

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira-Bejaïa

Faculté de Technologie

Département de génie des procédés



Memoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en Génie des procédés

Option : Sciences et Technologie du Médicament

Thème

**Influence du séchage par micro-ondes sur
les polyphénols des graines
d'arachide (*ArachisHypogaea L*).**

Réalisé par

M^{elle} ZIDANE Lydia & M^{elle} IFOURAH Zahia

Soutenu le 30.06.2015

Devant un jury composé de

M^{me} Belhadj N.

Présidente

M^r Madani K.

Encadreur

M^r Azzoug M.

Examineur

M^r. Chennit B.

Chercheur permanent

M^r. Chebrouk F.

Chercheur permanent

Année universitaire 2014/2015

Remerciements

Avant tout, on tient à remercier le Dieu tout puissant qui nous a accordé la santé et le courage pour réaliser ce travail.

*Nos profonds respects vont au président du jury **Madame Belhadj N.** pour l'honneur qu'il nous a fait en président notre jury.*

*Nos remerciements les plus sincères s'adressent en premier lieu à **Monsieur Madani K.** qui nous a honoré d'être notre promoteur et de nous avoir accordé l'opportunité de travailler dans le laboratoire 3B.S. Nous sommes très reconnaissantes pour sa grande contribution.*

*On tient à remercier sincèrement nos Co-promoteurs **Monsieur Chebrouk F.** et **Monsieur Chennit B.** pour leurs précieux conseils et leurs diverses orientations.*

*Nous tenons aussi à remercier également **Monsieur Azzoug M.** pour avoir accepté d'évaluer notre travail.*

Dédicaces

*A la mémoire de ma Mère adorée qui nous a quittés mais
Que je garde toujours dans mon cœur. Que dieu le tout
Puissant l'accueille dans son vaste paradis.*

*A mon Père aucune dédicace ne saurait exprimer mon
Respect, mon estime, ma fierté l'exemple du dévouement
Qui n'a pas cessé de m'encourager.*

*Ce travail est le fruit de tes sacrifices qui tu as consentis
Pour mon éducation, avenir et formation.*

A Mes Frères :

Tahar, Lounis, Moussa, Farouk.

A Mes sœurs :

Anissa, Ghania, Souria.

A Mes adorables amis qui sont égayé mes journées.

A mon binôme Lydia et sa famille.

Zahia

Dédicaces

A la mémoire de ma grand-mère que je garde dans mon cœur.

A mes très chers parents, Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon estime, ma fierté et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager.

Ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation, avenir et formation.

A mon frère Essaid, à son épouse et à mon petit bout de chou Adlene.

A ma Lila, que dieu la bénisse.

A toute ma famille (oncles et tantes, cousins et cousines).

A mes adorables amis, qui ont égayé mes journées.

A mon binôme Zahia et sa famille.

Lydia

Liste des tableaux
Liste des figures
Liste des abréviations

Sommaire

Introduction 1

Partie I: Synthèse bibliographique

Chapitre I: Généralité sur le séchage

I.1. Définition	3
I.2. L'activité de l'eau	3
I.3. Les objectifs du séchage	3
I.4. L'efficacité d'une technique de séchage	4
I.4.1. La qualité du produit séché	4
I.4.2. la performance du procédé	4
I.5. Les principes physiques du séchage	5
I.5.1. Le séchage par entraînement	5
I.5.2. Séchage par ébullition	5
I.6. Techniques de séchage et modes d'apport de chaleur	5
I.7. Séchage par microondes	6
I.7.1. Définition des micro-ondes	6
I.7.2. Mécanisme de chauffage par micro-ondes	6
I.7.3. Le four à micro-ondes	7
I.7.4. Séchage par micro-ondes	7
I.7.5. Avantages des microondes	8
I.8. Technologies de séchage combinées aux micro-ondes	8
I.9. Cinétiques de séchage	9

Chapitre II: Les polyphénols

II.1. Généralités	11
II.2. Classification des polyphénols	11
II.2.1. Les flavonoïdes	11
II.2.2. Les acides phénoliques et phénols	14
II.2.3. Les stilbènes	14
II.2.4. Les coumarines	15

II.2.5. Les tannins	16
II.2.5.1. Les Tanins hydrolysables	16
II.2.5.2. Les Tanins condensés	17
II.3. Propriétés des polyphénols	17
II.3.1. Propriétés antioxydantes	17
II.3.1.1. Chélation des métaux.....	18
II.3.1.2. Inhibition des enzymes génératrices des radicaux libres.....	18
II.3.1.3. Inhibition de la peroxydation lipidique	19
II.3.1.4. Effet scavenger	19
II.4. Propriétés biologiques et intérêt diététique des polyphénols	19

Chapitre III: Présentation du matériel végétale

III.1. Description	21
III.2. Position dans la systématique.....	22
III.3. Origine et historique de la culture	22
III.4. Production de l'arachide.....	22
III.5. Intérêt de L'arachide	23
III.6. Valeurs nutritionnelles de la graine d'arachide.....	25
III.6.1. Les lipides (huile d'arachide).....	25
III.6.2. les minéraux	25
III.6.3. Les protéines	26
III.6.4. Les vitamines.....	27
III.7. Effets thérapeutique de l'arachide.....	27
III.8. Les polyphénols d'arachide.....	27

Partie II: Partie pratique

Chapitre I: Matériels et méthodes

I.1. Matériels utilisés	32
I.1.1. Appareillage utilisés.....	32
I.1.2. Préparation des réactifs :	32
I.2. Matière végétale.....	32
I.3. Traitement des échantillons	33
I.3.1. Taux d'humidité.....	33
I.3.2. Cinétique de séchage :	34
I.3.3. Broyage :	34

I.4. Étude des polyphénols	35
I.4.1. Choix de la méthode d'extraction	35
I.4.2. Choix des solvants	35
I.4.3. Extraction des polyphénols	36
I.5. Dosage des polyphénols totaux.....	36
I.5.1. Principe	36
I.5.2. Mode opératoire	37
I.6. Activité antioxydante	38
I.6.1. Principe	38
I.6.2. Mode opératoire	39

Chapitre II : Résultats et discussion

II.1. Cinétique de séchage par micro-ondes à différentes puissances	40
II.1.1. Détermination des temps à l'équilibre	40
II.1.2. Modélisation de la cinétique.....	42
II.1.3. Comparaison entre les cinétiques de séchage à différentes puissances.....	46
II.2. Dosage des polyphénols totaux	47
II.3. Activité anti-radicalaire.....	48
Conclusion.....	50

Références bibliographiques

Annexes

Liste des tableaux

Tableau I. Quelques modèles mathématiques utilisés pour décrire les cinétiques de séchage par rayonnements micro-ondes.	10
Tableau II: Principales sous-classes des flavonoïdes.	13
Tableau III : Structure des acides phénoliques.....	14
Tableau IV: Classification botanique de l'arachide cultivée (<i>Arachis hypogaea</i> L.).....	22
Tableau V: Principaux minéraux que contiennent les graines d'arachide.	26
Tableau VI: Composition en acides aminés des graines d'arachide.....	26
Tableau VII : Distribution de quelques composés phénoliques dans les différentes parties de la plante d'arachide.....	28
Tableau VIII : Comparaison entre toutes les moyennes en utilisant le test de Tuckey-Kramer ...	41
Tableau IX : Analyse statistique des coefficients du modèle de Peleg (200 Watts).....	43
Tableau X : Analyse de variance pour le séchage à 200 Watts	43
Tableau XI : Analyse statistique des coefficients du modèle de Peleg (300 Watts).....	44
Tableau XII : Analyse de variance pour le séchage à 300 Watts	44
Tableau XIII: Analyse statistique des coefficients du modèle de Peleg (400watts).	45
Tableau XIV: Analyse de variance pour le séchage à 400 Watts.	45

Liste des figures

Figure 1 : Schématisation des différents composants du four à micro-ondes.....	7
Figure 2 : Structure générale des flavonoïdes.....	12
Figure 3 : Structure de base des Stilbènes.....	15
Figure 4 : Structure chimique du resvératrol.....	15
Figure 5 : Structure chimique des coumarines.	15
Figure 6 : Unités de base de tanins hydrolysables : acide gallique, acide ellagique.....	16
Figure 7 : Structure des tanins condensés.	17
Figure 8 : Mécanisme globale d'action des polyphénols	18
Figure 9 : Plante d'arachide (<i>Arachis hypogaea</i> L).....	21
Figure 10 : Graines et gousses d'arachide.....	21
Figure 11 : Photographie d'échantillon d'arachides.....	33
Figure 12 : Photographie du broyeur et des échantillons broyés.....	34
Figure 13 : Photographie des extraits des composés phénoliques.....	37
Figure 14 : Photographie des dosages des polyphénols totaux.....	38
Figure 15 : Cinétique de séchage par micro-ondes à différentes puissances.....	40
Figure 16 : Variation du taux d'humidité restant en fonction du temps au cours de séchage à différentes puissances.....	46
Figure 17 : Analyse des résidus.....	47
Figure 18 : Polyphénols totaux (PT) des extraits d'arachide séchés à différentes puissances, par micro-ondes.....	48
Figure 19 : Activité antiradicalaire anti DPPH° des extraits d'arachides obtenus au cours de séchage à différentes puissances par micro-onde.....	49

Liste des abréviations

% : Pourcentage.

°C : Degré Celsius.

3.B.S : Biochimie, Biophysique, Biomathématiques et Scientometrie

AA : Activité Anti-oxydante.

Abs: Absorbance.

ANOVA: Analyse de la variation à un seul critère de classification.

BHA: hydroxyanisole butylé ($C_{11}H_{16}O_2$)

BHT: hydroxytoluène butylé ($C_{15}H_{24}O$)

DPPH[•] : (2, 2 diphényl-1-picrylhydrazyle)

DAS: Direction des services agricoles

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

Kcal : kilocalorie

EqAG: Equivalent milligrammes d'acide gallique.

ESAM : Extraction assistée par micro-ondes.

g: Gramme

H : Heure

MAE : Extraction assistée par micro-ondes

mg: Milligramme

MO : Micro-onde.

MS : Matière sèche.

Na₂CO₃: Carbonate de sodium.

P : Puissance d'irradiation (w).

PPT : Polyphénols totaux.

R²: Coefficient de détermination

ROS: Espèces réactives oxygénées (Reactive Oxygen Species)

TH: Taux d'humidité.

USDA: Le département de l'Agriculture des États-Unis (United States Department of Agriculture)

V : Volume

W : Watts

Les fruits et les légumes fournissent à l'organisme de l'énergie, des substances nutritives et des substances bioactives (vitamines, minéraux, polyphénols). Toutefois, leur production revêt un caractère saisonnier et demeure très dépendante des facteurs climatiques. Par conséquent, l'assurance de la disponibilité de ces produits et la maîtrise des moyens de conservation est une nécessité incontournable (**Du, Li et al. 2009**).

Afin d'échelonner la période de consommation des fruits, de mieux exploiter leurs excellentes propriétés biologiques et de développer de nouvelles formes de produits ; l'entreposage en atmosphères contrôlées ou modifiées, la congélation et le séchage comptent parmi les méthodes de conservation les plus employées (**Jiokap Nono, Reynes et al. 2002; Lahsasni, Kouhila et al. 2004**).

Depuis plusieurs années, un intérêt croissant s'est manifesté en faveur du séchage par microondes. En effet, cette technique de conservation, économe en énergie, est susceptible de prolonger la période de disponibilité des produits alimentaires, et leur confère des propriétés sensorielles appréciées. De plus, elle constitue un outil facile à mettre en place en raison de son faible coût (**Le and Jittanit 2015; Zhu, Liu et al. (2015)**).

Dans ce contexte, nous nous sommes orientés vers l'étude de l'influence du séchage par micro-ondes sur les polyphénols des graines d'arachide. Cette légumineuse à graines a été introduite en Afrique au 16^{ème} siècle. En effet, notre choix s'est porté sur cette oléagineuse car elle est d'une grande importance économique et agricole (**Yu, Ahmedna et al. 2007**). Elle est considérée comme une culture vivrière, de plus elle peut être utilisée pour la fabrication de plusieurs produits alimentaires. Riche en nutriments (25% de protéines, 50% en lipides...), sa culture est l'une des meilleures solutions et des moins coûteuses pour lutter contre la carence protéinique en Afrique (**Mohd Rozalli, Chin et al. 2015**). Outre, aucun travail de séchage par microondes n'a été rapporté sur cette matrice.

Cette étude a pour objectif de suivre les effets des conditions du séchage sur les cinétiques et sur une grandeur de qualité qui est la teneur en polyphénols dans la matrice. Elle a été réalisée dans le cadre des activités recherche menées par le laboratoire 3BS sur l'éco – séchage.

Le présent travail est partagé en deux parties :

- **La première partie du manuscrit** présente une synthèse bibliographique, elle est subdivisée en trois chapitres :
 - Le premier chapitre décrit les différentes méthodes de séchage (généralités, cinétiques, modèles....).
 - Le deuxième chapitre, insiste sur une catégorie de substances bioactives qui sont les polyphénols.
 - Le troisième chapitre présente une étude bibliographique et dresse un bilan des connaissances sur la matrice végétale étudiée.

- **La seconde partie du manuscrit** présente la partie pratique qui décrit les démarches expérimentales adoptées pour répondre aux objectifs. Elle est scindée en deux chapitres :
 - Le premier chapitre est réservé aux matériels et méthodes.
 - Le deuxième chapitre résume les résultats et discussion.

Enfin, une conclusion générale qui dresse un bilan de l'importance et de l'impact du procédé de séchage utilisé sur la quantité et qualité des molécules bioactives (polyphénols) de la matrice, ainsi que le modèle adéquat, proposé pour la cinétique.

I.1. Définition

Le séchage est défini comme une réduction de l'humidité de la matière alimentaire pour en augmenter la concentration solide réduisant ainsi les possibilités de dégradation de diverses origines.

Cette opération fait intervenir deux phénomènes : un transfert de chaleur vers la matrice pour faciliter la vaporisation de l'eau, et un transfert de matière (fréquemment de l'eau liquide pour le transfert interne et de la vapeur d'eau pour le transfert externe) de la matrice vers l'atmosphère environnante (**Ertekin and Yaldiz 2004**).

I.2. L'activité de l'eau

Le séchage permet de convertir des denrées périssables en produits stabilisés, par abaissement de l'activité de l'eau (**aw**) jusqu'à une valeur inférieure à 0,5.

L'activité de l'eau (**aw**) est définie comme le rapport de la pression partielle de la vapeur en équilibre avec l'eau du produit (P_v), à la tension de vapeur saturante (P_s) pour une même température T.

$$aw = \left[\frac{P_v}{P_s} \right]_T$$

Lorsque l'activité est égale à l'unité, l'énergie de liaison de l'eau avec le solide est faible et l'eau peut migrer librement sous forme liquide. L'eau dans le produit est dite « eau libre », et c'est cette eau qui est éliminée en premier pendant le séchage.

Lorsque l'activité de l'eau est inférieure à l'unité, l'eau est dite liée. Dans ce cas, l'énergie de liaison est élevée comparée à celle de l'eau libre, ce qui rend son élimination plus difficile et demande une énergie plus élevée pour passer à l'état vapeur.

Au cours du séchage, l'eau libre part en premier, puis l'eau est de plus en plus liée. Il ne reste à la fin qu'une eau résiduelle très liée, à une teneur en eau acceptable propre à chaque produit, et qui constitue la teneur objective en eau du séchage (**Chkir, Balti et al. 2015**).

I.3. Les objectifs du séchage

Le séchage est un procédé de conservation extrêmement ancien dont l'objectif principal est de convertir des denrées périssables en produits stabilisés par abaissement de l'activité de l'eau. i.e., diminuer la disponibilité d'eau libre, interdire ou minimiser toute activité de dégradation (microbienne, enzymatique, oxydation de lipides, réactions chimiques...) (**Sara 2009**). Outre, il permet la réduction de poids (et souvent de volume) des produits secs et facilite leur conditionnement, leur transport et leur stockage (**Ertekin and Yaldiz 2004**).

I.4. L'efficacité d'une technique de séchage

L'efficacité d'une technique de conservation se mesure à deux niveaux, à savoir la qualité du produit obtenu et la performance du procédé utilisé.

I.4.1. La qualité du produit séché

La qualité (hygiénique, nutritionnelle, praticité, sensorielle comme flaveur, couleur, texture...) du produit séché dépend du processus adopté, des prétraitements éventuels (il s'agit principalement de l'imprégnation pour les légumes et fruits), du taux d'élimination de l'eau, de l'état du fruit ou du légume impliquant le degré de maturité, mais également la taille des découpes (entiers, coupées, purée), ainsi que du matériau d'emballage utilisé (**Poernomo A. 1992; Yong C. K. 2006**).

I.4.2. la performance du procédé

L'objectif des recherches a toujours été de trouver des procédés simples, rapides et surtout aussi pratiques que possible. La performance d'un procédé de séchage est évaluée en termes de consommation d'énergie, cinétique, coût d'équipements et coût total ainsi qu'en terme de son impact sur l'environnement (**Louka N 2002**).

I.5. Les principes physiques du séchage

I.5.1. Le séchage par entraînement

Lorsqu'un produit humide est placé dans un courant de gaz (air le plus souvent) suffisamment chaud et sec, il s'établit un écart de température et de pression partielle de vapeur d'eau. Sous l'effet de l'écart de température, la chaleur se transfère de l'air vers le produit. Cependant l'eau se transfère dans le sens inverse sous l'effet de l'écart de la pression de vapeur (**Kamble, Pangavhane et al. 2015**).

I.5.2. Séchage par ébullition

Dans ce cas, le mécanisme mis en œuvre pour vaporiser l'eau d'un produit est l'ébullition. Cette dernière a lieu lorsque le flux thermique, transféré au produit est très intense (il ya un grand écart de température entre la source et le produit). Dans ce cas, la température du produit atteint une valeur telle que la pression de vapeur d'eau en équilibre avec ce matériau (P_v), est égale ou dépasse à la pression totale ambiante (P_t). A titre d'exemple, on peut citer l'immersion d'un produit dans l'huile chaude (**Basman and Yalcin 2011**).

I.6. Techniques de séchage et modes d'apport de chaleur

La diversité des matériaux à sécher (nature, taille, forme) et des capacités à assurer, les spécificités de traitement à respecter (contraintes physico-chimiques ou biologiques) sont la cause de l'existence d'une très grande variété de techniques (**Sara 2009**). Les principales techniques de séchage décrites dans la littérature sont : la lyophilisation, le séchage au soleil, le séchage par ultrasons et le séchage par microondes (**Nowacka, Wiktor et al. 2012; Nieto Calvache, Fissore et al. 2015; Sallam, Aly et al. 2015; Warning, Arquiza et al. 2015**).

Les techniques de séchage sont souvent classées suivant le mode de transmission de la chaleur. On distingue alors :

Le séchage par convection ou séchage direct : l'énergie nécessaire à l'évaporation de l'eau est apportée par un gaz chaud qui circule au contact du matériau à sécher. Ce dernier joue aussi le rôle de vecteur transportant la vapeur produite hors de l'enceinte de séchage (**Esfahani, Vahidhosseini et al. 2015**).

Le séchage par rayonnement : l'énergie est apportée par l'intermédiaire d'ondes électromagnétiques (Wang, Zhang et al. 2015).

Le séchage par conduction ou séchage indirect : la chaleur est transmise principalement par conduction. Le séchage est effectué en mettant directement le matériau en contact avec une surface chaude (enveloppe, plaque, ...) (Zhu and Hummer 2012).

I.7. Séchage par microondes

I.7.1. Définition des micro-ondes

Les micro-ondes ou hyperfréquences sont des ondes électromagnétiques non ionisantes, composées d'un champ électrique et d'un champ magnétique. Les fréquences des micro-ondes se situent dans le domaine des fréquences allant de 300 MHz à 300 GHz ce qui correspond à une longueur d'onde de 1 millimètre à 1 mètre. La fréquence la plus utilisée est 2450 MHz correspondant à la fréquence de la majorité des magnétrons des fours micro-ondes de cuisine ayant une puissance de 600 à 1000 Watts et une longueur d'onde dans l'air de 12,2 cm (Chandrasekaran, Ramanathan et al. 2013).

I.7.2. Mécanisme de chauffage par micro-ondes.

Le transfert de chaleur sous chauffage micro-ondes est complètement inversé par rapport au chauffage conventionnel. La chaleur du chauffage conventionnel se transmet de l'extérieur vers l'intérieur. Sous chauffage micro-ondes, le volume traité devient lui même source de chaleur. On parle de dégagement de la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur (Chandrasekaran, Ramanathan et al. 2013).

Deux types de mécanismes sont à l'origine de l'échauffement, le premier est relatif à la présence de charges libres, le deuxième est lié à la nature polaire des molécules.

Dans le premier cas, les charges électriques libres (ions) soumises à un champ électrique E , vont migrer dans le sens du champ et sont à l'origine d'un courant de conduction. Il s'agit du mécanisme de conduction ionique. Les oscillations de ces charges, gênées par la présence de molécules fixes, produisent un échauffement par chocs.

Dans le deuxième cas, les matériaux composés de molécules formant des dipôles électriques, de répartition généralement aléatoire, s'orientent dans le sens du champ électrique extérieur imposé. Dans le cas d'un champ électrique alternatif, les dipôles changent «rapidement» de sens et la haute fréquence génère un mouvement aléatoire traduisant ainsi une haute température du système (**Chandrasekaran, Ramanathan et al. 2013**).

I.7. 3. Le four à micro-ondes

Un four à micro-ondes est constitué de trois éléments principaux (**figure 1**).

- Le générateur micro-onde ;
- Le guide d'onde ;
- La cavité micro-onde.

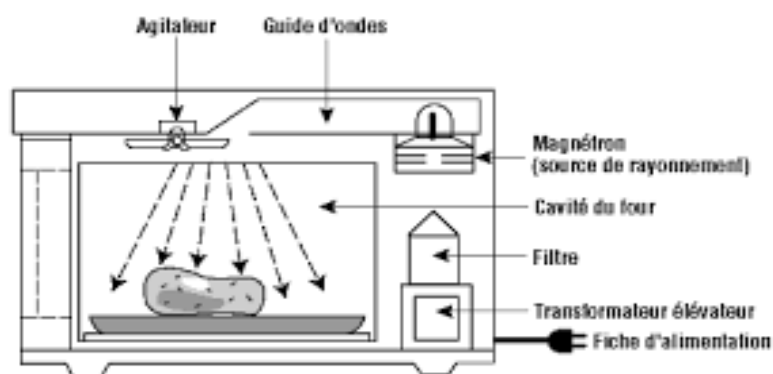


Figure 1: Schématisation des différents composants du four à micro-ondes (**Sofiane 2009**).

I.7.4. Séchage par micro-ondes

Le séchage par micro-ondes est très efficace pour les produits ayant une teneur en eau inférieure à 20%. Il représente une alternative pour améliorer la qualité des produits déshydratés (**Nieto Calvache, Fissore et al. 2015**). Les micro-ondes peuvent être appliquées seules ou alors combinées avec d'autres procédés de séchage qui peuvent améliorer l'efficacité de séchage ainsi que la qualité organoleptique des produits alimentaires, qui est généralement meilleure que celle obtenue par séchage par micro-ondes seulement ou par d'autres techniques conventionnelles (**Chandrasekaran, Ramanathan et al. 2013**).

I.7.5. Avantages des micro-ondes

Du point de vue chimique, les micro-ondes ne permettent pas d'affecter le matériel biologique, elles n'ont pas d'effet ionisant. Les micro-ondes ont une grande profondeur de pénétration ce qui entraîne une distribution de chaleur rapide et uniforme, principalement dans la partie humide du produit exposé, ce qui accélère le processus de séchage et limite la dégradation thermique. De plus, le séchage avec cette technologie présente un grand avantage en termes de cout et d'impact environnemental (**Yilmaz 2005; Bantle, Käfer et al. 2013**).

I.8. Technologies de séchage combinées aux micro-ondes

Pour comparer les différentes techniques de séchage, quatre aspects principaux du processus peuvent être pris en considération. Il s'agit de la vitesse de déshydratation, de la qualité et les caractéristiques du produit final, des couts énergétiques et économiques du processus.

Le séchage micro-onde pet être combiné au (**Maskan 2001; Ranjbaran and Zare 2013; Scaman, Durance et al. 2014**).

- Le séchage micro-ondes combiné à la lyophilisation ;
- Le séchage en lit fluidisé combiné aux micro-ondes ;
- Le séchage micro-ondes combiné à l'air chaud ;
- Le séchage sous vide combiné aux micro-ondes.

I.9. Cinétiques de séchage

Plusieurs théories et modèles ont été élaborés pour aborder les cinétiques de séchage et appréhender les lois physiques qui contrôlent les transferts. La complexité des mécanismes mis en jeu et le caractère variable des produits (nature, forme, propriétés physiques) empêchent de trouver un modèle unique susceptible de représenter toutes les situations. Il n'est pas étonnant dans ces conditions que les courbes caractéristiques de la cinétique de séchage présentent plusieurs étapes qui, individuellement et au cours d'une même opération, sont contrôlées par différents phénomènes de transfert (**Kavak Akpinar, Bicer et al. 2006**).

Quelle que soit la nature du produit et l'opération de séchage adoptée, l'étude expérimentale de la cinétique consiste à enregistrer l'évolution de sa masse, par des pesées à intervalles de temps réguliers. D'autres techniques sont envisageables (analyse de l'humidité résiduelle dans le produit ou l'humidité de l'air sortant notamment) (**Moss and Otten 1989**).

I.10. Les modèles cinétiques

Le principe de la modélisation est basé sur un ensemble d'équations mathématiques qui peuvent caractériser correctement le système. En particulier, la solution de ces équations doit permettre la prédiction des paramètres du processus en fonction du temps en tout point, basé uniquement sur les conditions initiales (**Kavak Akpınar, Bicer et al. 2006**).

Sur le tableau ci-dessous sont consignés quelques modèles de cinétiques de séchage des matrices alimentaires.

Tableau I. Quelques modèles mathématiques utilisés pour décrire les cinétiques de séchage par rayonnements micro-ondes.

<i>Modèle</i>	<i>Equation du modèle</i>	<i>Matrice</i>	<i>Référence</i>
Newton	$MR = \exp(-kt)$	kiwis	(Pathare and Sharma 2006)
Henderson et Pabis	$MR = a \cdot \exp(-kt)$	oignon	(Zarein, Samadi et al. 2015)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	cacahuètes	(Moss and Otten 1989)
Wang et Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	pomme	(Sharma and Prasad 2004)
Logarithmique	$MR = a \cdot \exp(-kt) + b$	pomme	(Zarein, Samadi et al. 2015)
Midilli et al.	$MR = \exp(-kt^n) + bt$		
Modified Page	$MR = \exp(-(kt^n))$		
Modified page equation-II	$MR = \exp(-c(t/L^2)^n)$		
Two-term	$MR = a \exp(-k_1 t) + b \exp(-k_2 t)$	ail	(Başlar, Kılıçlı et al. 2014)
Parabolique	$MR = a + b + ct^2$		

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e}$$

MR : Taux d'humidité(u.a) ;

M : Taux d'humidité restant instantané (%) ;

M₀ : Taux d'humidité initiale (%) ;

M_e : Taux d'humidité à l'équilibre (%) ;

K : la constante de vitesse ;

n : paramètre de l'équation ;

t : le temps ;

a, b, c : des constantes.

II.1. Généralités

Les composés phénoliques, ou polyphénols, constituent une famille de molécules organiques largement présentes dans le règne végétal. Les plantes en contiennent, depuis les racines jusqu'aux fruits, ils font donc partie intégrante de notre alimentation (les fruits et légumes, les boissons (thé, café, jus de fruits), les céréales et les graines oléagineuses).

Ce sont des métabolites secondaires produits par les plantes pour interagir entre elles et avec les animaux. Ils n'exercent pas de fonction directe au niveau des activités fondamentales de l'organisme végétal, comme la croissance ou la reproduction (**Patricia Garcia-Salas and Fernández-Gutiérrez 2010; Mohd Rozalli, Chin et al. 2015**).

L'élément structural fondamental qui les caractérise est la présence d'un noyau aromatique (Benzène) au quel est directement lié au moins un groupement hydroxyle (OH), libre ou engagé dans une autre fonction chimique (éther, ester, sucre...) (**Ribéreau-Gayon 1968; Bruneton. 1999; Nicholson 2006**).

L'appellation « polyphénols » ou « composés phénoliques » regroupe un vaste ensemble de plus de 8 000 molécules. Ils sont décrits comme potentiellement actifs, ils représentent une famille très diversifiée, constituée principalement de flavonoïdes, anthocyanes et tannins (**Bravo. 1998**).

II.2. Classification des polyphénols

Les composés phénoliques peuvent être regroupés en deux grandes classes : les flavonoïdes (le groupe le plus important qui renferme plusieurs sous-classes) et les non-flavonoïdes.

II.2.1. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes, qui représentent la classe la plus abondante et la plus étudiée de cette classification, comptent plus de 5000 composés découverts jusqu'à ce jour.

Ce sont des pigments végétaux jaune orangé, leur nom venant du mot latin (*flavus* : **jaune**) (Hennebelle T.S. 2004). Leur fonction principale semble être la coloration des plantes (au-delà de la chlorophylle, des caroténoïdes et des bétalaïnes) (Nicholson 2006).

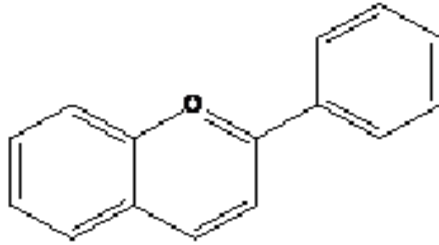
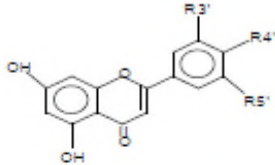
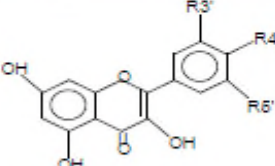
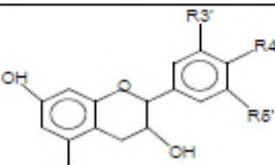
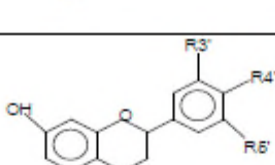
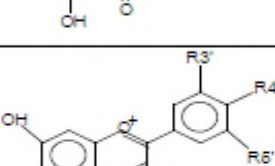
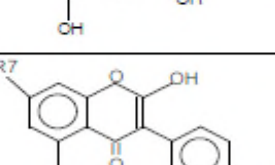


Figure 2 : Structure générale des flavonoïdes.

La famille des flavonoïdes peut se diviser en six sous-classes qui diffèrent par leurs structures chimiques: flavones, flavanols (catéchines), isoflavones, flavonoles, flavanones et les anthocyanes (Yang C. S. 2001) (Tableau II).

Tableau II : Principales sous-classes des flavonoïdes (Narayana K. R. 2001; W –Erdman J., Hollman J. P. et al. 2007)

Classes	Structures chimiques	R3'	R4'	R5'	Exemples
Flavones		H	OH	H	Apigénine
		OH	OH	H	Lutéoline
		OH	OCH3	H	Diosmétine
Flavonols		H	OH	H	Kaempférol
		OH	OH	H	Quercétine
		OH	OH	OH	Myrecétine
Flavanols		OH	OH	H	Catéchine
Flavanones		H	OH	H	Naringénine
		OH	OH	H	Eriodictyol
Anthocyanes		H	OH	H	Pelargonidine
		OH	OH	H	Cyanidine
		OH	OH	OH	Delphénidine
Isoflavones		R5	R7	R4'	
		OH	OH	OH	Genistéine
		H	O-Glu	OH	Daïdezine

Quant aux non-flavonoïdes, ils possèdent une structure chimique plus simple comme les acides phénoliques, les stilbènes, les coumarines et les tannins. Ils peuvent être classifiés selon le nombre et l'arrangement de leurs atomes de carbones (Berhow M. 1998).

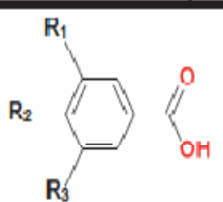
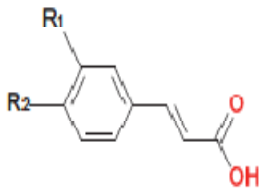
II.2.2. Les acides phénoliques et phénols

Les acides phénoliques sont des composés phénoliques possédant une fonction acide en plus de la fonction phénol.

Ils sont classés en deux principales classes ; les dérivés de l'acide benzoïque et celles de l'acide cinnamique. Les premiers rentrent dans la structure des tanins hydrolysables et se trouvent généralement en quantités faibles dans les végétaux à l'exception de certains fruits rouges (**Barboni 2006; Guo 2010**).

Les dérivés d'esters hydroxycinnamiques sont les composés les plus fréquents et les plus abondants dans l'alimentation humaine, comme dans certains fruits tels que les cerises, les pommes, les prunes...(**Ribéreau-Gayon 1968; Bruneton. 1999**). Cependant, Les phénols simples sont rares dans la nature (catéchol, phloroglucinol...).

Tableau III : Structure des acides phénoliques(**Bruneton. 1999; Guo 2010**).

<i>Acides phénoliques</i>	<i>Structure chimique</i>	<i>Exemples</i>
Acides hydroxybenzoïques		$R_1 = R_3 = H ; R_2 = OH$: Acide <i>p</i> -hydroxybenzoïque $R_1 = R_2 = R_3 = OH$: Acide gallique $R_1 = R_2 = OH ; R_3 = H$: Acide protocatéchuique $R_1 = H ; R_2 = OH ; R_3 = OCH_3$: Acide vanillique $R_1 = R_3 = OCH_3 ; R_2 = OH$: Acide syringique
Acides hydroxycinnamiques		$R_1 = R_2 = H$: Acide cinnamique $R_1 = OH ; R_2 = H$: Acide coumarique $R_1 = R_2 = OH$: Acide caféique $R_1 = OCII_3 ; R_2 = OII$: Acide férulique

II.2.3. Les stilbènes

Les stilbènes sont des composés phénoliques formés au minimum par deux noyaux aromatiques reliés par une double liaison, formant un système conjugué.

Ces composés se trouvent en petites quantités dans notre alimentation. Le plus connu d'entre eux est le resvératrol (**Figure 4**) qui a été largement étudié pour ses propriétés anticancéreuses (**Hu 2008; Hu 2009**)

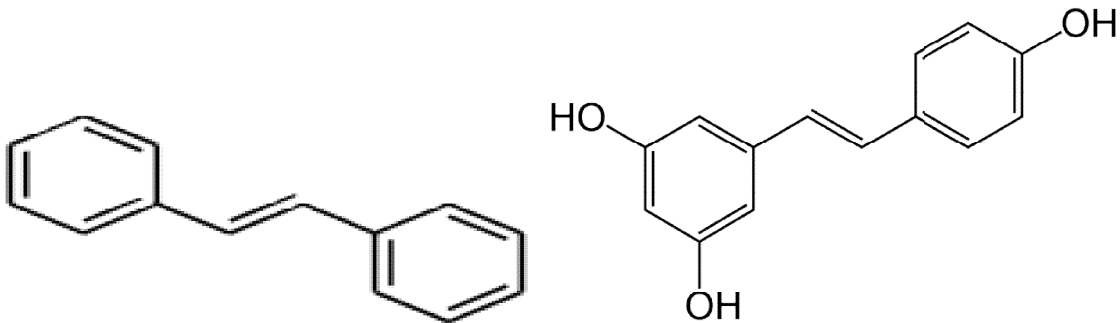


Figure 3 : Structure de base des Stilbènes. **Figure 4** : Structure chimique du resvératrol.

II.2.4. Les coumarines

Le mot coumarine (**Figure 5**) a été introduit en 1820 par Vogel pour désigner tout composé phénolique hétérocyclique ayant un atome d'oxygène (**Abad-Garcia 2009**). Ce sont des substances phénoliques qui résultent de la fusion de benzène avec le α -pyrone, aboutissant à la formation d'un noyau benzopyrane (**Cowan 1999; Eduardo de Souza Marques Daiane Bernardoni Salles 2005**).

Elles sont responsables de la phototoxicité de certaines espèces végétales (Apiaceae ou Rutaceae), qui se manifeste par une dermatite aiguë (**Krief 2003**).

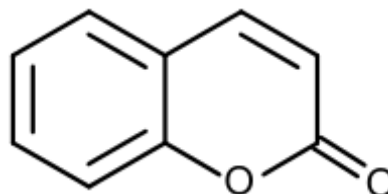


Figure 5 : Structure chimique des coumarines.

II.2.5. Les tannins

Le terme « Tannin » provient du mot celtique ancien pour le chêne, une source typique pour les tannins. Ces substances astringentes donnent un goût amer à l'écorce et aux feuilles, ce qui constitue un moyen de défense contre les agressions provoquées par les insectes ou le bétail (**Iserin 1996**).

Les tanins sont des substances naturelles phénoliques qui peuvent précipiter les protéines à partir de leurs solutions aqueuses (**Goetz 1999**). Ils ont la capacité de former des complexes avec des macromolécules (les protéines ...) et des liaisons entre les fibres de collagènes (**Brooker 2001**).

Leur structure chimique est particulièrement variable, mais comporte toujours une partie polyphénolique; il existe deux catégories de tanins (d'origines biosynthétiques différentes) : les tanins hydrolysables et les tanins condensés (**Iserin 1996; Paolini V. 2003**).

II.2.5.1. Les Tanins hydrolysables

Ce sont des esters de glucides ou d'acides phénoliques (acide gallique ou ellagique) (**Bruneton. 1999**).

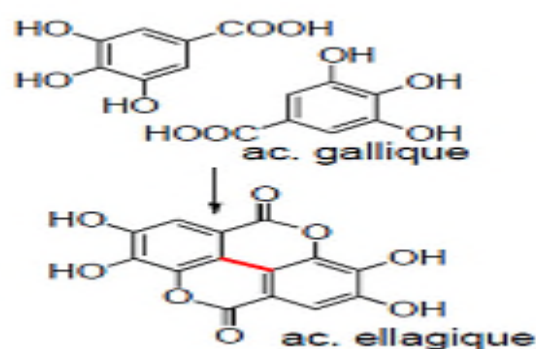


Figure 6 : Unités de base de tanins hydrolysables : acide gallique, acide ellagique.

II.2.5.2. Les Tanins condensés

Appelés également proanthocyanidines (**Waghorn G.C. 2003**). Ce sont des polymères de flavan-3-ol qui ont la propriété de libérer des anthocyanes en milieu acide à chaud (**L. 2002; Haslam 2007**).

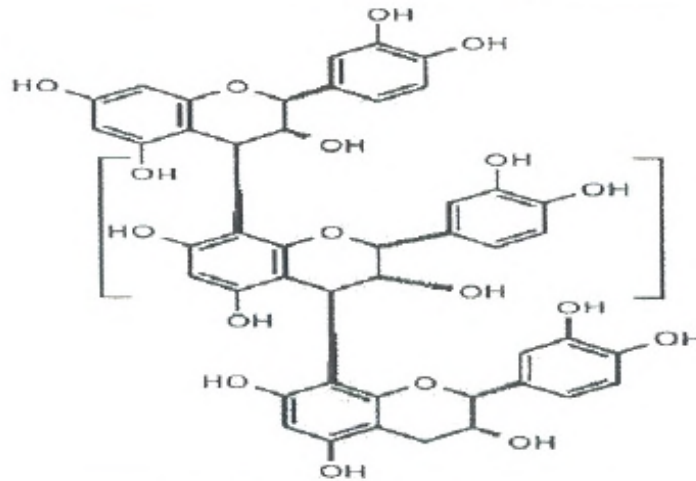


Figure 7 : Structure des tanins condensés.

II.3. Propriétés des polyphénols

II.3.1. Propriétés antioxydantes

Les polyphénols sont capables de piéger les radicaux libres issus aussi bien des réactions d'oxydations de différents nutriments que de celles de l'organisme. Ils peuvent agir en réduisant ou en dismutant des espèces réactives de l'oxygène, en les piégeant pour former un composé stable. Chaque molécule antioxydante ne peut réagir qu'avec certains radicaux libres bien déterminés.

Les polyphénols doivent leur activité à, comme leur nom l'indique, un très grand nombre de résidus hydroxyles, qui sont autant de munitions pour lutter contre les radicaux libres de tout genre (effet scavenger, chélation des métaux, pouvoir réducteur, inhibition de la l'oxydation lipidique, inhibition des enzymes génératrices des radicaux libres et induction de la synthèse des enzymes antioxydantes) (**Rolland R. 2004; Siddhuraju 2006**).

Le mécanisme global de cette réaction est schématisé dans la figure ci-dessous :

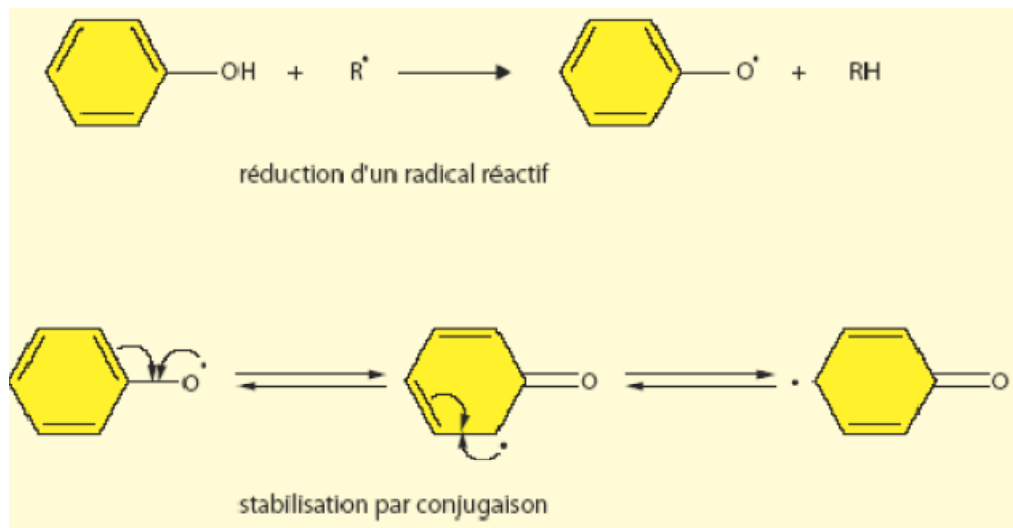


Figure 8 : Mécanisme globale d'action des polyphénols (Rolland R. 2004).

II.3.1.1. Chélation des métaux

Certains antioxydants précipitent les métaux ou inhibent leur réactivité en occupant tous leurs sites de coordination. Les flavonoïdes ont un très bon pouvoir chélatant pour le fer, le manganèse et le cuivre, et peuvent neutraliser les radicaux libres (Van acker S. 1998; Fraga 2010).

II.3.1.2. Inhibition des enzymes génératrices des radicaux libres

Dans cette deuxième catégorie, les antioxydants sont capables d'inhiber une large gamme d'enzymes génératrices de $O_2^{\bullet-}$ et d'autres (ROS), comme la xanthine oxydase, la protéine kinase C, la cyclooxygénase, lipooxygénase, la monooxygénase microsomale, et la glutathion S-Transférase (Pietta 2000; Huang 2002).

II.3.1.3. Inhibition de la peroxydation lipidique

Dans ce genre de cas, les antioxydants agissent en interrompant la réaction en chaîne de peroxydation, en réagissant rapidement avec un radical d'acide gras avant que celui-ci ne puisse réagir avec un nouvel acide gras (**Vansan 2004**). Ce sont principalement des composés phénoliques (tocophérols, tocotriénols, La vitamine C, BHT, BHA, flavonoïdes) (**Cillard J. 2006**).

II.3.1.4. Effet scavenger

L'effet scavenger des composés phénoliques consiste à piéger et à neutraliser les formes toxiques de l'oxygène par transfert direct d'un électron sur leur dernière couche électronique (**Ghedira 2005**). De ce fait, les composés phénoliques interfèrent et bloquent la propagation de la réaction radicalaire en chaîne grâce à leur caractère réducteur en devenant, eux-mêmes, des radicaux phénoxyles assez stables grâce au phénomène de résonance (délocalisation des doublets électroniques) (**J. J. Macheix 2005**).

II.4. Propriétés biologiques et intérêt diététique des polyphénols

Tous les polyphénols sont capables de neutraliser les radicaux libres générés en permanence par notre organisme ou formés en réponses à des agressions de notre environnement (cigarette, polluants, infections, etc.) qui favorisent le vieillissement cellulaire (**Scalbert A. 2002; Morelle 2003; Lahouel M. 2004; Djeridane A. 2006; Silva E.M. 2007**).

On considère que les polyphénols piègent les radicaux formés dans les diverses circonstances et diminuent ainsi le risque de survenue d'un certain nombre de pathologies, en particulier celles liées à la sénilité et aux lésions oxydatives (cancers, tumeurs, maladies cardiovasculaires ou neurodégénératives) (**Pengelly 1996; Wayne R. Bid lack 2000; Kumiko Ishige 2001; Edeas 2008; Mark S. Meskin 2008**).

Les flavonoïdes sont des toniques veineux et des protecteurs capillaires. Cette propriété est exploitée dans le traitement des maladies vasculaires : fragilité capillaire, sénescence cérébrale, diabète, crises hémorroïdaires, ulcères variqueux (**M. Paris 1981; Pengelly 1996; Bruneton. 1999; Goetz 1999**). Outre, ces derniers jouent un rôle fondamental dans la

biosynthèse du collagène en activant une enzyme dénommée prolyoxydase qui réalise sa synthèse (**Morelle 2003**).

Les polyphénols pourraient exercer des effets protecteurs contre les maladies hormono-dépendantes telle que l'ostéoporose en modulant la réponse aux œstrogènes endogènes (**Scalbert A. 2002; Amrane 2007**).

Ils ont aussi des propriétés antiprolifératives, antivirales, antibactériennes, antifongiques, anti-inflammatoires (**Morelle 2003; Farkas O. 2004; Rodríguez Vaquero M.J. 2007**).

Les polyphénols inhibent les systèmes enzymatiques déstabilisants ; c'est le cas des lipases qui libèrent les acides gras de leurs glycérides, des décarboxylases qui détruisent les fonctions acides des acides aminés et d'autres enzymes qui attaquent le collagène (**Bruneton. 1999; Amrane 2007**).

Les tanins jouent un rôle d'astringence et d'amertume et inhibent l'activité des enzymes telle que la stilbène oxydase (**Scalbert A. 2002; Amrane 2007; Silva E.M. 2007**).

III.1. Description

L'Arachide (*Arachis hypogaea* L.) qui signifie cacao de terre est une plante oléagineuse de la famille des Légumineuses, appartenant au sous-groupe des Papilionacées, très largement répandue dans toutes les régions tropicales du monde. Sa zone de culture est comprise entre le 40° parallèle Nord et le 40° parallèle Sud (**Thirumala-Devi. 2003**).

C'est une plante annuelle à fleurs jaunes de 30 à 70 cm de hauteur (**Figure 9**). Elle est rustique et résistante à la sécheresse avec un besoin en eau de 400 mm pour un cycle de 90 jours (**Thiaw 2008**). Le fruit est une gousse de 3 à 4 cm de long, appelée coque sur plan commercial, contenant le plus souvent seulement deux graines enveloppées dans un tégument sec rouge (**Figure 10**).



Figure 9: Plante d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) **Figure 10:** Graines et gousses d'arachide.

III.2. Position dans la systématique

Tableau IV: Classification botanique d'arachide cultivée (*Arachis hypogaea* L.)(Chang, Sreedharan et al. 2013).

Règne	Végétal (<i>Plantae</i>)
Embranchement	Spermaphytes (<i>Tracheobionta</i>)
Sous-embranchement	Angiospermes (<i>Magnoliophyta</i>)
Classe	Dicotylédones (<i>Magnoliopsida</i>)
Sous-classe	Rosales (<i>Rosidae</i>)
Ordre	Fabales (<i>Fabaceae</i>)
Famille	Légumineuses (<i>Faboideae</i>)
Sous-famille	Papilionacées (<i>Papilionaceae</i>)
Genre	<i>Arachis</i>
Espèce	<i>Hypogaea</i>

III.3. Origine et historique de la culture

L'arachide est originaire de l'Amérique du Sud précisément sur la côte extrême-nord du Pérou. D'après les études archéologiques, la découverte de l'arachide est datée entre -1500 et -1200 ans. Cependant, la culture de l'arachide a commencé à partir du XVI^e siècle. A cette époque, elle était cultivée au Mexique, sur les côtes nord-est et l'est du Brésil, en Argentine, au Paraguay et en Bolivie. Par la suite, son expansion s'est faite sur toute la zone tropicale et subtropicale d'Amérique, d'Asie et sur les côtes est et ouest de l'Afrique(FAYE Mai 2010).

III.4. Production de l'arachide

L'arachide, douzième production végétale dans le monde, est une culture majeure dans la plupart des régions tropicales et subtropicales. Elle est cultivée sur tous les continents, dans 120 pays environ, sur une superficie totale de 24.6 millions d'hectares pour une production de 38.2 Millions de tonnes / ans (Muñoz, Ibañez et al. 2011).

D'après le département américain de l'Agriculture (USDA), la Chine est le plus grand producteur mondial avec environ 42.3% de la production mondiale d'arachide, suivie par l'Inde, les États-Unis d'Amérique, le Nigeria, l'Indonésie et l'Argentine (**Muñoz, Ibañez et al. 2011; Chang, Sreedharan et al. 2013**). Néanmoins, la production d'arachide du continent Africain, présente 10 millions de tonnes sur 10 millions d'hectares de surfaces occupées par cette culture (**FAO, 2012**).

La culture d'arachide est circonscrite principalement dans quelques localités du sud Algérien (Ghardaïa, Menia), qui accordent un intérêt à l'intensification de la culture de l'arachide qui constitue "une culture générant des revenus importants", notamment avec l'abondance de l'eau, l'ensoleillement et un sol sablonneux, où une superficie cumulée de 377 hectares a été consacrée à ce produit agricole.

Quelque 5.655 quintaux d'arachides portant le label " Bio ", ont été récoltés dans la wilaya de Ghardaïa, durant la campagne 2014 qui s'est achevée à la fin du mois d'octobre, indique-t-on auprès de la direction des services de l'agriculture (**DAS, 2014**).

III.5. Intérêt de L'arachide

Bien que l'arachide soit largement considérée comme une graine oléagineuse, l'utilisation d'arachides varie considérablement d'un pays à l'autre. Dans certains pays, la majorité de la production est destinée à la fabrication du carburant, alors que dans d'autres, les graines d'arachides sont aussi bien utilisées pour l'alimentation humaine que pour le bétail (**Tillman and Stalker 2009**).

En Afrique et en Asie, les arachides sont consommées fraîches, bouillies ou sous forme cacahuètes grillées. Outre, elles sont utilisées comme ingrédient dans de nombreux aliments à base de céréales. Le tourteau (résidu de la graine après extraction de l'huile) riche en protéines (48 à 50%), constitue un élément important dans l'alimentation du bétail (**Thirumala-Devi. 2003; S.L. Dwivedi 2007**).

De même, dans la plupart des pays du Sahel, les fanes sont séchées après la récolte et apportées en foin pour l'alimentation animale. Elles constituent souvent l'un des principaux apports alimentaires pour les petits ruminants pendant la saison sèche (**REVOREDO 2002**).

La peau ou tégument d'arachide est une source riche en composés phénoliques et possède une activité antioxydante élevée. Ces composants fonctionnels jouent un rôle d'antioxydants naturels pouvant être utilisés pour augmenter la durée de conservation et la stabilité des aliments. En effet, l'infusion préparée à partir de la peau d'arachides, peut fournir les mêmes avantages que les thés verts et noirs qui sont riches en antioxydants (**Francisco and Resurreccion 2012**).

L'arachide produite dans le monde est principalement transformée en huile, en farine et en dérivés qui entrent dans la composition de produits alimentaires (confiserie, beurre de cacahuète, pâte d'arachide...). Durant la période 1996-2000, 49.2% de la production mondiale a servi à produire de l'huile et de la farine et 41.1% a été destinée pour d'autres produits alimentaires (**REVOREDO 2002**).

Outre son intérêt sur le plan nutritionnel, il convient de signaler que les coques d'Arachide peuvent être largement utilisées comme combustible dans les pays en voie de développement où le problème de l'énergie est crucial (**Fasina 2008**).

Les coques d'arachide sont riches en cellulose et hémicellulose, qui sont de bons précurseurs pour la production de charbon actif à usage médical (**Wu, Guo et al. 2013**). Elles peuvent aussi servir à la fabrication des planches, production du bioéthanol et l'élaboration d'engrais biologiques (**Raïssah Juin 2010**).

Une alternative reconnue pour les combustibles pétroliers est représentée par le biocarburant, produit à base de l'huile d'arachide. Cependant les coûts liés à sa production et la demande importante en huile alimentaire rendent l'huile de cette dernière moins compétitive que les autres huiles d'origine végétale comme le soja par exemple. Pour pallier ce problème, des recherches sont en cours à l'Université de Géorgie pour produire des variétés d'arachide à forte teneur en huile, impropres à la consommation humaine et à faible besoin en intrants.

La variété « Georganic » qui semble répondre à tous ces critères est présentée comme l'avenir des biocarburants à base d'huile d'arachide (**Chukwumah, Walker et al. 2012**).

III.6. Valeurs nutritionnelles de la graine d'arachide

L'arachide, comme la plupart des plantes légumineuses à graines, occupe une place importante dans l'alimentation humaine. Les graines d'arachide peuvent contenir 25% de protéines, 48% de lipides, 21% de glucides, 3% de fibres et d'autres micronutriments en fonction de la variété (**Mohd Rozalli, Chin et al. 2015**). Leurs apports énergétiques sont d'environ 2374kJ (567kcal) (par portion de 100g).

III.6.1. Les lipides (huile d'arachide)

L'arachide est classée comme la troisième plus grande source d'huile végétale dans le monde avec une production de 31 millions de tonnes et elle est l'une des principales huiles dans l'alimentation humaine (**Mohd Rozalli, Chin et al. 2015**).

L'huile d'arachide est une huile jaune pâle au goût de noisette et à odeur distinctive. C'est une huile non siccative, contenant environ 55 à 65% d'acides gras mono-insaturés, 26 à 28% d'acides gras polyinsaturés, et de 17 à 18% d'acides gras saturés. Ses acides gras essentiels sont : 62% d'acide oléique, 23% d'acide linoléique, 8% d'acide palmitique, 5% d'acide stéarique et 4% d'acide arachidonique (**Yoshida, Hirakawa et al. 2005; Kaya, Hamamci et al. 2009**). De plus, cette dernière est riche en tocophérols et phospholipides (Phosphatidyl-éthanolamine, Phosphatidyl-choline, Phosphatidyl-inositol) (**Yoshida, Hirakawa et al. 2005**).

III.6.2. les minéraux

Les minéraux sont très utiles pour le développement et la croissance de l'organisme. Les principaux minéraux que contiennent les graines d'arachide sont présentés dans le (**Tableau V**) (**Higgs 2003.; M.Dubost 2004.**)

La composition en acides aminés des graines d'arachides est consignée que le tableau ci-dessous :

Tableau V: Les principaux minéraux contenus dans les graines d'arachide.

Minéraux	Teneur (mg)/ 100g d'arachide
Calcium	92
Magnésium	168
Fer	4,6
Phosphore	376
Zinc	3,3

III.6.3. Les protéines

Dans la pratique, l'arachide est utilisée pour rehausser la qualité et la quantité des protéines d'une ration céréalière : lorsque la céréale de base est de moyenne qualité protidique, il est judicieux d'ajouter de la farine d'arachide (**Higgs 2003.; Yoshida, Hirakawa et al. 2005**).

Tableau VI: Composition en acides aminés des graines d'arachide.

Acides aminés	Teneur (mg)/ 100g d'arachide
Thiamine	0,64
Leucine	1672
Tryptophane	250
Lysine	926
Méthionine	317
Phénylalanine	1337
Thréonine	883
Valine	1082

III.6.4. Les vitamines

A l'état cru, la graine renferme des quantités importantes de vitamine B1, vitamine E (tocophérol), vitamine F, vitamine B9 (folate) à raison de 240µg par 100g de partie comestible, vitamine B6 0,35mg et vitamine B3 ou niacine 12,1mg (**Jacquot 1968; Yoshida, Hirakawa et al. 2005; M.Dubost 2004.**).

III.7. Effets thérapeutique de l'arachide

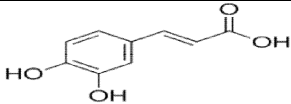
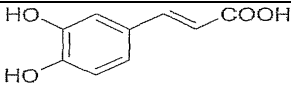
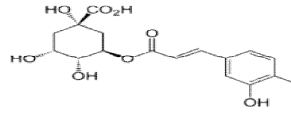
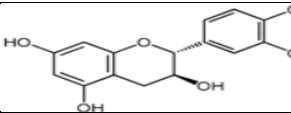
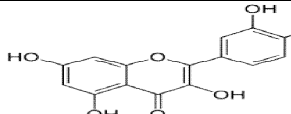
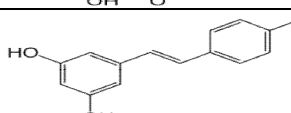
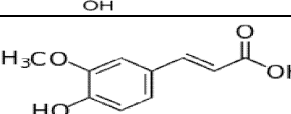
Les avantages potentiels pour la santé , associés à la consommation d'arachides sont bien documentés, notamment la prévention contre les maladies cardiovasculaires comme les maladies coronariennes (**Feldman 1999**), le diabète de type 2 (**Higgs 2003.; Manach 2004**), le cancer (**Awad 2000.**), les maladies neurodégénératives comme l'Alzheimer (**Peanut-Institute. 2002**), les infections virales et fongiques (**Patricia Garcia-Salas and Fernández-Gutiérrez 2010**) et enfin, la réduction des risques de prise de poids (**Alper 2002.**).

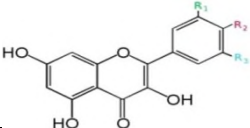
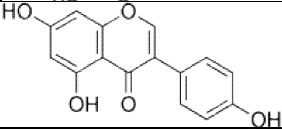
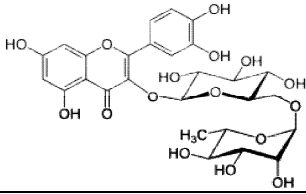
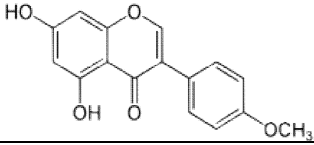
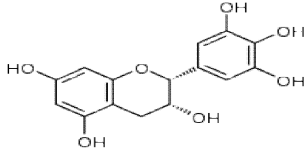
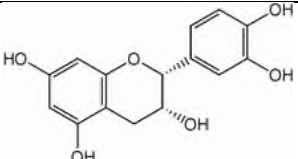
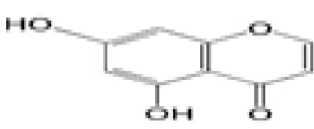
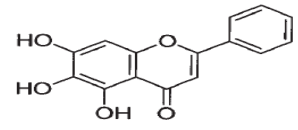
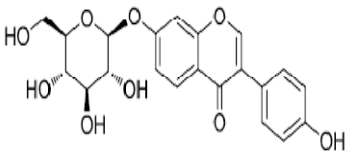
III.8. Les polyphénols d'arachide

L'arachide est très riche en polyphénols; acides phénoliques, flavonoïdes, stilbènes, Procyanidine et Proanthocyanidines. Certains auteurs, rapportent par exemple, que la teneur en acides phénoliques dans le tégument est d'environ 140-150 mg / g de peau sèche (**Hwang, Shyu et al. 2010**).

Quelques composés phénoliques, isolés des différentes parties des cacahuètes sont portés sur le (**Tableau VII**).

Tableau VII : Distribution de quelques composés phénoliques dans les différentes parties de la plante d'arachide.

Partie de la plante	Nom	Structures chimiques des composés phénoliques	Référence
Tégument	Acide caféique		(Yu 2005; Van Ha 2007) (Yu 2006)
	Acide p-coumarique		
	Acide chlorogénique		
	Catéchine		
	Quercitine		
	Resvératrol		
	Acide férulique		

Graine	Flavonols		<p>(Lou 2004) (Mattila 2007) (Yu 2005) (Yu 2006) (Ibern-Gómez 2000)</p>
	Genisteine		
	Rutine		
	Biochanin A		
	Epigallocatechine		
	Proanthocyanidines		
Coque	5,7-hydroxychromone ériodictyol		(Duh 1992)
	Baicaléine (30, 40, 7-trihydroxyflavone)		
	Lutéoline		

III.9. Travaux antérieurs

Les microondes sont largement utilisées dans l'industrie agro-alimentaire pour le séchage des fruits (mangue, pomme,..), légumes (piment, tomate,..), herbes aromatiques (basilic, cresson, etc.) et viandes. Ainsi plusieurs modèles ont été proposés pour la prévision des cinétiques de séchage.

À la meilleure connaissance des auteurs aucun travail dans la littérature ne rapporte le séchage des cacahuètes par microondes. Le peu de travaux qui existent traite plutôt la problématique de l'effet de séchage sur la qualité physico-chimique des cacahuètes. Les termes « rôtissage » ou « grillage » sont fréquemment utilisés en littérature, ce qui indique que la matrice est traitée pour des fins de consommation et non de stockage (**Otten 1989; Yoshida, Hirakawa et al. 2005**).

CARROLL et HOFFPAUIR ont procédé à la détermination du taux d'humidité de plusieurs échantillons de cacahuètes fraîches. L'opération a été effectuée par plusieurs variantes de séchage à l'étuve (étuve ventilée, étuve sous vide, étuve-air chaud), à deux températures (101,130 °C). Leurs résultats ont montré que le taux d'humidité dans les différents échantillons n'a pas d'influence sur le temps nécessaire pour atteindre un poids constant. Outre, la fine granulométrie de l'échantillon accélère la première phase de séchage ce qui réduit le temps total d'exposition à la chaleur et diminue les risques de dégradation (**Hoffpauir 1945**).

Moss et Otten ont évalué l'effet des microondes sur la couleur des cacahuètes. Pour cela, des arachides (var. Runner) furent rôties dans une rôtissoire en discontinu à air forcé à travers. Les températures ont varié de 157 à 171°C pour des traitements de 2 à 20 min. La variation du taux d'humidité en fonction du temps a été décrite par deux modèles (Page et Henderson-Pabis). Dans tous les cas, la couleur fut mesurée à l'aide de l'échelle colorimétrique $L^*a^*b^*$ et comparée au ratio d'humidité des graines. Les données suggèrent l'existence d'une corrélation entre la couleur jaune-bleue (b^*) de l'échelle et le ratio d'humidité (**Otten 1989**).

Hiromi Yoshida et al ont étudié l'effet des micro-ondes sur les acides gras des phospholipides et ceux des triglycérides dans les graines d'arachides rôties dans un four à micro-ondes pendant 6 à 30 min à une puissance fixe. Les résultats obtenus indiquent une corrélation positive entre le temps de chauffage et le taux d'acides gras libres et les diacylglycérols. Toutefois, bien qu'ils soient très sensibles à la chaleur, les acides gras insaturés qui se trouvent en position *sn-2*, sont protégés et ne sont pas touchés par l'oxydation (**Yoshida, Hirakawa et al. 2005**).

Jianmei Yu et collaborateurs, ont évalué le taux polyphénols dans les téguments, obtenus par pelage des cacahuètes par trois méthodes : rôtissage à l'étuve à 150° C, blanchiment et

pelage à la main. Les résultats ont montré que le blanchiment entraîne la perte de 89% des polyphénols contenus dans les téguments (**Yu, Ahmedna et al. 2006**).

I.1. Matériels utilisés

I.1.1. Appareillage utilisés

- Balance analytique de précision RADWAG WPS 600/C/2
- Broyeur IKA A11.
- Dessiccateur
- Etuve
- Micro-onde Modèle Samsung NN-S674MF, Kuala Lumpur, Malaisie
- Micro-onde Maxi power MO 23s
- Spectrophotomètre UV- visible SPECTROSCAN 50.

I.1.2. Préparation des réactifs :

1. Solution d'Acétone :

- Mélanger 10ml d'acétone et 10 ml d'eau distillée.

2. Solution d'éthanol :

- Mélanger 10ml d'éthanol et 10 ml d'eau distillée.

3. Solution de Méthanol :

- Mélanger 10ml de méthanol et 10 ml d'eau distillée

4. Solution de carbonate de sodium :

- Peser 7g de Na_2CO_3 , réajuster à l'eau distillée jusqu'à ce que la balance affiche 200g.

5. Solution de Folin Ciocalteu :

- Diluer 2ml de Folin Ciocalteu avec de l'eau distillée à 100ml.

6. Solution de DPPH méthanoïque a 0,1mole/L :

- Pour 10 mg de DPPH, un aliquote de 253,60 ml d'eau distillée.

I.2. Matière végétale

La matière première utilisée provient du commerce. Elle est directement pelée et débarrassée des coques et téguments.



Figure 11 : Photographie d'échantillon d'arachides.

I.3. Traitement des échantillons

Les échantillons étudiés ont subi un traitement préliminaire : réhydratation à l'eau salée pendant 20h en moyenne (250 g d'arachide et 5g de NaCl pour 500ml d'eau distillée).

Grace à ce traitement, on suppose que la matrice est fraîche. La présence de NaCl augmente la conductivité des arachides. Autrement dit, ils se forment suffisamment d'ions (cations et anions) qui s'accumulent dans la graine et seraient à la base de la montée de la conductivité. En effet, il se produit une diffusion qui se traduit par la migration d'eau salée vers la matrice. Le phénomène est d'autant plus marqué que la concentration en sel et la durée du salage sont importantes.

I.3.1. Taux d'humidité

Pour déterminer la teneur en eau, un test d'humidité a été effectué. Trois échantillons de 5g d'arachides ont été séchés dans une étuve à 103 °C pendant 24h jusqu'à stabilisation du poids. L'humidité est exprimée en pourcentage selon la formule ci-dessous :

$$H(\%) = \frac{P_0 - P_s}{P_0} * 100$$

H% : Humidité ;

P₀ : représente le poids initial de l'échantillon ;

P_s : représente le poids de l'échantillon après séchage.

I.3.2. Cinétique de séchage :

Après avoir enlevé les arachides de l'eau salée, elles ont été débarrassées de l'eau superficielle, et ont été mises à sécher au micro-onde, à travers plusieurs puissances (200w, 300w, 400w), pendant divers lapses de temps (1 à 12 minutes). Les cinétiques de séchage ont été suivies régulièrement jusqu'à ce qu'elles atteignent une masse constante.

I.3.3. Broyage :

Les arachides préalablement séchées sont enfin broyées à l'aide d'un broyeur en des fines particules. La poudre est finalement conservée dans des flacons ombrés, placés au réfrigérateur (-4 °C) jusqu'à l'extraction.



Figure 12 : Photographie du broyeur et des échantillons broyés.

I.4. Étude des polyphénols

I.4.1. Choix de la méthode d'extraction

L'extraction par solvant est un procédé conçu pour séparer les composés phénoliques solubles par diffusion de la matrice solide (tissu végétale ou poudre fine végétale) vers la matrice liquide (solvant).

Plusieurs procédés d'extraction peuvent être utilisés, du fait de la diversité des métabolites secondaires, en particulier des polyphénols. L'extraction assistée par micro-ondes (MAE) (**Spigno and De Faveri 2009**) est une méthode relativement nouvelle par laquelle l'énergie des micro-ondes est utilisée pour chauffer les solvants polaires en contact avec des échantillons solides et de partitionner les composés d'intérêt entre l'échantillon et le solvant, ce qui réduit à la fois le temps d'extraction et la consommation de solvant (**Pérez-Serradilla and Luque de Castro 2011**).

Elle aboutit également à des rendements d'extraction plus élevés et une meilleure qualité de substances avec des coûts inférieurs (**Gallo, Ferracane et al. 2010**).

Toutefois, en raison des nombreux facteurs qui influencent MAE, l'optimisation des paramètres du procédé d'extraction est nécessaire pour extraire le maximum de composés phénoliques (**Spigno and De Faveri 2009**), (concentration des solvants utilisés, la puissance d'irradiation, le temps d'extraction, et le ratio liquide-solide).

I.4.2. Choix des solvants

Les polyphénols, font partis de la classe des molécules plutôt hydrosolubles, et sont majoritairement extraits par des solvants de polarité moyenne à forte. Ainsi, les solvants qui ont été retenus pour notre étude sont l'acétone, l'éthanol et le méthanol qui présentent des polarités relativement différentes, et l'eau dont la polarité est la plus élevée (**Farid Dahmoune 2015**). Des mélanges de solvants sont utilisés, tels que les mélanges méthanol/eau (50/50, v/v) et acétone/eau (50/50, v/v), et éthanol/eau (50/50, v/v) pour extraire les polyphénols de diverses polarités.

I.4.3. Extraction des polyphénols

Les essais d'extraction de composés phénoliques ont été réalisés en mode batch (échelle laboratoire).

Les composés phénoliques de l'*ArachisHypogaea* L. ont été extraits en utilisant un micro-onde domestique. L'appareil est équipé d'un système de commande numérique pour la puissance et la durée d'irradiation (ce dernier est réglable de 200 à 1000 Watts). Le four a été modifié afin de condenser les vapeurs générées lors de l'extraction de l'échantillon.

L'extraction a été réalisée dans un ballon de 200 ml sur des échantillons de 0.5 g de poudre d'arachide en faisant à chaque fois varier le mélange d'extraction : eau/acétone (50/50, v/v), eau/éthanol (50/50, v/v) et eau/méthanol (50/50, v/v).

Les paramètres d'extraction ont été fixés : Le contact entre le solide et le solvant a été maintenu pendant une période de trois (3) minutes au micro-onde à une puissance 200W.

Chaque essai a été réalisé en triplicata. Après traitement MAE, la séparation solide-liquide se fait par filtration conventionnelle : l'extrait a été filtré à travers un papier filtre, disposé dans un entonnoir de Büchner. La filtration permet de clarifier les solutions d'échantillons et d'éliminer les particules solides. Le distillat obtenu est réajusté avec l'eau distillée jusqu'à 20 ml.

Les polyphénols étant surtout sensibles à l'oxydation et à la température, tous les échantillons ont été conservés à une température fraîche, et à l'abri de la lumière avant chaque analyse.

I.5. Dosage des polyphénols totaux

I.5.1. Principe

La détermination de l'ensemble des composés phénoliques dans les extraits a été réalisée par le réactif de Folin-Ciocalteu selon la méthode de Singleton (**Singleton, Orthofer et al. 1999**). Le réactif, consiste en un mélange jaune d'acide phosphotungstique ($H_3PMO_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique.

($H_3PW_{12}O_{40}$), qui est réduit lors de l'oxydation des phénols, en mélange d'oxydes de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (MO_8O_{23}).

La coloration bleue produite est proportionnelle à la teneur en phénols totaux et possède une absorption maximum aux environs de 750 -765 nm.

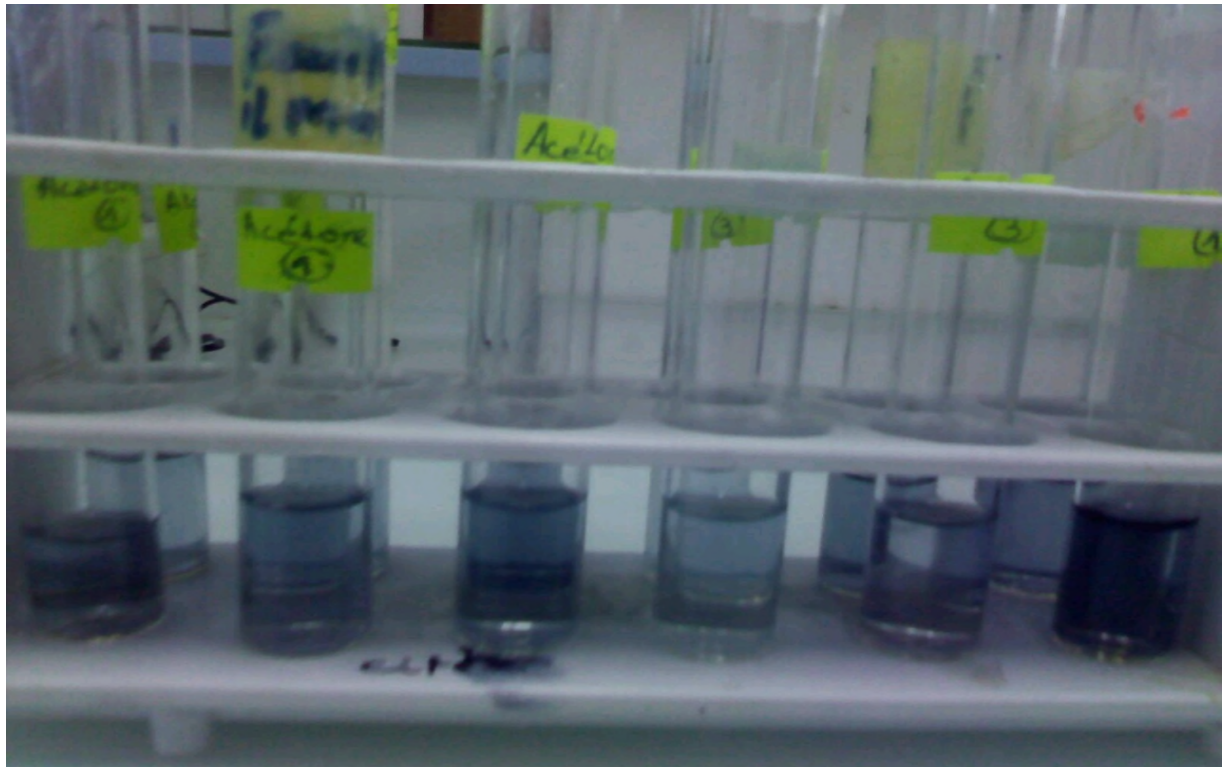


Figure 13 : Photographie des extraits des composés phénolique.

I.5.2. Mode opératoire

Suivant la méthode de Singleton (avec quelques modifications), le dosage quantitatif a été réalisé sur 100µl d'échantillon aux quelles sont rajoutés 2 ml du réactif de Folin-Ciocalteu à 0.2N et 2ml de carbonate de sodium Na_2CO_3 a 3.5% (m/m) (**Singleton, Orthofer et al. 1999**).

Après incubation pendant 1h30 a l'abri de la lumière, une partie de la solution est transvasée dans une cuvette de quartz. L'absorbance a été mesurée à une longueur d'onde de 760 nm par un spectrophotomètre UV/Vis.

La teneur en phénols totaux est exprimée en mg équivalent d'acide gallique par gramme de matière végétale sèche en se référant à la courbe d'étalonnage de l'acide gallique(**Boualem 2013**)(Annexe 1).



Figure 14: Photographie des dosages des polyphénols totaux.

I.6. Activité antioxydante

I.6.1. Principe

Le DPPH (2,2 diphényl-1-picrylhydrazyl) est généralement le substrat le plus utilisé pour l'évaluation rapide et directe de l'activité antioxydante en raison de sa stabilité en forme radicalaire libre et sa simplicité d'analyse. Il absorbe dans le visible à la longueur d'onde de 515 à 520 nm (Bozin, Mimica-Dukic et al. 2008).

La méthode de DPPH présente plusieurs avantages du fait qu'elle soit indépendante, simple et rapide. Le test consiste à mettre le radical DPPH (de couleur violette), en présence des molécules dites « antioxydantes » afin de mesurer leur capacité à réduire le radical DPPH.

La forme réduite (de couleur jaune) n'absorbe plus, ce qui se traduit par une diminution de l'absorbance à cette longueur d'onde, et qui conduit à la formation du DPPH-H (forme non-radicalaire). La rapidité de la perte de couleur est directement proportionnelle à l'activité antioxydante du donneur d'hydrogène.

La forme radicalaire du DPPH peut être influencée négativement par d'autres facteurs tels que : la présence de la lumière ou le pH.

I.6.2. Mode opératoire

Le protocole expérimental suivi pour étudier l'activité antioxydante DPPH, consiste donc à mélanger, dans un tube à essai, 3ml de solution DPPH avec 1ml d'extrait. L'absorbance est mesurée à **515 nm** après avoir laissé incuber la réaction, à l'obscurité, pendant 30 minutes.

Le pouvoir antiradicalaire de DPPH est exprimé en pourcentage :

$$AS\% = \frac{ABS_{\text{témoin}} - ABS_{\text{échantillon}}}{ABS_{\text{témoin}}} * 100$$

Avec :

AS% : pourcentage d'inhibition ;

ABS témoin : Absorbance du control (solution DPPH) ;

ABS échantillon : Absorbance de l'échantillon.

N.B : L'absorbance du contrôle (ABS témoin) est préparé à partir de 3ml de solution de DPPH + 1ml du méthanol (**I. Gulçin 2004**).

II.1. Cinétique de séchage par micro-ondes à différentes puissances

II.1.1. Détermination des temps à l'équilibre

Le temps d'équilibre est le temps pour lequel le taux d'humidité devient constant (Bucić-Kojić, Planinić et al. 2007). En effet, l'ANOVA (Analyse de variance) a été appliquée pour vérifier le degré de signification de la variation du taux d'humidité en fonction du temps, pour chaque puissance (Figure 15). D'autre part, le test Tukey-Kramer a été employé pour classer les moyennes en catégories (Tableau VIII). Par conséquent, c'est un outil statistique puissant pour déterminer l'intervalle pour lequel le taux d'humidité sera constant (Driscoll 1996).

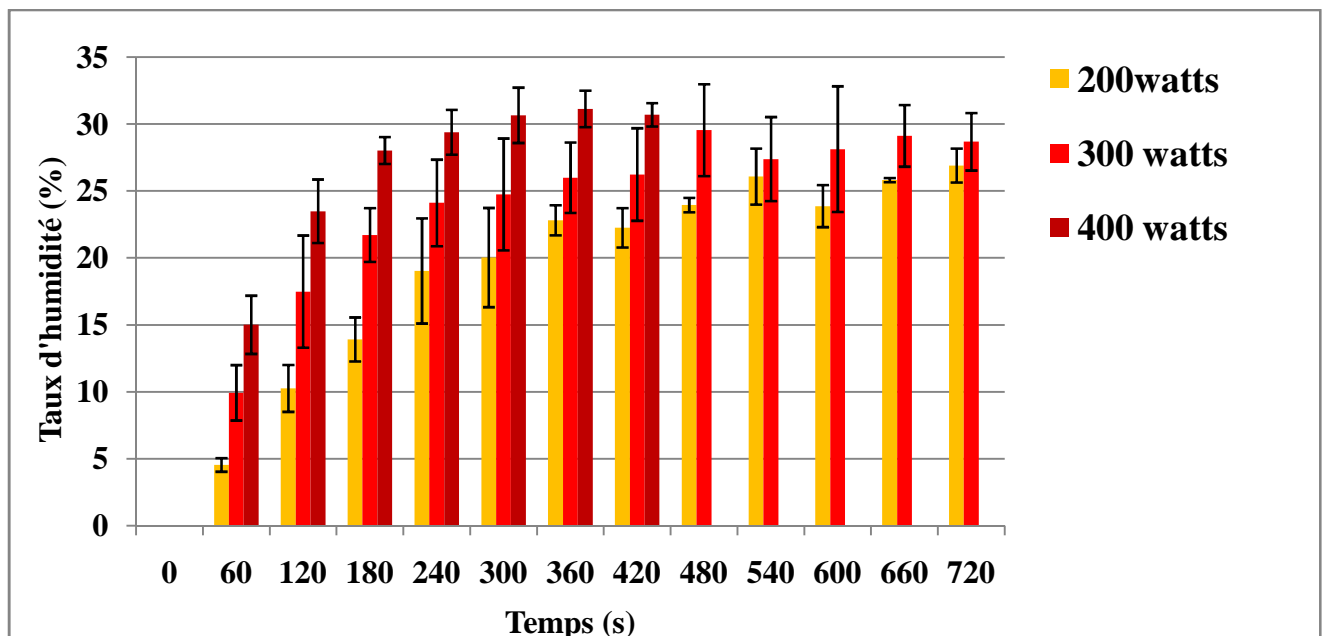


Figure 15 : Cinétique de séchage par micro-ondes à différentes puissances

L'analyse de variance a montré que le temps a une influence hautement significative sur le taux d'humidité ($p < 0.0001$), pour toutes les puissances.

Le tableau ci-dessous montre que le séchage à différentes puissances engendre des temps variables pour lesquels le taux d'humidité devient constant. A savoir, 9, 8 et 4 min respectivement pour le séchage à 200, 300 et 400 Watts. En effet, l'arachide contient des substances polarisées, ayant des constantes diélectriques relativement élevées telles que les

polyphénols, les vitamines du groupe B, les glucides et les protéines (**Phan-Thien, Wright et al. 2014; Mohd Rozali, Chin et al. 2015**). Toutefois, cette différence de polarisation joue un rôle important dans l'interaction au micro-onde, ce qui peut affecter le temps de séchage (**Trabelsi, Paz et al. 2013**).

Tableau VIII : Comparaison entre toutes les moyennes en utilisant le test de Tuckey-Kramer ; les niveaux qui ne sont pas attribués par les mêmes lettres ont des taux d'humidité significativement différents au risque d'erreur de 5% ($\alpha = 0.05$).

Temps	Lettres attribuées		
	200W	300W	400W
720	A	A	-
660	A	A	-
600	A	A	-
540	A	A	-
480	AB	A	-
420	AB	AB	A
360	AB	AB	A
300	B	AB	A
240	BC	AB	A
180	CD	AB	AB
120	D	BC	B
60	E	C	C
0	E	D	D

D'autre part, il a été constaté que le temps d'équilibre est en corrélation négative avec les puissances étudiées. Ces résultats sont en accord avec ceux de la littérature. En effet, la même corrélation a été prouvée par Lombrana et collaborateurs en séchant des pommes, pour des puissances variant de 60 à 240 Watts (**Lombrana, Rodríguez et al. 2010; Chandrasekaran, Ramanathan et al. 2013**).

Cependant, les taux d'humidité initiale (M_0) sont respectivement **26.07±2.09**, **29.54±3.43** et **29.38±1.66** (%) pour le séchage à 200, 300 et 400 Watts. On outre, l'estimation du taux d'humidité initial (M_0) est indispensable pour modéliser la cinétique de séchage pour les différentes puissances utilisées.

II.1.2. Modélisation de la cinétique

La modélisation a pour but de déterminer le modèle mathématique qui décrit la variation du taux d'humidité (M) en fonction du temps. Sachant que le taux d'humidité initiale (M_0) a été déterminé dans la section précédente pour toutes les puissances. Par conséquent, le taux d'humidité est calculé selon la formule suivante ci-dessous (Nawirska, Figiel et al. 2009; Niamnuy, Nachaisin et al. 2012; Tahmasebi, Yu et al. 2014; Zarein, Samadi et al. 2015).

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

D'où ;

MR : Taux d'humidité(u.a) ;

M : Taux d'humidité restant (%) ;

M_0 : Taux d'humidité initiale (%) ;

M_e : Taux d'humidité à l'équilibre (%).

Puisque logiquement la valeur de M_e tend vers 0 à l'équilibre, son influence est négligée d'une manière hautement significative sur la valeur de l'équation (1). Par conséquent, le taux d'humidité MR est calculé selon la formule suivante (Zarein, Samadi et al. 2015):

$$MR = \frac{M}{M_0} \quad (2)$$

Bien que dans la littérature, plusieurs modèles soient décrits pour modéliser la variation du taux d'humidité en fonction du temps. Le modèle adapté qui s'adapte aux résultats obtenus est le modèle hyperbolique de Peleg (Eq.3) (Peleg et al).

$$MR = M_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 * t} \quad (3)$$

D'où k_1 et k_2 sont des coefficients à estimer par le traitement statistique concernant la validation du modèle.

➤ Séchage à 200 Watts

Les résultats des coefficients du modèle sont présentés dans le **Tableau IX**. En effet, les coefficients de variation (CV) de chaque paramètre sont largement inférieurs à 30%. Ainsi que les valeurs p (prob), qui sont hautement inférieures à 0,05 ($p < 0,05$). Cependant, l'analyse de variance, le calcul de RMSE et l'analyse des résidus sont indispensables pour valider ce modèle.

Tableau IX : Analyse statistique des coefficients du modèle de Peleg (200 Watts)

Coefficients	Estimé	Écart-Type	CV(%)	p (prob)
K1	-8,431	0,818	9,702	0,000*
K2	-0,0228	0,002	0,877	0,000*

Le degré d'ajustement de la variation du taux d'humidité en fonction du temps est vérifié par l'analyse de variance du modèle (**Tableau X**). La probabilité p de la régression ($p=0.000$), le coefficient de détermination ($R^2= 0,993$) et la valeur du RMSE (0,969) montrent que le modèle de Peleg est approprié pour exprimer le taux d'humidité (MR) en fonction du temps.

Tableau X : Analyse de variance pour le séchage à 200 Watts

Effet	Somme des carrés	Degré de liberté	La moyenne des carrés	F (observée)	p (prob)
Régression	1647,750	2,000	823,785	700,624	0,000*
résiduel	9,407	8,000	1,175	-	-
Total	1657,158	10,000	-	-	-
Total corrigé	697,855	9,000	-	-	-
R^2	0,993				
RMSE	0,969				

➤ Séchage à 300 Watts

Tableau XI : Analyse statistique des coefficients du modèle de Peleg (300 Watts).

Coefficients	Estimé	Écart-Type	CV%	p (prob)
K1	-3,749	0,349	9,309	0,000*
K2	-0,027	0,001	3,703	0,000*

Tableau XII : Analyse de variance pour le séchage à 300 Watts

Effet	Somme des carrés	Degré de liberté	La moyenne des carrés	F (observée)	p (prob)
Régression	1533,402	2,000	766,701	820,891	0,000*
résiduel	6,538	7,000	0,934	-	-
Total	1539,940	9,000	-	-	-
Total corrigé	715,485	8,000	-	-	-
R^2	0,995				
RMSE	0,852				

Ces résultats statistiques résumés à partir du modèle de Peleg dans le (**Tableau XI**), indiquent que les valeurs de p sont inférieures à 0.05 et que les coefficients de variation sont également inférieurs à 30%. Cela signifie, que la variation de l'humidité restante en fonction de temps est bien ajustée avec le modèle proposé par Peleg. D'autre part, le coefficient de corrélation ($R^2=0.995$) est proche de 1, la valeur faible de (RMSE = 0,852), ainsi que $p= 0.000$, confirme que ce modèle est convenable pour décrire le comportement du taux d'humidité en fonction du temps.

➤ Séchage à 400 Watts

Tableau XIII: Analyse statistique des coefficients du modèle de Peleg (400watts).

Coefficients	Estimé	Écart-Type	CV%	<i>p</i> (prob)
K1	-2,464	0,227	9,212	0,000*
K2	-0,022	0,001	4,545	0,000*

Tableau XIV: Analyse de variance pour le séchage à 400 Watts.

Effet	Somme des carrés	Degré de liberté	La moyenne des carrés	<i>F</i> (observée)	<i>p</i> (prob)
Régression	1104,631	2,000	552,315	969,093	0,000*
résiduel	1,710	3,000	0,569	-	-
Total	1106,340	5,000	-	-	-
Total corrigé	585,732	4,000	-	-	-
R^2	0,998				
<i>RMSE</i>	0,584				

L'analyse de variance confirme (**Tableau XIV**) que le modèle de Peleg est adéquat à décrire la variation du taux d'humidité au cours du séchage par micro-ondes à 400 Watts.

En effet, les modèles le plus utilisés dans la cinétique de séchage (Newton, Page, Page modifié Henderson et Pabis, Logarithmique..... etc.) (**Azzouz, Guizani et al. 2002; Doymaz, Gorel et al. 2004; Garcia-Perez, García-Alvarado et al. 2010; Kholmanskiy, Tilov et al. 2013; Tahmasebi, Yu et al. 2014; Sabarez 2015; Zarein, Samadi et al. 2015**) ont été testés bien qu'ils n'aient pas été validés par le traitement statistique. Par conséquent, ils ne sont pas adéquats à décrire la variation du taux d'humidité (*MR*) en fonction du temps dans le cas de la cinétique de séchage des arachides par micro-onde. Cela peut être expliqué par le fait que la matrice végétale a été réhydratée. En effet, des travaux réalisés sur la cinétique de réhydratation ont montré que le modèle de Peleg est le plus adéquat à décrire la variation du taux d'humidité absorbé en fonction du temps (**Dadali, Demirhan et al. 2008; Jideani and Mpotokwana 2009**).

II.1.3. Comparaison entre les cinétiques de séchage à différentes puissances

La figure 16 illustre la variation du taux d'humidité restant (M) en fonction du temps au cours de séchage à 200, 300 et 400 Watts, par micro-ondes. Les allures des trois courbes sont pratiquement hyperboliques. En effet, la perte d'eau est rapide au cours de séchage à 400 Watts comparé, à celles du séchage à 200 et 300 Watts. Cela confirme bien les résultats obtenus par Zarein et al dans leurs travaux effectués sur les pommes (Zarein, Samadi et al. 2015).

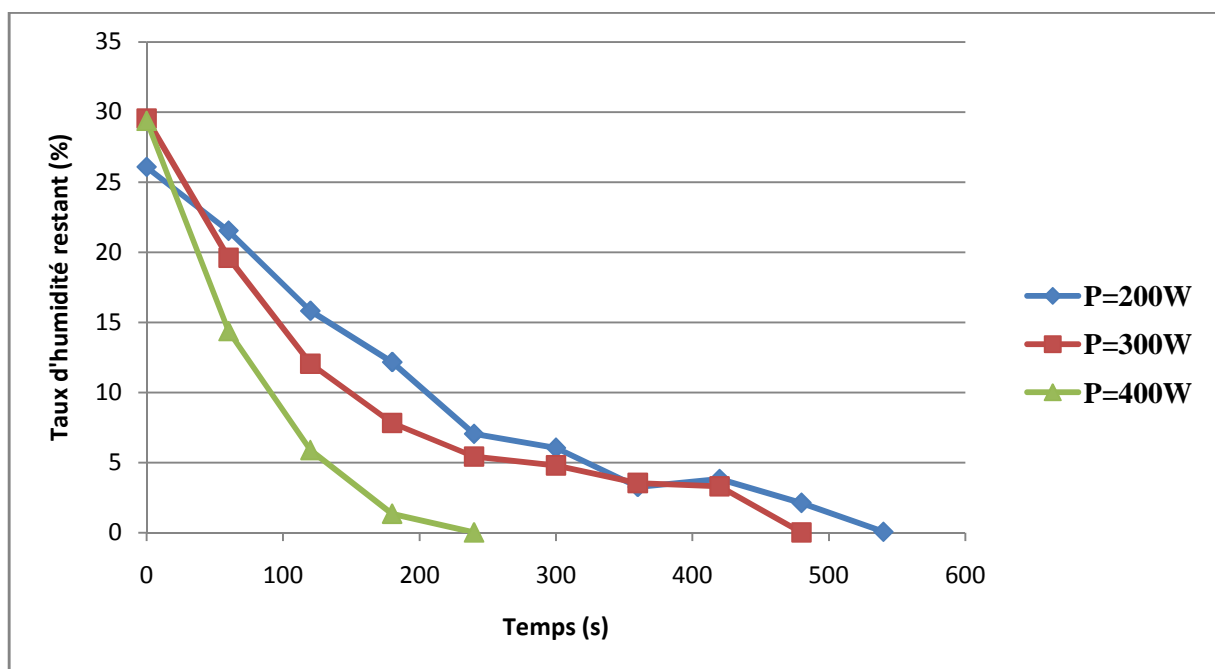


Figure 16 : Variation du taux d'humidité restant en fonction du temps au cours de séchage à différentes puissances.

En outre, la figure 17 montre que la dispersion géométrique des résidus pour toutes les puissances est proche des abscisses confirmant le passage des courbes des modèles à côté ou par la majorité des points. En d'autre terme, l'analyse des résidus confirme que le modèle de Peleg est adéquat pour modéliser la cinétique de séchage. Il est intéressant de signaler que, le meilleur ajustement du modèle a été obtenu pour la cinétique de séchage à 400 Watts.

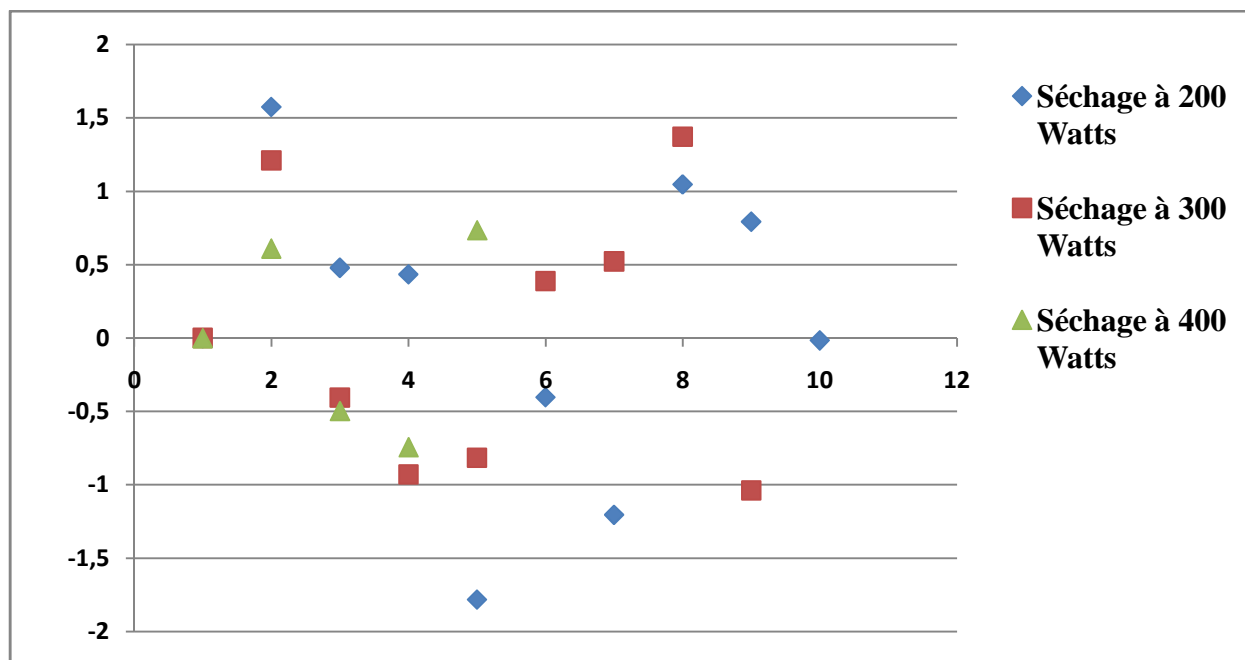


Figure 17 : Analyse des résidus

II.2. Dosage des polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux des extraits d'arachides séchés à différentes puissances par micro-ondes sont présentés dans la figure 18. En effet, l'extraction a été réalisée ainsi par micro-ondes en utilisant des solvants aqueux (50/50%) (v/v) présentant des constantes diélectriques ou de polarités variables (méthanol, éthanol, acétone). Car, les polyphénols sont des métabolites secondaires de polarités relativement variables (Naczk and Shahidi 2004; Naczk and Shahidi 2006).

Des travaux récents ont démontré que l'extraction des polyphénols par micro-onde est une méthode économique et rapide sans perdre leurs qualités biologiques, notamment antioxydantes (Dahmoune, Boulekbache et al. 2013; Nayak, Dahmoune et al. 2015).

L'analyse statistique (ANOVA) des résultats a montré que la puissance au cours de séchage et la nature du solvant utilisé pendant l'extraction influencent d'une manière hautement significative la teneur en polyphénols totaux ($p=0.0001$). Par contre, pour le séchage à 200 Watts et à 300 watts, l'extraction par micro-ondes a donné pratiquement la même teneur en polyphénols totaux pour les trois solvants. Cela se distingue par les valeurs obtenues pour les probabilités ($p=0.906$ et $p=0.152$), respectivement à 200 et à 300 watts. On outre, pour le

séchage à 400 watts le solvant a une influence hautement significative sur le rendement d'extraction. En effet, l'extraction effectuée avec le méthanol aqueux (50% (v/v)) a donné la plus faible teneur en polyphénols (2.377 ± 0.751 mg EAG/g matière sèche) (Annexe 2) bien que le méthanol soit le solvant le plus polaire par rapport à l'éthanol et l'acétone (Naczk and Shahidi 2004; Naczk and Shahidi 2006; Spigno, Tramelli et al. 2007). Cela ne peut être expliqué que par la polarité moyenne ou faible des polyphénols contenus dans l'arachide tel que ; la biochanine et l'acide férulique ayant un groupement méthyle (CH_3) (Tableau VII) (Phan-Thien, Wright et al. 2014).

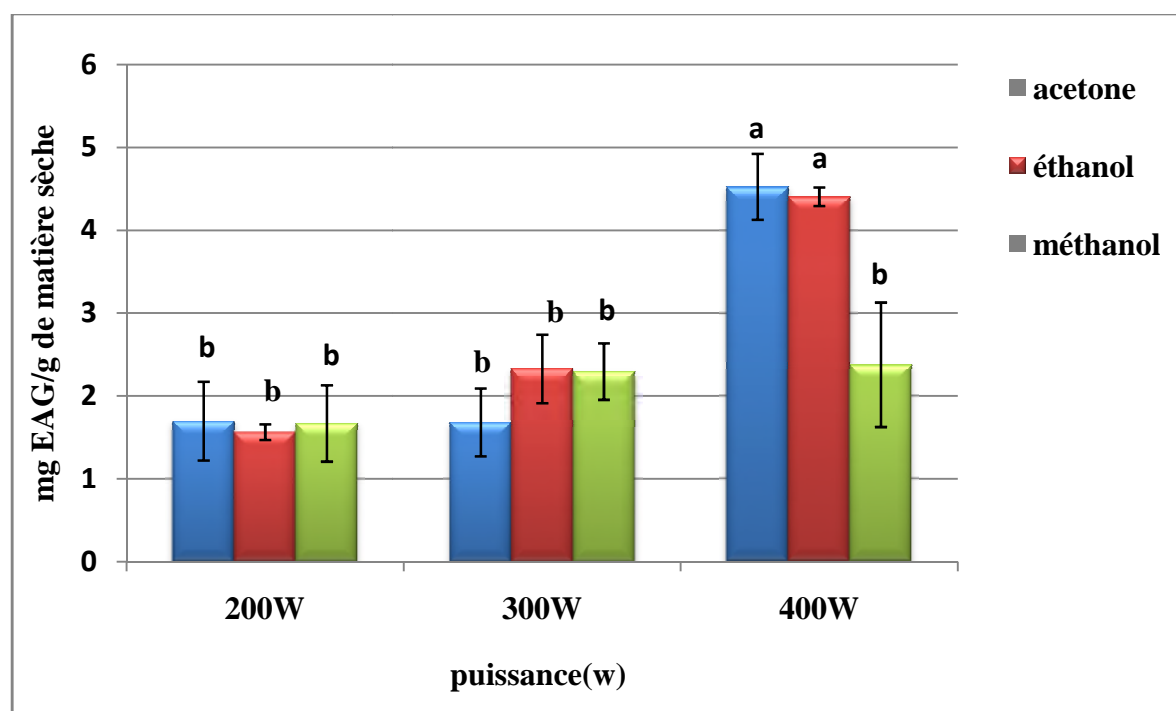


Figure 18: Polyphénols totaux (PT) des extraits d'arachide séchés à différentes puissances, par micro-ondes les niveaux attribués par la même lettre présentant une différence non significative au risque d'erreur de 5% (Test de Tuckey-Kramer).

II.3. Activité anti-radicalaire

La figure suivante montre l'activité antiradicalaire au DPPH' des extraits d'arachides séchés à différentes puissances par micro-ondes. L'analyse statistique (ANOVA) des résultats a montré

que la puissance au cours de séchage et la nature du solvant utilisé pendant l'extraction influencent d'une manière significative la teneur en polyphénols totaux ($p < 0.012$).

En effet, l'extrait obtenu par le séchage à 200 Watts et l'extraction à l'acétone aqueux ont donné le pourcentage d'inhibition le plus important (14.037 ± 1.700 %) (Annexe 2). Par conséquent, on peut déduire que les conditions de séchage par micro-ondes, influencent significativement l'activité antioxydante des extraits d'arachides. En effet, des travaux réalisés dans ce sens ont confirmé cette hypothèse (Garcia-Perez, García-Alvarado et al. 2010).

On outre, le Test de Tuckey-Kramer pour le séchage à 300 et 400 Watts a montré que la différence est non significative pour l'activité antioxydante, bien qu'il y ait une différence significative concernant la teneur en polyphénols totaux. Cela peut être expliqué d'une part, par la différence de la nature des molécules extraites par les deux solvants. D'une autre part, il peut y avoir une relation avec le caractère amphotère des alcools ; l'éthanol et le méthanol qui peuvent agir comme des antioxydants car ils sont des solvants protéiques contrairement à l'acétone. D'ailleurs, des études récentes ont montré que l'activité antiradicalaire contre le DPPH^o est meilleure en présences des solvants protéiques tels que, le méthanol, l'éthanol, l'acétonitrille, l'éthyle acétate...etc (Spigno, Tramelli et al. 2007; Villaño, Fernández-Pachón et al. 2007; Rufino, Fernandes et al. 2009).

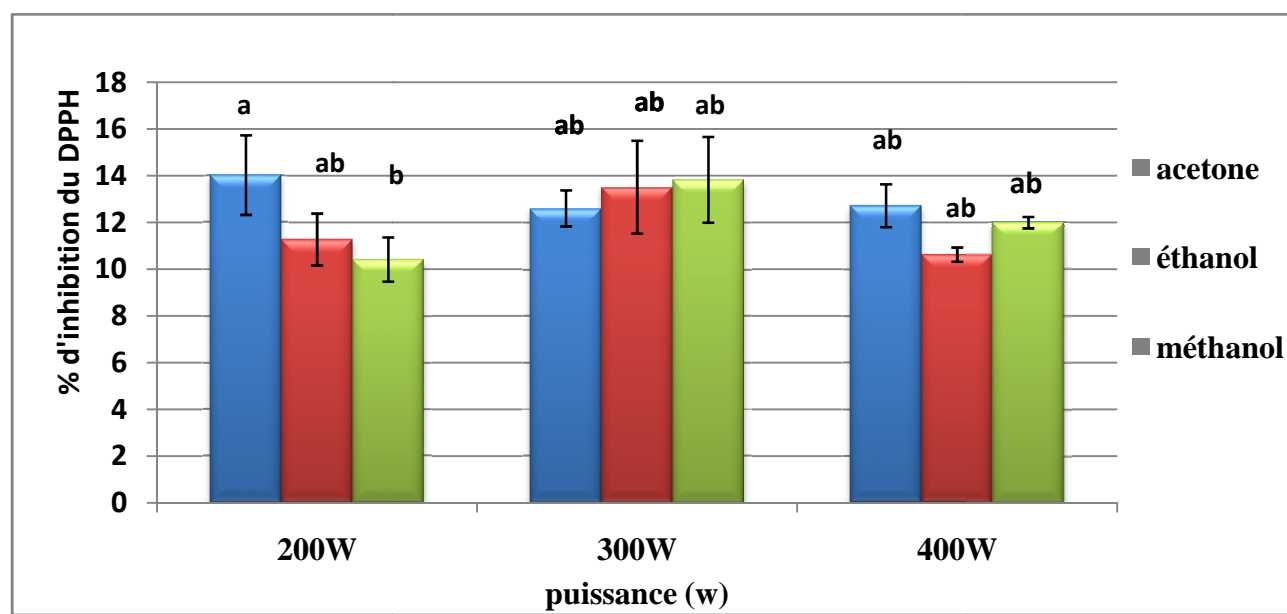


Figure19: Activité antiradicalaire au DPPH^o des extraits d'arachides obtenus au cours de séchage à différentes puissances par micro-onde ; Les niveaux attribués par la même lettre présentant une différence non significative au risque d'erreur de 5 % (Test de Tuckey-Kramer).

Le séchage par micro-ondes est une technique économique et rapide par rapport au séchage conventionnel (à l'air libre).

Le présent travail a été réalisé sur l'influence du séchage par micro-ondes sur les polyphénols totaux (PT) des graines d'arachide. Pour cela, l'objectif est de déterminer le modèle mathématique qui décrit la variation du taux d'humidité en fonction du temps, sans perdre la valeur biologique telle que la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante.

En effet, la cinétique a été réalisée à différentes puissances (200, 300 et 400 Watts). Après la détermination du temps pour lequel le taux d'humidité reste constant, une extraction par micro-ondes a été réalisée pendant 3 minutes à 200 watts en utilisant des solvants ayant des polarités différentes (méthanol, éthanol, acétone). Puis, le dosage de la teneur en polyphénols totaux (PT) et l'évaluation de l'activité anti radicalaire (DPPH) ont été effectués.

Les résultats ont montré que pour des puissances élevées, l'équilibre de la cinétique a été atteint rapidement, confirmé par le teste de Tukey. D'ailleurs, pour 400watts, l'équilibre a été de 4 minutes contre 9 minutes pour 200 watts.

Les modèles décrits dans la littérature ne sont pas adéquats à décrire la variation du taux d'humidité (*MR*) des graines d'arachides en fonction du temps. Par contre, le modèle de Peleg a été validé après l'analyse statistique des coefficients du modèle (*K1* et *K2*), l'analyse de la variance de la régression, détermination du coefficient de corrélation *RMSE* (Root Mean Square Error) et l'analyse des résidus. En effet, le modèle a été très adéquat concernant la cinétique de séchage à 400 watts ($p < 0.05$, $R^2 = 0.998$ et $RMSE = 0.584$).

D'autre part, les résultats ont montré que la puissance de séchage et la nature des solvants utilisés pendant l'extraction influencent d'une manière significative sur la teneur en polyphénols totaux ($p = 0.012$). En effet, l'extrait obtenu par le séchage à 300 Watts et l'extraction à l'acétone aqueux a donné le pourcentage d'inhibition le plus important (14.037 ± 1.700 %). On outre, l'absence de corrélation entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité antiradicalaire ne peut être expliquée probablement que par le caractère amphotère des alcools ou par la stéréochimie des polyphénols (l'aspect qualitatif).

En perspectives, ce travail peut être accompli par :

- L'étude de la cinétique de séchage de la matière fraîche d'arachides afin de vérifier les différents modèles décrits par la littérature.
- L'optimisation de la cinétique de séchage par les plans d'expériences afin d'avoir une meilleure teneur en polyphénols et activité antioxydante.
- L'investigation d'autres mécanismes antioxydants tel que le pouvoir réducteur et le pouvoir chélateur des métaux.
- L'optimisation de l'extraction par micro-ondes ainsi par les plans d'expériences (Méthode Surface de Réponse).
- La détermination du profil en polyphénols par HPLC afin d'établir la relation entre la stéréochimie des polyphénols et les différents mécanismes antioxydants.

A

- Alper, C. M., Mattes, R.D., .. J. *Obes. Relat. Metab. Disord.* 26, (2002.). "Effects of chronic peanut consumption on energy balance and hedonics." *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 26: 1129–1137.
- Awad, A. B., Chan, K.C., Downie, A.C., Fink, C.S. (2000.). "Peanuts as a source of β -sitosterol, a sterol with anticancer properties." *Nutr. Cancer* 36 238–241.
- Azzouz, S., A. Guizani, et al. (2002). "Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes." *Journal of Food Engineering* 55(4): 323-330.

B

- Bantle, M., T. Käfer, et al. (2013). "Model and process simulation of microwave assisted convective drying of clipfish." *Applied Thermal Engineering* 59(1–2): 675-682.
- Başlar, M., M. Kılıçlı, et al. (2014). "Ultrasonic vacuum drying technique as a novel process for shortening the drying period for beef and chicken meats." *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 26(0): 182-190.
- Basman, A. and S. Yalcin (2011). "Quick-boiling noodle production by using infrared drying." *Journal of Food Engineering* 106(3): 245-252.
- Bozin, B., N. Mimica-Dukic, et al. (2008). "Phenolics as antioxidants in garlic (*Allium sativum* L., Alliaceae)." *Food Chemistry* 111(4): 925-929.
- Bucić-Kojić, A., M. Planinić, et al. (2007). "Study of solid–liquid extraction kinetics of total polyphenols from grape seeds." *Journal of Food Engineering* 81(1): 236-242.

C

- Chandrasekaran, S., S. Ramanathan, et al. (2013). "Microwave food processing—A review." *Food Research International* 52(1): 243-261.
- Chang, A. S., A. Sreedharan, et al. (2013). "Peanut and peanut products: A food safety perspective." *Food Control* 32(1): 296-303.
- Chkir, I., M. A. Balti, et al. (2015). "Effects of air drying properties on drying kinetics and stability of cactus/brewer's grains mixture fermented with lactic acid bacteria." *Food and Bioproducts Processing* 94(0): 10-19.

Chukwumah, Y., L. Walker, et al. (2012). "Profiling of bioactive compounds in cultivars of Runner and Valencia peanut market-types using liquid chromatography/APCI mass spectrometry." Food Chemistry 132(1): 525-531.



Dahmoune, F., L. Boulekbache, et al. (2013). "Valorization of Citrus limon residues for the recovery of antioxidants: Evaluation and optimization of microwave and ultrasound application to solvent extraction." Industrial Crops & Products 50(Complete): 77-87.

Doymaz, I., O. Gorel, et al. (2004). "Drying Characteristics of the Solid By-product of Olive Oil Extraction." Biosystems Engineering 88(2): 213-219.

Driscoll, W. C. (1996). "Robustness of the ANOVA and Tukey-Kramer statistical tests." Computers & Industrial Engineering 31(1-2): 265-268.

Du, G., M. Li, et al. (2009). "Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and Vitamin C in Actinidia fruits." Food Chemistry 113(2): 557-562.

Duh, P. D., Yeh, D. B. & Yen, G. C. J. Am. Oil Chem. Soc. (1992). "Extraction and identification of an antioxidative component from peanut hulls." 69: 81418.



Ertekin, C. and O. Yaldiz (2004). "Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model." Journal of Food Engineering 63(3): 349-359.

Esfahani, J. A., S. M. Vahidhosseini, et al. (2015). "Three-dimensional analytical solution for transport problem during convection drying using Green's function method (GFM)." Applied Thermal Engineering 85(0): 264-277.



Farid Dahmoune, B. N., Kamal Moussi, Hocine Remini, Khodir Madani. (2015). "Optimization of microwave-assisted extraction of polyphenols from Myrtus communis L. leaves." Food Chemistry 166: 585-595.

Fasina, O. O. (2008). "Physical properties of peanut hull pellets." Bioresour Technol 99(5): 1259-1266.

FAYE, M. I. (Mai 2010). "Contrôle génétique de la dormance des graines fraîches chez des variétés d'arachide (Arachis hypogaea L.) de type Spanish et recherche de marqueurs microsatellites liés au caractère." Génétique et Amélioration des Plantes.

Feldman, E. B. (1999). "Assorted monounsaturated fatty acids promote healthy hearts." Am. J. Clin. Nutr. 70: 953–954.

Figiel, A., A. Szumny, et al. (2010). "Composition of oregano essential oil (*Origanum vulgare*) as affected by drying method." Journal of Food Engineering 98(2): 240-247.

Francisco, M. L. d. and A. V. A. Resurreccion (2012). "Antioxidant capacity and sensory profiles of peanut skin infusions." LWT - Food Science and Technology 47(1): 189-198.



Gallo, M., R. Ferracane, et al. (2010). "Microwave Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Four Different Spices." Molecules 15(9): 6365.

Garcia-Perez, J. V., M. A. García-Alvarado, et al. (2010). "Extraction kinetics modeling of antioxidants from grape stalk (*Vitis vinifera* var. Bobal): Influence of drying conditions." Journal of Food Engineering 101(1): 49-58.



Higgs, J. (2003.). "The beneficial role of peanuts in the diet–part 2." Nutr. Food Sci. 33: 56–64.

Hwang, J.-Y., Y.-S. Shyu, et al. (2010). "Antioxidative properties of protein hydrolysate from defatted peanut kernels treated with esperase." LWT - Food Science and Technology 43(2): 285-290.



I. Gulçin, S. I. G., S. Beydemir, M. Elmastas and O.I. Kufrevioglu (2004). "Comparaison of antioxidant activity of clove (*Eugenia caryophyllata* Thunb) buds and lavender (*Lavandula stoechas* L.)." Food Chemistry 87: 393-400.

Ibern-Gómez, M., Roig-Pérez, S., Lamuela-Raventós, R. M., & de la Torre-Boronat, M. (2000). "Resveratrol and piceid levels in natural and blended peanut butters." Journal of Agricultural and Food Chemistry 48: 6352–6354.



JACQUOT, J. A. e. R. (Décembre 1968). Valeur alimentaire de l'arachide et de ses dérivés

Jiokap Nono, Y., M. Reynes, et al. (2002). "Mise au point d'un procédé combiné de déshydratation imprégnation par immersion et séchage de bananes (*Musa acuminata* groupe Cavendish)." Journal of Food Engineering 55(3): 231-236.

K

Kamble, L. V., D. R. Pangavhane, et al. (2015). "Neural network optimization by comparing the performances of the training functions -Prediction of heat transfer from horizontal tube immersed in gas–solid fluidized bed." International Journal of Heat and Mass Transfer 83(0): 337-344.

Kavak Akpınar, E., Y. Bicer, et al. (2006). "Modelling of thin layer drying of parsley leaves in a convective dryer and under open sun." Journal of Food Engineering 75(3): 308-315.

Kaya, C., C. Hamamci, et al. (2009). "Methyl ester of peanut (*Arachis hypogea* L.) seed oil as a potential feedstock for biodiesel production." Renewable Energy 34(5): 1257-1260.

Kholmanskiy, A. S., A. Z. Tilov, et al. (2013). "Drying kinetics of plant products: Dependence on chemical composition." Journal of Food Engineering 117(3): 378-382.

L

Lahsasni, S., M. Kouhila, et al. (2004). "Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*)." Journal of Food Engineering 61(2): 173-179.

Le, T. Q. and W. Jittanit (2015). "Optimization of operating process parameters for instant brown rice production with microwave-followed by convective hot air drying." Journal of Stored Products Research 61(0): 1-8.

Lombraña, J. I., R. Rodríguez, et al. (2010). "Microwave-drying of sliced mushroom. Analysis of temperature control and pressure." Innovative Food Science & Emerging Technologies 11(4): 652-660.

Lou, H., Yuan, H., Ma, B., Ren, D., Ji, M., & Oka, S. (2004). "Polyphenols from peanut skins and their free radical-scavenging effects." Phytochemistry 65: 2391–2399.

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

M

M.DUBOST, V. B., SCARPELLINI L. (2004.). "Manuel de nutrition clinique." Ordre Professionnel des Diététistes du Québec.

Manach, C., Scalber, A., Morand, C., Remesy, C., & Jimenez, L. (). (2004). "Polyphenols: Food sources and bioavailability." American Journal of Clinical Nutrition. 79: 727–747.

Maskan, M. (2001). "Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying." Journal of Food Engineering 48(2): 177-182.

Mattila, P., & Hellström, J. (2007). "Phenolic acids in potatoes, vegetables, and some of their products." Journal of Food Composition and Analysis 20: 152–160.

Mohd Rozalli, N. H., N. L. Chin, et al. (2015). "Grinding characteristics of Asian originated peanuts (*Arachis hypogaea* L.) and specific energy consumption during ultra-high speed grinding for natural peanut butter production." Journal of Food Engineering 152(0): 1-7.

Mohd Rozalli, N. H., N. L. Chin, et al. (2015). "Grinding characteristics of Asian originated peanuts (*Arachis hypogaea* L.) and specific energy consumption during ultra-high speed grinding for natural peanut butter production." Journal of Food Engineering 152: 1-7.

Moss, J. R. and L. Otten (1989). "A Relationship Between Colour Development and Moisture Content During Roasting of Peanuts." Canadian Institute of Food Science and Technology Journal 22(1): 34-39.

Muñoz, V., F. Ibañez, et al. (2011). "Phenotypic and phylogenetic characterization of native peanut *Bradyrhizobium* isolates obtained from Córdoba, Argentina." Systematic and Applied Microbiology 34(6): 446-452.

W

Naczka, M. and F. Shahidi (2004). "Extraction and analysis of phenolics in food." Journal of Chromatography A 1054(1–2): 95-111.

Naczka, M. and F. Shahidi (2006). "Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis." Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis 41(5): 1523-1542.

Nawirska, A., A. Figiel, et al. (2009). "Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods." Journal of Food Engineering 94(1): 14-20.

Nayak, B., F. Dahmoune, et al. (2015). "Comparison of microwave, ultrasound and accelerated-assisted solvent extraction for recovery of polyphenols from *Citrus sinensis* peels." Food Chemistry 187(0): 507-516.

Niamnuy, C., M. Nachaisin, et al. (2012). "Kinetic modelling of drying and conversion/degradation of isoflavones during infrared drying of soybean." Food Chemistry 133(3): 946-952.

Nieto Calvache, J. E., E. N. Fissore, et al. (2015). "Obtention of dietary fibre enriched fractions from peach bagasse using ethanol pre-treatment and microwave drying." LWT - Food Science and Technology 62(2): 1169-1176.

Nowacka, M., A. Wiktor, et al. (2012). "Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties." Journal of Food Engineering 113(3): 427-433.

P

Pathare, P. B. and G. P. Sharma (2006). "Effective Moisture Diffusivity of Onion Slices undergoing Infrared Convective Drying." Biosystems Engineering 93(3): 285-291.

Patricia Garcia-Salas, A. M.-S., Antonio Segura-Carretero and and A. Fernández-Gutiérrez (2010). "Phenolic-Compound-Extraction Systems for Fruit and Vegetable Samples." Molecules: 8815-8826.

Peanut-Institute. (2002). "Antioxidants from Food Sources, Like Peanuts and Peanut Butter, May Protect Against Alzheimer Disease." Press Release, Peanut-Institute 26.

Pérez-Serradilla, J. A. and M. D. Luque de Castro (2011). "Microwave-assisted extraction of phenolic compounds from wine lees and spray-drying of the extract." Food Chemistry 124(4): 1652-1659.

Phan-Thien, K.-Y., G. C. Wright, et al. (2014). "Peanut antioxidants: Part 2. Quantitation of free and matrix-bound phytochemicals in five selected genotypes with diverse antioxidant capacity by high performance liquid chromatography (HPLC)." LWT - Food Science and Technology 57(1): 312-319.

Poernomo A., G. Y. N., Fawzya, Ariyani F (1992). "Salting and drying of Mackerel (Rastrelliger kanagurta)." ASEAN Food Journal 7(3): 141-146.

R

Raïssah, S. (Juin 2010). contribution a l'amélioration de la comestibilité de l'huile d'arachide artisanale par raffinage, université d'antananarivo.

Ranjbaran, M. and D. Zare (2013). "Simulation of energetic- and exergetic performance of microwave-assisted fluidized bed drying of soybeans." Energy 59(0): 484-493.

REVOREDO, C. L., AND S. FLETCHER. (2002.). "World peanut market: an overview of the past 30 years." 1-24.

Rufino, M. S. M., F. A. N. Fernandes, et al. (2009). "Free radical-scavenging behaviour of some north-east Brazilian fruits in a DPPH system." Food Chemistry 114(2): 693-695.

S

S.L. Dwivedi, D. J. B., J.H.Crouch,J.F.Valls,H.D.Upadhyaya,A.Fávero,M.Moretzsohn, and A.H. Paterson (2007). "Oilseeds " Genome Mapping andMolecular Breeding in Plants, 2.

Sabarez, H. T. (2015). 4 - Modelling of drying processes for food materials. Modeling Food Processing Operations. S. B. K. J. Fryer, Woodhead Publishing: 95-127.

Sallam, Y. I., M. H. Aly, et al. (2015). "Solar drying of whole mint plant under natural and forced convection." Journal of Advanced Research 6(2): 171-178.

Sara, Z. (2009). Influence des techniques de séchage sur la solubilité des protéines de la levure "Saccharomyces cerevisiae" produite dans un milieu à base de datte, Université El Hadj Lakhdar.

Scaman, C. H., T. D. Durance, et al. (2014). Chapter 23 - Combined Microwave Vacuum Drying. Emerging Technologies for Food Processing (Second Edition). D.-W. Sun. San Diego, Academic Press: 427-445.

Sharma, G. P. and S. Prasad (2004). "Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying." Journal of Food Engineering 65(4): 609-617.

Singleton, V. L., R. Orthofer, et al. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. Methods in Enzymology. P. Lester, Academic Press. Volume 299: 152-178.

Sofiane, Z. (2009). Valorisation des pelures de tomates séchées en vue de leur incorporation dans la margarine. Département de Technologie Alimentaire, Option : Technologie Alimentaire université m'Hamed bougara-boumerdes.

Spigno, G. and D. M. De Faveri (2009). "Microwave-assisted extraction of tea phenols: A phenomenological study." Journal of Food Engineering 93(2): 210-217.

Spigno, G., L. Tramelli, et al. (2007). "Effects of extraction time, temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc phenolics." Journal of Food Engineering 81(1): 200-208.

T

Tahmasebi, A., J. Yu, et al. (2014). "A kinetic study of microwave and fluidized-bed drying of a Chinese lignite." Chemical Engineering Research and Design 92(1): 54-65.

THIAW, C. (octobre 2008). bioactivité des extraits de calotropis procera ait. et de senna occidentalis l. sur caryedon serratus (ol.), ravageur des stocks et semences d'arachide au senegal, université cheikh anta diop de dakar.

Thirumala-Devi., D. V. R. R. a. K. (2003). "Peanuts
" Virus and Virus-like Diseases of Major Crops in Developing Countries 397-423.

Tillman, B. L. and H. T. Stalker (2009). "Peanut." Oil Crops, Handbook of Plant Breeding 4: 287-315.

Trabelsi, S., A. M. Paz, et al. (2013). "Microwave dielectric method for the rapid, non-destructive determination of bulk density and moisture content of peanut hull pellets." Biosystems Engineering 115(3): 332-338.

V

Van Ha, H., Pokorny, J., Sakurai, H. (2007). "Peanut seed coat antioxidants." J. Food Lipids 14: 298–314.

Villaño, D., M. S. Fernández-Pachón, et al. (2007). "Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical." Talanta 71(1): 230-235.

W

Wang, H.-c., M. Zhang, et al. (2015). "Drying of shiitake mushroom by combining freeze-drying and mid-infrared radiation." Food and Bioprocess Technology 94(0): 507-517.

Warning, A. D., J. M. R. Arquiza, et al. (2015). "A multiphase porous medium transport model with distributed sublimation front to simulate vacuum freeze drying." Food and Bioprocess Technology 94(0): 637-648.

Wu, M., Q. Guo, et al. (2013). "Preparation and characteristics of medicinal activated carbon powders by CO₂ activation of peanut shells." Powder Technology 247: 188-196.

Y

Yilmaz, I., Arici, M. et Gumus, T (2005). "Changes of microbiological quality in meatballs after heat treatment." 221(3-4): 281-283.

Yong C. K., I. M. R., Mujumdar A.S (2006). "Mechanical Means of Enhancing Drying Rates: Effect on Drying Kinetics and Quality." 24(0): 397-404.

Yoshida, H., Y. Hirakawa, et al. (2005). "Fatty acid distributions of triacylglycerols and phospholipids in peanut seeds (*Arachis hypogaea* L.) following microwave treatment." Journal of Food Composition and Analysis 18(1): 3-14.

Yu, J., M. Ahmedna, et al. (2007). "Peanut protein concentrate: Production and functional properties as affected by processing." Food Chemistry 103(1): 121-129.

Yu, J., Ahmedna, M., & Goktepe, I. (2005). "Effects of processing methods and extraction solvents on concentration and antioxidant activity of peanut skin phenolics." Food Chemistry 90: 199–206.

Yu, J., Ahmedna, M., Goktepe, I., & Dai, J. (2006). "Peanut skin procyanidins: Composition and antioxidant activities as affected by processing. ." Journal of Food Composition and Analysis 19: 364–371.

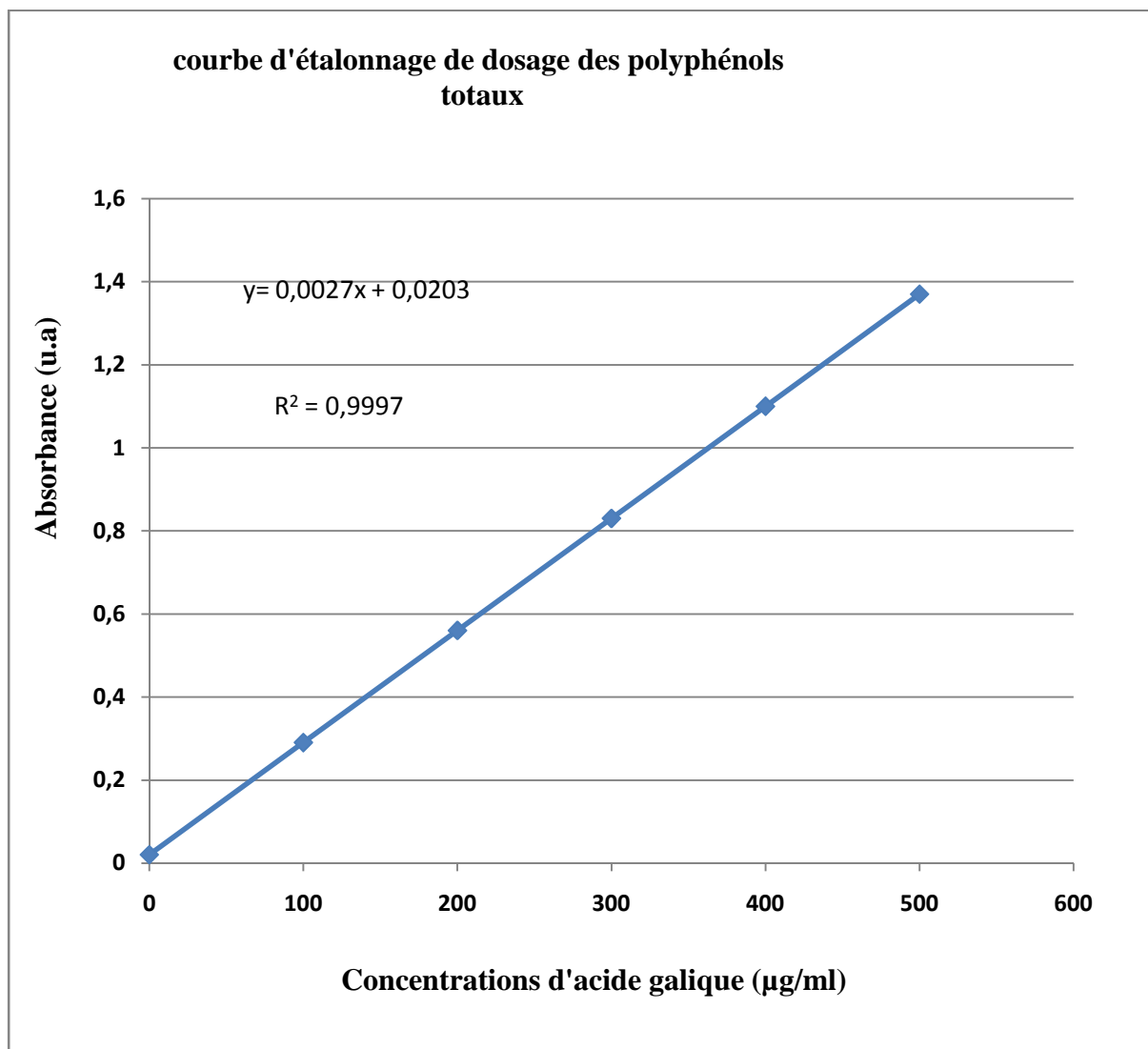
Z

Zarein, M., S. H. Samadi, et al. (2015). "Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices." Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 14(1): 41-47.

Zhu, F. and G. Hummer (2012). "Drying Transition in the Hydrophobic Gate of the GLIC Channel Blocks Ion Conduction." Biophysical Journal 103(2): 219-227.

Zhu, J.-F., J.-Z. Liu, et al. (2015). "Thin-layer drying characteristics and modeling of Ximeng lignite under microwave irradiation." Fuel Processing Technology 130(0): 62-70.

Annexe 1 : Courbe d'étalonnage des polyphénols totaux



Annexe 2 : Dosages composés phénolique et activité anti-oxydante

➤ Séchage micro-onde 200W extraction micro-onde

➤ polyphénols totaux

P=200W	Extrait de l'acétone	Extrait de l'éthanol	Extrait de Méthanol
ABS 760 nm	0,16733333	0,131	0,10966667
	0,134	0,128	0,121
	0,10333333	0,11866667	0,16833333
Moyenne	0,13488889	0,12588889	0,133
Ecart-type	0,03200926	0,00643198	0,03111984
Concentration (mg)	54,4567901	41	33,0987654
	42,11111111	39,8888889	37,2962963
	30,7530864	36,4320988	54,8271605
Moyenne	42,4403292	39,1069959	41,7407407
Ecart-type	11,8552807	2,38221492	11,5258667
Concentration (mg EAG/g ms)	2,1782716	1,64	1,32395062
	1,68444444	1,59555556	1,49185185
	1,23012346	1,45728395	2,19308642
Moyenne	1,69761317	1,56427984	1,66962963
Ecart-type	0,47421123	0,0952886	0,46103467

➤ DPPH

P=200W	Extrait de l'acétone	Extrait de l'éthanol	Extrait de méthanol
ABS 760 nm	0,522	0,525	0,544
	0,504	0,534	0,534
	0,52133333	0,538	0,53433333
Moyenne	0,51577778	0,53233333	0,53744444
Ecart-type	0,0102053	0,00665833	0,00567972
Concentration (mg)	185,814815	186,925926	193,962963
	179,148148	190,259259	190,259259
	185,567901	191,740741	190,382716
Moyenne	183,510288	189,641975	191,534979
Ecart-type	3,77974074	2,46604745	2,1036013
Concentration (mg EAG/g ms)	7,43259259	7,47703704	7,75851852
	7,16592593	7,61037037	7,61037037
	7,42271605	7,66962963	7,61530864
Moyenne	7,34041152	7,58567901	7,66139918
Ecart-type	0,15118963	0,0986419	0,08414405
% anti-oxydante	13	12,5	9,33333333
	16	11	11
	13,11111111	10,33333333	10,94444444
moyenne	14,037037	11,2777778	10,4259259
Ecart-type	1,70088333	1,10972135	0,94662059

➤ Séchage micro-onde 300W extraction micro-onde

➤ polyphénols totaux

P=300W	Extrait de l'acétone	Extrait de l'éthanol	Extrait de méthanol
ABS 760 nm	0,135	0,18266667	0,14866667
	0,10566667	0,20233333	0,188
	0,161	0,14733333	0,189
Moyenne	0,13388889	0,17744444	0,17522222
Ecart-type	0,0276834	0,0278694	0,02300322
Concentration (mg)	42,4814815	60,1358025	47,5432099
	31,617284	67,4197531	62,1111111
	52,1111111	47,0493827	62,4814815
Moyenne	42,0699588	58,2016461	57,3786008
Ecart-type	10,2531093	10,3220016	8,51971125
Concentration (mg EAG/g ms)	1,69925926	2,4054321	1,9017284
	1,26469136	2,69679012	2,48444444
	2,08444444	1,88197531	2,49925926
Moyenne	1,68279835	2,32806584	2,29514403
Ecart-type	0,41012437	0,41288007	0,34078845

➤ DPPH

P=300W	Extrait de l'acétone	Extrait de l'éthanol	Extrait de méthanol
ABS 760 nm	0,519	0,52366667	0,50433333
	0,52733333	0,52766667	0,52433333
	0,52666667	0,50533333	0,52233333
Moyenne	0,52433333	0,51888889	0,517
Ecart-type	0,00463081	0,0119086	0,01101514
Concentration (mg)	184,703704	186,432099	179,271605
	187,790123	187,91358	186,679012
	187,54321	179,641975	185,938272
Moyenne	186,679012	184,662551	183,962963
Ecart-type	1,71511654	4,41059354	4,07968189
Concentration (mg EAG/g ms)	7,38814815	7,45728395	7,1708642
	7,51160494	7,51654321	7,46716049
	7,5017284	7,18567901	7,43753086
Moyenne	7,46716049	7,38650206	7,35851852
Ecart-type	0,06860466	0,17642374	0,16318728
% anti-oxydante	13,5	12,7222222	15,9444444
	12,1111111	12,0555556	12,6111111
	12,2222222	15,7777778	12,9444444
moyenne	12,6111111	13,5185185	13,8333333
Ecart-type	0,77180244	1,98476709	1,83585685

➤ Séchage micro-onde 400W extraction micro-onde

➤ polyphénols totaux

P=400W	Extrait de l'acétone	Extrait de l'éthanol	Extrait de méthanol
ABS 760 nm	0,32	0,31266667	0,236
	0,30233333	0,314	0,13633333
	0,355	0,32633333	0,17
Moyenne	0,32577778	0,31766667	0,18077778
Ecart-type	0,0268045	0,0075351	0,05069992
Concentration (mg)	111	108,283951	79,8888889
	104,45679	108,777778	42,9753086
	123,962963	113,345679	55,4444444
Moyenne	113,139918	110,135802	59,436214
Ecart-type	9,9275944	2,7907789	18,7777467
Concentration (mg EAG/g ms)	4,44	4,33135802	3,19555556
	4,1782716	4,35111111	1,71901235
	4,95851852	4,53382716	2,21777778
Moyenne	4,52559671	4,4054321	2,37744856
Ecart-type	0,39710378	0,11163116	0,75110987

➤ DPPH

P=400W	Extrait de l'acétone	Extrait de l'éthanol	Extrait de méthanol
ABS 760 nm	0,52633333	0,53433333	0,52966667
	0,51733333	0,53633333	0,52733333
	0,52733333	0,538	0,527
Moyenne	0,52366667	0,53622222	0,528
Ecart-type	0,00550757	0,00183586	0,00145297
Concentration (mg)	187,419753	190,382716	188,654321
	184,08642	191,123457	187,790123
	187,790123	191,740741	187,666667
Moyenne	186,432099	191,082305	188,037037
Ecart-type	2,03984094	0,67994698	0,53813567
Concentration (mg EAG/g ms)	7,49679012	7,61530864	7,54617284
	7,36345679	7,64493827	7,51160494
	7,51160494	7,66962963	7,50666667
Moyenne	7,45728395	7,64329218	7,52148148
Ecart-type	0,08159364	0,02719788	0,02152543
% anti-oxydante	12,2777778	10,9444444	11,7222222
	13,7777778	10,6111111	12,1111111
	12,1111111	10,3333333	12,1666667
moyenne	12,7222222	10,6296296	12
Ecart-type	0,91792842	0,30597614	0,24216105

Résumé

Ce travail a pour objectif d'étudier l'influence de la cinétique de séchage par micro-onde sur la valeur biologique des graines d'arachides réhydratées (la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante), en déterminant le modèle adéquat décrivant la variation du taux d'humidité (*MR*) en fonction du temps. Le séchage a été effectué à différentes puissances (200, 300 et 400 watts). Le modèle de Peleg a été trouvé le plus adéquat à décrire la cinétique à différentes puissances. En effet, l'ajustement de Peleg est meilleur concernant la cinétique de séchage à 400 watts ($p < 0.05$, $R^2 = 0.998$ et $RMSE = 0.584$). D'autre part, la puissance de séchage et la nature des solvants utilisés pendant l'extraction influencent d'une manière significative sur la teneur en polyphénols totaux ($p = 0.012$). En effet, l'extrait obtenu par le séchage à 300 Watts et l'extraction à l'acétone aqueux a donné le pourcentage d'inhibition le plus important (14.037 ± 1.700 %).

Mots clés

Arachides, cinétique de séchage, micro-onde, polyphénols, activité antioxydante.

Abstract

This present work is aiming to study the influence of drying kinetic using microwave power on biological properties of rehydrated peanut seeds (Total phenolic compounds and antioxidant activity), and to determine the model fitting the variation of the humidity rate (*MR*) in function of time. The drying experiment was carried out at 200, 300 and 400 watts. The Peleg model was found to be the best to describe the drying kinetic at different powers. However, it was better at 400 watts comparing to others ($p < 0.05$, $R^2 = 0.998$ and $RMSE = 0.584$). On the other hand, the microwave drying power and polar solvent used within extraction influence significantly on the polyphenol yield ($p = 0.012$). In fact, the best antioxidant activity (14.037 ± 1.700 %) was obtained for the aqueous acetonetic extract and the drying power of 300 watts.

Keywords

Peanut, drying kinetic, microwave, polyphenols, antioxidant activity.