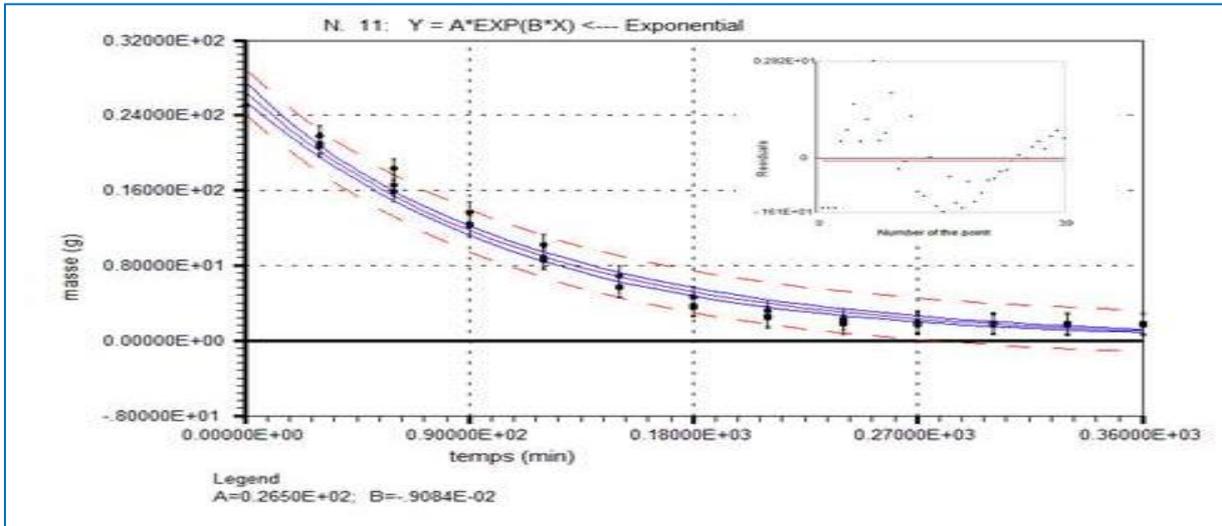


Figure (22) : modélisation de séchage par le modèle Exponentiel à T=80C°

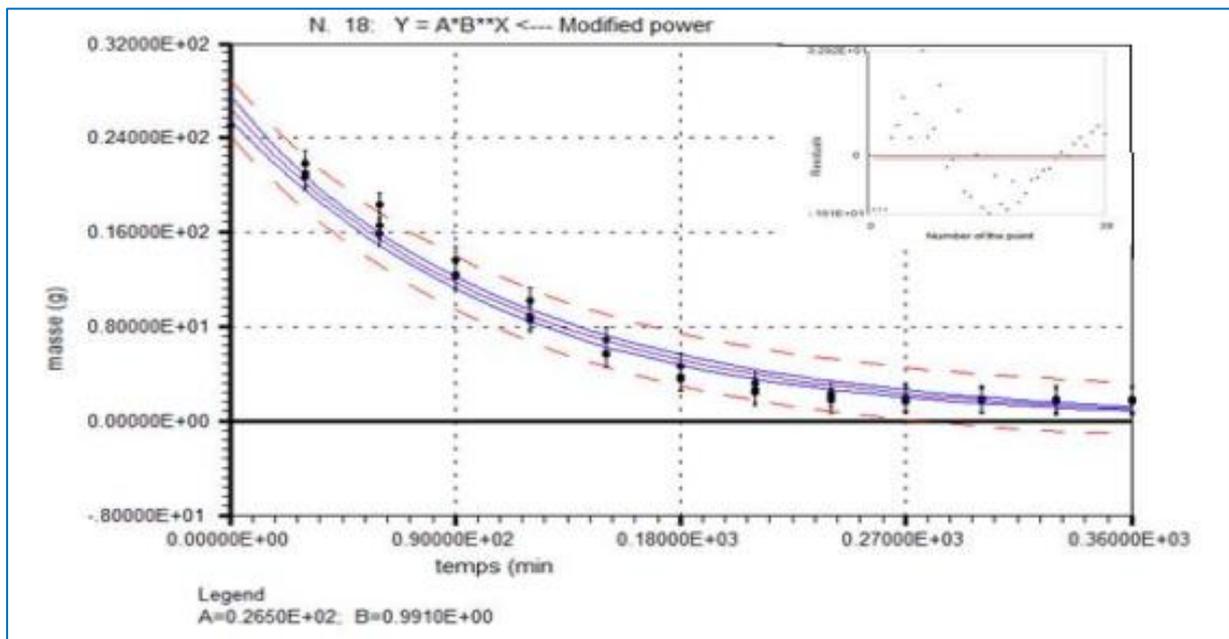


Figure (23) : modélisation de séchage par le modèle Modified Power à T=80C°

Tableau VII: les valeurs des paramètres des deux modèles à 80C°

T=80C°	Exponentiel $Y=A*EXP(B*X)$	Modified power $Y=A*B*X$
A	0,2649815629691E+02	0,2649815665610E+02
B	-0,9083855243510E-02	0,9909572779975
R ²	0,9819762	0,9819762
ChiSq	0,370000E+02	0,370000E+02
RedChiSq	0,100000E+01	0,100000E+01

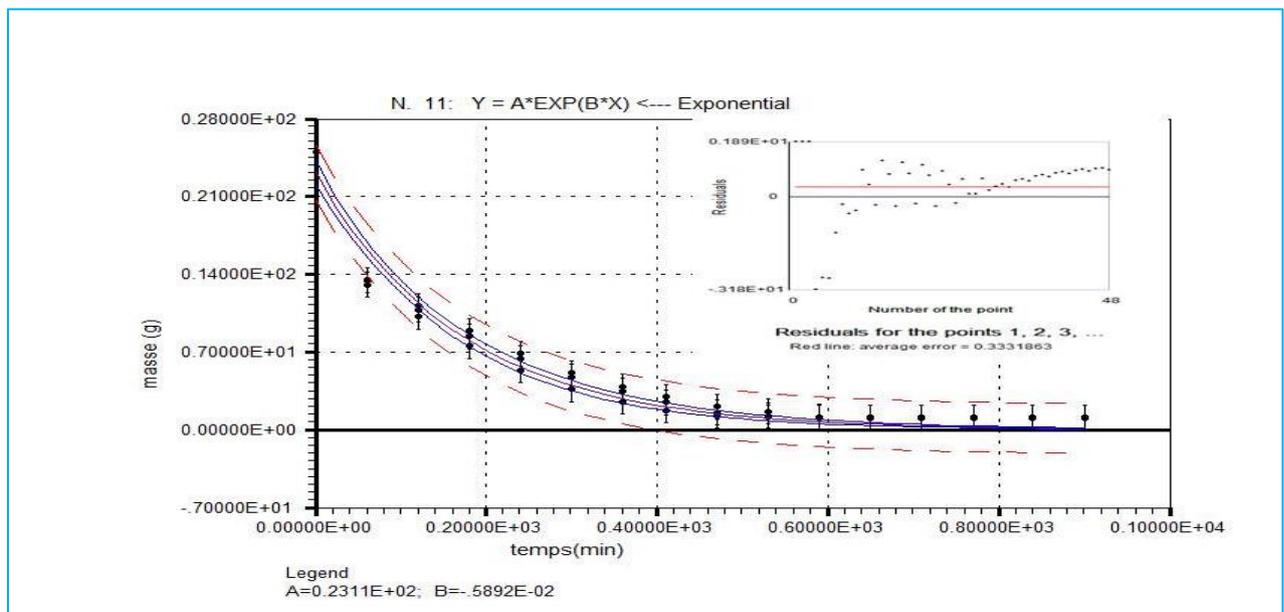


Figure (24) : modélisation de séchage par le modèle Exponentiel à T=40C°

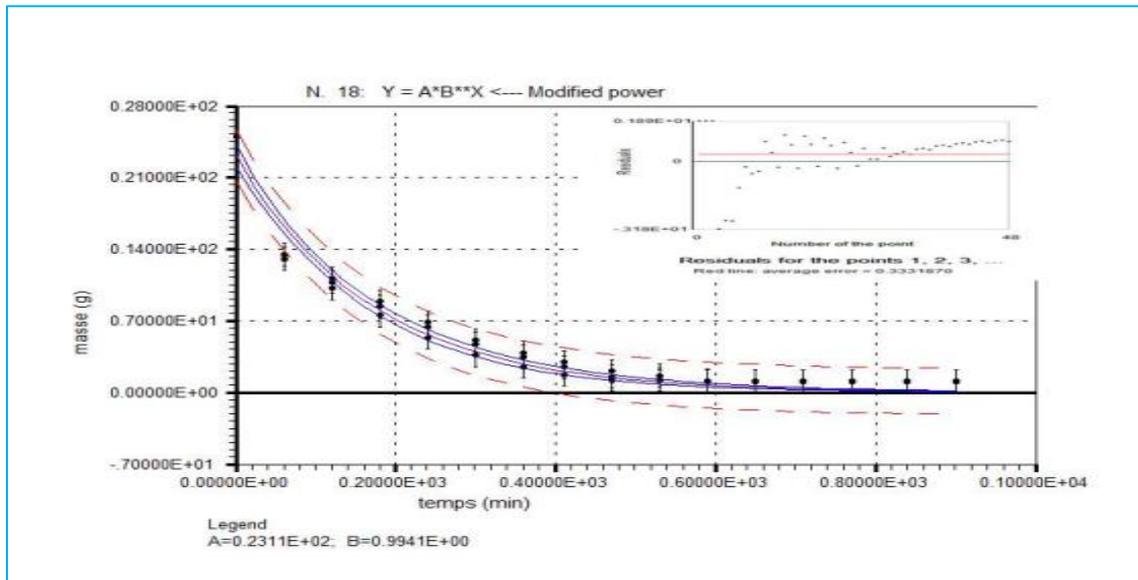


Figure (25) : modélisation de séchage par le modèle Modified Power à T=40C°

Tableau VIII: les valeurs des paramètres des deux modèles à 40C°

40C°	Exponentiel $Y=A \cdot \text{EXP}(B \cdot X)$	Modified power $Y=A \cdot B \cdot X$
A	0,2310865388161E+02	0,2310865716819E+02
B	-0,5892358641436E-02	0,994124964845
R ²	0,9743947	0,9743947
ChiSq	0,460000E+2	0,460000E+2
RedChiSq	0,100000E+1	0,100000E+1

II.3.2. Modélisation de séchage par micro-onde (innovant) du gingembre

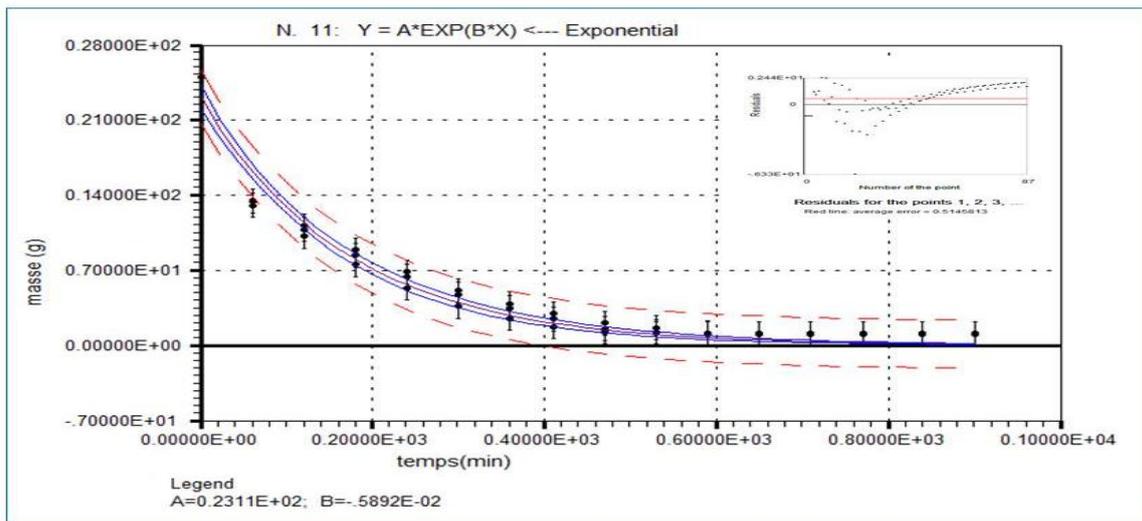


Figure (26) : Modélisation de séchage par le modèle Exponentiel à P= 900 W

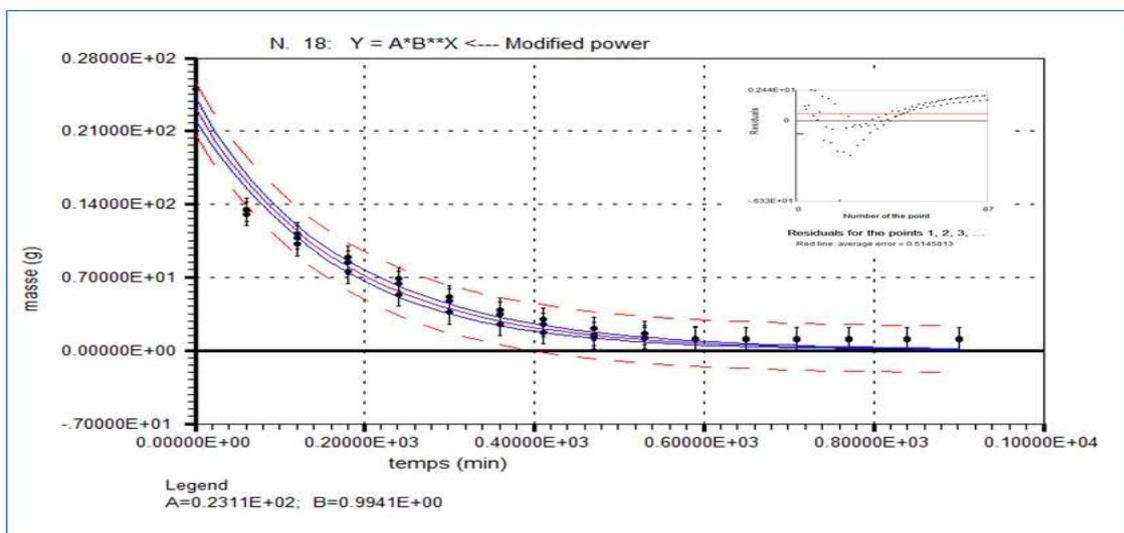


Figure (27) : Modélisation de séchage par le modèle Modified Power à P= 900 W

Tableau IX: les valeurs des paramètres des modèles à 900 W

P=900 W	Exponentiel $Y=A*EXP (B*X)$	Modified power $Y=A*B*X$
A	0,2604693170292E+02	0,2604692895647E+02
B	-0,8719458091491E02	0,9913184483146
R ²	0,9603732	0,9603732
ChiSq	0,850000E+2	0,850000E+2
RedChiSq	0,100000E+1	0,100000E+1

La méthode courbe caractérisations de séchage de détermination de la cinétique de séchage est une méthode pratique et mathématiquement facile à exploiter. Elle peut être utilisé pour représenter la cinétique de séchage des produits agro-alimentaires, dont on ne connaît pas les caractéristiques physiques, sans nécessiter d'hypothèses sur la nature des mécanismes internes au produit pendant le séchage, Les corrélations obtenues permettent une bonne reconstitution des résultats expérimentaux. Elles pourront être utilisés pour simuler les opérations de séchage dans le but de dimensionnés des différentes types de séchoirs agricoles.

II.3. Résultats d'analyse physicochimiques

II.3.1. La couleur

La couleur des surfaces des produits alimentaires est le premier paramètre de qualité évalué par des consommateurs pour l'acceptation du produit, même avant qu'il soit goûté. Dont les coordonnées chromatiques L (noir –blanc), a (rouge-vert) et le b (jaune-bleu) ont été employés couramment pour décrire les changements de couleur pendant le traitement thermique des produits alimentaires (**Youssef and Mokhtar, 2014**).

Les résultats du test colorimétrique de cette étude sont présentés dans le tableau VI ci-dessous :

Tableau X: Les résultats du test colorimétrique pour les différentes poudres obtenues par les deux types du séchage.

Puissance (w)	L	a	b	Température (°C)	L	a	b
600	29,63	40,68	16,38	40	49,93	28,19	19,51
900	20,30	21,71	16,46	60	39,32	35,55	22,32
				80	32,55	50,68	54,25

a : **l :** **b :**

La comparaison des résultats du test colorimétrique chez les poudres obtenue par séchage innovant a révélé l'absence d'une différence importante entre les différentes puissances utilisé pour les valeurs (L, a, b). Cette absence de différence, malgré le changement de puissance, est confirmée par l'observation macroscopique (Figure 20. (A.1-2)) qui ne montre aucun changement de couleur des poudres.

Ces observations coïncident avec plusieurs autres études et selon Maskan, (2000) qui a travaillé sur le séchage des bananes par micro-onde, les changements des valeurs de couleur ne dépendent pas de l'intensité des puissances de la micro-onde.

Par ailleurs, le tableau montre que les valeurs de luminosité "L" du séchage conventionnel ont été diminué de 49.93 à 32.55 en fonction de l'augmentation de la température de 40°C à 60°C, respectivement, tandis que les valeurs (a) et (b) augmentent en fonction de l'augmentation de la température de 28.19 et 50.68 pour 40°C et 19.51 et 54.25 pour 60°C respectivement.

D'après la littérature, la diminution de (L) signifie la perte de luminosité en donnant une couleur plus foncé et l'augmentation de (a, b) indique la formation des couleurs (rouge, jaune). Cela a été confirmé par le grand changement de couleurs observé à l'échelle macroscopique (Figure 24 (B.1-4)).



Figure (27) : Observation macroscopique des poudres du gingembre à différentes températures et à différentes puissances. A : Les poudres obtenue par micro-onde à différentes puissances (A.1=900W, A.2=600W). B : Les poudres obtenue par étuve à différentes températures (B.1=40°C, B.2=60°C, B.3=80°C, B.4=100°C).

La température de séchage élevée augmente l'intensité de couleur des poudres séchées, qui peut être due à la décomposition des colorants de chlorophylle et de caroténoïdes, de la réaction de Maillard (brunissement non-enzymatiques) et formation des colorants bruns (Diamant *et al.*, 2010 ; Youssef and Mokhtar, 2014). Il a été rapporté que à des températures élevées de 80 à 100 °C, l'oxydation chimique des composés phénoliques en quinones et leurs polymères se produit en plus de caramélisation (Nayak *et al.*, 2013).

En conclusion, les résultats de cette présente étude ont montré que le séchage Conventionnel permet de déshydrater légèrement mieux le matériel végétal que le séchage par micro-onde, par contre la durée de séchage par micro-onde est plus courte par rapport au séchage conventionnel. Aussi, le séchage par micro-onde préserve mieux la couleur ainsi que la composition biochimique. Cela confirme l'efficacité du séchage par micro-onde par la réduction de temps et la préservation de la couleur.

II.3.2. Analyse spectrale UV-Vis

La spectroscopie ultraviolet-visible est une méthode utilisée en routine pour l'étude quantitative des solutions de métaux de transition et des composés organiques fortement conjugués. Un spectre UV-visible est, pour l'essentiel, un graphe qui relie l'absorbance à la longueur d'onde dans les régions visible et ultraviolet. Un tel spectre peut être produit en continu par des spectrophotomètres disposant d'un système de balayage en longueur d'onde. Il peut également être produit point par point, en collectant les absorbances à quelques longueur

d'onde (notée λ). De manière similaire, pour une substance donnée, un graphe standard du coefficient d'extinction (ϵ) en fonction de la longueur d'onde (λ) peut être tracé. Les lois de Woodward-Fieser sont un ensemble d'observations empiriques pouvant être utilisées afin de prédire λ_{max} , la longueur d'onde de l'absorption UV-visible la plus importante, pour les composés organiques conjugués comme les diènes et cétones.

Les longueurs d'ondes des pics d'absorption peuvent être corrélées avec les types de liaisons dans une molécule donnée et sont valides pour déterminer les groupes fonctionnels dans une molécule. L'absorption UV-visible n'est pas, cependant, un test spécifique pour tout composé. La nature du solvant, le pH de la solution, la température, les hautes concentrations électrolytiques, et la présence de substances interférentes peuvent influencer les spectres d'absorption des composés, comme le peuvent les variations dans la largeur des fentes (largeur de bande effective) du spectrophotomètre.

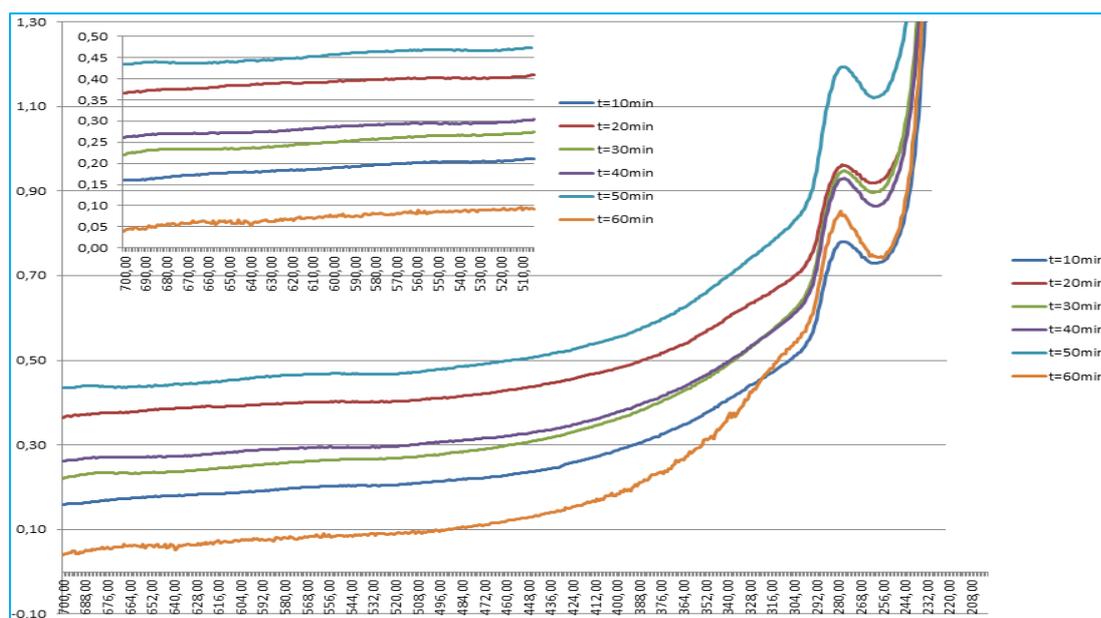


Figure (29) : Spectres uv-vis des infusions de la poudre séché par étuve

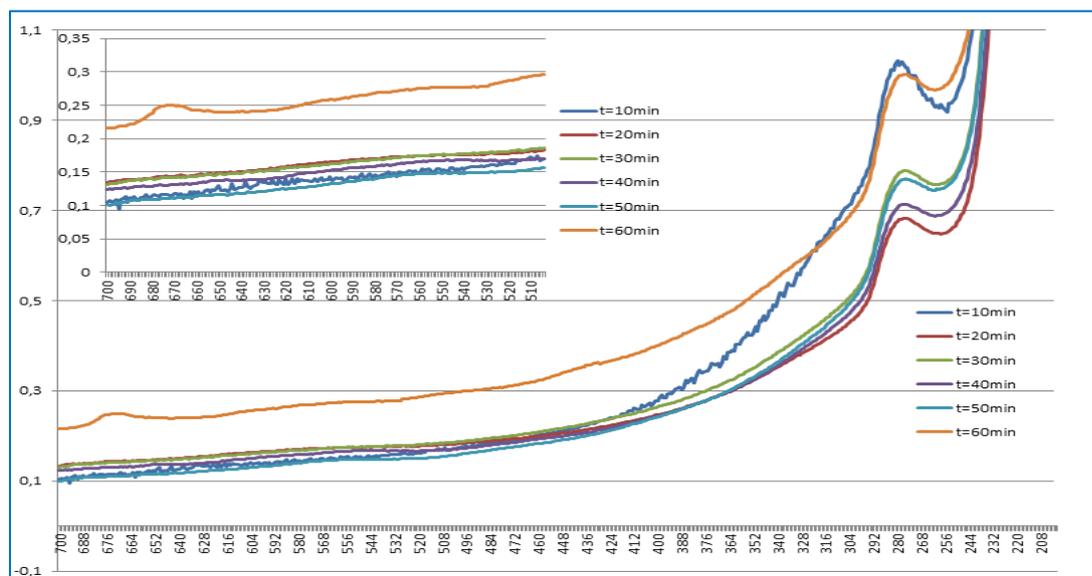


Figure (30) : Spectres uv-vis des infusions de la poudre séché par micro-onde

➤ UV

Dans l'UV on observe seulement les instaurations ; que ce que ce passe dans 10min et 60min est en presque la même chose, les intensités des composés a instauration sa une longueur d'onde de 280 nm (polyphénols) montre que le relargage qui s'est fait en 10 min et équivalent en relargage à 60 min donc des infusions, 10min d'infusion de $T=100^{\circ}\text{C}$ est suffi largement.

Vrais semblablement on remettra reste a étudié au-delà de 10min et inférieur de 60 min les composés rélargies restent vrais semblablement inférieur à ce de 60 min

➤ visible

Dans le visible on remarque pour toute les autre courbes ni l'existence les groupements chloroformes sauf à 60min un de polyphénol peut subir une dégradation peuvent données Les dérivés des caroténoïdes

II.3.4. Le pH

Les infusions de gingembre sont moyennement alcalin pH est 7.8 (naturelle), à partir des poudres séchées, montrent un pH presque est stable pour tous les types de séchage appliqués (micro-onde et étuve). Néanmoins, la plus grande valeur du pH d'infusion est obtenue par la poudre séchée aux micro-ondes à la puissance de 900 W (pH=7,79) par comparaison aux poudres séchées par étuve, le tableau (XI) montre les valeurs de pH des infusions de gingembre.

Le **tableau XI** : les valeurs de pH des infusions de gingembre pour les différentes températures et puissances.

Infusions	PH
(A) P=900W	7,79
(B) T=100 °C	7,48
(C) T=80 °C	6,98
(D) Infusion commerciale	5,06

II.4. Résultats de l'analyse sensorielle

Avant d'effectuer les différents tests sur XLSTAT, un plan d'expérience a été réalisé. Une fois les données des jurys experts sont rapportées sur le logiciel, la procédure de génération d'un plan d'expérience est lancée. Un plan d'expérience optimal a été trouvé, ce qui valide les autres tests sur XLSTAT-MX.

II.4.1 Caractérisation des produits

Ce test permet de caractériser rapidement des produits en fonction de l'évaluation des juges, donc il s'agit d'identifier les descripteurs qui discriminent le mieux les produits et quels sont les caractéristiques importantes de chaque produit (HUSSON *et al.*, 2009).

➤ Pouvoir discriminant par descripteur

Ce présent test permet d'afficher les descripteurs ordonnés de celui qui a le plus fort pouvoir discriminant sur les produits à celui qui a le plus faible.

La Figure suivante montre les résultats obtenus pour le pouvoir discriminant par descripteur.

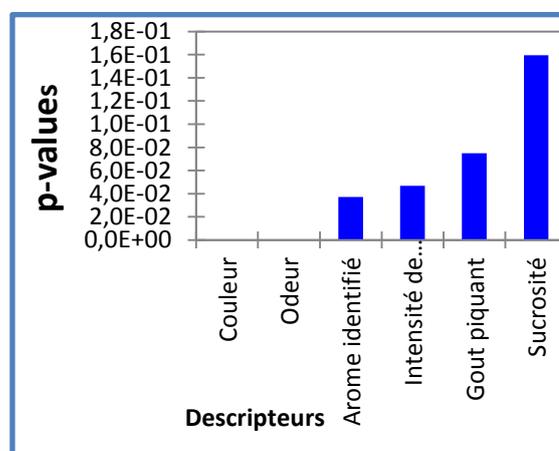


Figure (30) : Pouvoir discriminant par descripteur.

Le graphe précédent rassemble les descripteurs ordonnés du plus discriminant au moins discriminant sur les quatre échantillons d'infusion du gingembre. Il permet de visualiser que la couleur et l'odeur sont les descripteurs les plus discriminants ce qui signifie que ces caractéristiques diffèrent d'un produit à un autre. Suivi des caractéristiques : intensité de l'arôme, arôme identifié et gout piquant qui ont un pouvoir discriminant moyen. Par contre le descripteur le moins discriminé est la sucrosité, donc cette caractéristique varie très peu entre les produits.

➤ Coefficients des modèles

La figure qui suit représente les coefficients des modèles, elle permet de voir en un coup d'œil ce qui définit le produit (ici infusions A et D), voir Annexe (II) pour les infusions B et C. En bleu, on voit les caractéristiques dont le coefficient est significativement positif et en rouge celles dont le coefficient est significativement négatif, en blanc les caractéristiques dont les coefficients ne sont pas significatifs.

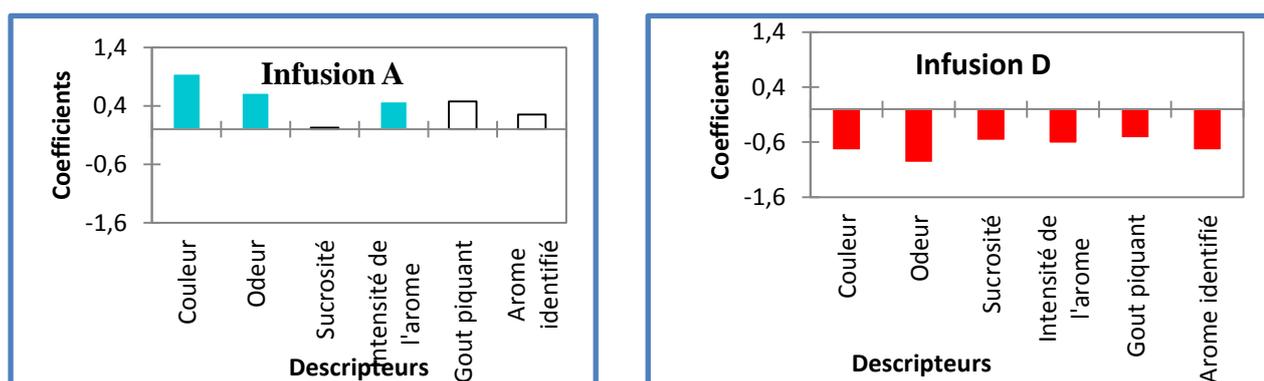


Figure (31) : Coefficient des modèles des infusions de gingembre A et D.

- **Infusion A :** En bleu, sont affichées les caractéristiques dont le coefficient est significativement positif, donc l'infusion A est caractérisée par : une couleur, une odeur et un arôme intenses. En blanc, sont affichées les caractéristiques du produit qui ont des notes proches de la moyenne, ces caractéristiques sont : sucrosité, gout piquant et l'arôme identifié.
- **Infusion D :** L'ensemble des caractéristiques sont affichées en rouge, ce qui signifie que les moyennes des notes attribuées à ces caractéristiques sont inférieures à la moyenne des juges. Donc toutes les caractéristiques du produit D sont faiblement intenses.

➤ **Moyennes ajustées par produit**

L'objectif de ce test est de définir les moyennes ajustées calculées à partir du modèle pour chaque combinaison descripteur-produit. Les résultats des moyennes ajustées par produit sont représentés dans le (Tableau VII).

Tableau (XII) : Moyennes ajustées par produit.

Échantillons	Odeur	Intensité de l'arome	Gout piquant	Couleur	Arome identifié	Sucrosité
Infusion A	2,900	3,000	3,200	3,300	3,800	2,400
Infusion C	2,700	2,700	3,000	2,800	3,700	2,800
Infusion B	2,200	2,500	2,500	1,700	3,900	2,500
Infusion D	1,300	1,900	2,200	1,600	2,800	1,800

Le tableau des moyennes ajustées par produit permet de faire ressortir les moyennes, quand les différents produits et les caractéristiques sont croisés. Donc l'infusion A (préparée à base de poudre de gingembre séchée au microonde à 900W) est caractérisé par une odeur, une couleur et un arôme intenses comparant aux autres infusions. A l'inverse du produit D (préparée à base de poudre de gingembre achetée au niveau du commerce) qui a toutes les caractéristiques faiblement intenses.

L'infusion C (préparée à base de poudre de gingembre séchée au à l'étuve à 100C) a une odeur et une couleur intense légèrement plus faible comparant au produit A. L'infusion B (préparée à base de poudre de gingembre séchée à l'étuve à 80C) est caractérisée par une couleur faiblement intense comparant aux produits A et C.

II.4.2. Analyse en composante principale (ACP)

L'ACP peut être considérée comme une méthode de projection qui permet de projeter les observations, depuis l'espace à p dimensions des p variables vers un espace à k dimensions, ($k < p$) tel qu'un maximum d'information soit conservée (l'information est ici mesurée à travers la variance totale du nuage de points) sur les premières dimensions. Si l'information associée aux 2 ou 3 premiers axes représente un pourcentage suffisant de la variabilité totale du nuage de points, on pourra représenter les observations sur un graphique à 2 ou 3 dimensions, facilitant ainsi grandement l'interprétation (JOLLIFFE, 2002).

La carte suivante permet de représenter les corrélations entre les variables et les facteurs par l'ACP.

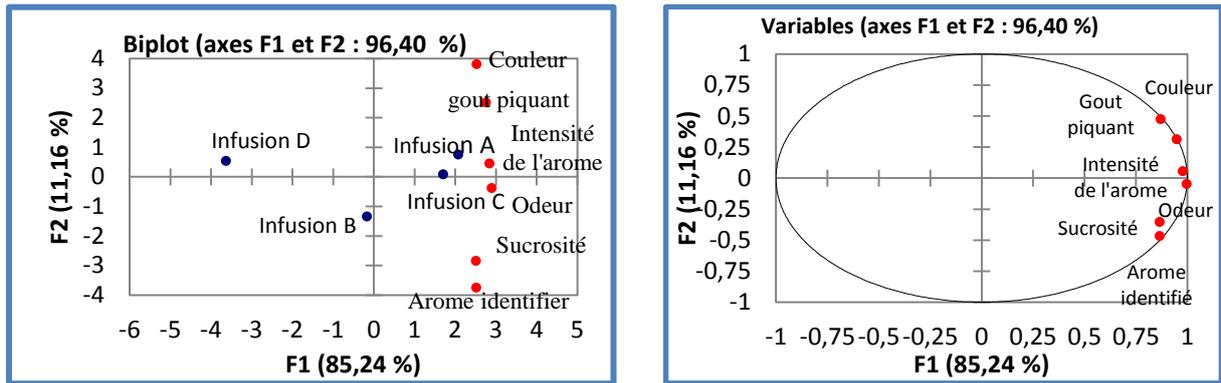


Figure (32) : Corrélations entre les variables et les facteurs.

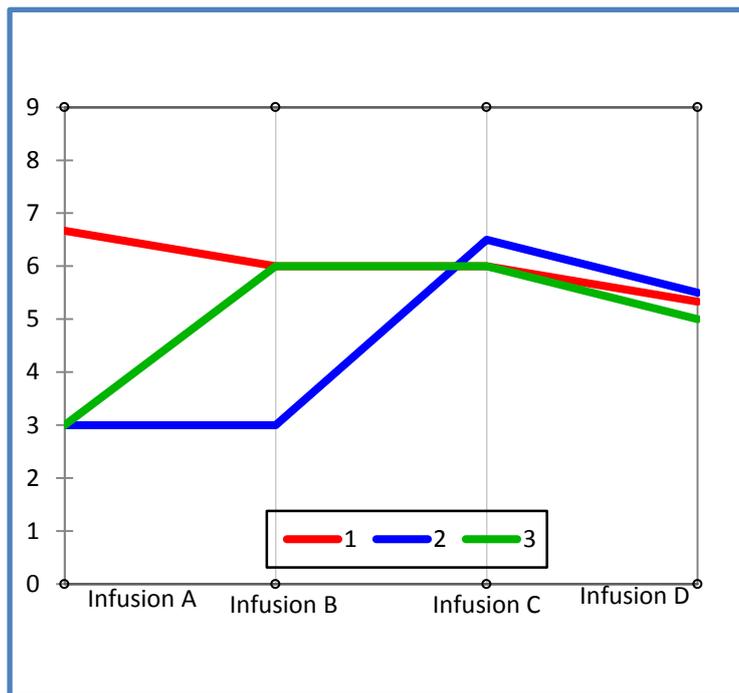
La carte obtenue, dont la qualité est assez bonne puisqu'elle permet de représenter 96.40% de la variabilité, permet de constater que les produits ont été perçus par les experts comme assez différents.

D'après la figure de l'ACP nous voyons clairement qu'il y a une bonne corrélation entre l'ensemble des caractéristiques. Les infusions A et C ont des caractéristiques proches surtout concernant l'odeur et l'intensité de l'arôme. Cependant les infusions B et surtout D ont des caractéristiques différentes des deux autres.

II.4.3. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

L'application de l'analyse des données CAH génère plusieurs tableaux et graphes. Le graphe du profil des classes (réalisé à partir des données de préférences) permet de comparer visuellement les moyennes des différentes classes créées

La Figure(34) permet de représenter le profil des classes :



Figure(33) : Profil des classes.

D'après la figure précédente : trois classes de juges ont été créés à partir des notes de préférence :

La classe 1 : préfère d'abord l'infusion A puis C ensuite B et le D en dernier.

La classe 2 : préfère d'abord l'infusion D puis A ensuite C et le B en dernier.

La classe 3 : préfère le B puis D ensuite C et le A en dernier.

II.4.4. Cartographie des préférences (PREFMAP)

Cette méthode permet de relier les préférences exprimées par les consommateurs aux caractéristiques physico-chimiques, sensorielles des produits. Cette approche est essentielle car ce n'est que sur cette base que les équipes marketing pourront adapter les produits aux goûts des consommateurs.

La préférence MAPPING permet de visualiser sur une même représentation graphique (en deux ou trois dimensions) d'une part des objets, et d'autre part des indications montrant le niveau de préférence de juges (en général des consommateurs) en certains points de l'espace de représentation.

Nous avons réalisé la cartographie de préférence afin d'avoir une idée sur les préférences des juges. Mais ces résultats ne reflètent pas forcément les préférences du

consommateur car le nombre de sujets interrogés est de 10 personnes ce qui n'est pas représentatif de la population.

La figure suivante définit la courbe des niveaux et la carte des préférences :

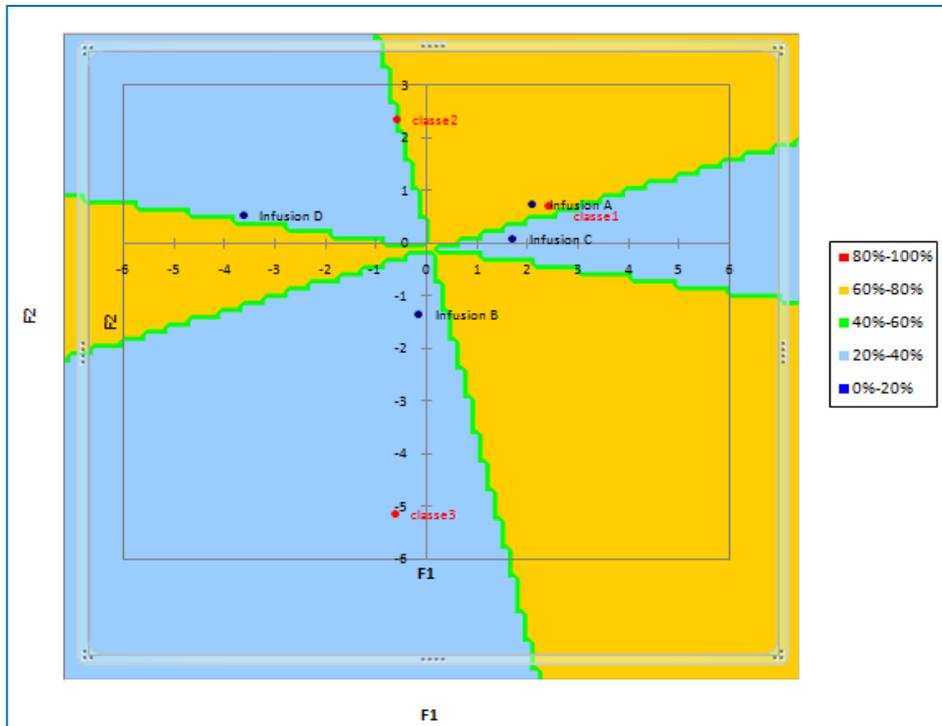


Figure (34) : Courbe des niveaux et carte des préférences.

D'après les résultats obtenus, l'infusion A (préparée à base de poudre de gingembre séchée au microonde à 900W) est la plus préférée (par 67% des juges) parce que d'après les résultats de l'ACP et caractérisation des produits, l'infusion A est caractérisée par une couleur, odeur et arôme intense comparant aux autres infusions. Ensuite les infusions C, B et D qui ont le même degré de préférence (33%).

Tableau (XIII) : Pourcentage de juges satisfaits pour chaque objet.

Objet	%
Infusion A	67%
Infusion B	33%
Infusion C	33%
Infusion D	33%

Conclusion

Conclusion

Le gingembre, est l'une des espèces les plus largement utilisées de la famille des zingibéracées au fil du temps la chaleur solaire est utilisée comme méthode de séchage agricole et industriel, cependant, il existe diverses techniques de déshydratation de fruits et légumes.

Le présent travail s'intéresse à l'étude comparative des procédés de séchage et l'influence de ces procédés sur les propriétés organoleptiques de gingembre (*Zingiber officinale Roscoe*).

Les cinétiques de séchage montrent que, avec les méthodes innovantes du séchage assistées par micro-onde, notre matrice végétale (gingembre) se déshydrate plus rapidement par rapport à la méthode conventionnelle. Avec une puissance (900 W), il a fallu seulement 09 min pour stabiliser le poids de 25 g d'échantillon frais, par contre, pour l'échantillon séché par l'étuve à 100°C, il a fallu 330min pour stabiliser le même poids d'échantillon. Pour les autres températures inférieures à 100 C° le temps nécessaire pour stabiliser le même poids est plus long (360, 390,440 min respectivement à 80, 60,40 C°).

À partir des résultats d'analyses sensorielles on peut dire que la caractérisation du produit, permet de distinguer les descripteurs qui sont discriminés de ceux qui ne sont pas discriminés. Les descripteurs tels que : la couleur, l'odeur, l'arôme, le goût, et sucrosité sont appréciés par les experts pour l'échantillon A.

A la lumière de cette recherche, on déduit que le séchage par micro-onde est plus favorable, le temps de séchage est beaucoup plus court par rapport au séchage à l'étuve.

Toutefois il serait souhaitable de compléter ce travail avec :

- ✓ Changer les pats de la puissance ;
- ✓ Faire d'autres températures ;
- ✓ Tester d'autres modèles empiriques par injection des modèles primaires ou modèles secondaires.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

- **Alibas I. (2007).** Microwave, air and combined microwave air-drying parameters of pumpkin slices. *LWT food science and technology* 40 (2007) 1445-1451.
- **Araya, J. J., Zhang, H., Prisinzano, T. E., Mitscher, L. A., et Timmermann, B. N. (2011).** Identification of unprecedented purine-containing compounds, the zingerines, from ginger rhizomes (*Zingiberofficinale* Roscoe) using a phase-trafficking approach. *Phytochemistry*.
- **Awe FB, Fagbemi TN, Ifesan BOT, Badejo AA. (2013):** Antioxidant properties of cold And hot water extracts of cocoa, Hibiscus flower extract, and ginger beverage blends. *Food Res Int*; 52(2): 490-5.
- **Aggarwal BB et Shishodia S. (2005).** Molecular targets of dietary agents for prevention and therapy of cancer. *BiochemPharmacol* May 14, 71(10):1397-421 p.

B

- **BIRCA M., KARIYAWASAM C., ROUER R. (2005).** L'Alimentation et les sens. QUALIMAPAEcolePolytech'Lille , Master professionnel en Marketing-Vente. P.178.
- **Birlouez E.(2012).**La quête des épices, moteur de l'histoire, *Phytothérapie*, 10,74–79.
- **Bode AM et Dong I F F, Wachtel-Galor S. (2011).** Herbal Medicine-Biomolecular Andchemical Aspects.2ed Edition CRC Press. Citer dans le Mémoire Master (2015) : Etude de l'effet d'un régime irrégulier du *Zingiber officinale* sur le réarrangement de La matrice extracellulaire de différents segments de l'aorte chez les rats Albinos Wistar traité par une dose cytotoxique du DL-Méthionine, 20 p.

- **Braga M.E.M., Moreschi S.R.M., Meireles M.A.A. (2006):** Effects of Supercritical Fluid Extraction on *Curcuma longa* L. and *Zingiber officinale* R. Starches, Carbohydrate Polymers, 63, 340-346.
- **BRANGER.A, RICHER.M, ROUSTEL.S. (2007).** Alimentation, Sécurité et contrôle microbiologique .Chap.06 : Méthodes analytiques, Ed : Educagri. ISBN 978-2-84444-616-9. Paris. Vol. 203. p.129.
- **BONAZZI, C., & Bimbenet, J.J. (2003).** Séchage des produits alimentaires principe. Techniques de l'ingénieur. Opérations unitaires du génie industriel alimentaire. Base documentaire : TIB430DUO (ref : article : f 3000).
- **BONAZZI, C., Bimbenet, J.J. (2008).** Séchage des produits alimentaires – Appareils et applications : Techniques de l'ingénieur Opérations unitaires du génie industriel alimentaires , paris, France, (référence article f3002).
- **Benkhniq L. (2011).** Antioxidant and antibacterial activities of extracts from *Artemisia herbaalba* Asso. Leaves and some phenolic compounds. Journal of Medicinal Plants Research Vol. 4(13), pp. 1273-280.
- **Baobab des saveurs. (2011).** Fiche technique de la poudre gingembre. Sénégal Beagehold MA. (1998). Heterogeneity of endothelial function within the circulation. Curropin Nephrol Hypert, 7:71-8 p.

C

- **Corrigan D. (1997):** *Zingiber officinale*. Adverse Effects of Herbal Drugs; 3: 215-28.
- Charles DJ.(2013) :Ginger. In: Charles DJ. Antioxidant Properties of Spices, Herbs and Other Sources. New York: Springer Science+Business Media; 335-45.
- **Cheng, X. L., Liu, Q., Peng, Y. B., Qi, L. W., et Li, P. (2011).** Steamed ginger (*Zingiber officinale*): Changed chemical profile and increased anticancer potential *Food Chemistry*.

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

D

- **Datta C., Dutta A., Dutta D. et Chaudhuri S. (2011).** Adsorption of polyphenols from Ginger rhizomes on an anion exchange resin Amberlite IR-400 – Study on effect of pH and temperature, *Procedia Food Science*, 1, 893 – 899.
- **Dugasani S, Pichika MR, Nadarajah VD, Balijepalli MK, Tandra S, Korlakunta JN. (2010):** Comparative antioxidant and anti-inflammatory effects of [6]-gingerol, [8]-gingerol, [10]-gingerol and [6]-shogaol. *J Ethnopharmacol*, 3; 127(2): 515-20.
- **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.
- **Daudin J. D. (1983).** Calcul des cinétiques de séchage par l'air chaud des produits biologiques solides. *Sciences des Aliments*, 14 (10), 1-36.

E

- **Efthimiou P, et Kukar M. (2010).** « Complementary and alternative medicine use in rheumatoid arthritis: proposed mechanism of action and efficacy of commonly used modalities » *Rheumatol Int*, 571-586 p.

F

- **Faivre Cl., Lejeune R., Staub H. et Goetz P. (2006).** *Zingiber officinale Roscoe*, *Phytotherapie*, 2, 99-102.
- **FERRAND C. (2006).** Evaluation sensorielle appliquée aux produits alimentaires intermédiaires. ADIV MARKETING. 2 rue chappe 63051 .France. Vol .25.p .3 et 12.

G

- **Gigon F. (2012).** Le gingembre, une épice contre la nausée, *Phytothérapie*, 10 : 87–91p.
- **Grzanna R, Lindmark L, Frondoza CG. (2005).** Ginger: An herbal medicinal product with broad anti-inflammatory actions. *J Med Food*; 8(2): 125-32.
- **Ghasemzadeh A., Jaafar H.Z.E., Rahmat A. (2010):** Elevated Carbon Dioxide Increases Contents of Flavonoids and Phenolic Compounds, and Antioxidant Activities in Malaysian Young Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe.) Varieties, *Molecules*, 15, 7907-7922.
- **GIBOREAU A. (2009).** De l'analyse sensorielle au jugement perceptif : l'exemple du toucher. *Food et hospitality research*, Ecole de management hôtellerie restauration et art culinaires, Thèse de doctorat. Edition Décembre 2009. P. 129.
- **GUERRA.A (2009).** La méthodologie sensorielle dans le cadre du contrôle qualité visuel Thèse doctorat en Génie industriel, université de Savoie. Soutenue le 21 octobre. 2008. p27- 38-46.
- **Gardeli C, Papageorgiou V, Mallouchos A, Theodosis K et Komaitis M. (2008).** Essential oil composition of *Pistacia lentiscus* L. and *Myrtus communis* L.: evaluation of antioxidant capacity of methanolic extracts. *Food Chem.* 107: 1120–1130.
- **Guersson N. 2004.** Les nouvelles mesures en matière de réglementation : l'étiquetage Des denrées alimentaires.
- **Gowen A-A.(2012).** Water and food quality. *Contemporary Materials*. 37 p.
- **Grzanna .R, Lindmark .L et Frondoza .CG.(2005).** «Ginger an herbal medicinal product with broad anti-inflammatory actions,» *Journal Medical of Food*, 125-132 p.

H

- **Hao F, Yun Y et Tang J. (2012).** Microwave Drying of Food and Agricultural Materials: Basics and Heat and Mass Transfer Modeling. Review article. *Food Engineer Review*. 10(2):884-904.
- **Hossain MA, Bala BK et Satter MA. (2003).** Simulation of natural air drying of maize incribs. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 11(7–8):571-583.

• **Huang J, Zhang M, Adhikari B et Yang Z. (2016).** Effect of microwave air spouted drying arranged in two and three stages on the drying uniformity and quality of dehydrated carrot cubes. *Journal of Food Engineering*. 10 p.

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 : évaporation et séchage, base documentaire : TIB 316 DUO (ref. article : j2453).

K

• **Kisselmina Y-K. (2011).** Amélioration de la qualité de la tomate séchée par microonde assistée par air chaud avec pilotage de la puissance spécifique. Thèse de doctorat en Sciences et procédés des aliments dans L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement Paris. 16p.

• **Kiuchi F., Iwakami S., Shibuya M., Hanaoka F., Sankawa U. (1992):** Inhibition of Prostaglandin and Leukotriene Biosynthesis by Gingerols and Diarylheptanoids, *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 40, 387-391.

• **Kivçak B and Akay S. (2005).** Quantitative determination of α -tocopherol in *Pistacia lentiscus*, *Pistacia lentiscus* var. *chia*, and *Pistacia terebinthus* by TLC-densitometry and colorimetry. *Fitoterapia*, 76:62-66.

• **Kerdudo A. (2014).** Optimisation de la conservation des cosmétiques-impact de la formulation, recherche de nouveaux conservateurs naturels, encapsulation. Thèse de doctorat en sciences de l'université de Nice – Sophia Antipolis. discipline : chimie. 232 p.

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.
- **LAWLESS H.T., HEYMANN H. (2010).**Sensory Evaluation of Food: principles and practices, chap. 1 introduction, 2^{ème}éd. SPENGER, New York, ISBN : 978-1-4419-6487-8 / 978-1-4419-6488-5 p. 1-7.
- **Li Z., G.S.V. Raghavan., Wang N., & Vingneault C. (2001).** Drying rate control in the middle stage of microwave drying. *Journal food engineering* 104 234-238.
- **Linden G, et Lorient D. (1994).** Biochimie agro-industrielle : valorisation alimentaire de la production agricole. Paris -Milan-Barcelone: Masson. pastel-00771870, version 1-9 Jan2013
- **Li Z, RaghavaG.S.V et Orsat, V. (2010).** Temperature and power control in microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 97(4), 478-483.
- **Le Meste, M., ROUDANT, G., Chiotelli, E., Simatos, D., & Colas, B.(2001).** Functional properties of water in food. *Ind. Alim. Agr.*, 11(8), 21-28.
- **Lee J., Koo N. et Min D.B. (2006) –** Reactive oxygen species, aging and antioxidative nutraceuticals. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 3 (1): 21-33 p.

M

- **MERCIER J. (1997).** Exemple de mise en œuvre pour la construction du schéma économique de base (structurogramme). *N° 150*. P. 9.
- **Maskan, M. (2001).** Kinetics of colour change of kiwifruits during hot and microwave drying. *Journal of food engineering*, 48,169-175.
- **Mady,M., &Koel, M. (2008).** Separation of polyphenolic compounds extracted from plant matrices using capillary electrophoresis. *Journal of Chromatography A*, 990(1-2), 225-230.

- **Malhotra Set Singh A P. (2003).** Medicinal proprieties of Ginger (*Zingiberofficinale*Rosc). Natural Product Radiance; 2(6):296-301 p.
- **Mobasseri M, Mahluji S1, Attari VE, PayahooL,Ostadrahimi A, Golzari SE. (2013).** Effect of ginger (*Zingiberofficinale*) on plasma glucose level, HbA1c and insulin sensitivity in type 2 Diabetic patients. Int J Food SciNutr. Sept, 64(6):682-6 p.
- Mozaffari-Khosravi H1, Talaei B2, Jalali BA3, Najarzadeh A2, Mozayan MR4 (2014).** The effect of ginger powder supplementation on insulin resistance andglycemie indices in patients with type 2 diabetes : a randomized , double-blind,placebo-controlled trial. Complement Ther Med. Feb, 22(1):9-16 p.

N

- **Nout R, Hounhouigan J et BoekelT.V. (2003).** Les aliments transformations
Conservations et qualités.

O

- **Ollier N. (2011).**Evaluation des facteurs de risque épidémiologique de la phaeoramulariase des agrumes dans les zones humide de Cameroun.
- **Omer B, Krebs S, Omer H, Noor TO.(2006).** Steroidsparing effect of wormwood (*Artemisia absinthium*) in Crohn's disease.A double-blind placebo-controlled study phytomedicine 14(2-3):87-95.

P

- **PERRIN L. (2008).** Contribution méthodologique a l'analyse sensorielle du vin. Thèse CIFRE Présentée à AGROCAMPUS RENNES pour obtenir le grade de DOCTEUR DE l'ENSAR en discipline : Physico-chimie et qualité des bioproduits. P. 238.
- **Perkin R. M. (1980).** The heat and mass transfer characteristics of boiling point drying Using radio frequency and microwave electromagnetic fields. International Journal of Heat And Mass Transfer, 23(5), 687-695.

- **Platel K et Srinivasan K. (2004).** Digestive stimulant action of species: a myth or reality? Indian J Med Res May, 119(5):167-79 p.

R

- **Rong X, Peng G, Suzuki T, Yang Q, Yamahara J, Li Y. (2009)** : A 35-day gavage safety assessment of ginger in rats. Regul Toxicol Pharmacol; 54(2):118-23.
- **Roussy G., Rochars J.F., Oberlin c. (2003).** Chauffage diélectrique – technologies techniques de l'ingénieur électrothermie industrielle. Base documentaire (ref : article d 5941).
- **Rougier, C. (2003).** Etude des interactions entre la bactérie Escherichia coli et les Micro-ondes appliquées en mode discontinu dans des conditions faiblement thermiques. Thèse de l'Université de Limoges.
- **Ramboatiana F. (2010).** Contribution de l'utilisation de fruits séchés comme support de remèdes homéopathiques : cas de la purée de papaye séchée. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome Option Industries Agricoles et Alimentaires.
- **Ricardo L- M, Bruno A-M, Carciofi et Laurindo B-J-A. (2016).** A microwave multi-flash drying process for producing crispy bananas. Journal of Food Engineering. 11 p.

S

- **Speck B. Fotsch U. Fotsch C. (2014).** Connaissance des herbes, Gingembre Zingiber officinale. E GK-caisse de santé. Siège principale Brislachstrasse 2 /4242 Laufon, 4 p.
- **Schauenberg P & Paris F, (1977):** " guide to Médicinal plants " ,Keats Publishing, New Canaan CT.
- **Shukla, Y., et Singh, M. (2007).** Cancer preventive properties of ginger: a brief Review. *Food and chemical Toxicology*, 45(5):683-690.
- **STONE H., BLEIBAUM R.M., THOMAS H.A. (2012).** Sensory evaluation practices, chap. 1 introduction to sensory evaluation, 4ème éd. Elsevier, ISBN: 978-0-12-382086-0, p. 8, p. 15.

- **SAUVAGEOT, F ; DEPLEDT, F.** (2002). Évaluation sensorielle des produits alimentaires. Techniques de l'Ingénieur: l'expertise technique et scientifique de référence (Agroalimentaire: risques, sécurité, qualité et environnement). Editions TI. Volume 4000. P27.
- **Samoticha S ,Wojdyło A et Lech K. (2016).** The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries LWT - Food Science and Technology. (66):484-489.
- **Sharma C., Ahmed T., Sasidharan S., Ahmed M., Hussain A. (2009).** Use of Gemcitabine and Ginger Extract Infusion May Improve the Efficiency of Cervical Cancer Treatment, African Journal of Biotechnology, 8: 7087-7093 p.

T

- **Tanaka K., Arita M., Sakurai H., Ono N. et Tezuka Y.(2015).** Analysis of chemical properties of edible and medicinal ginger by metabolomics approach , bioMed research international, 2015, 1-7.
- **TOTTE A.(2008).** L'analyse sensorielle en entreprise :pour qui ? dans quels buts ? comment procéder ? Formation organisée par l'asbl PTAA à Gembloux ,Belgique le 8 avril 2008.vol.8.p.1.
- **Turner G.(2009)** .Extraction des huiles essentielles riches en anti-oxydants à partir de produits naturels et de co-produits agroalimentaires. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique. UNIVERSITE D'AVIGNON.

U

- **URVOY J.J., SANCHEZ-POUSSINEAU S., LE NAN E. (2012).** Packaging : toutes les étapes du concept au consommateur, chap. 11 L'innovation, éd. EYROLLES, Paris, 978-2-212-55267-6, p.164.

- **Uz Zaman S., Mirje M.M., Ramabhimaiah S. (2014).** Evaluation of the Anti-Ulcerogenic Effect of *Zingiber officinale* (Ginger) Root in Rats, International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 3: 347- 354 p.

V

- **Vasseur J. (2009).** Séchage : principes et calcul d'appareils. Séchage convectif par air chaud (partie I). Techniques de l'ingénieur. Opération unitaire : évaporation 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.

- **Van Wyk B.E. et Wink M. (2004).** Medicinal Plants of the World. Briza Publication, Pretoria (South Africa), 43: 349 p.

W

- **Wilson R, Haniadka R, Sandhya P, Palatty PL, Baliga MS. (2013):** Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) the Dietary Agent in Skin Care: A Review. In: Watson RR and Zibadi S. Eds. Bioactive Dietary Factors and Plant Extracts in Dermatology. Nutrition and Health. New York: Springer Science+Business Media;103-1

Z

- Zhou H.-l., Deng Y.-m., Xie Q.-m (2006) : The Modulatory Effects of the Volatile Oil of Ginger on the Cellular Immune Response In Vitro and In Vivo in Mice, Journal of Ethnopharmacology, 105, 301-305.

Site électronique

Anonyme 1. ([https:// www.vitaality.fr](https://www.vitaality.fr)). Consulté le 12/05/2018.

Anonyme 2: ([https://WWW. Faostat.fao.org](https://WWW.Faostat.fao.org)). Consulté en 2011.

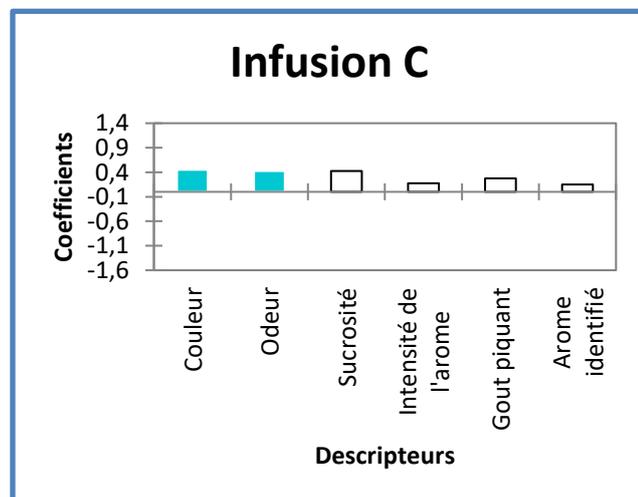
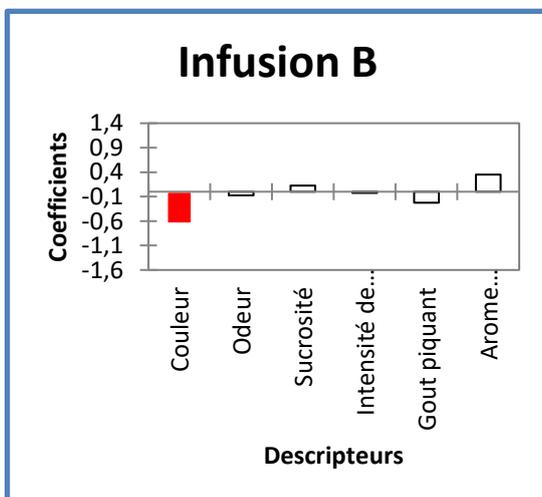
Annexes

Annexes I : Matériels utilisés

I.1 : Appareillage

- ❖ Balance de précision RADWAG WAS 600/C/2.
- ❖ Broyeur électrique (IKA model A11 basic).
- ❖ Dessiccateur RADWAG MAC 50/NP.
- ❖ Etuve.
- ❖ Micro-onde SAMSUNG model ME 8123ST.
- ❖ Spectrophotomètre UV-Vis SRECTROSCAN50.
- ❖ pH mètre EXTECH instruments (EC 500).
- ❖ Un colorimètre de type (CM-2500 d MINOLTA).

Annexes II : Résultats d'Analyse sensorielle



II.1 : Coefficient des modèles des infusions de gingembre B et C.

Questionnaire d'Analyse sensorielle

Date :

Age :

Sexe : Féminin

Masculin

Quatre échantillons d'infusions de gingembre codés A, B, C, D vous sont présentés, il vous est demandé de les déguster un par un et d'évaluer les caractéristiques décrites ci-dessous en attribuant à chacun de ces échantillons une note correspondante à l'impression ressentie de chaque descripteur.

NB : veuillez rincer votre bouche à chaque dégustation d'un échantillon.

1. Couleur : Attribuez une note pour chaque échantillon selon l'intensité de la couleur (**brun clair**):

- 1 → Très faiblement intense ;
- 2 → Faiblement intense ;
- 3 → Moyennement intense ;
- 4 → Fortement intense ;
- 5 → Très fortement intense.

A	B	C	D
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Odeur : Attribuez une note de 1 à 5 pour chaque échantillon selon l'intensité de l'odeur :

- 1 → Très faiblement intense ;
- 2 → Faiblement intense ;
- 3 → Moyennement intense ;
- 4 → Fortement intense ;
- 5 → Très fortement intense.

A	B	C	D
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Gout:

3.1. Sucrosité: Attribuez une note de 1 à 5 pour chaque échantillon selon l'intensité du gout sucré :

- 1 → Pas du tout sucré ;
- 2 → Faiblement sucré ;
- 3 → Moyennement sucré ;
- 4 → Fortement sucré ;
- 5 → Très fortement sucré.

A	B	C	D
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.2. Intensité de l'arome :

Attribuez une note de 1 à 5 pour chaque échantillon selon l'intensité de l'arome :

- 1 → Très faiblement aromatique
- 2 → Faiblement aromatique
- 3 → Moyennement aromatique
- 4 → Fortement aromatique
- 5 → Très fortement aromatique

A	B	C	D
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.3. Gout Piquant : Attribuez une note de 1 à 5 pour chaque échantillon selon l'intensité du gout piquant :

- 1 → Absence du gout Piquant ;
- 2 → Faiblement Piquant ;
- 3 → Piquant ;
- 4 → Fortement Piquant ;
- 5 → Très fortement Piquant.

A	B	C	D
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.4. Arome identifié : Attribuez une note de 1 à 5 pour chaque échantillon selon l'arome identifié :

- 1 → Non identifié
- 2 → Menthe
- 3 → Verveine (tisane)
- 4 → Gingembre
- 5 → Thé

A	B	C	D
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Préférence :

Attribuez une note de 1 à 9 pour chaque échantillon selon votre préférence, sachant que 1 correspond au moins préféré et 9 au plus préféré : comme présenté dans l'échelle ci-dessous :

- 1 → Extrêmement désagréable ;
- 2 → Très désagréable ;
- 3 → Assez désagréable ;
- 4 → Désagréable ;
- 5 → Ni agréable ni désagréable ;
- 6 → Assez Agréable ;
- 7 → Agréable ;
- 8 → Très agréable ;
- 9 → Extrêmement agréable.

Echantillons	A	B	C	D
Notes				

Merci pour votre coopération.

Résumé

Le présent travail consiste à comparer deux techniques de séchage, conventionnel (étuve) et micro-onde de gingembre (*Zingiber officinale*). Les cinétiques de séchage ont été réalisées en fonction de la perte de masse de gingembre, ainsi que l'évaluation de la composition phyto-chimique de la poudre obtenue par les deux méthodes de séchage. L'analyse physico-chimique des infusions des poudres obtenues ont été réalisées. Les résultats du temps séchage obtenus par micro-onde sont beaucoup plus inférieurs au séchage conventionnel (étuve). Par conséquent, les cinétiques de séchage montrent que, avec les méthodes innovantes du séchage assisté par micro-onde, notre matrice végétale (gingembre) se déshydrate plus rapidement comparativement à la méthode conventionnelle.

Les infusions des poudres séchées au micro-onde ont révélé des meilleures caractéristiques organoleptiques (la couleur, l'odeur, l'arôme, le goût, et sucrosité) et une valeur de pH stable à celles obtenues à l'étuve.

Le séchage par micro-onde préserve mieux les caractéristiques organoleptiques de gingembre par rapport à l'étuve dans une période très courte.

Mots-clés: gingembre (*Zingiber officinale*), vitesse, micro-onde, étuve, cinétique, séchage, perte de masse.

Abstract

The present work consists of comparing two drying techniques, conventional (oven) and microwave ginger (*Zingiber officinale*).

The drying kinetics were made according to the loss of mass of ginger, as well as the assessment of the phyto-chemical composition of the powders obtained by the two methods of drying. The physico-chemical analysis of the infusion of the powders obtained were carried out. The results of drying time obtained by microwave are much lower than conventional drying (oven). So the drying kinetics shows that, with the innovative methods of microwave-assisted drying, our plant matrix (ginger) dehydrates more quickly compared to the conventional method.

The infusion of microwave-dried powders revealed the best organoleptic characteristics (colour, odour, aroma, taste, and sucrose) and a stable pH value, comparatively to in the oven.

Microwave drying preserves the organoleptic characteristics of ginger compared to the oven in a very short period of time.

Keywords: ginger (*Zingiber officinale*), speed, microwave, oven, kinetics, drying, mass loss