

Faculté des Sciences et de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences Alimentaires  
Filière : Biotechnologie, Agro-ressources, Aliment Nutrition  
Option : Sciences des Aliments



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle  
En vue de l'obtention du diplôme

## **MASTER**

### ***Thème***

**Etude comparative du séchage par  
microonde et à l'étuve de la cosse de  
petit pois**

Présenté par :

**AYAD Mouloud & BOUHAROUN Naouel**

Soutenu le : **10 Juin 2015**

Devant le jury composé de :

Mme : TOUATI.N

Mr : MOUSSI.K

Mme : GUENDOUZE-Bouchefa.N

Mme : HADJOUT.L

MAA

MAA

MAA

Doctorante

Présidente

Encadreur

Examinatrice

Invité

**Année universitaire : 2014 / 2015**

# *Remerciements*

*En premier lieu nous remercions le Bon Dieu pour  
Sa Bienveillance.*

*Nos remerciements vont à notre promoteur Mr MADANI K, et notre  
Co-promotrice M<sup>me</sup> HADJOUT L pour leurs précieuses aides, leurs  
orientations et le temps qu'ils nous ont accordé pour notre encadrement;  
Mr MOUSSI K pour son aide.*

*Nos remerciements les plus sincères s'adressent également à M<sup>elle</sup>  
TOUATI N d'avoir accepté de présider le jury, ainsi que M<sup>me</sup>  
GANDOUCHE N de nous avoir fait l'honneur d'examiner notre travail*

*Nous remercions aussi Tout le personnel du laboratoire B.B.B.S*

*Toutes les personnes qui nous ont participé de près ou de loin à la  
réalisation de ce Travail.*

*Merci à tous*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail à :*

*Ma grande mère*

*Mes parents*

*Mes frères*

*Ma sœur*

*Mes amis*

*Naouel*

*Tous ceux ont qui contribué de près ou de loin à la réalisation de ce  
travail*

*Mouloud*

# *Dédicaces*

*Je dédier ce travail à :*

*Dieu tous puissant qui nous a donné le courage et la patience de mener  
a bien ce travail.*

*La mémoire de ma grande mère*

*Mes très chers parents qui m'ont soutenu durant toutes mes études, qui  
ont partagé mes joies et mes peines, qui ont fait de moi ce que je suis  
aujourd'hui, je leurs serai éternellement reconnaissante.*

*Mes très chers frères Ali, Ahmed, Youcef et le petit charmant Nounou*

*Ma sœur Assia*

*Mes amis*

*Et en fin tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.*

*Naouel*

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : photographie de la cosse de petit pois.....	6
<b>Figure 2</b> : photographie d'un parchemin .....	6
<b>Figure 3</b> : Photographie des échantillons dans l'étuve (A) et micro-onde (B).....	13
<b>Figure 4</b> : Photographie de la poudre de cosses séchée.....	14
<b>Figure 5</b> : Protocole de dosage des cendres.....	15
<b>Figure 6</b> : Dosage des fibres .....	16
<b>Figure 7</b> : Etapes d'obtention des extraits de matrice séché.....	17
<b>Figure 8</b> : Protocole de dosage des composés phénoliques.....	18
<b>Figure 9</b> : Protocole de dosage des flavonoïdes .....	19
<b>Figure 10</b> : Protocole de dosage des tanins .....	20
<b>Figure 11</b> : Dosage des chlorophylles a et b.....	21
<b>Figure 12</b> : Etapes de mesure du pouvoir réducteur .....	22
<b>Figure 13</b> : Test de DPPH.....	23
<b>Figure 14</b> : L'évolution de la perte de masse en fonction du couple temps-température... 24	24
<b>Figure 15</b> : L'évolution de la perte de masse en fonction du couple temps-puissance .....	24
<b>Figure 16</b> : Teneurs moyennes en cendres .....	28
<b>Figure 17</b> : Teneurs moyennes en fibres.....	29
<b>Figure 18</b> : Teneurs moyennes en polyphénols totaux .....	30
<b>Figure 19</b> : Indice de polyphénol.....	31
<b>Figure 20</b> : Teneurs moyennes en flavonoïdes .....	32
<b>Figure 21</b> : Teneurs moyennes en tannins .....	33
<b>Figure 22</b> : Teneur en chlorophylle 'a' et 'b' .....	34
<b>Figure 23</b> : Teneurs moyennes en pouvoir réducteur .....	35
<b>Figure 24</b> : Pourcentage d'inhibition du radical DPPH.....	36

## Liste des tableaux

<b>Tableau I :</b> Caractéristiques morphologiques de <i>Pisum sativum</i> .....	4
<b>Tableau II :</b> Principaux pays producteurs de petits pois .....	5
<b>Tableau III :</b> Composition chimique de cosse de petit pois.....	7
<b>Tableau IV :</b> Vitesses de séchage en fonction de la température et de la puissance.....	25
<b>Tableau V :</b> Activité de l'eau en fonction de temps des différentes températures et puissance.....	26
<b>Tableau VI :</b> Différents paramètres de l'indice de couleur en fonction de la température et de la puissance de séchage.....	27

## Listes d'abréviations

**Abs** : Absorbance.

**AC** : Absorbance du contrôle.

**AE** : Absorbance de l'échantillon.

**AG** : Acide gallique.

**AU** : Unité d'absorbance.

**AW** : Activité water

**b** : Trajet de la cuve.

**BBBS** : Biomathématiques Biophysique Biochimie et de Scientométrie

**Ca**: Chlorophylle *a*.

**Cb** : Chlorophylle *b*.

**Cr** : Cendre.

**DPPH** : Diphényl picryl-hydrayl.

**Eq** : Equivalent.

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

**FD** : Facteur de dilution.

**Fe** : Fer.

**H%** : Pourcentage d'humidité.

**Hcl** : Acide chlorhydrique.

**HPLC** : High Performance Liquid Chromatography

**HSD** : honest significant difference

**IPP** : Indice de polyphénol

**JMP** : John's Macintosh Project

**M<sub>C</sub>** : Masse des creusets.

**mg EAG** : Milligramme équivalent acide gallique.

**MO** : Microonde.

**Ms** : Matière sèche.

**N** : Normalité.

**nm** : Nanomètre.

**Pe** : Prise d'essai.

**pH** : Potentiel d'hydrogène.

**PP** : Petit pois.

**PPT** : Polyphénols totaux.

**Q** : Quercitine.

**RMN** : Résonance Magnétique Nucléaire

**S**: Second.

**Trs** : Tours.

**W** : Watt.



# Table des matières

*Liste des figures.*

*Liste des tableaux.*

*Liste des abréviations.*

<b>Introduction</b> .....	1
---------------------------	---

## *Synthèse bibliographique*

### **Chapitre I : Petit pois et cosse de petit pois**

I.1. Petit pois .....	3
I.1.1. Historique et répartition géographique .....	3
I.1.2. Aspect botanique .....	3
I.1.3. La place de l'Algérie dans la production mondiale.....	5
I.2. Cosse de petit pois .....	6
I.2.1. Morphologie .....	6
I.2.2. Composition .....	6
I.2.3. Utilisations potentiel .....	7

### **Chapitre II : Séchage**

II.1. Principe et objectifs du séchage .....	9
II.2 Mécanismes intervenants au cours du séchage .....	9
II.2.1. Transferts de la chaleur .....	9
II.2.2. Transferts de matière : .....	10
II.3. Séchage conventionnel et séchage assisté par microonde .....	10
II.3.1. Séchage conventionnel.....	10
II.3.2. Séchage par microonde .....	11
II.4. Phénomènes se produisant au cours du séchage .....	12

## *Etude expérimentale*

### **Chapitre III : matériel et méthodes**

III.1. Récolte de matériel végétal.....	13
III.2. Séchage .....	13
III.3. Etude de la composition phytochimique des poudres de cosse de petit pois .....	14
III.3.1. Analyses physico-chimiques .....	14
III.3.1.1. Teneur en eau (Humidité).....	14

III.3.1.2. Indice de couleur .....	15
III.3.1.3. Cendres .....	15
III.3.1.4. Fibres .....	16
III.3.2. Extraction.....	17
III.3.3 Principes actifs et l'activité antioxydant.....	18
III.3.3.1. Composés phénoliques .....	18
III.3.3.2. Indice de polyphénols .....	19
III.3.3.3 Flavonoïdes.....	19
III.3.3.4. Tannins .....	20
III.3.3.5. Chlorophylle 'a' et 'b' .....	21
III.3.4. Activité antioxydante.....	22
III.3.4.1. Pouvoir réducteur .....	22
III.3.4.2. DPPH' .....	23
III.6. Analyse statistique.....	23

## Chapitre IV : résultats et discussion

IV. 1. Cinétique de séchage de cosses de petit pois .....	24
IV.2. Analyses phytochimiques des poudres de cosses de petit pois .....	26
IV.2 .1. Analyses physico-chimiques .....	26
IV.2 .1.1.Teneur en l'eau (Humidité) .....	26
IV.2.1.2.Couleur .....	26
IV.2 .1.3.Cendres .....	28
IV.2.1.4 Fibres .....	28
IV.2.2. Principes actifs et l'activité antioxydante.....	29
IV.2.2.1. Composés phénoliques .....	29
IV.2.2.2. Indice de polyphénols.....	31
IV.2.2.3. Flavonoïdes .....	31
IV.2.2.4. Tannins .....	33
IV.2.2.5. Chlorophylle 'a' et 'b' .....	34
IV.2.3. Activité antioxydante .....	35
IV.2.3.1. Pouvoir réducteur .....	35
IV.2.3.2. DPPH' .....	36
<b>Conclusion</b> .....	38

*Références bibliographiques.*

*Annexes.*

*Résumé.*

Avec l'augmentation considérable de la production et la transformation des végétaux, des quantités importantes de sous-produits interviennent et représentent un problème économique et écologique du à leurs grands volumes et coûts d'élimination (**Carle et al., 2001**). Aujourd'hui, les sous-produits sont considérés comme une source prometteuse de composés fonctionnels, qui demeurent après isolement des constituants principaux, qui sont abondants et représentent une matière peu coûteuse qui a été sous-évaluée, seulement employée comme combustible ou engrais (**Grigelmo-Miguel and Martín-Belloso, 1999**).

La plupart des légumineuses sont consommées après un processus industriel simple dans lequel la gousse est enlevée et la graine est préparée en tant que nourriture congelée ou fraîche (**Mateos-Aparicio et al., 2012**). Les petits pois sont largement consommés et sont cultivés partout dans le monde. Selon l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (**FAO, 2013**), le petit pois représente une production mondiale de 15,87 millions de tonnes dont 67% sont des sous-produits. Ces derniers ont une durée de conservation très courte, due à leur caractère hautement périssable. En effet, pour réduire les pertes post-récolte, de nombreuses techniques de séchage ont été développées.

Le séchage est l'une des techniques les plus anciennes de la conservation des aliments, c'est le processus d'élimination de l'humidité dans le produit jusqu'à certaine valeur-seuil par évaporation. De cette façon, le produit peut être stocké pendant une longue période (**Alibas, 2007**). Plusieurs études concernant l'effet du séchage sur la qualité ont été réalisées à travers le monde (**Doymaz and Pala, 2002; Ramesh et al., 2001; Turhan et al., 1997**).

Le séchage conventionnel comprend une exposition des produits alimentaires à haute température et pour de longues périodes, ce qui peut entraîner de graves dommages à la saveur, la couleur, la capacité de réhydratation et des éléments nutritifs de la matière traitée, ainsi que sur la valeur énergétique (**Dadali et al., 2007; Drouzas et al., 1999; Sharma and Prasad, 2004**). En effet, le développement de nouvelles méthodes de séchage essentielles pour la conservation des produits alimentaires qui peuvent gagner du temps, de l'énergie et de minimiser la dégradation de la qualité. Ces dernières années, le séchage par micro-ondes a gagné une popularité en tant que méthode de séchage alternative pour surmonter les effets indésirables pour une grande variété de produits alimentaires (**Bouraoui et al., 1994; Tulasidas et al., 1995**) ; en présentant plusieurs avantages par rapport à un séchage classique (**Sharma and Prasad, 2004**).

C'est pourquoi le séchage de la cosse de petit pois, s'avère une alternative intéressante et prometteuse à l'échelle industrielle.

Le présent travail a pour objectif de répondre à la question : quelle est la méthode la plus adéquate pour sécher la cosse de petit pois tout en préservant les composants bioactifs ?

Afin de mieux situer le contexte dans lequel s'inscrit ce travail, une revue de l'état de l'art est présentée sur le petit pois et cosse de petit pois ainsi qu'un aperçu sur le séchage.

Le deuxième volet est voué au suivi des cinétiques de séchage de la cosse des pois au four micro-onde à différentes puissances et à l'étuve ventilée à différentes températures. Dans le but de comparer l'efficacité des deux méthodes, une évaluation de l'effet de séchage sur la qualité de la cosse est réalisée par le dosage des polyphénols totaux, indice de polyphénols, flavonoïdes, tannins, fibres, cendres, chlorophylles et la détermination des activités anti-oxydantes.

- Alibas, I., 2007. Microwave, air and combined microwave–air-drying parameters of pumpkin slices. *LWT-food science and technology* 40, 1445-1451.
- Bouraoui, M., Richard, P., Durance, T., 1994. Microwave and convective drying of potato slices. *Journal of Food Process Engineering* 17, 353-363.
- Carle, R., Keller, P., Schieber, A., Rentschler, C., Katzschner, T., Rauch, D., Fox, G., Endress, H., 2001. Method for obtaining useful materials from the by-products of fruit and vegetable processing. Patent application, WO 1, A1.
- Dadalı, G., Kılıç Apar, D., Özbek, B., 2007. Microwave drying kinetics of okra. *Drying Technology* 25, 917-924.
- Doymaz, I., Pala, M., 2002. Hot-air drying characteristics of red pepper. *Journal of Food Engineering* 55, 331-335.
- Drouzas, A., Tsami, E., Saravacos, G., 1999. Microwave/vacuum drying of model fruit gels. *Journal of Food Engineering* 39, 117-122.
- Grigelmo-Miguel, N., Martín-Belloso, O., 1999. Comparison of dietary fibre from by-products of processing fruits and greens and from cereals. *LWT-food science and technology* 32, 503-508.
- Ramesh, M., Wolf, W., Tevini, D., Jung, G., 2001. Influence of processing parameters on the drying of spice paprika. *Journal of Food Engineering* 49, 63-72.
- Sharma, G., Prasad, S., 2004. Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying. *Journal of Food Engineering* 65, 609-617.
- Tulasidas, T., Raghavan, G., Mujumdar, A., 1995. Microwave Drying of Grapes in a Single Mode Cavity at 2450 Mhz-i: Drying Kinetics. *Drying Technology* 13, 1949-1971.
- Turhan, M., Turhan, K.N., Sahbaz, F., 1997. Drying kinetics of red pepper. *Journal of Food Processing and Preservation* 21, 209-223.

## I. Petit pois et cosse de petit pois

### I.1. Petit pois

#### I.1.1. Historique et répartition géographique

Les premières traces de culture du pois datent du début du Néolithique et ont accompagné les céréales dans l'apparition de l'agriculture au Proche-Orient. Il était dans l'antiquité et au Moyen Âge un aliment de base en Europe et dans le bassin méditerranéen ; le pois, la fève, et le blé procurent une alimentation équilibrée notamment en protéines (Benoît et al., 2006). L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) considère l'Éthiopie et l'Asie occidentale comme centres de diversification, avec des centres secondaires dans le sud de l'Asie et la région méditerranéenne. Le petit pois est actuellement présent dans tous les pays tempérés et dans la plupart des hautes terres tropicales (Brink and Belay, 2006).

#### I.1.2. Aspect botanique

##### ➤ Taxonomie et systématique

Le nom systématique du petit pois est *Pisum sativum* L., cette espèce appartient au genre *Pisum*, classé dans la tribu des *Fabeae* (ou *Viciae*). Lors d'une révision récente du genre *Pisum*, trois espèces sont retenues : *P. abyssinicum*, *P. fulvum*, *P. sativum* L. Cette dernière est la plus cultivée (Cieslarová et al., 2011; Smýkal et al., 2011).





La classification botanique du petit pois est résumée ci-dessous (Cousin, 1997) :

<b>Règne :</b>	Végétal
<b>Embranchement :</b>	Spermaphytes
<b>Sous embranchement :</b>	Angiospermes
<b>Classe :</b>	Dicotylédones
<b>Ordre :</b>	Fabales
<b>Famille :</b>	Fabacées
<b>Sous famille :</b>	Faboideae
<b>Genre :</b>	<i>Pisum</i>
<b>Espèces :</b>	<i>Pisum sativum</i> L.

➤ **Descriptions morphologiques**

La description morphologique du petit pois est présentée dans le tableau I.

**Tableau I :** Caractéristiques morphologiques de *Pisum sativum* (Brink and Belay, 2006).

Compartiments	Descriptions	Photographies
<b>Plante</b>	Plante herbacée annuelle, glabre, grimpante, atteignant 2 m de haut	
<b>Fleur</b>	Bisexuée, papilionacé, zygomorphe, à ovaire supère et cléistogame.	
<b>Fruit</b>	Gousse oblongue-ovale de 3,5–15cm × 1–2,5 cm, pendante, contenant 2-11 graines.	
<b>Graine</b>	Globuleuses, parfois ridées, de 5–8 mm de diamètre, de couleur verte ou jaune crème	

### I.1.3. Place de l'Algérie dans la production mondiale

Selon l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (**FAO, 2013**), le petit pois représente une production mondiale de 15,87 millions de tonnes.

Les deux principaux producteurs de pois frais, sont la Chine et l'Inde, ils couvrent près de 70 % de la production mondiale, les cinq premiers pays représentent plus de deux tiers de la production totale (**FAO, 2013**).

L'Europe a produit 1,04 million de tonnes, dont la France est leader avec une production de 228 000 tonnes et l'essentiel de la production est réservée pour la préparation des conserves et de surgelés. L'Espagne (85600 tonnes), la Turquie (107 549 tonnes) et le Royaume-Uni (152 000 tonnes) arrivent juste derrière la France (**FOA, 2013**).

L'Algérie occupe la 5<sup>ème</sup> place dans la production mondiale de pois frais avec une production de 186348 Tonnes (**FAO, 2013**). La culture est répandue sur tout le territoire national. Il est surtout cultivé sur les plaines côtières et les zones sublittorales, et la surface cultivé est de 37036 Ha. Il occupe la 3<sup>ème</sup> place parmi les légumes secs en Algérie. Les principaux pays producteurs de petits pois sont représentés dans le tableau II.

**Tableau II** : Principaux pays producteurs de petits pois (**FAO, 2013**).

Pays	Production (Tonnes)
Chine, continentale	10,600.000.00
Inde	4,006.200.00
États-Unis d'Amérique	323,004.00
France	228,987.10
Algérie	186,348.00
Egypte	169,122.00
Royaume-Uni	152,570.00
Pérou	130,065.15
Maroc	125,482.00
Pakistan	114,033.00
Turquie	107,549.00
Espagne	85,600.00
Hongrie	78,000.00
Belgique	73,200.00

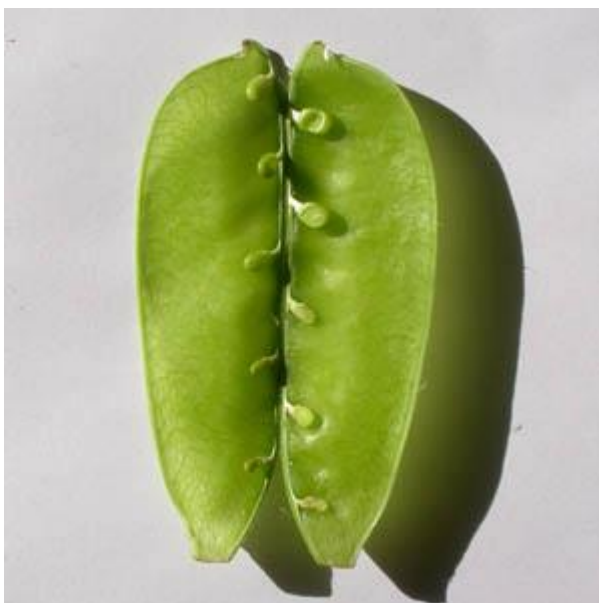


## I.2. Cosse de petit pois

### I.2.1. Morphologie

La cosse de petit pois (ou gousse) est un fruit sec oblongue-ovale de 3,5–15 cm × 1–2,5 cm, pendante (**Westphal and Arora, 1989**), sa couleur avant la maturité est généralement verte, elle est formée d'un seul carpelle (uniloculaire) et s'ouvre à maturité par deux fentes de déhiscence, l'une au niveau des placentas et l'autre au niveau de la nervure médiane du carpelle. La gousse se partage en deux valves (**Figure1**), cette propriété permet d'écosser et de recueillir la graine (**Trebuchet et al., 1953**).

La cosse de petit pois (*Pisum sativum*) est pourvue d'un parchemin (un mince film solide), ce qui lui donne un aspect rigide et permet sa déhiscence (**Figure 2**).



**Figure 1** : photographie de la cosse de petit pois



**Figure 2** : photographie d'un parchemin

### I.2.2. Composition

Selon l'espèce, la partie de la plante concernée et les modes de préparation ou de conservation, les fruits et légumes verts apportent de l'eau, des vitamines et des sels minéraux, des fibres, des antioxydants et très peu de calories.

La composition de la cosse de petits pois est illustrée dans le tableau III.

**Tableau III** : Composition chimique de la cosse de petit pois (**Bravo and Saura-Calixto, 1998**).

Composition	Teneur (g/100g de Ms)
Protéines	10.8
Graisses	1.3
Glucides	22.7
Saccharose	7.9
Glucose	11.9
Galactose	0.8
Fructose	1.2
Arabinose	0.9
Amidons	3.7
Fibres diététiques	58.6
Fibres diététiques soluble	4.2
Fibres diététiques insoluble	54.4
Cendres	6.6
Teneur en macroéléments (g /100 g de Ms) et en oligo-éléments (mg /100 g de Ms)	
Potassium	1.03
Sodium	0.14
Calcium	0.77
Magnesium	0.21
Fer (Fe)	1.20
Manganèse	0.27
Zinc	0.16

### I.2.3. Utilisations potentielles

Avec l'augmentation considérable de la production et la transformation des végétaux, des quantités importantes de sous-produits interviennent et représentent un problème majeur d'élimination pour l'industrie. Cependant, ces sous-produits sont prometteurs en tant que source de certains composés et ingrédients qui sont d'une haute valeur (**Mateos-Aparicio Cediél, 2009**). En effet, la cosse de petit pois en tant que principal sous-produit de l'industrie traditionnelle de la conserverie de petit pois présente à l'instar de nombreux déchets issus de l'industrie agroalimentaire, des problèmes économiques et environnementaux (**Mateos-Aparicio et al., 2012**).

A premier abord, les cosses de petit pois semblent un sous-produit sans grand intérêt alimentaire. Des analyses plus approfondies montrent la présence des composés phénoliques des pigments, des fibres et des minéraux dont la valorisation en tant qu'ingrédients alimentaires ou fonctionnels (en vue d'améliorer la fonctionnalité des produits alimentaires) pourraient être d'un grand intérêt économique (**Mateos-Aparicio et al., 2012**).

Les cosses pourraient être importantes dans l'industrie alimentaire comme ingrédient riche en fibres alimentaires. C'est une source riche en cellulose, avec une proportion non négligeable en pectine. Ces deux composés sont importants dans la nutrition humaine, mais les effets potentiels attendus de tel sous-produit seraient principalement liés à ceux associés aux fibres insolubles, tel que la régulation des fonctions intestinales et de rétention d'eau (**Mateos-Aparicio et al., 2010**).

L'activité antioxydante des composés phénoliques est d'un intérêt particulier dans le développement de nouveaux produits ou bio additifs, de grandes propriétés fonctionnelles. En plus, les extraits riches en composés phénoliques pourraient améliorer d'une façon très appréciable la qualité des produits alimentaires aux plans de la couleur, du goût et de la saveur des aliments frais et/ou transformés (**Scalbert et al., 2005**).

La recherche continue dans le monde entier, et avec les bases de données courantes d'informations, il y a une évidence claire que les cosses de petit pois possèdent des niveaux élevés des composés phytochimiques. L'application des méthodes de transformation modernes avec l'incorporation de la connaissance traditionnelle fournira une base substantielle pour l'exploitation commerciale de ces sous-produits, pour développer de nouvelles nourritures originales (ou pour le biofortification), aussi bien que pour l'usage dans l'industrie pharmaceutique (**Tiwari et al., 2011**).

- Benoît, M., Deffontaines, J.-P., Lardon, S., 2006. Acteurs et territoires locaux: vers une géoagronomie de l'aménagement. Editions Quae.
- Bravo, L., Saura-Calixto, F., 1998. Characterization of dietary fiber and the in vitro indigestible fraction of grape pomace. *American Journal of Enology and Viticulture* 49, 135-141.
- Brink, M., Belay, G.M., 2006. Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1: céréales et légumes secs. PROTA.
- Cieslarová, J., Smýkal, P., Dočkalová, Z., Hanáček, P., Procházka, S., Hýbl, M., Griga, M., 2011. Molecular evidence of genetic diversity changes in pea (*Pisum sativum* L.) germplasm after long-term maintenance. *Genetic resources and crop evolution* 58, 439-451.
- Cousin, R., 1997. Peas (*Pisum sativum* L.). *Field Crops Research* 53, 111-130.
- Mateos-Aparicio Cediél, I., 2009. Aprovechamiento de subproductos de leguminosas para la obtención de ingredientes funcionales: comparación de metodologías para la caracterización de la fibra alimentaria.
- Mateos-Aparicio, I., Redondo-Cuenca, A., Villanueva-Suárez, M.-J., Zapata-Revilla, M.-A., Tenorio-Sanz, M.-D., 2010. Pea pod, broad bean pod and okara, potential sources of functional compounds. *LWT - Food Science and Technology* 43, 1467-1470.
- Mateos-Aparicio, I., Redondo-Cuenca, A., Villanueva-Suárez, M.J., 2012. Broad bean and pea by-products as sources of fibre-rich ingredients: potential antioxidant activity measured in vitro. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92, 697-703.
- Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., Rémésy, C., Jiménez, L., 2005. Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Critical reviews in food science and nutrition* 45, 287-306.
- Smýkal, P., Kenicer, G., Flavell, A.J., Corander, J., Kosterin, O., Redden, R.J., Ford, R., Coyne, C.J., Maxted, N., Ambrose, M.J., 2011. Phylogeny, phylogeography and genetic diversity of the *Pisum* genus. *Plant Genetic Resources* 9, 4-18.
- Tiwari, B.K., Gowen, A., McKenna, B., 2011. Pulse foods: processing, quality and nutraceutical applications. Academic Press.
- Trebuchet, G., Chopinet, R., Drouzy, J., 1953. Contribution a l'Étude des Variétés de Pois Potager Cultivees en France.
- Westphal, E., Arora, R., 1989. Plant Resources of South-East Asia: Pulses. Pudoc.

## II. Séchage

Le séchage est l'une des plus anciennes méthodes de conservation des aliments. Durant le séchage l'eau est enlevée de l'aliment, réduisant le potentiel de croissance des microorganismes et des réactions chimiques indésirables (**Gowen et al., 2008**).

### II.1. Principe et objectifs du séchage

- **Principe**

Le séchage est une opération consistante à retirer une partie du solvant (le plus souvent l'eau) d'un corps, par vaporisation, le produit final dit « sec » est obtenu sous une forme solide de taille variable, une opération de séparation thermique, dans le sens qu'il faut fournir l'énergie de vaporisation du solvant, pour qu'il quitte le produit sous forme de vapeur (**Vasseur, 2009**).

- **Objectif**

L'objectif principal du séchage est de convertir des denrées périssables en produit stabilisés par abaissement de l'activité de l'eau dans le produit, les raisons de sécher sont presque aussi nombreuses que les produits à sécher, mais elles peuvent être regroupées en trois catégories principales (**Alibas, 2007; Bimbenet et al., 2002**):

- Permettre ou faciliter la conservation des produits et amortir le caractère saisonnier de certaines activités agricoles ou industrielles ;
- Diminuer la masse et le volume des aliments, pour réduire leur encombrement et faciliter leur transport ;
- Donner une présentation, une structure ou une fonctionnalité particulière au produit.

### II.2 Mécanismes intervenants au cours du séchage

Le séchage est une opération complexe qui met en jeu des transferts couplés de matière (d'eau essentiellement) et de chaleur (**Mujumdar, 2014**).

#### II.2.1. Transferts de la chaleur

Pendant le séchage, la chaleur est transférée au produit selon trois mécanismes (**Bonazzi and Bimbenet, 2003**) :

- Par conduction : le produit humide est en contact direct avec une surface chaude.

- Par convection : Le transfert de chaleur du gaz vers le corps humide sous l'effet d'un gradient de température.
- Par rayonnement : le produit est exposé à un rayonnement infrarouge ou aux micro-ondes.

## II.2.2. Transferts de matière

Le séchage se distingue des autres opérations de déshydratation par le fait que l'eau est enlevée du produit exclusivement par évaporation. Le processus doit, ainsi, avoir pour force motrice le gradient de la pression partielle de vapeur d'eau entre la surface du produit et le milieu extérieur (Allaf et al., 2012).

Le milieu extérieur doit également assurer un débit de chaleur permettant de maintenir la surface du matériau à une température permettant de fournir la chaleur nécessaire à la vaporisation de l'eau (Bonazzi and Bimbenet, 2003).

## II.3. Séchage conventionnel et séchage assisté par microonde

### II.3.1. Séchage conventionnel

Le corps à sécher est placé dans un courant d'air suffisamment chaud et sec. Il s'établit spontanément, entre ce corps et l'air, un écart de température et de pression partielle d'eau, tel que le produit absorbe l'air chaud et transfère à l'extérieur l'eau sous forme de vapeur. L'air sert donc à la fois de fluide chauffant et de gaz vecteur pour enlever l'eau (Bimbenet et al., 2002). Ce type de séchage présente plusieurs avantages :

- Il est simple et relativement facile à réaliser ;
- La température de l'enceinte est contrôlable ;
- La teneur en eau du produit sec est inférieure à 10% et son contrôle est facile ;
- La rapidité et la fiabilité sont aussi des caractéristiques non négligeables.

Néanmoins, plusieurs chercheurs (Feng and Tang, 1998; Gowen et al., 2008; Maskan, 2000; Yongsawatdigul and Gunasekaran, 1996) ont souligné que le séchage conventionnel :

- Provoque une dégradation importante de la qualité attribuée aux aliments tel que : la couleur, les nutriments, la flaveur et la texture ;
- Longue durée de séchage, et une énergie de faible efficacité ;
- Un sévère rétrécissement, impliquant souvent une réduction de transfert d'humidité et parfois réduction de transfert de chaleur.

Les chercheurs sont alors amenés à rechercher d'autres méthodes de séchage alternatives.

### II.3.2. Séchage par microonde

Contrairement aux techniques classiques de chauffage par conduction ou convection, l'utilisation des microondes implique une interaction directe entre un rayonnement électromagnétique et la matière (**Anizon et al., 2003**). Le chauffage par microondes d'un produit résulte ainsi de la conversion en chaleur de l'énergie d'une onde électromagnétique au sein de ce matériau (**Roussy et al., 2003**).

Le transfert de chaleur sous chauffage micro-ondes est complètement inversé par rapport au chauffage conventionnel. Le transfert de chaleur classique se transmet de l'extérieur vers l'intérieur du récipient. Sous chauffage aux micro-ondes, le volume traité devient lui-même source de chaleur. On parle de dégagement de la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur du récipient. La paroi externe du réacteur est plus froide que le milieu du réacteur dans le cas du chauffage micro-ondes, et inversement pour le cas du chauffage conventionnel (**Kharissova et al., 2012**).

Selon (**Al-Duri and McIntyre, 1992; Giese, 1992; Kharissova et al., 2012; McSweeney and Seetharaman, 2015; Wray and Ramaswamy, 2015**) le séchage assisté par microonde présente plusieurs avantages dont :

- Rapidité : Le séchage aux microondes réduit considérablement le temps de séchage à plus de 99%, quand il est comparé au séchage au soleil et à l'étuve ;
- Sélectivité : chauffage sélectif des parties intérieures de l'échantillon contenant l'humidité ;
- Amélioration de l'efficacité du séchage, aussi bien que la qualité de quelques produits déshydratés ;
- Réduction maximale de la consommation d'énergie suite à la spécificité de l'action des radiations micro-ondes ;
- Facilité d'utilisation ;
- Combinaison avec d'autres méthodes de séchage.

L'inconvénient majeur de ce type de séchage est le séchage inégal (non uniforme) (Gowen *et al.*, 2008; Zhang, 2006), par ailleurs il peut aussi y avoir une :

- Production des mauvais goûts, particulièrement pendant les étapes finales du séchage ;
- Etouffement des produits alimentaires ;
- Changement de la texture qui pourrait être indésirable selon le produit final.

## II.4. Phénomènes se produisant au cours du séchage

Les interactions entre l'eau et les autres constituants dépendent de la mobilité de l'eau et des solutés, entraînant des réactions, des transformations physiques, des phénomènes mécaniques lors du séchage, du stockage et de la consommation (Bonazzi and Dumoulin, 2011).

- **Réactions biochimiques**

Il s'agit des réactions de Maillard, de l'oxydation de vitamines et de matières grasses, de la dénaturation de protéines, des réactions enzymatiques, etc. Certains prétraitements permettent de réduire la vitesse de ces réactions (Bonazzi and Bimbenet, 2003).

- **Phénomènes mécaniques**

Nous citons le croûtage, les déformations, les fissures.... Ces changements ne sont que partiellement réversibles lors de la réhydratation (Mafart, 1991).

- **Transferts physiques**

Il y en a divers types : diminution de l'activité de l'eau, transition vitreuse, fusion de matières grasses, évaporation de constituants volatils, migration ou rétention de constituants volatils ou non (Bonazzi and Bimbenet, 2008).



- Al-Duri, B., McIntyre, S., 1992. Comparison of drying kinetics of foods using a fan-assisted convection oven, a microwave oven and a combined microwave/convection oven. *Journal of Food Engineering* 15, 139-155.
- Alibas, I., 2007. Microwave, air and combined microwave–air-drying parameters of pumpkin slices. *LWT-food science and technology* 40, 1445-1451.
- Allaf, K., Mounir, S., Allaf, T., 2012. Swell-drying: séchage et texturation par DIC des végétaux. *Techniques de l'Ingénieur*. La Rochelle, France.
- Anizon, J.-Y., LEMAIRE, B., SURBLED, M., 2003. Extraction assistée par micro-ondes. *Techniques de l'ingénieur*. Agroalimentaire 2, F3060. 3061-F3060. 3011.
- Bimbenet, J.-J., Duquenoy, A., Trystram, G., 2002. Génie des procédés alimentaires: Des bases aux applications. Dunod.
- Bonazzi, C., Bimbenet, J.-J., 2003. Séchage des produits alimentaires principes. *Techniques de l'ingénieur*. Agroalimentaire 2, F3000. 3001-F3000. 3014.
- Bonazzi, C., Bimbenet, J.-J., 2008. Séchage des produits alimentaires: Appareils et applications. *Techniques de l'ingénieur*. Agroalimentaire 2.
- Bonazzi, C., Dumoulin, E., 2011. Quality changes in food materials as influenced by drying processes. *Modern drying technology* 3.
- Feng, H., Tang, J., 1998. Microwave finish drying of diced apples in a spouted bed. *Journal of Food Science* 63, 679-683.
- Giese, J., 1992. Advances in microwave food processing. *Food technology* 46, 118-123.
- Gowen, A., Abu-Ghannam, N., Frias, J., Oliveira, J., 2008. Modeling dehydration and rehydration of cooked soybeans subjected to combined microwave–hot-air drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 9, 129-137.
- Kharissova, O.V., Kharisov, B.I., Méndez, U.O., 2012. Microwave-Assisted Synthesis of Coordination and Organometallic Compounds *Advances in Induction and Microwave Heating of Mineral and Organic Materials*, Prof. Stanisław Grundas (Ed.) ed, pp. 346-390.
- Mafart, P., 1991. Génie industriel alimentaire (Tome I, Les procédés physiques de conservation).
- Maskan, M., 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering* 44, 71-78.
- McSweeney, M., Seetharaman, K., 2015. State of Polyphenols in the Drying Process of Fruits and Vegetables. *Critical reviews in food science and nutrition* 55, 660-669.
- Mujumdar, A.S., 2014. *Handbook of industrial drying*. CRC Press.
- Roussy, G., Oberlin, C., Rochas, J., 2003. Chauffage diélectrique. Principes et spécificités, *Techniques de l'ingénieur*, D 5940, 1-11.
- Vasseur, J., 2009. Séchage: principes et calcul d'appareils: Séchage convectif par air chaud (partie 1). *Techniques de l'ingénieur*. Génie des procédés.
- Wray, D., Ramaswamy, H.S., 2015. Novel Concepts in Microwave Drying of Foods. *Drying Technology* 33, 769-783.
- Yongsawatdigul, J., Gunasekaran, S., 1996. MICROWAVE-VACUUM DRYING OF CRANBERRIES: PART II. QUALITY EVALUATION. *Journal of Food Processing and Preservation* 20, 145-156.
- Zhang, L., 2006. Efficient estimation of stochastic volatility using noisy observations: A multi-scale approach. *Bernoulli* 12, 1019-1043.

### III. Matériel et méthodes

#### III.1. Récolte de matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans notre étude est une variété de petit pois *Pisum sativum*, aussi appelée pois potager, est une légumineuse à cycle court. Il a été récolté le mois du mars 2015, dans la région de Tichy, wilaya de Bejaïa, au Nord-est de l'Algérie. Cette variété se caractérise par un calibre moyen de la cosse et de couleur verte foncée à maturité.

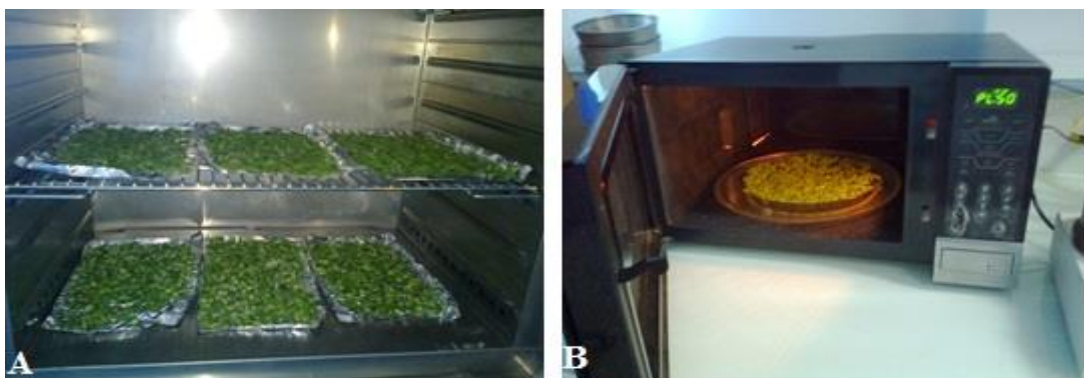
#### III.2. Séchage

Une fois au laboratoire, un tri préliminaire a été effectué (élimination des gousses perforées, cassées, endommagées, portant des taches, pourries ou présentant des dégâts causés par des insectes nuisibles). Ensuite, les pois ont été lavés abondamment à l'eau de robinet et à l'eau minérale, puis décortiqués, et les cosses vides ont été récupérées et coupées en fines tranches (**Figure 3**) d'environ  $1\text{cm}^2$  et de 0.2 cm d'épaisseur (la mesure a été réalisée en utilisant le pied à coulisse).

Des échantillons de 50 g de cosse de petit-pois (*Pisum sativum*) ont été séchés par deux méthodes :

- Séchage à l'étuve (Figure 3.A) : à 5 températures différentes 40, 60, 80, 100 et 120 °C
- Séchage au four microonde (Figure 3.B) : à 4 niveaux de puissance 200, 400, 600, et 800 W.

Pour les deux types de séchage, la masse est suivie périodiquement jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Pour toutes les puissances testées au four microonde et pour toutes les températures testées à l'étuve, les essais de séchage ont été réalisés en triple.



**Figure 3:** Photographie des échantillons dans l'étuve (A) et micro-onde (B).

- **Broyage et tamisage**

Après l'obtention d'une masse constante pour les deux types de séchage, four microonde et étuve, les échantillons ont été broyés à l'aide d'un broyeur électrique.

Les poudres obtenues ont été tamisées à l'aide d'un tamiseur automatique jusqu'à avoir une granulométrie de 1 mm. Après broyage et tamisage, les poudres ont été conservées dans des boîtes en verre alimentaires, hermétiquement scellées, à l'abri de la lumière et de l'humidité pour les utiliser ultérieurement (**Figure 4**).



**Figure 4:** Photographie de la poudre de cosses séchées.

### **III.3. Etude de la composition phytochimique des poudres de cosses de petit pois**

Les analyses physico-chimiques, le dosage des principes actifs, et l'estimation de l'activité antioxydante des extraits de poudres, ont été réalisées au sein du laboratoire BBBS de l'université de Bejaia.

#### **III.3.1. Analyses physico-chimiques**

##### **III.3.1.1. Teneur en eau (Humidité)**

La méthode utilisée est connue sous le nom de « dessiccation par évaporation » ou méthode gravimétrique ou pondérale (**Schulze et al., 2014**).

Un échantillon de 50 g de cosse de petit pois (*Pisum sativum*) est porté à la température de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  pendant 5 heures dans une étuve ventilée jusqu'à un poids constant. La teneur en eau est définie comme étant la perte de poids subit lors de la dessiccation.

- **Expression des résultats**

Le taux d'humidité est déterminée selon l'équation 1 (**Doymaz, 2004**) :

$$H\% = \frac{M_1 - M_2}{P_e} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

**H%** : Pourcentage d'humidité.

**M<sub>1</sub>** : Masse de la capsule + l'échantillon avant séchage.

**M<sub>2</sub>** : Masse de la capsule + l'échantillon après séchage.

**P<sub>e</sub>** : Masse de la prise d'essai.

### III.3.1.2. Indice de couleur

Pour les deux modes de séchage, la différence de couleur des poudres obtenues par rapport à l'état frais est mesurée en utilisant un colorimètre (PCE-TCR 200) suivant la méthode de **Maskan (2001)**, dont la couleur est représentée par trois paramètres :

**L\***: Représente le paramètre d'échelle noir/blanc.

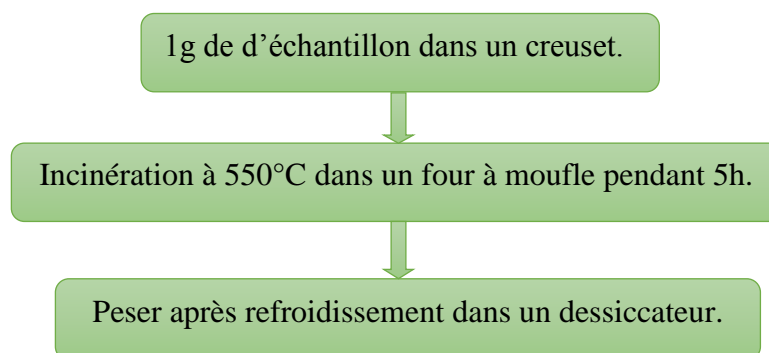
**a\***: Le paramètre d'échelle rouge/vert.

**b\***: Le paramètre d'échelle jaune/bleu.

Ces derniers sont interprétés par le logiciel Open RGB. Et la mesure est effectuée en triple.

### III.3.1.3. Cendres

La teneur en cendre des échantillons séchés est déterminée suivant la méthode décrite par **Treche (1986)** :



**Figure 5:** Protocole de dosage des cendres (**Treche, 1986**).

- **Principe**

Les cendres d'un matériel biologique représentent les résidus inorganiques obtenus après calcination de la matière organique. Ces cendres, généralement de couleur blanchâtre, donne une idée sur la quantité d'éléments minéraux présents dans l'aliment (**Treche, 1986**).

- **Expression des résultats**

Selon la formule ci-dessous on détermine le pourcentage des cendres (**Treche, 1986**) :

$$Cr = \frac{Mm - Mc}{Mo - Mc} \times 100$$

Cr : Cendre.

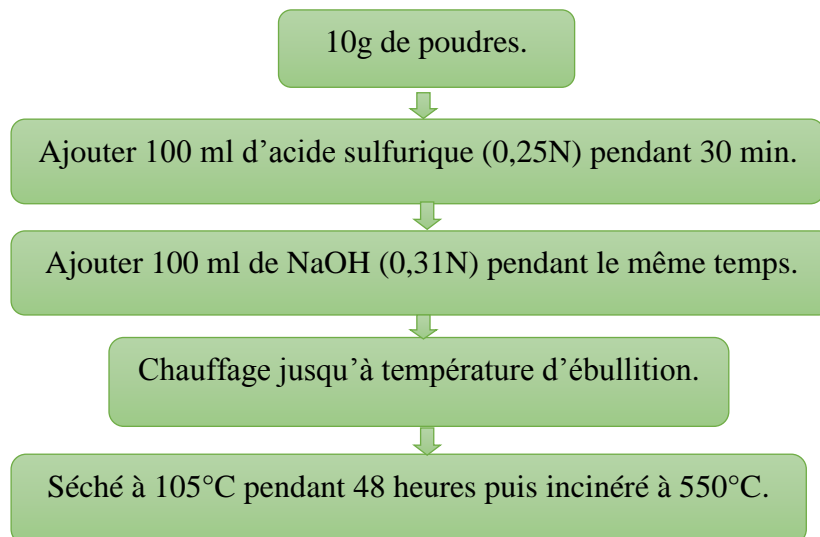
M<sub>m</sub> : Masse de l'échantillon après l'incinération.

M<sub>c</sub> : Masse des creusets.

M<sub>o</sub> : Masse de l'échantillon avant l'incinération.

### III.3.1.4. Fibres

La quantité de fibre brute dans l'échantillon a été déterminée selon la méthode de **Kenfack and Blandine (2010)**.



**Figure 6:** Protocole de dosage des fibres (**Kenfack and Blandine, 2010**)

- **Principe**

La méthode est basée sur la solubilisation des composés non-cellulosiques dans des solutions d'acide sulfurique et d'hydroxyde de sodium (**Kenfack and Blandine, 2010**).

- **Expression des résultats**

La teneur en fibres brutes est exprimée en pourcentage de matière sèche par la formule suivante :

$$FB\% = \frac{M_1 - M_2}{M \times M_s} \times 100.$$

**FB%** : fibres brutes.

**M<sub>1</sub>** : poids d'échantillon après séchage.

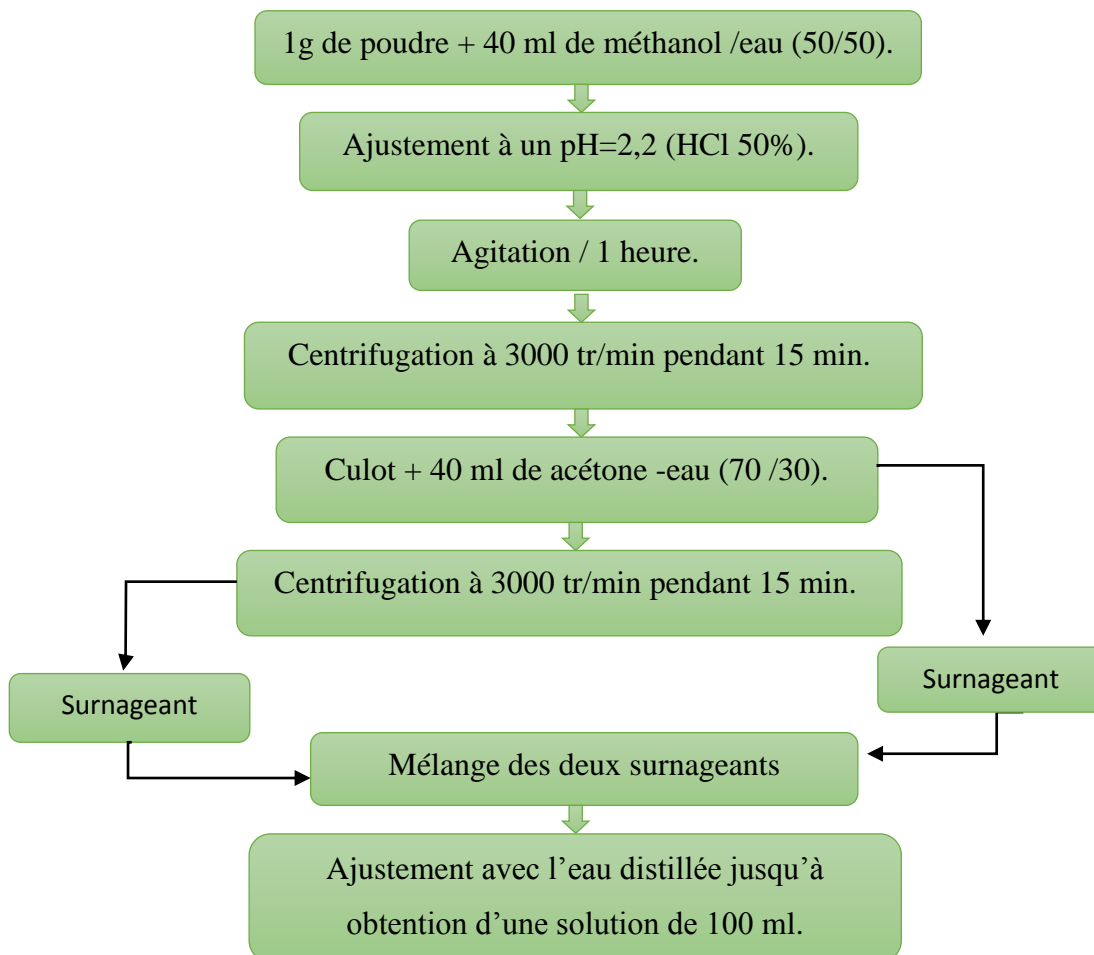
**M<sub>2</sub>** : poids d'échantillon après l'incinération.

**M** : poids d'échantillon frais.

**M<sub>s</sub>** : matière sèche.

### III.3.2. Extraction

L'extraction a été effectuée selon le protocole décrit par **Bravo and Saura-Calixto (1998)**. Et les différentes étapes de l'extraction sont illustrées dans la figure ci-après :



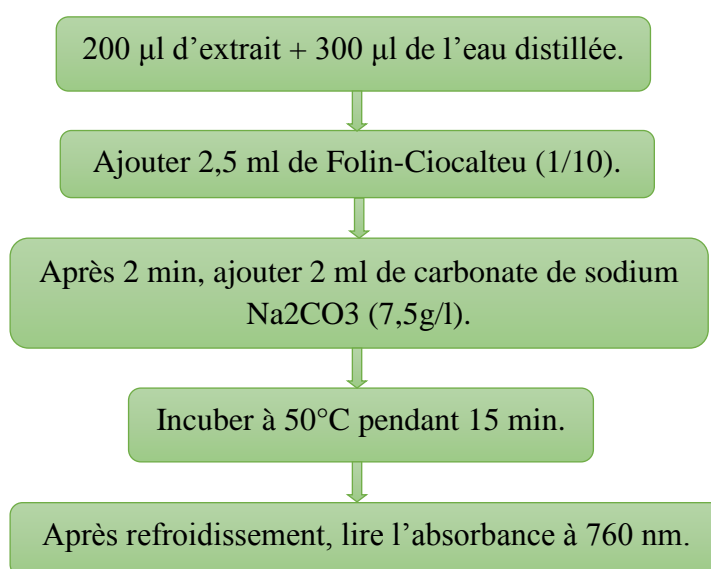
**Figure 7:** Etapes d'obtention des extraits de matrice séché (**Bravo and Saura-Calixto, 1998**).

### III.3.3 Principes actifs et l'activité antioxydante

Le dosage des principes actifs (composés phénoliques, flavonoïdes et tanins, chlorophylles, fibres) et l'estimation de l'activité antioxydante (pouvoir réducteur et le DPPH) des extraits obtenus.

#### III.3.3.1. Composés phénoliques

La teneur en polyphénols des extraits de poudres, a été quantifiée en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu, en se référant à la méthode décrite par **Georgé et al. (2005)**.



**Figure 8:** Protocole de dosage des composés phénoliques (**Georgé et al., 2005**).

- **Principe**

Ce test est basé sur la réduction du Folin-Ciocalteu, constitué par un mélange d'acide phosphotungstique (H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub>) et d'acide phosphomolybdique (H<sub>3</sub>PMO<sub>12</sub>O<sub>40</sub>), lors de l'oxydation des phénols en mélange d'oxydes de tungstène (W<sub>8</sub>O<sub>23</sub>) et de molybdène (MO<sub>8</sub> O<sub>23</sub>). La coloration bleue produite est proportionnelle à la teneur en composés phénoliques totaux présents dans l'échantillon (**Boizot and Charpentier, 2006**).

- **Expression des résultats**

La teneur en polyphénols totaux des extraits de poudres a été déterminé graphiquement par régression linéaire de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique  $y = 9,4438x + 0,0263$  et  $R^2 = 0,999$  (Annexe I).

### III.3.3.2. Indice de polyphénols

L'indice de polyphénols est basé sur la mesure directe de l'absorbance à 280 nm des différents extraits. Qui est calculé selon l'équation (3).

$$IP(AU) = \left[ Abs_{280nm} \times FD \times \left( \frac{1cm}{b} \right) \right] - 4. \quad \dots\dots\dots(3)$$

**IPP** : l'indice de polyphénols.

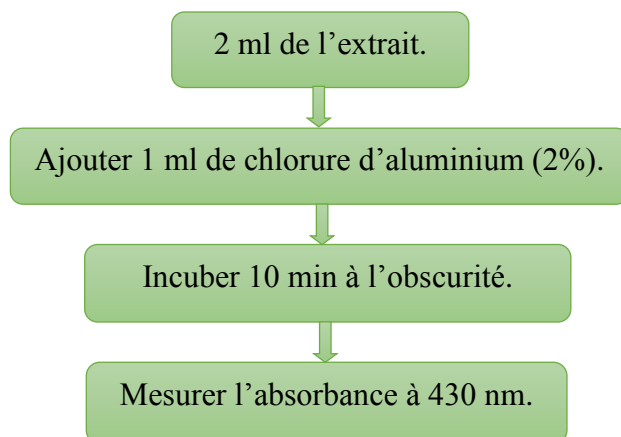
**Abs<sub>280nm</sub>** : absorbance de l'échantillon.

**FD** : le facteur de dilution.

**b** : le trajet optique de la cuve.

### III.3.3.3 Flavonoïdes

Le dosage des flavonoïdes est réalisé selon la méthode proposée par **Ghafar et al. (2010)**.



**Figure 9:** Protocole de dosage des flavonoïdes (**Ghafar et al., 2010**).

- **Principe**

Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner avec le groupement CO, un complexe coloré avec le chlorure d'aluminium. Ils forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux (fer et aluminium). Ceci traduit le fait que le métal (Al) perd deux électrons pour s'unir à deux



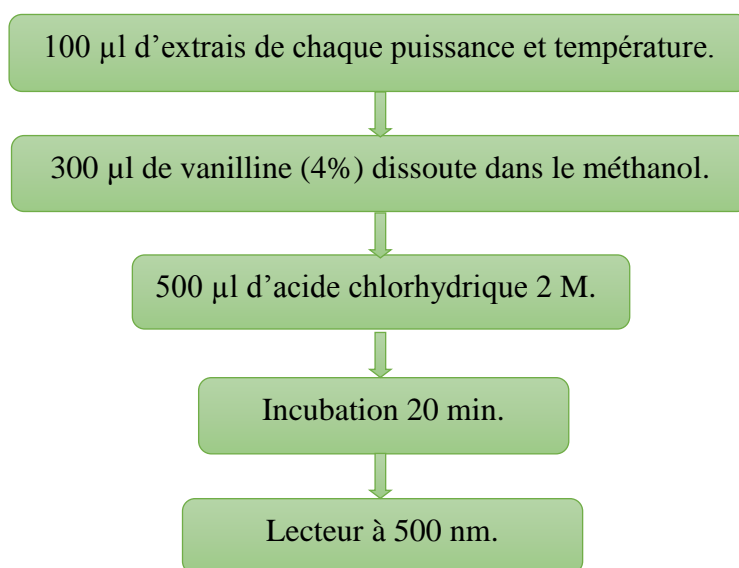
atomes d'oxygène du noyau phénolique agissant comme donneur d'électrons (**Chang et al., 2002**).

- **Expression des résultats**

La teneur en flavonoïdes des extraits a été déterminée graphiquement par régression linéaire de la courbe d'étalonnage de la quercétine (**Annexe II**).

### III.3.3.4. Tannins

Le dosage des tannins est déterminé par la méthode d'écrite par **Melo et al. (2006)**.



**Figure 10:** Protocole de dosage des tannins (**Melo et al., 2006**).

- **Principe**

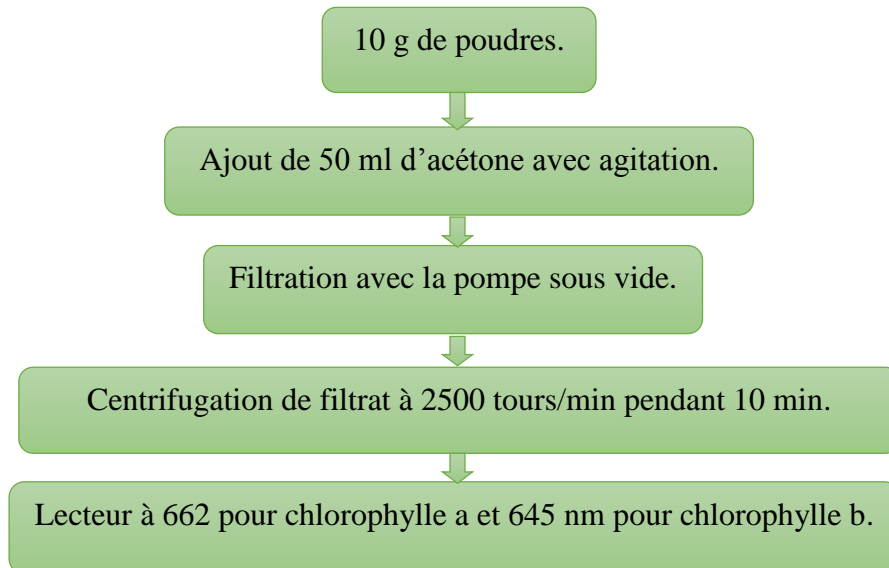
Elle est basée sur la capacité de la vanilline à réagir avec les unités des tanins en présence d'acide pour produire un complexe coloré mesuré à 500 nm (**Ba et al., 2010**). L'association de la vanilline avec les tannins n'implique que la première unité du polymère.

- **Expression des résultats**

La teneur en tannins des extraits de poudres a été déterminé graphiquement par régression linéaire de la courbe d'étalonnage de la catéchine  $y = 2,6388 x - 0,0026$  et  $R^2 = 0,9997$  (**annexe III**)

### III.3.3.5. Chlorophylle "a" et "b"

Le dosage de la chlorophylle a été effectué en utilisant la méthode décrite par **Lichtenthaler et al. (1982)**. Elle est basée sur la mesure des différentes absorbances pour chacune des chlorophylles "a" et "b".



**Figure 11:** protocole de dosage des chlorophylle a et b (**Lichtenthaler et al., 1982**).

- **Expression des résultats**

Les concentrations de la chlorophylle (*a* et *b*) dans l'échantillon ont été calculées à l'aide des formules suivantes (**Şükran et al., 1998**):

$$C_a (\mu\text{g/ml}) = 11.75 A_{662} - 2.35 A_{645}.$$

$$C_b (\mu\text{g/ml}) = 18.61 A_{645} - 3.96 A_{662}.$$

$C_a$ : chlorophylle "a".

$C_b$ : chlorophylle "b".

$A_{662}$ : absorbances d'échantillons à 662 nm.

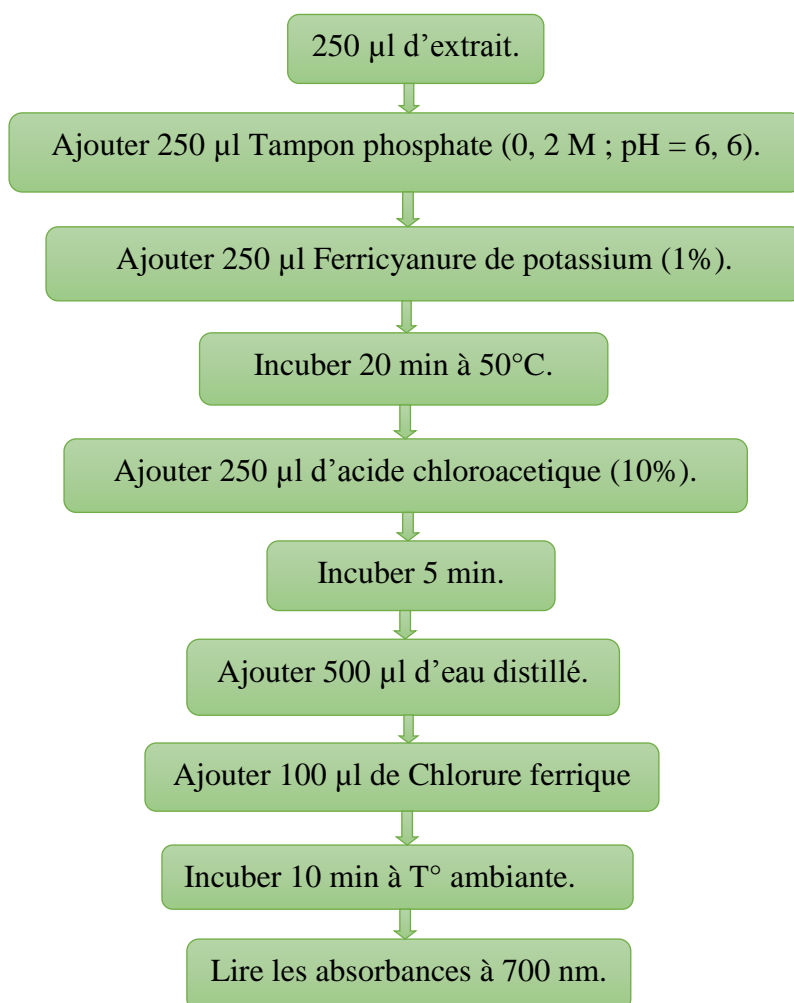
$A_{645}$ : absorbances d'échantillons à 645 nm.

### III.3.4. Activité antioxydante

L'activité antioxydante de l'extrait de cosses de *Pisum sativum* est évaluée par le test du radical 1,1-diphényl-2-picryl-hydrazyl (DPPH<sup>•</sup>) et l'estimation de pouvoir réducteur.

#### III.3.4.1. Pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur des extraits est mesuré selon la méthode décrite par **Rohman et al. (2010)**.



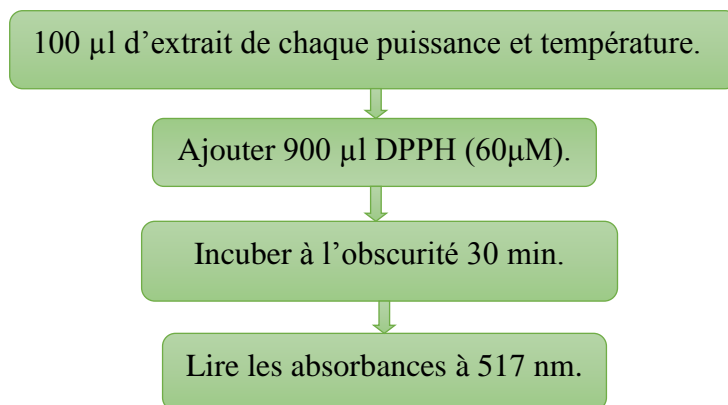
**Figure 12:** Etapes de mesure du pouvoir réducteur (Rohman et al., 2010).

- **Principe**

Le pouvoir réducteur est l'aptitude des antioxydants présents dans les extraits à réduire le fer ferrique du complexe ferricyanure  $\text{Fe}^{3+}$  en fer ferreux. La forme réduite donne une couleur verte, qui est proportionnelle au pouvoir réducteur de l'extrait.

### III.3.4.2. DPPH<sup>•</sup>

La mise en évidence du pouvoir anti-radicalaire de l'extrait des poudres, via le test DPPH<sup>•</sup> est effectuée par la méthode de **Achat et al. (2012)**.



**Figure 13:** Test de DPPH<sup>•</sup> (Achat et al., 2012).

- **Principe**

Le principe est basé sur la mesure de l'aptitude d'un antioxydant à neutraliser le radical libre DPPH (diphényl picryl-hydrayl), relativement stable à température ambiante et qui se colore en violet lorsqu'il est dissout dans l'éthanol ou le méthanol. En présence d'un antioxydant, le DPPH est réduit en DPPH-H.

- **Expression des résultats**

Le pouvoir antiradicalaire de DPPH, est exprimé en pourcentage.

$$\% \text{ d'inhibition du DPPH} = (AC - AE / AC) \times 100.$$

AC : Absorbance du contrôle.

AE : Absorbance d'échantillon.

### III.6. Analyse statistique

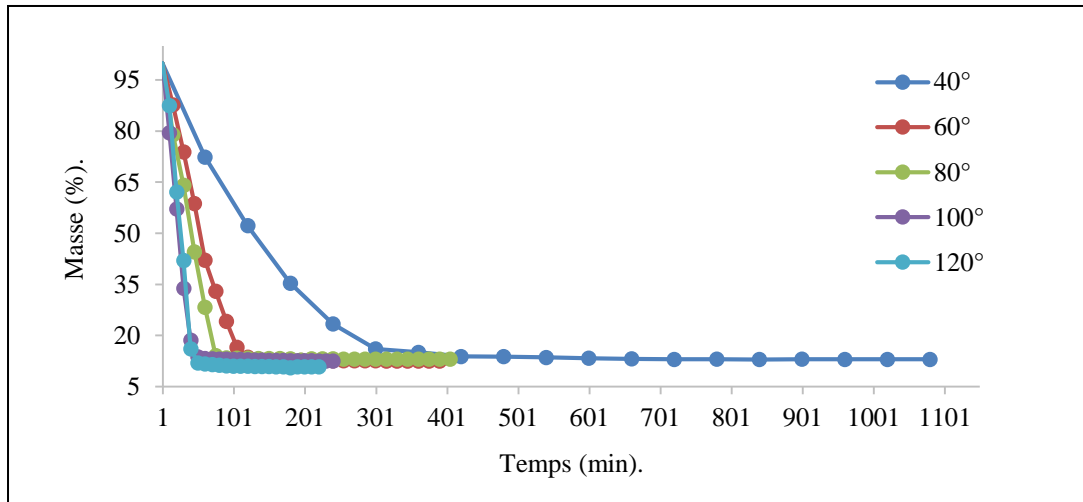
Des analyses de variance avec le logiciel JMP 7.0 ont été réalisées pour chacune des variables relatives aux facteurs étudiés. Elles permettent de mettre en évidence l'existence ou non de différences significatives selon les modalités et de juger l'effet du séchage sur polyphénols totaux, flavonoïdes, tannins, DPPH et pouvoir réducteur.

- Achat, S., Tomao, V., Madani, K., Chibane, M., Elmaataoui, M., Dangles, O., Chemat, F., 2012. Direct enrichment of olive oil in oleuropein by ultrasound-assisted maceration at laboratory and pilot plant scale. *Ultrasonics sonochemistry* 19, 777-786.
- Ba, K., Tine, E., Destain, J., Cissé, N., Thonart, P., 2010. Étude comparative des composés phénoliques, du pouvoir antioxydant de différentes variétés de sorgho sénégalais et des enzymes amylolytiques de leur malt. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 14, 131-139.
- Boizot, N., Charpentier, J.-P., 2006. Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier.
- Bravo, L., Saura-Calixto, F., 1998. Characterization of dietary fiber and the in vitro indigestible fraction of grape pomace. *American Journal of Enology and Viticulture* 49, 135-141.
- Chang, C.-C., Yang, M.H., Wen, H.M., Chern, J.C., 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of food and drug analysis* 10, 178-182.
- Doymaz, I., 2004. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering* 61, 359-364.
- Georgé, S., Brat, P., Alter, P., Amiot, M.J., 2005. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 1370-1373.
- Ghafar, M., Prasad, K.N., Weng, K.K., Ismail, A., 2010. Flavonoid, hesperidine, total phenolic contents and antioxidant activities from Citrus species. *African Journal of Biotechnology* 9.
- Kenfack, M., Blandine, L., 2010. Propriétés nutritionnelles et fonctionnelles des protéines de tourteaux, de concentrats et d'isolats de Ricinodendron heudelotii (Bail.) Pierre ex Pax et de Tetracarpidium conophorum (Müll. Arg.). Vandoeuvre-les-Nancy, INPL.
- Lichtenthaler, H.K., Kuhn, G., Prenzel, U., Meier, D., 1982. Chlorophyll-protein levels and degree of thylakoid stacking in radish chloroplasts from high-light, low-light and bentazon-treated plants. *Physiologia Plantarum* 56, 183-188.
- Maskan, M., 2001. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering* 48, 169-175.
- Melo, E.d.A., Lima, V., Maciel, M., Caetano, A.d.S., Leal, F., 2006. Polyphenol, ascorbic acid and total carotenoid contents in common fruits and vegetables. *Braz J Food Technol* 9, 89-94.
- Rohman, A., Riyanto, S., Yuniarti, N., Saputra, W., Utami, R., Mulatsih, W., 2010. Antioxidant activity, total phenolic, and total flavonoid of extracts and fractions of red fruit (*Pandanus conoideus* Lam). *International Food Research Journal* 17, 97-106.
- Schulze, B., Hubbermann, E.M., Schwarz, K., 2014. Stability of quercetin derivatives in vacuum impregnated apple slices after drying (microwave vacuum drying, air drying, freeze drying) and storage. *LWT-food science and technology* 57, 426-433.
- Şükran, D., GÜNEŞ, T., Sivaci, R., 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish Journal of Botany* 22, 13-18.
- Treche, S., 1986. INFLUENCE D'APPORTS MODERES D'ENGRAIS AZOTE SUR LA VALEUR NITRITIBNNELLE DE TUBERCULES DE DIOSCQREA ZOTUNDATA. *Revue Science et Technique*, 77 - 92.

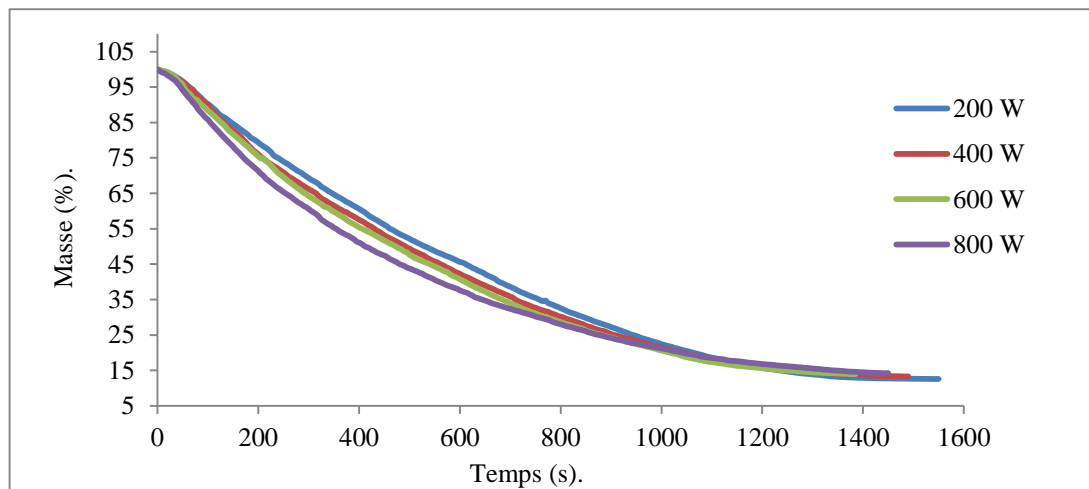
## IV. Résultats et discussion

### IV. 1. Cinétique de séchage de cosses de petit pois

L'évolution de la perte de masse en fonction du temps pour les différentes températures et puissances sont représentées dans les figures 14 et 15 respectivement.



**Figure 14 :** Evolution de la perte de masse en fonction du couple temps-température.



**Figure 15 :** Evolution de la perte de masse en fonction du couple temps-puissance.

Pour bien comparer les résultats de la perte de masse en fonction du temps des deux techniques de séchage, étuve et four microonde, on a calculé les vitesses (Tableau IV).

**Tableau IV** : Vitesses de séchage en fonction de la température et de la puissance.

Températures (°C)	Vitesse (g/min)	Puissance (W)	Vitesse (g/s)
40 °C	$9,98 \cdot 10^{-2}$	200	$2,4 \cdot 10^{-2}$
60 °C	$5,54 \cdot 10^{-1}$	400	$2,6 \cdot 10^{-2}$
80 °C	$5,42 \cdot 10^{-1}$	600	$2,26 \cdot 10^{-2}$
100 °C	$7,62 \cdot 10^{-1}$	800	$5,46 \cdot 10^{-2}$
120 °C	1,29	/	/

D'après les résultats obtenus, le temps de séchage à l'étuve est inversement proportionnel à la température appliquée. En effet, la déshydratation à 40 °C nécessite 1080 min avec une vitesse très lente, et à 120 °C nécessite 220 min, avec une vitesse plus rapide. Ces résultats sont similaires à ceux rapportés dans la littérature (**Bonazzi and Bimbenet, 2003; Vasseur, 2009**), qui montrent que le temps de séchage est inversement proportionnel à la température appliquée. Selon **Cheftel et al. (1976)**, plus la température augmente plus la vitesse d'évaporation est élevée, et le temps est plus court.

Le temps de séchage par microonde est en fonction de la puissance de traitement. En effet, la durée la plus longue est de 25,83 min, qui correspond à 200 W et la plus courte est attribuée à 800W avec une vitesse plus rapide. Ces résultats sont identiques à ceux de **Ghanem et al. (2012)**, qui ont démontré que le taux de déshydratation augmente parallèlement avec les puissances de microonde, plus le niveau de puissance est grand, plus le temps de séchage est réduit. Selon **Sumnu et al. (2005)**, le temps de séchage plus court dans microonde peut être expliqué par une haute pression interne et les gradients de concentration qui augmente l'évaporation de liquide à travers le produit jusqu'à la stabilité. Ce phénomène a été expliqué de la même manière par **Darvishi et al. (2014)**.

La comparaison entre les deux types de séchage appliqués, étuve ventilée et microondes, a montré que l'utilisation de microondes réduit considérablement le temps de séchage. En effet, le séchage dans l'étuve à 120 °C nécessite 3 h 40 min, contre 25,83 min pour le séchage aux microondes à 200W.

## IV.2. Analyses phytochimiques des poudres de cosses de petit pois

### IV.2 .1. Analyses physico-chimiques

#### IV.2 .1.1.Teneur en eau (Humidité)

La teneur moyenne en eau des cosses de petit pois *Pisum sativum* est de  $87,98 \pm 0,181$ . Et dans le but d'estimer l'efficacité de séchage dans la limite de la perte d'eau, l'activité de l'eau a été mesurée avec le « Water Activity Meter » pour les différentes poudres obtenues et les résultats sont récapitulés dans le tableau V.

**Tableau V :** Activité de l'eau en fonction de temps des différentes températures et puissances.

Puissance (watt)	Aw	Temps (min)	Température (C°)	Aw	Temps (min)
200	0,53	25,83	40	0,48	1080
400	0,53	24,83	60	0,51	420
600	0,53	24,16	80	0,55	405
800	0,51	23,08	100	0,44	240
/	/	/	120	0,46	220

Les résultats de l'activité de l'eau, montrent qu'il n'y a pas de grande différence entre les deux méthodes. Par contre la durée de séchage par étuve est plus élevée par rapport au séchage par microonde. Ce qui confirme l'efficacité du séchage par microonde en termes de temps.

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

#### IV.2.1.2.Couleur

La couleur des fruits et légumes est due aux pigments localisés dans les vacuoles, ou le liquide cytoplasmique des cellules, parfois uniquement des cellules épidermiques. Les principaux pigments appartiennent à trois classes : chlorophylles, caroténoïdes et anthocyanes (Flink, 1980; Forni et al., 1997).



Les paramètres  $L^*$   $a^*$   $b^*$  des échantillons sont illustrés dans le tableau VI.

**Tableau VI :** Différents paramètres de l'indice de couleur en fonction de la température et de la puissance de séchage.

Paramètre		$L^*$	$a^*$	$b^*$	Paramètre	$L^*$	$a^*$	$b^*$	
Frais		35,47	-12,16	20,71	Frais	35,47	-12,16	20,71	
Puissances (W)	200	39,30	-4,39	24,38	Température (°C)	40	48,43	2,17	28,74
	400	38,61	-3,01	23,32		60	44,82	-0,83	21,97
	600	41,24	-3,51	25,38		80	44,68	2,23	21,69
	800	47,86	-8,09	30,95		100	46,66	10,68	24,01
						120	30,83	8,57	16,64

L'interprétation des paramètres  $L^*$   $a^*$   $b^*$  (tableau VI) par le logiciel « OpenRGB » donne différentes couleurs (annexes V).

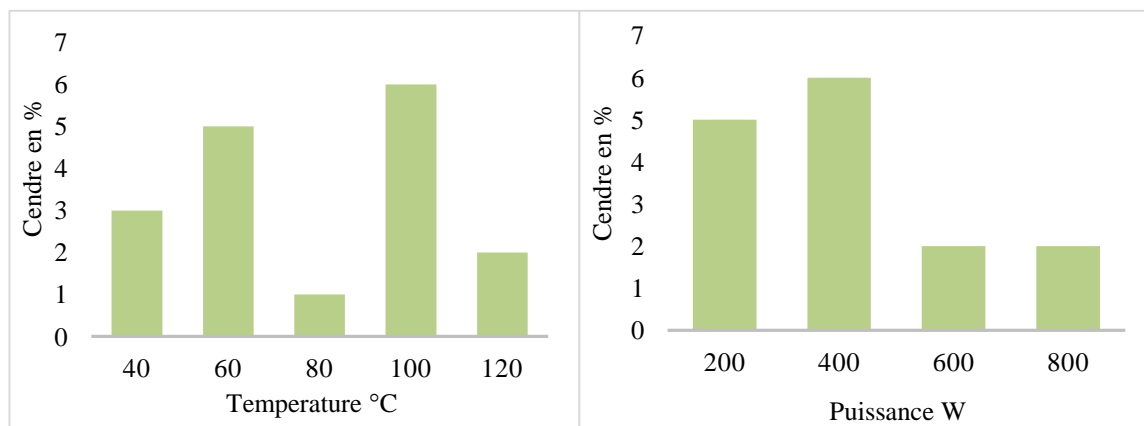
Les poudres traitées à l'étuve et au four microonde montrent une variabilité de couleur entre eux et surtout par rapport à l'état frais, et cela peut être expliqué par la dégradation des pigments. En effet, pour le four microonde, les poudres obtenues montrent une dégradation graduelle en augmentant la puissance, par contre, ceux obtenues à l'étuve montrent une variation aléatoire.

En comparant les couleurs des poudres obtenues par les deux types de séchage, celles séchées au four microonde montrent moins de dégradations par rapport à l'ensemble des poudres obtenues à l'étuve ventilée.

Beaucoup de réactions peuvent affecter la couleur durant le processus thermique des fruits et leurs dérivées. Les plus communes sont : la dégradation des pigments, spécialement les caroténoïdes et la chlorophylle, les réactions de brunissement, l'oxydation de l'acide ascorbique (Barreiro et al., 1997; Lee and Coates, 1999; Lozano and Ibarz, 1997).

### IV.2.1.3. Cendres

Les teneurs en cendres de différentes poudres obtenues après séchage avec les deux méthodes sont illustrées dans la figure 16.



**Figure 16 :** Teneurs moyennes en cendres.

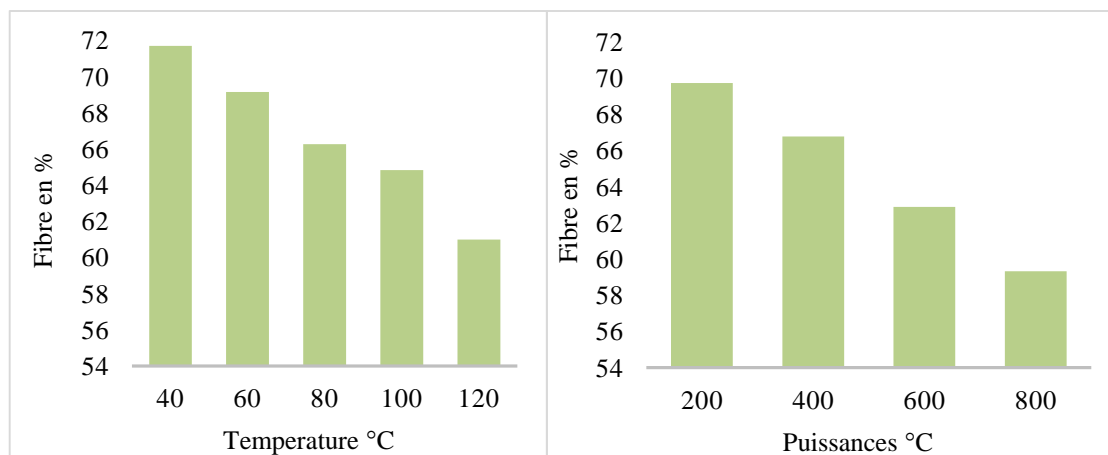
D'après la figure, les teneurs en cendre des poudres séchées à l'étuve varient entre 1 et 6 %, le pourcentage le plus élevé est de 6% enregistré à 100 °C, et le plus faible est de 1% à 80 °C.

Pour le traitement au MO, le pourcentage le plus élevé est de 6 % attribuée à 400 W et le plus faible est de 2 % correspondant à 600 et 800 W.

Ces résultats sont faibles par rapport aux résultats obtenus par **Wadhwa et al. (2006)** pour la même matrice avec une valeur de 8.5%. Par contre, les résultats de la présente étude sont proche aux pourcentages de cendres calculés pour d'autres sous-produits, tels que les poires (1,0%), les pommes (1,2%) et (1,9%) pour les dattes (**Chiewchan et al., 2012**).

### IV.2.4. Fibres

Les résultats obtenus lors du dosage des fibres des échantillons séchés par les deux méthodes, étuve et microondes, sont représentés dans la figure 17.



**Figure 17 :** Teneurs moyennes en fibres.

Au reflet de la figure, la teneur en fibre est inversement proportionnelle à la température. En effet, la teneur la plus élevée est enregistrée à 40 °C qui est de 71,7%, en revanche la plus faible est allouée à 120 °C avec un pourcentage de 61%.

Concernant le four microonde, les teneurs en fibres sont décroissantes avec l'augmentation de la puissance d'irradiation. La teneur la plus élevée est enregistrée à 200W qui est de 69,72 %. Par contre la plus faible est accordée à 800 W avec un pourcentage de 59,32 %.

La comparaison entre les deux méthodes, montre que l'étuve préserve mieux les fibres que le traitement par microonde. Selon **Tanongkankit et al. (2012)** le traitement thermique n'a eu aucun effet sur la teneur en fibres alimentaires.

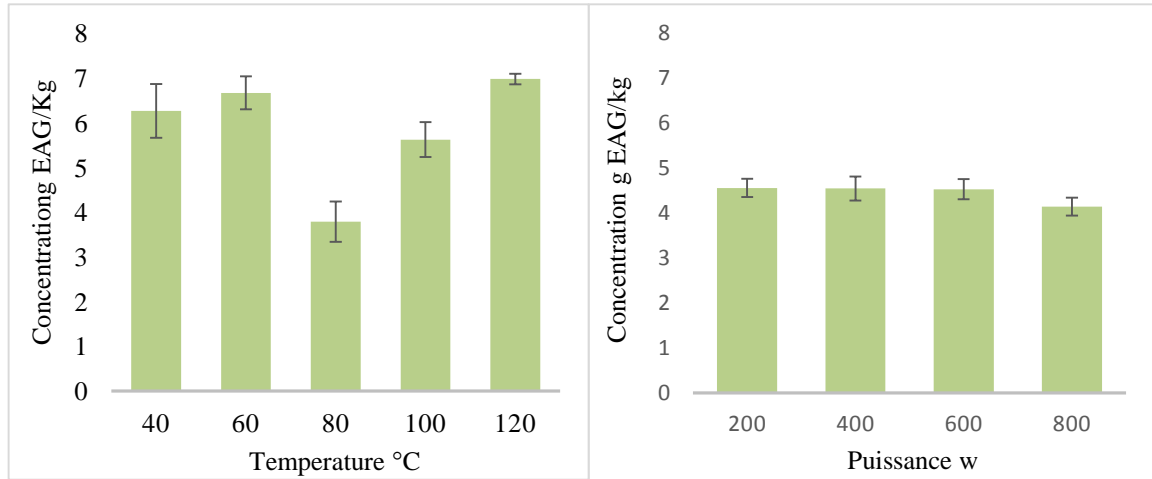
Les résultats de la présente étude sont plus élevés que le résultat trouvé par **Mateos-Aparicio et al. (2012)** qui est de 58,6 % pour la même variété, cette différence peut être liée au traitement thermique ou à d'autres facteurs tels que les conditions climatiques et la composition du sol.

## IV.2.2. Principes actifs et activité antioxydante

### IV.2.2.1. Composés phénoliques

Les composés phénoliques sont des molécules spécifiques du règne végétal qui présentent des propriétés biologiques intéressantes (**Ladoh et al., 2015**).

Les résultats du dosage des composés phénoliques totaux (PPT) pour les différents extraits de poudres obtenues après séchage avec les deux méthodes sont illustrés dans la figure 18.



**Figure 18 :** Teneurs moyennes en polyphénols totaux.

Les résultats du dosage des PPT des extraits de poudres séchées à l'étuve montrent que les concentrations varient entre  $3.788 \pm 1.534$  et  $6.982 \pm 0.116$  g EAG/Kg de MS. Ces fluctuations de teneurs en composés phénoliques peuvent être expliquées par leurs dégradations sous l'effet de la température et du temps (Klimczak et al., 2007). L'analyse statistique montre qu'il y a une différence significative (annexe IV) donc la température a une influence sur le rendement en polyphénol.

Pour le séchage au microonde les concentrations varient de  $4,14 \pm 0,19$  à  $4,56 \pm 0,2$  g EAG/Kg de MS. L'analyse statistique montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les teneurs obtenues pour les différentes puissances d'irradiation appliquées (Annexe IV). Ce qui implique que les puissances n'ont pas d'influence sur la teneur en PPT.

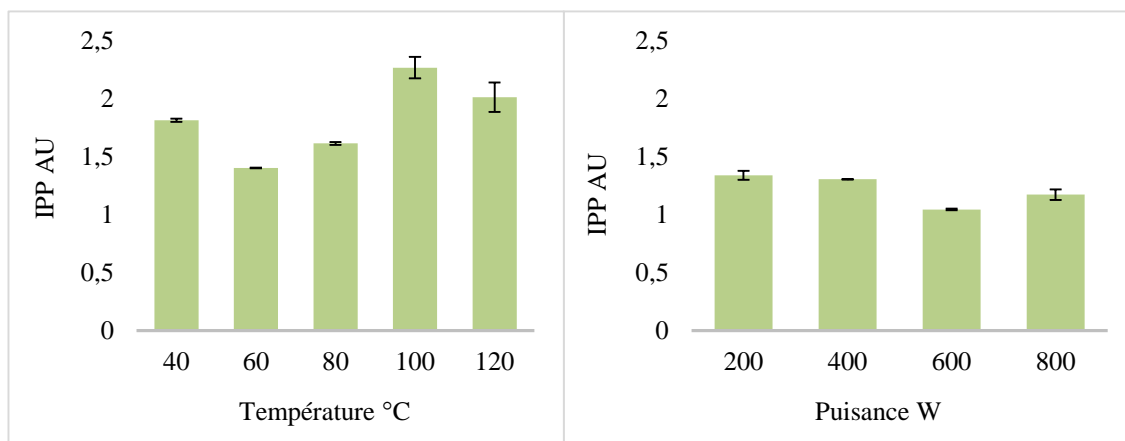
Les effets du processus de séchage par MO sur les composés phénoliques des aliments ont été étudiés, certains auteurs ont signalé qu'il y a un effet sur les composés phénoliques (Akyıldız et al., 2004), et certains ont déclaré qu'il n'y a pas de changement important dans la concentration de ces composés (Dewanto et al., 2002).

La comparaison entre les deux types de séchage en termes de teneurs en PPT, montre que les résultats obtenus par microonde sont inférieurs par rapport à ceux de l'étuve.

On remarque que les teneurs en composés phénoliques totaux dans les cosses de petit pois est proche de celle trouvée par **Mateos-Aparicio Cediél (2009)**.

#### IV.2.2.2. Indice de polyphénols

L'indice de polyphénols des extraits de poudres séchées est présenté dans la Figure 19.



**Figure 19** : Indice de polyphénols.

Les températures permettent d'avoir les teneurs les plus élevées en PPT après séchage à l'étuve ventilé ont 100 et 120°C avec des concentrations respectives de  $2,266 \pm 0,09$  et  $2,013 \pm 0,12$  AU.

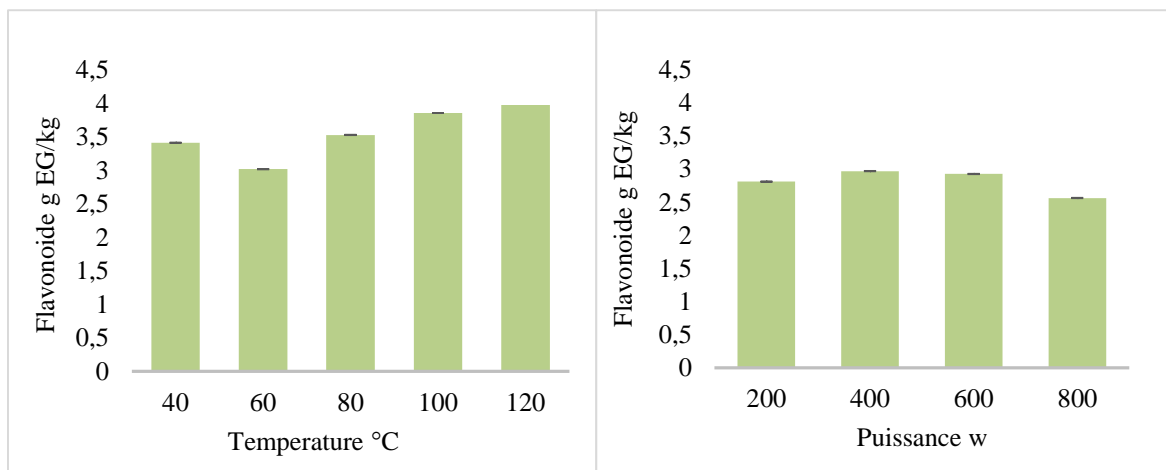
Pour le four microonde, les teneurs les plus élevées en PPT, sont attribuées aux puissances 200 et 400W donnant ainsi une teneur de  $1,333 \pm 0,037$  et  $1,305 \pm 0,001$  AU, respectivement.

Selon **Arslan and Özcan (2010)**, le court laps de temps requis pour le séchage pourrait avoir augmenté la teneur en composés phénoliques des échantillons. Les mêmes auteurs ont aussi rapporté que le séchage accélère la libération des composés phénoliques liés lors de la décomposition des constituants cellulaires.

#### IV.2.2.3. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont omniprésents chez tous les végétaux. L'activité des flavonoïdes est exprimée par leur grande affinité biologique avec les polymères, les métaux lourds et surtout pour leur activité antioxydante. Ce sont les plus actifs parmi les antioxydants végétaux alimentaires (**Seyoum et al., 2006**).

Les teneurs en flavonoïdes des extraits de poudres sont illustrées dans la figure 20.



**Figure 20 :** Teneurs moyennes en flavonoïdes.

A l'étuve, Les teneurs en flavonoïdes varient en fonction des différentes températures et du temps de séchage. La teneur maximale est obtenue à 120 °C et la plus faible à 60 °C avec des teneurs de  $3,97 \pm 0,0007$  et  $3,41 \pm 0,003$  g EQ/Kg de MS, respectivement. L'analyse statistique montre qu'il y a une différence significative entre les températures 120 et 60 °C (l'annexe IV).

Des études réalisées sur d'autres légumes et fruits, ont démontré que le traitement thermique influence sur les composés phénoliques, tel que les flavonoïdes et d'autres composés bioactifs (**Williams et al., 2013**).

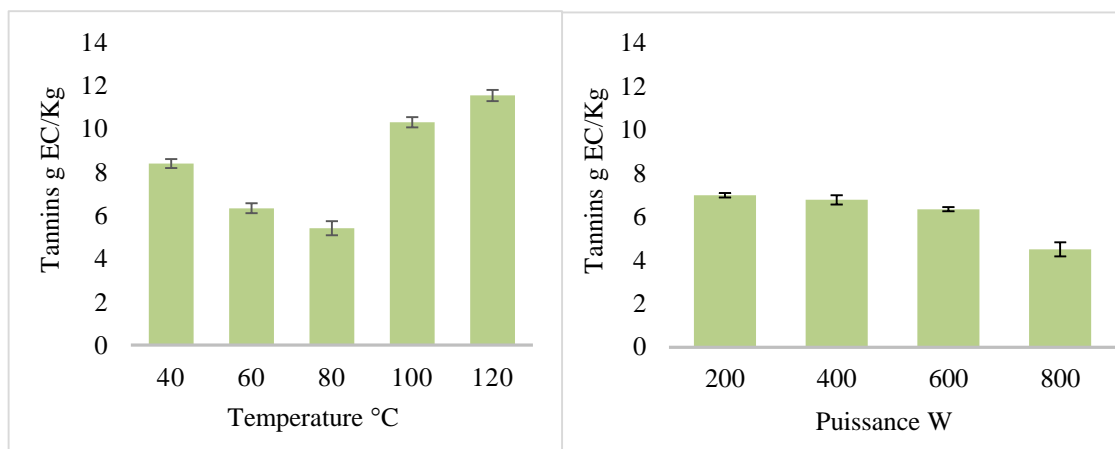
Pour le four microonde, le rendement le plus important, est obtenue à 400 W avec une teneur de  $2,969 \pm 0,003$  g EQ / Kg de Ms. Le plus faible rendement est obtenu à 800 W avec une teneur de  $2,56 \pm 0,001$  g EQ/Kg de Ms. L'analyse statistique conclue que les puissances n'ont aucune influence sur la teneur en flavonoïdes (l'annexe IV).

**Mittal et al. (2013)** ont démontré que la teneur en flavonoïde est considérablement réduite après un traitement par microonde.

La comparaison entre les deux types de séchage en termes de la teneur en flavonoïde, montre que les résultats obtenus par microonde sont inférieurs par rapport à ceux de l'étuve.

#### IV.2.2.4. Tannins

Les concentrations en tannins des différents extraits sont représentées dans la figure 21.



**Figure 21** : Teneurs moyennes en tannins.

A l'étuve, la teneur la plus élevée est de  $11,527 \pm 0,262$  g EC/Kg MS, cette dernière est obtenue à 120 °C, et la plus basse concentration est enregistrée à 80 °C. Par comparaison aux résultats des flavonoïdes, on peut déduire que les conditions de séchage peuvent affecter les différents composés phénoliques des extraits. L'analyse statistique montre qu'il y a une variation hautement significative (annexes IV).

Le séchage aux microondes montre que la teneur la plus élevée en tannins est enregistrée à 200 W qu'est de  $6,995 \pm 0,1$  g EC/Kg et qui est inférieure aux résultats obtenus au séchage conventionnel, ce qui est en accord avec les travaux de **Eskilsson and Björklund (2000)**. Les autres puissances appliquées, montrent une diminution de la teneur particulièrement à 800W, ce qui correspond aux résultats observés avec les flavonoïdes. Cela est peut-être dû à la dégradation de ces composés sous l'effet d'irradiation des microondes (**Zhang et al., 2013**). **Dong et al. (2011)** ont signalé que la puissance des radiations et la durée du séchage par microonde ont une influence sur la composition phénolique.

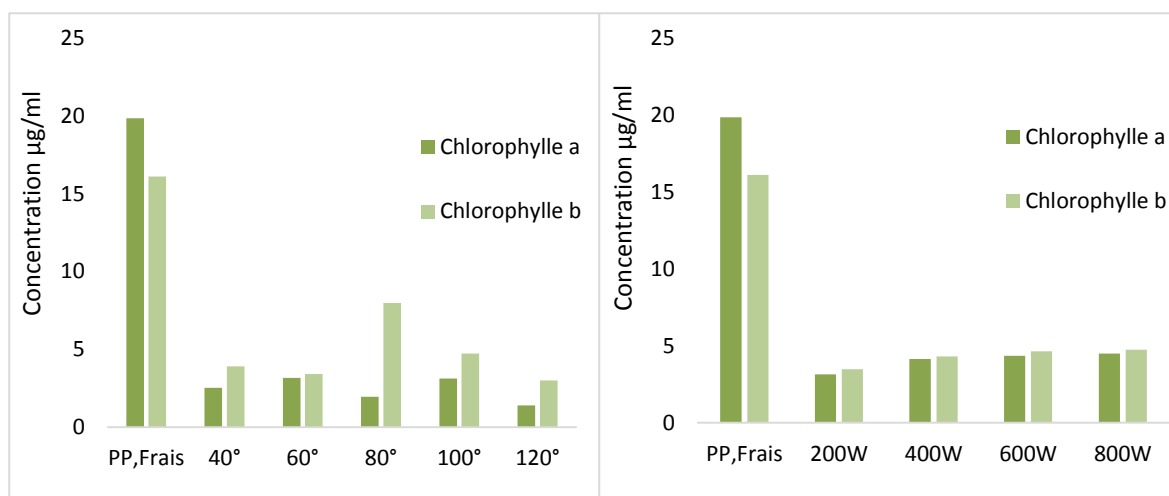
L'analyse de l'ANOVA illustrée dans l'annexe IV indique l'absence de différence entre les trois puissances (200,400 et 600W).

La comparaison entre les deux types de séchage montre que les résultats obtenus par séchage à l'étuve sont supérieurs par rapport à ceux aux microondes.

#### IV.2.2.5. Chlorophylle ‘a’ et ‘b’

Les chlorophylles, colorants responsables de la caractéristique de la couleur verte des fruits et légumes, sont fortement sensibles à la dégradation pendant le traitement, ayant pour résultat la modification de la couleur des aliments (**Schwartz et al., 1983**). La conservation de la chlorophylle a été employée comme mesure de qualité dans les légumes verts (**Sweeney and Martin, 1961**).

Les résultats obtenus lors du dosage des chlorophylles ‘a’ et ‘b’, des échantillons séchés par les deux méthodes sont représentés dans la figure 22.



**Figure 22** : Teneur en chlorophylle ‘a’ et ‘b’.

Selon les résultats obtenus, on remarque que la teneur en chlorophylle ‘a’ et ‘b’ après séchage par les deux méthodes (étuve, four microonde) sont très affectées en comparant avec l’état frais.

A l’étuve la meilleure concentration de la chlorophylle ‘a’ est de 3,17 obtenue à 60°C et pour la chlorophylle b est attribuée à 80 °C avec une teneur de 7,98 µg / ml.

Au four MO, la teneur la plus élevée de chlorophylle a et b est obtenue à 800W qu’est de 4,46 et 4,74 µg/ ml respectivement.

D’après les teneurs obtenues par les deux méthodes de séchage, on remarque que la chlorophylle ‘a’ est plus sensible au traitement thermique par rapport à la chlorophylle ‘b’.



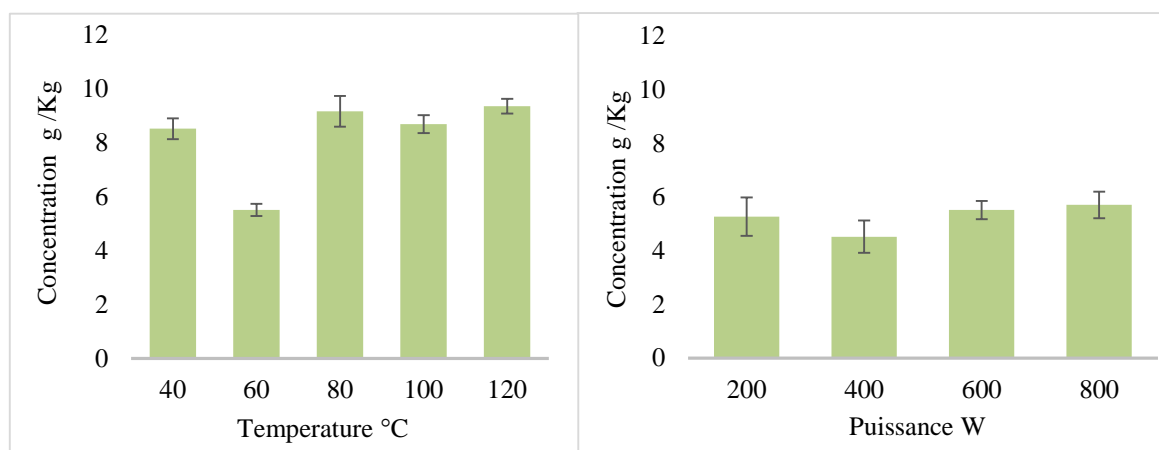
les colorants responsables de la couleur verte caractéristique des fruits et légumes, sont fortement susceptibles à la dégradation pendant le traitement (Koca et al., 2007). Il est bien connu que le chauffage excessif des produits alimentaires cause des pertes considérables en chlorophylle. Selon Hayakawa and Timber (1977), la chlorophylle a est thermiquement moins stable que la chlorophylle 'b' (Schwartz and Lorenzo, 1991).

### IV.2.3. Activité antioxydante

#### IV.2.3.1. Pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur est la capacité d'un extrait, à donner un électron et réduire le Fer ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ) en fer ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ). (Öztürk et al., 2007).

Les résultats du pouvoir réducteur des extraits sont représentés dans la figure 23.



**Figure 23 :** Teneurs moyennes en pouvoir réducteur.

Les extraits des cosses séchées à l'étuve présentent un pouvoir réducteur qui varie de  $5.52 \pm 0.225$  à  $9.366 \pm 0.273$  g /kg MS. Le meilleur pouvoir réducteur est obtenu à 120 °C. Cela peut être expliqué par la présence de composés antioxydants pouvant allouer des électrons réduisant ainsi le fer ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ) en fer ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ). Tandis que, la plus faible réduction a été observée à 60 °C. L'analyse de variance a rapporté que les températures (40, 80, 100 et 120) n'ont pas une influence sur l'activité antioxydant (l'annexe IV).

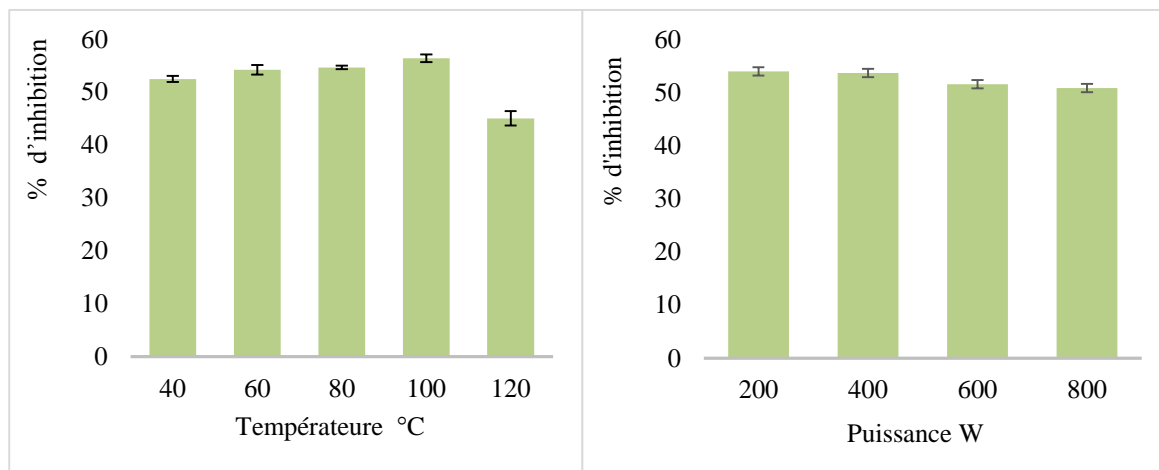
Au four microonde la valeur la plus importante est enregistrée à 800 W qui est de  $5.7 \pm 0.496$  g /kg MS, et la plus basse à 400 W avec une valeur de  $4.516 \pm 0.601$  g /kg MS. Cela peut être expliqué par la présence de composés donneurs d'électrons qui entraînent la réduction de  $Fe^{3+}$  en  $Fe^{2+}$ . Cette différence peut être due au séchage, comme elle peut être due à l'aspect qualitatif et/ou quantitatif des composés phénoliques.

En concordance avec les résultats de la présente étude, d'autres auteurs ont rapporté que certains traitements thermiques entraînent une augmentation de l'activité antioxydante totale et la teneur en flavonoïdes dans le brocoli, haricot vert, le poivre et les épinards (Turkmen *et al.*, 2005).

#### IV.2.3. 2. DPPH<sup>•</sup>

Le radical DPPH<sup>•</sup> est l'un des composés les plus utilisés généralement pour l'évaluation rapide et directe de l'activité antioxydante en raison de sa stabilité en forme radicale et la simplicité de l'analyse (Bozin *et al.*, 2008).

Les pourcentages d'inhibition du radical DPPH des extraits sont présentés dans la figure 24.



**Figure 24 :** Pourcentage d'inhibition du radical DPPH.

Pour l'étuve, le pourcentage le plus important est enregistré à 100 °C, avec une valeur de  $56.403 \pm 0.713$  %, car il possède la capacité de réduire le radical DPPH. Par contre à 120 °C, présente le pourcentage le plus faible du pouvoir d'inhibition, avec une valeur de  $45.036 \pm 1.369$  %. Cette fluctuation observée peut être relié à la température de séchage qui peut influencer sur le taux de PPT.

Cependant au four microonde, le meilleur pourcentage est obtenu à 200W avec une valeur de  $53.97 \pm 0.842$  %, et les extraits présentant une faible activité antioxydante sont ceux obtenus à 600 et 800 W. En effet, l'échantillon de 800 W présente une faible teneur en flavonoïdes et en tannins par comparaison avec celui de 200W.

L'analyse de l'ANOVA montre que les températures (40, 60, 80 et 100°C) et les puissances n'ont pas une influence sur le pourcentage d'inhibition du radical DPPH (l'annexe IV).

De nombreuses recherches ont démontré qu'il y a une corrélation entre les activités antiradicalaires et les composés phénoliques (**Bidie et al., 2013; Hrenovic et al., 2012**).

- Akyıldız, A., Aksay, S., Benli, H., Kıroğlu, F., Fenercioğlu, H., 2004. Determination of changes in some characteristics of persimmon during dehydration at different temperatures. *Journal of Food Engineering* 65, 95-99.
- Arslan, D., Özcan, M.M., 2010. Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. *LWT-food science and technology* 43, 1121-1127.
- Barreiro, J., Milano, M., Sandoval, A., 1997. Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. *Journal of Food Engineering* 33, 359-371.
- Bidie, A., N'guessan, B., Yapó, A., N'guessan, J., Djaman, A., 2013. Activités antioxydantes de dix plantes médicinales de la pharmacopée ivoirienne. *Sciences & Nature* 8, 1-12.
- Bonazzi, C., Bimbenet, J.-J., 2003. Séchage des produits alimentaires principes. *Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire 2, F3000. 3001-F3000. 3014.*
- Bozin, B., Mimica-Dukic, N., Samojlik, I., Goran, A., Igić, R., 2008. Phenolics as antioxidants in garlic (*Allium sativum* L., Alliaceae). *Food Chemistry* 111, 925-929.
- Cheftel, C., Cuq, J., Provansal, M., Besançon, P., 1976. Influence de procédés technologiques sur la composition et la valeur nutritionnelle d'aliments protéiques. *Revue française des corps gras.*
- Chiewchan, N., Devahastin, S., Mujumdar, A.S., 2012. Drying of Foods. *Handbook of Food Safety Engineering*, 394-411.
- Darvishi, H., Asl, A.R., Asghari, A., Azadbakht, M., Najafi, G., Khodaei, J., 2014. Study of the drying kinetics of pepper. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 13, 130-138.
- Dewanto, V., Wu, X., Adom, K.K., Liu, R.H., 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 3010-3014.
- Dong, J., Ma, X., Fu, Z., Guo, Y., 2011. Effects of microwave drying on the contents of functional constituents of *Eucommia ulmoides* flower tea. *Industrial Crops and Products* 34, 1102-1110.
- Eskilsson, C.S., Björklund, E., 2000. Analytical-scale microwave-assisted extraction. *Journal of Chromatography A* 902, 227-250.
- Flink, J., 1980. Dehydrated carrot slices: influence of osmotic concentration on drying behavior and product quality. *Food process engineering* 1, 412-418.
- Forni, E., Sormani, A., Scalise, S., Torreggiani, D., 1997. The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehydrofrozen intermediate moisture apricots. *Food Research International* 30, 87-94.
- Ghanem, N., Mihoubi, D., Kechaou, N., Mihoubi, N.B., 2012. Microwave dehydration of three citrus peel cultivars: Effect on water and oil retention capacities, color, shrinkage and total phenols content. *Industrial Crops and Products* 40, 167-177.
- Hayakawa, K.-I., Timber, G.E., 1977. Influence of heat treatment on the quality of vegetables: changes in visual green color. *Journal of Food Science* 42, 778-781.
- Hrenovic, J., Milenkovic, J., Daneu, N., Kepcija, R.M., Rajic, N., 2012. Antimicrobial activity of metal oxide nanoparticles supported onto natural clinoptilolite. *Chemosphere* 88, 1103-1107.
- Klimczak, I., Małecka, M., Szlachta, M., Gliszczynska-Świągło, A., 2007. Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices. *Journal of Food Composition and Analysis* 20, 313-322.
- Koca, N., Karadeniz, F., Burdurlu, H.S., 2007. Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. *Food Chemistry* 100, 609-615.

- Ladoh, Y., Dibong, S., Nyegue, M., Djembissi, T., Lenta, N., Mpondo, M., Yinyang, J., Wansi, J., 2015. Activité antioxydante des extraits méthanoliques de *Phragmanthera capitata* (Loranthaceae) récoltée sur *Citrus sinensis*. *Journal of Applied Biosciences* 84, 7636-7643.
- Lee, H., Coates, G., 1999. Thermal pasteurization effects on color of red grapefruit juices. *Journal of Food Science* 64, 663-666.
- Lozano, J., Ibarz, A., 1997. Colour changes in concentrated fruit pulp during heating at high temperatures. *Journal of Food Engineering* 31, 365-373.
- Mateos-Aparicio Cediél, I., 2009. Aprovechamiento de subproductos de leguminosas para la obtención de ingredientes funcionales: comparación de metodologías para la caracterización de la fibra alimentaria.
- Mateos-Aparicio, I., Redondo-Cuenca, A., Villanueva-Suárez, M.J., 2012. Broad bean and pea by-products as sources of fibre-rich ingredients: potential antioxidant activity measured in vitro. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92, 697-703.
- Mittal, A.K., Chisti, Y., Banerjee, U.C., 2013. Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. *Biotechnology Advances* 31, 346-356.
- Öztürk, M., Aydoğmuş-Öztürk, F., Duru, M.E., Topçu, G., 2007. Antioxidant activity of stem and root extracts of Rhubarb (*Rheum ribes*): An edible medicinal plant. *Food Chemistry* 103, 623-630.
- Schwartz, S., Lorenzo, T., 1991. Chlorophyll stability during continuous aseptic processing and storage. *Journal of Food Science* 56, 1059-1062.
- Schwartz, S., Von Elbe, J., Pariza, M., Goldsworthy, T., Pitot, H., 1983. Inability of red beet betalain pigments to initiate or promote hepatocarcinogenesis. *Food and Chemical Toxicology* 21, 531-535.
- Seyoum, A., Asres, K., El-Fiky, F.K., 2006. Structure–radical scavenging activity relationships of flavonoids. *Phytochemistry* 67, 2058-2070.
- Sumnu, G., Turabi, E., Oztop, M., 2005. Drying of carrots in microwave and halogen lamp–microwave combination ovens. *LWT-food science and technology* 38, 549-553.
- Sweeney, J., Martin, M., 1961. Stability of chlorophyll in vegetables as affected by pH. *Food technology* 15, 263-&.
- Tanongkankit, Y., Chiewchan, N., Devahastin, S., 2012. Physicochemical property changes of cabbage outer leaves upon preparation into functional dietary fiber powder. *Food and Bioproducts Processing* 90, 541-548.
- Tomás-Barberán, F.A., Espin, J.C., 2001. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81, 853-876.
- Turkmen, N., Sari, F., Velioglu, Y.S., 2005. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry* 93, 713-718.
- Vasseur, J., 2009. Séchage: principes et calcul d'appareils: Séchage convectif par air chaud (partie 1). *Techniques de l'ingénieur. Génie des procédés*.
- Wadhwa, M., Kaushal, S., Bakshi, M., 2006. Nutritive evaluation of vegetable wastes as complete feed for goat bucks. *Small Ruminant Research* 64, 279-284.
- Williams, D.J., Edwards, D., Hamernig, I., Jian, L., James, A.P., Johnson, S.K., Tapsell, L.C., 2013. Vegetables containing phytochemicals with potential anti-obesity properties: A review. *Food Research International* 52, 323-333.
- Zhang, H.-F., Zhang, X., Yang, X.-H., Qiu, N.-X., Wang, Y., Wang, Z.-Z., 2013. Microwave assisted extraction of flavonoids from cultivated *Epimedium sagittatum*: extraction yield and mechanism, antioxidant activity and chemical composition. *Industrial Crops and Products* 50, 857-865.



## Conclusion

Les cosses de petit pois semblent être un sous-produit sans grand intérêt alimentaire. Des analyses plus approfondies montrent la présence de composés phénoliques de pigments, de fibres et de minéraux qui peuvent avoir un intérêt particulier dans le développement de nouveaux produits ou bio additifs de grandes propriétés fonctionnelles.

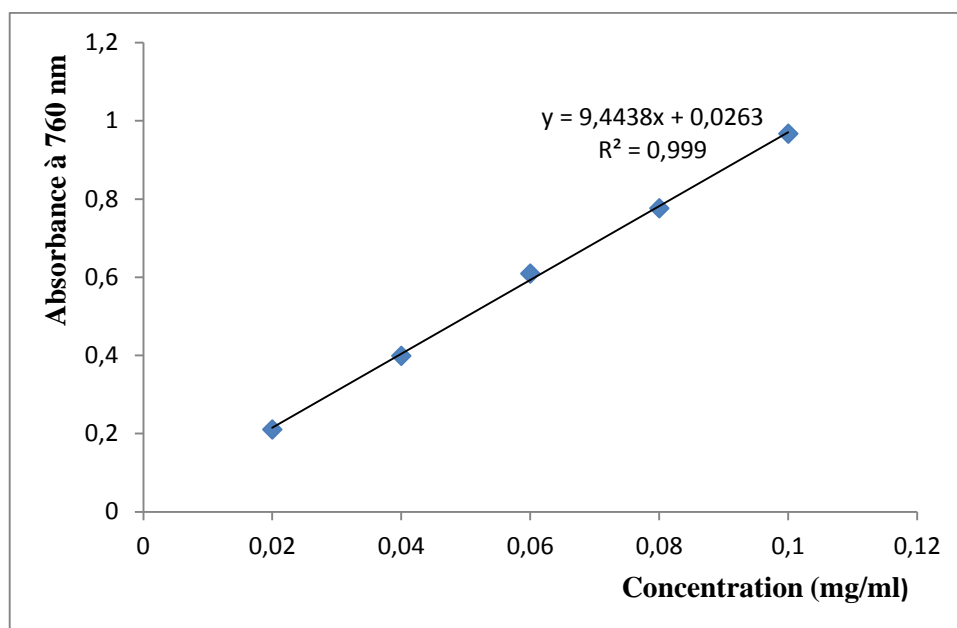
La présente étude s'est étalée d'une part au suivi des cinétiques de séchage, étuve et four microonde, de la cosse de *Pisum sativum* et d'autre part à l'évaluation de l'influence de ces procédés sur la couleur, la composition en fibres, en cendres et en principes actifs (polyphénols totaux, flavonoïdes, tannins et chlorophylles), et l'activité antioxydante

D'après les résultats des cinétiques de séchage de cosses de petit pois, on constate que l'utilisation de microondes réduit considérablement le temps de séchage. En effet, le séchage à l'étuve nécessite 17 heures à 40°C, contre 25,83 min pour le séchage aux au four à microondes à 200 W.

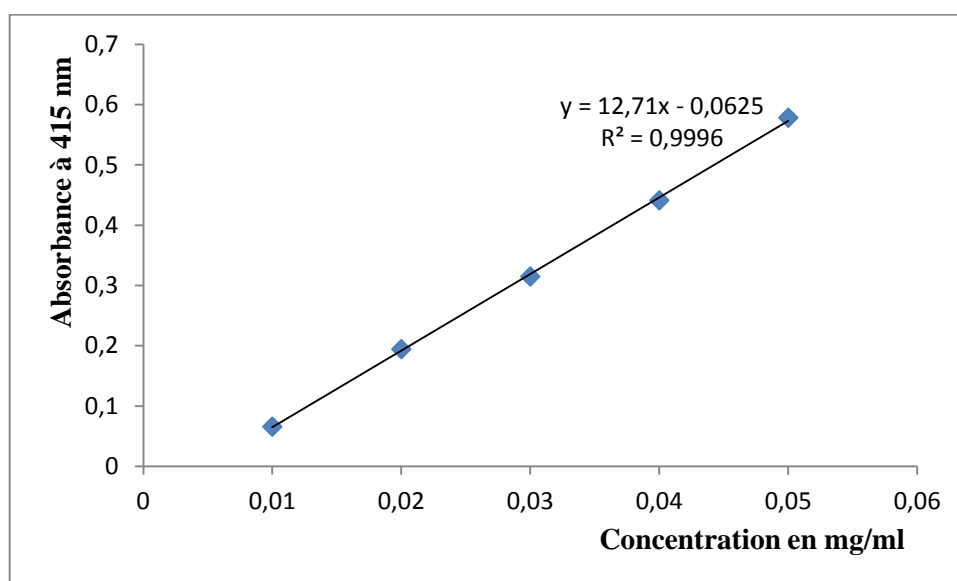
L'évaluation de l'influence des deux procédés de séchage, étuve et microonde, sur la couleur, composition et l'activité antioxydante a démontré que : les poudres obtenues après séchage, à l'étuve et four-microonde, ont une variabilité de couleur, celles séchées au four microonde montrent moins de changement par rapport à l'ensemble des poudres obtenues à l'étuve ventilée. Les teneurs en PPT des poudres obtenues après séchage au four microonde sont inférieure par rapport à celle de l'étuve. La même tendance a été constatée dans le cas des flavonoïdes, des tannins et des fibres. Les teneurs en chlorophylle "a" et "b" après séchage par les deux méthodes (étuve, four microonde) sont très affectées en comparant avec l'état frais. Concernant l'activité antioxydante, l'étude confirme également une certaine corrélation entre la teneur en substances bioactives et l'activité anti-oxydante mise en évidence.

Comme complément à la présente étude, il serait nécessaire de l'étayer par :

- Estimation de l'activité antioxydante par d'autres méthodes et évaluation des activités biologiques.
- Caractérisation de la composition qualitative et quantitative des cosses par techniques d'analyses plus performantes telles que HPLC, la RMN, etc.
- Caractérisations des minéraux par la spectrométrie d'absorption atomique et dosage des fibres par des enzymes.

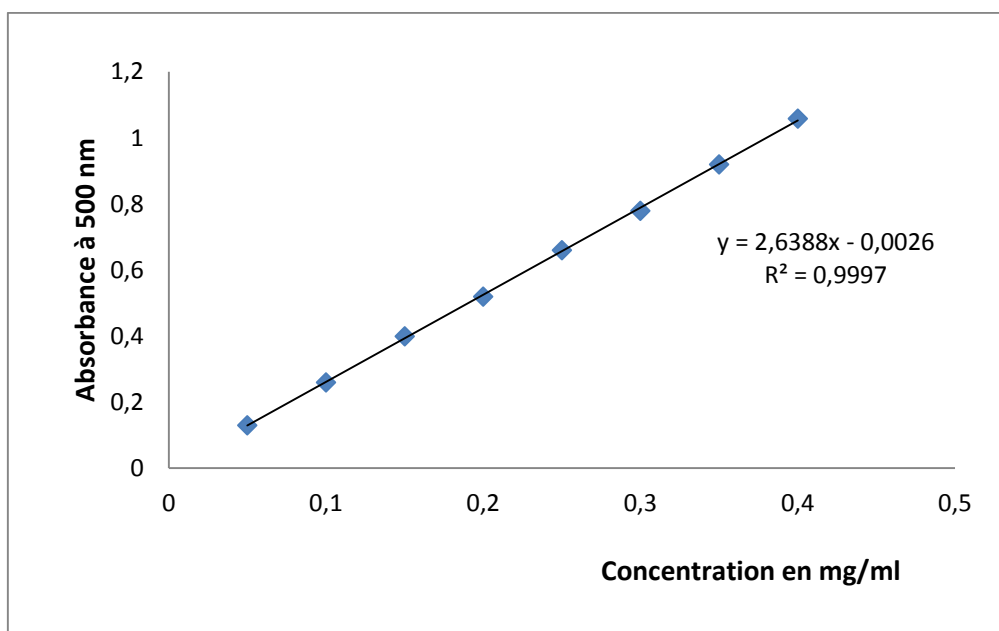


**Annexe I :** Courbe standard des composés phénoliques (Acide gallique).






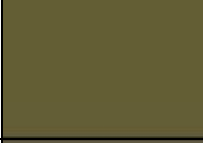


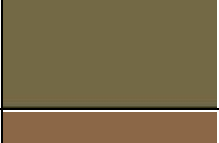

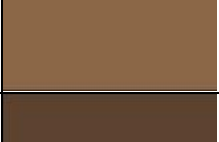


**Annexe II :** Courbe standard des flavonoïdes (la quercitine).





**Annexe III:** Courbe standard des tanins (la catéchine).

**Annexe V:** Les différents indices de couleur en fonction de la température et de la puissance de séchage.

Températures	Couleur	Puissance	Couleur
Frais		Frais	
40 °C		200W	
60 °C		400W	
80 °C		600W	
100 °C		800W	
120 °C			

## Annexe IV : analyses de l'ANOVA

	T (°C)	PTT	Flavonoïde	Tannis	DPPH	Pouvoir réducteur
Etuve	40	6,268 ± 0,601 <sup>a1</sup>	3,410 ± 0,003 <sup>a2b2</sup>	8,384 ± 0,208 <sup>e3</sup>	52,473 ± 0,576 <sup>a4</sup>	8,526 ± 0,387 <sup>a5</sup>
	60	6,670 ± 0,368 <sup>a1</sup>	3,017 ± 0,003 <sup>b2</sup>	6,313 ± 0,230 <sup>d3</sup>	54,226 ± 0,898 <sup>a4</sup>	5,52 ± 0,225 <sup>b5</sup>
	80	3,788 ± 1,534 <sup>b1</sup>	3,527 ± 0,003 <sup>a2b2</sup>	5,395 ± 0,325 <sup>c3</sup>	54,663 ± 0,313 <sup>a4</sup>	9,176 ± 0,568 <sup>a5</sup>
	100	5,626 ± 0,390 <sup>a1b1</sup>	3,856 ± 0,001 <sup>a2</sup>	10,288 ± 0,233 <sup>b3</sup>	56,403 ± 0,713 <sup>a4</sup>	8,7 ± 0,331 <sup>a5</sup>
	120	6,982 ± 0,116 <sup>a1</sup>	3,974 ± 0,001 <sup>a2</sup>	11,527 ± 0,262 <sup>a3</sup>	45,036 ± 1,369 <sup>b4</sup>	9,366 ± 0,273 <sup>a5</sup>
microonde	200	4,560 ± 0,204 <sup>a6</sup>	9,681 ± 0,124 <sup>a7b7</sup>	6,995 ± 0,1 <sup>a8</sup>	53,97 ± 0,842 <sup>a9</sup>	5,266 ± 0,712 <sup>a10</sup>
	400	4,549 ± 0,267 <sup>a6</sup>	29,691 ± 0,0342 <sup>a7</sup>	6,78 ± 0,208 <sup>a8</sup>	53,66 ± 2,001 <sup>a9</sup>	4,516 ± 0,601 <sup>a10</sup>
	600	4,533 ± 0,223 <sup>a6</sup>	19,692 ± 0,144 <sup>a7b7</sup>	6,352 ± 0,092 <sup>a8</sup>	51,533 ± 1,849 <sup>a9</sup>	5,513 ± 0,342 <sup>a10</sup>
	800	4,147 ± 0,198 <sup>a6</sup>	2,826 ± 0,001 <sup>b7</sup>	4,502 ± 0,324 <sup>b8</sup>	50,786 ± 1,207 <sup>a9</sup>	5,703 ± 0,496 <sup>a10</sup>

A,b,c,d et e : notations niveau de différence significative ; 1-10: notations de comparaison pour une réponse par rapport au type du séchage

## Annexe VI : Matériels utilisés

### 1. Appareillage

- Balance de précision RADWAG WAS 600/C/2.
- Broyeur électrique (ENIEM Tip GBA, Alger, Algérie).
- Dessiccateur RADWAG MAC 50/NP.
- Etuve ventilée MEMMERT.
- Micro-onde SAMSUNG model ME 8123ST.
- Tamiseur automatique RETSH AS 200 central.
- Four à moufle NABERTHERM.
- Spectrophotomètre UV-Vis SRECTROSCAN50.
- Vortex classic advenced.
- pH mètre EXTECH instruments (EC 500).
- colorimètre (PCE-TCR 200)
- Rotronic HP23-AW-A Water Activity Meter.

### 2. Produits chimiques

- Acétone. Sigma-Aldrich (Allemagne)
- Carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), Sigma-Aldrich (Allemagne)
- Folin-ciocalteu Sigma-Aldrich (Allemagne).
- Chlorure d'aluminium ( $\text{AlCl}_3$ ), BIOCHEM CHEMOPHARMA.
- Vanilline( $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3$ ) , BIOCHEM CHEMOPHARMA.
- Méthanol. Sigma-Aldrich (Allemagne)
- Acide chlorhydrique (HCl) 36% (ORGANICS DENTS CHLARD).
- Acide sulfurique. (PROLABO)
- Acide chloroacétique. (PROLABO)
- Chlorure de potassium (KCl).
- Acétate de sodium ( $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ).
- Tampon phosphate. (PROLABO)
- Fericyanide de potassium ( $\text{K}^+$ ).
- Chlorure de fer ( $\text{FeCl}_3$ ).
- DPPH. Sigma-Aldrich (Allemagne)
- NaOH. (BIOCHEM CHEMOPHARMA.)

# Glossaire

**Glabre** : Dépourvu de poils.

**Bisexué** : Un animal ou végétal bisexué se dit d'un individu possédant les organes reproducteurs des deux sexes

**Zygomorphe** : Se dit des fleurs qui présentent une symétrie bilatérale mais pas de symétrie axiale, telles que les fleurs du petits pois, les violettes, les orchidées

**Cléistogame** : Se dit des fleurs qui, à maturité, restent closes et dont la pollinisation ne peut se faire que par autogamie directe, telles que la drave, certaines violettes, etc.

**Oblongue** : De forme allongée.

*A*

**Achat, S., Tomao, V., Madani, K., Chibane, M., Elmaataoui, M., Dangles, O., Chemat, F., 2012.** Direct enrichment of olive oil in oleuropein by ultrasound-assisted maceration at laboratory and pilot plant scale. *Ultrasonics sonochemistry* 19, 777-786.

**Akyıldız, A., Aksay, S., Benli, H., Kiroğlu, F., Fenercioğlu, H., 2004.** Determination of changes in some characteristics of persimmon during dehydration at different temperatures. *Journal of Food Engineering* 65, 95-99.

**Al-Duri, B., McIntyre, S., 1992.** Comparison of drying kinetics of foods using a fan-assisted convection oven, a microwave oven and a combined microwave/convection oven. *Journal of Food Engineering* 15, 139-155.

**Alibas, I., 2007.** Microwave, air and combined microwave–air-drying parameters of pumpkin slices. *LWT-food science and technology* 40, 1445-1451.

**Allaf, K., Mounir, S., Allaf, T., 2012.** Swell-drying: séchage et texturation par DIC des végétaux. *Techniques de l'Ingénieur*. La Rochelle, France.

**Anizon, J.-Y., LEMAIRE, B., SURBLED, M., 2003.** Extraction assistée par micro-ondes. *Techniques de l'ingénieur*. Agroalimentaire 2, F3060. 3061-F3060. 3011.

**Arslan, D., Özcan, M.M., 2010.** Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. *LWT-food science and technology* 43, 1121-1127.

*B*

**Ba, K., Tine, E., Destain, J., Cissé, N., Thonart, P., 2010.** Étude comparative des composés phénoliques, du pouvoir antioxydant de différentes variétés de sorgho sénégalais et des enzymes amylolytiques de leur malt. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 14, 131-139.

**Barreiro, J., Milano, M., Sandoval, A., 1997.** Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. *Journal of Food Engineering* 33, 359-371.

**Benoît, M., Deffontaines, J.-P., Lardon, S., 2006.** Acteurs et territoires locaux: vers une géoagronomie de l'aménagement. Editions Quae.

**Bidie, A., N'guessan, B., Yapo, A., N'guessan, J., Djaman, A., 2013.** Activités antioxydantes de dix plantes médicinales de la pharmacopée ivoirienne. *Sciences & Nature* 8, 1-12.

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

**Boizot, N., Charpentier, J.-P., 2006.** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier.

**Bonazzi, C., Bimbenet, J.-J., 2003.** Séchage des produits alimentaires principes. *Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire 2, F3000. 3001-F3000. 3014.*

**Bonazzi, C., Bimbenet, J.-J., 2008.** Séchage des produits alimentaires: Appareils et applications. *Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire 2.*

**Bonazzi, C., Dumoulin, E., 2011.** Quality changes in food materials as influenced by drying processes. *Modern drying technology* 3.

**Bouraoui, M., Richard, P., Durance, T., 1994.** Microwave and convective drying of potato slices. *Journal of Food Process Engineering* 17, 353-363.

**Bozin, B., Mimica-Dukic, N., Samojlik, I., Goran, A., Igetic, R., 2008.** Phenolics as antioxidants in garlic (*Allium sativum* L., Alliaceae). *Food Chemistry* 111, 925-929.

**Bravo, L., Saura-Calixto, F., 1998.** Characterization of dietary fiber and the in vitro indigestible fraction of grape pomace. *American Journal of Enology and Viticulture* 49, 135-141.

**Brink, M., Belay, G.M., 2006.** Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1: céréales et légumes secs. PROTA.

## C

**Carle, R., Keller, P., Schieber, A., Rentschler, C., Katschner, T., Rauch, D., Fox, G., Endress, H., 2001.** Method for obtaining useful materials from the by-products of fruit and vegetable processing. Patent application, WO 1, A1.

**Chang, C.-C., Yang, M.H., Wen, H.M., Chern, J.C., 2002.** Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of food and drug analysis* 10, 178-182.

**Cheftel, C., Cuq, J., Provansal, M., Besancon, P., 1976.** Influence de procedes technologiques sur la composition et la valeur nutritionnelle d'aliments proteiques. *Revue française des corps gras*.

**Chiewchan, N., Devahastin, S., Mujumdar, A.S., 2012.** Drying of Foods. *Handbook of Food Safety Engineering*, 394-411.

**Cieslarová, J., Smýkal, P., Dočkalová, Z., Hanáček, P., Procházka, S., Hýbl, M., Griga, M., 2011.** Molecular evidence of genetic diversity changes in pea (*Pisum sativum* L.) germplasm after long-term maintenance. *Genetic resources and crop evolution* 58, 439-451.

**Cousin, R., 1997.** Peas (*Pisum sativum* L.). *Field Crops Research* 53, 111-130.

## D

**Dadalı, G., Kılıç Apar, D., Özbek, B., 2007.** Microwave drying kinetics of okra. *Drying Technology* 25, 917-924.

**Darvishi, H., Asl, A.R., Asghari, A., Azadbakht, M., Najafi, G., Khodaei, J., 2014.** Study of the drying kinetics of pepper. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 13, 130-138.



**Dewanto, V., Wu, X., Adom, K.K., Liu, R.H., 2002.** Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 3010-3014.

**Dong, J., Ma, X., Fu, Z., Guo, Y., 2011.** Effects of microwave drying on the contents of functional constituents of *Eucommia ulmoides* flower tea. *Industrial Crops and Products* 34, 1102-1110.

**Doymaz, I., 2004.** Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering* 61, 359-364.

**Doymaz, I., Pala, M., 2002.** Hot-air drying characteristics of red pepper. *Journal of Food Engineering* 55, 331-335.

**Drouzas, A., Tsami, E., Saravacos, G., 1999.** Microwave/vacuum drying of model fruit gels. *Journal of Food Engineering* 39, 117-122.

## *E*

**Eskilsson, C.S., Björklund, E., 2000.** Analytical-scale microwave-assisted extraction. *Journal of Chromatography A* 902, 227-250.

## *F*

**FAO, 2013.** Food and alimentation organisation. site FAO-STAT :  
<<http://faostat3.fao.org/home/F>>

**Feng, H., Tang, J., 1998.** Microwave finish drying of diced apples in a spouted bed. *Journal of Food Science* 63, 679-683.

**Flink, J., 1980.** Dehydrated carrot slices: influence of osmotic concentration on drying behavior and product quality. *Food process engineering* 1, 412-418.

**Forni, E., Sormani, A., Scalise, S., Torreggiani, D., 1997.** The influence of sugar composition on the colour stability of osmodehydrofrozen intermediate moisture apricots. *Food Research International* 30, 87-94.

## G

**Garau, M.C., Simal, S., Rosselló, C., Femenia, A., 2007.** Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. *Canoneta*) by-products. *Food Chemistry* 104, 1014-1024.

**Georgé, S., Brat, P., Alter, P., Amiot, M.J., 2005.** Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 1370-1373.

**Ghafar, M., Prasad, K.N., Weng, K.K., Ismail, A., 2010.** Flavonoid, hesperidine, total phenolic contents and antioxidant activities from *Citrus* species. *African Journal of Biotechnology* 9.

**Ghanem, N., Mihoubi, D., Kechaou, N., Mihoubi, N.B., 2012.** Microwave dehydration of three citrus peel cultivars: Effect on water and oil retention capacities, color, shrinkage and total phenols content. *Industrial Crops and Products* 40, 167-177.

**Giese, J., 1992.** Advances in microwave food processing. *Food technology* 46, 118-123.

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

**Grigelmo-Miguel, N., Martín-Belloso, O., 1999.** Comparison of dietary fibre from by-products of processing fruits and greens and from cereals. *LWT-food science and technology* 32, 503-508.

## H

**Hayakawa, K.-I., Timber, G.E., 1977.** Influence of heat treatment on the quality of vegetables: changes in visual green color. *Journal of Food Science* 42, 778-781.

**Hrenovic, J., Milenkovic, J., Daneu, N., Kepcija, R.M., Rajic, N., 2012.** Antimicrobial activity of metal oxide nanoparticles supported onto natural clinoptilolite. *Chemosphere* 88, 1103-1107.

## K

**Kenfack, M., Blandine, L., 2010.** Propriétés nutritionnelles et fonctionnelles des protéines de tourteaux, de concentrats et d'isolats de Ricinodendron heudelotii (Bail.) Pierre ex Pax et de Tetracarpidium conophorum (Müll. Arg.). Vandoeuvre-les-Nancy, INPL.

**Kharissova, O.V., Kharisov, B.I., Méndez, U.O., 2012.** Microwave-Assisted Synthesis of Coordination and Organometallic Compounds *Advances in Induction and Microwave Heating of Mineral and Organic Materials*, Prof. Stanisław Grundas (Ed.) ed, pp. 346-390.

**Klimczak, I., Malecka, M., Szlachta, M., Gliszczyńska-Świgło, A., 2007.** Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices. *Journal of Food Composition and Analysis* 20, 313-322.

**Koca, N., Karadeniz, F., Burdurlu, H.S., 2007.** Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. *Food Chemistry* 100, 609-615.

## L

**Ladoh, Y., Dibong, S., Nyegue, M., Djembissi, T., Lenta, N., Mpondo, M., Yinyang, J., Wansi, J., 2015.** Activité antioxydante des extraits méthanoliques de *Phragmanthera capitata* (Loranthaceae) récoltée sur *Citrus sinensis*. *Journal of Applied Biosciences* 84, 7636-7643.

**Lee, H., Coates, G., 1999.** Thermal pasteurization effects on color of red grapefruit juices. *Journal of Food Science* 64, 663-666.

**Lichtenthaler, H.K., Kuhn, G., Prenzel, U., Meier, D., 1982.** Chlorophyll-protein levels and degree of thylakoid stacking in radish chloroplasts from high-light, low-light and bentazon-treated plants. *Physiologia Plantarum* 56, 183-188.

**Lozano, J., Ibarz, A., 1997.** Colour changes in concentrated fruit pulp during heating at high temperatures. *Journal of Food Engineering* 31, 365-373.

## *M*

**Mafart, P., 1991.** Génie industriel alimentaire(Tome I, Les procédés physiques de conservation).

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

**Maskan, M., 2001.** Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering* 48, 169-175.

**Mateos-Aparicio Cediél, I., 2009.** Aprovechamiento de subproductos de leguminosas para la obtención de ingredientes funcionales: comparación de metodologías para la caracterización de la fibra alimentaria.

**Mateos-Aparicio, I., Redondo-Cuenca, A., Villanueva-Suárez, M.-J., Zapata-Revilla, M.-A., Tenorio-Sanz, M.-D., 2010.** Pea pod, broad bean pod and okara, potential sources of functional compounds. *LWT - Food Science and Technology* 43, 1467-1470.

**Mateos-Aparicio, I., Redondo-Cuenca, A., Villanueva-Suárez, M.J., 2012.** Broad bean and pea by-products as sources of fibre-rich ingredients: potential antioxidant activity measured in vitro. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92, 697-703.

**McSweeney, M., Seetharaman, K., 2015.** State of Polyphenols in the Drying Process of Fruits and Vegetables. *Critical reviews in food science and nutrition* 55, 660-669.

**Melo, E.d.A., Lima, V., Maciel, M., Caetano, A.d.S., Leal, F., 2006.** Polyphenol, ascorbic acid and total carotenoid contents in common fruits and vegetables. *Braz J Food Technol* 9, 89-94.

**Mittal, A.K., Chisti, Y., Banerjee, U.C., 2013.** Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. *Biotechnology Advances* 31, 346-356.

**Mujumdar, A.S., 2014.** Handbook of industrial drying. CRC Press.

## O

**Öztürk, M., Aydoğmuş-Öztürk, F., Duru, M.E., Topçu, G., 2007.** Antioxidant activity of stem and root extracts of Rhubarb (*Rheum ribes*): An edible medicinal plant. *Food Chemistry* 103, 623-630.

## R

**Ramesh, M., Wolf, W., Tevini, D., Jung, G., 2001.** Influence of processing parameters on the drying of spice paprika. *Journal of Food Engineering* 49, 63-72.

**Rohman, A., Riyanto, S., Yuniarti, N., Saputra, W., Utami, R., Mulatsih, W., 2010.** Antioxidant activity, total phenolic, and total flavonoid of extracts and fractions of red fruit (*Pandanus conoideus* Lam). *International Food Research Journal* 17, 97-106.

**Roussy, G., Oberlin, C., Rochas, J., 2003.** Chauffage diélectrique. Principes et spécificités, *Techniques de l'ingénieur*, D 5940, 1-11.

## S

**Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., Rémésy, C., Jiménez, L., 2005.** Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Critical reviews in food science and nutrition* 45, 287-306.

**Schulze, B., Hubbermann, E.M., Schwarz, K., 2014.** Stability of quercetin derivatives in vacuum impregnated apple slices after drying (microwave vacuum drying, air drying, freeze drying) and storage. *LWT-food science and technology* 57, 426-433.

**Schwartz, S., Lorenzo, T., 1991.** Chlorophyll stability during continuous aseptic processing and storage. *Journal of Food Science* 56, 1059-1062.

**Schwartz, S., Von Elbe, J., Pariza, M., Goldsworthy, T., Pitot, H., 1983.** Inability of red beet betalain pigments to initiate or promote hepatocarcinogenesis. *Food and Chemical Toxicology* 21, 531-535.

**Seyoum, A., Asres, K., El-Fiky, F.K., 2006.** Structure–radical scavenging activity relationships of flavonoids. *Phytochemistry* 67, 2058-2070.

**Sharma, G., Prasad, S., 2004.** Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying. *Journal of Food Engineering* 65, 609-617.

**Smýkal, P., Kenicer, G., Flavell, A.J., Corander, J., Kosterin, O., Redden, R.J., Ford, R., Coyne, C.J., Maxted, N., Ambrose, M.J., 2011.** Phylogeny, phylogeography and genetic diversity of the *Pisum* genus. *Plant Genetic Resources* 9, 4-18.

**Şükran, D., GÜNEŞ, T., Sivaci, R., 1998.** Spectrophotometric determination of chlorophyll-A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish Journal of Botany* 22, 13-18.

**Sumnu, G., Turabi, E., Oztop, M., 2005.** Drying of carrots in microwave and halogen lamp–microwave combination ovens. *LWT-food science and technology* 38, 549-553.

**Sweeney, J., Martin, M., 1961.** Stability of chlorophyll in vegetables as affected by pH. *Food technology* 15, 263-&.

## *T*

**Tanongkankit, Y., Chiewchan, N., Devahastin, S., 2012.** Physicochemical property changes of cabbage outer leaves upon preparation into functional dietary fiber powder. *Food and Bioproducts Processing* 90, 541-548.

**Tiwari, B.K., Gowen, A., McKenna, B., 2011.** Pulse foods: processing, quality and nutraceutical applications. Academic Press.

**Tomás-Barberán, F.A., Espin, J.C., 2001.** Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81, 853-876.

**Trebuchet, G., Chopinet, R., Drouzy, J., 1953.** Contribution a l'Étude des Variétés de Pois Potager Cultivees en France.

**Treche, S., 1986.** influence d'apports moderes d'engrais azote sur la valeur nutritionnelle de tubercules de DIOSCQREA ZOTUNDATA. *Revue Science et Technique*, 77 - 92.

**Tulasidas, T., Raghavan, G., Mujumdar, A., 1995.** Microwave Drymg of Grapes in a Single Mode Cavity at 2450 Mhz-i: Drying Kinetics. *Drying Technology* 13, 1949-1971.

**Turhan, M., Turhan, K.N., Sahbaz, F., 1997.** Drying kinetics of red pepper. *Journal of Food Processing and Preservation* 21, 209-223.

**Turkmen, N., Sari, F., Velioglu, Y.S., 2005.** The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry* 93, 713-718.

## *V*

**Vasseur, J., 2009.** Séchage: principes et calcul d'appareils: Séchage convectif par air chaud (partie 1). *Techniques de l'ingénieur. Génie des procédés.*

*W*

**Wadhwa, M., Kaushal, S., Bakshi, M., 2006.** Nutritive evaluation of vegetable wastes as complete feed for goat bucks. *Small Ruminant Research* 64, 279-284.

**Westphal, E., Arora, R., 1989.** *Plant Resources of South-East Asia: Pulses.* Pudoc.

**Williams, D.J., Edwards, D., Hamernig, I., Jian, L., James, A.P., Johnson, S.K., Tapsell, L.C., 2013.** Vegetables containing phytochemicals with potential anti-obesity properties: A review. *Food Research International* 52, 323-333.

**Wray, D., Ramaswamy, H.S., 2015.** Novel Concepts in Microwave Drying of Foods. *Drying Technology* 33, 769-783.

*Y*

**Yongsawatdigul, J., Gunasekaran, S., 1996.** MICROWAVE-VACUUM DRYING OF CRANBERRIES: PART II. QUALITY EVALUATION. *Journal of Food Processing and Preservation* 20, 145-156.

*Z*

**Zhang, H.-F., Zhang, X., Yang, X.-H., Qiu, N.-X., Wang, Y., Wang, Z.-Z., 2013.** Microwave assisted extraction of flavonoids from cultivated *Epimedium sagittatum*: extraction yield and mechanism, antioxidant activity and chemical composition. *Industrial Crops and Products* 50, 857-865.

**Zhang, L., 2006.** Efficient estimation of stochastic volatility using noisy observations: A multi-scale approach. *Bernoulli* 12, 1019-1043.



## **Résumé**

Dans cette présente investigation, une étude comparative a été réalisée entre deux méthodes de séchage. Une méthode innovante par microondes, et une méthode conventionnelle à l'étuve. Des cinétiques de séchage ont été réalisées en fonction de la perte de masse. Dans cette étude, les effets de deux méthodes de séchage des cosses de *Pisum sativum* sur le rendement phytochimique et la capacité antioxydante ont été évalués. Les résultats ont montré que la durée la plus courte pour l'obtention de la masse constante des échantillons a été obtenue par microonde. La méthode du Folin-Ciocalteu et l'indice des polyphénols (à 280 nm) ont montré un rendement élevé en polyphénols totaux (PPT) pour l'échantillon séché à l'étuve à 120 °C avec une valeur de 6,906 mg EAG/g. Cependant, le procédé par microonde a donné la teneur la plus élevée en PPT à la puissance de 200 W avec 4,56 mg EAG/g. En outre, une quantité élevée des fibres alimentaire a été obtenue à 40 °C (71,7%), pendant 1020 min, suivies par la puissance 200 W (69,72%) pendant 25 min. L'étude de l'activité antioxydante a confirmé également l'efficacité du procédé de séchage au microonde.

**Mots-clés** : cosses de *Pisum sativum*, cinétique de séchage, microonde, composés phénoliques, activité antioxydante.

## **Summary**

In the present investigation, a comparative study was carried out between two drying methods. An innovative method by microwave, and a conventional method in the oven. Drying kinetics were performed according to the mass loss. In this study, the effects of two methods of drying of *Pisum sativum* pod on the performance phytochemical and antioxidant capacity were evaluated. The results showed that the shortest time for obtaining the constant weight of the samples was obtained by microwave. The Folin-Ciocalteu method and the index of polyphenols (280 nm) showed a high yield of total polyphenols (TPP) for the sample oven-dried at 120 °C with a value of 6,906 mg EAG / g. However, the method by microwave gave the highest content of TPP to the power of 200 W with EAG 4,56 mg / g. In addition, a high amount of food fibers was obtained at 40 °C (71,7%) for 1020 min, followed by the power 200 W (69,72%) for 25 min. The study of the antioxidant activity also confirmed the effectiveness of the drying process in the microwave.

**Keywords:** *Pisum sativum* pod, drying kinetics, microwave, phenolic compounds, antioxidant activitie.



# **Introduction**

# **Synthèse bibliographique**

# **Chapitre I**

Petit pois et cosse  
de petit pois

# **Etude expérimentale**

# **Chapitre III**

Matériel  
et méthodes

# Conclusion



# **Chapitre IV**

## Résultats et discussion

# **Références bibliographiques**

# **Annexes**

# **Chapitre II**

## Séchage