

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Alimentaires
Filière : Sciences Biologique
Spécialité : Sciences des aliments
Option : Bioprocédé Technologie Alimentaire



Réf :

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

MASTER

Thème

**Etude comparative du séchage par micro-onde
et à l'étuve de l'ail « *Allium sativum* »**

Présenté par :

GUEMOUNI Sara

Soutenu le : **14 Juin 2016**

Devant le jury, composé de :

Mr F.ZAIDI	Professeur	Président
Mr K. MADANI	Professeur	Encadreur
Mme F.GUERFI	MCA	Examinatrice
Mr L.TOUATI	MCB	Invité

Année universitaire : 2015 / 2016

Remerciements

Louange à Dieu le Tout Puissant de m'avoir donné le courage et la patience de réaliser ce travail.

Je tiens à remercier chaleureusement et très particulièrement mon promoteur Pr. MADANI Khodir, pour son aide, ses conseils, son orientation et sa grande disponibilité à toute épreuve. Pour m'avoir accueillie dans son laboratoire.

Qu'il sache que ses qualités humaines exceptionnelles et sa rigueur scientifique ne m'ont pas laissées indifférentes. Qu'il trouve ici l'expression de ma haute gratitude.

Mes sincères considérations et remerciements sont également exprimés aux membres du jury :

✚ Mr ZAIDI pour m'avoir fait l'honneur de présider ce jury

✚ Mme GUERFI d'avoir acceptée de faire partie du jury et de donner de son temps pour examiner ce travail.

✚ A Mr TOUATI pour ces conseils,

✚ Tous mes enseignants qui m'ont formé, de l'école primaire jusqu'à l'université

Je tiens aussi à exprimer ma reconnaissance au membre du labo 3BS pour leurs disponibilité au cours de la réalisation de ce travail, un grand merci pour Hocine, Farid, Amine, Lydia, Omar, Mina, Lynda, Ferial, Akila, Sonia pour leurs aides.

Mes remerciements vont également à tout ce qui a contribué à la réalisation de ce travail. Mes sincères remerciements pour Farida et Asma pour leurs aides, encouragements et conseils durant la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

J'ai le plaisir de dédier ce modeste travail :

✚ *A Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la volonté à réaliser ce travail*

✚ *A mes très chers parents pour leur amour, leur soutien, leurs encouragements pour tout ce qu'ils m'ont apporté et les valeurs qu'ils m'ont enseignées. Je ne vous remercierai jamais assez. Que dieu vous procure bonheur, santé et longue vie. Que ce travail soit pour vous un motif de fierté et de satisfaction. Je vous aime énormément*
Maman et Papa

✚ *A mes deux chers et adorables frères Atman et Nounous. Je vous souhaite beaucoup de bonheur et de succès.*

✚ *A la mémoire de mon grand-père AHCENE qui aurai tant aimé assister à cet exploit. Que Dieu l'accueille en son vaste paradis.*

✚ *A mes deux prunelles LILIA, SAFIA ainsi que son fiancé Moncef, que dieux vous garde pour moi.*

✚ *A mon cher ami LOUNIS que dieu illumine ton chemin*

✚ *A mes tantes, oncles, cousins, cousines et à toute la grande famille.*

Exceptionnellement mon oncle SAID, ma tante HASSINA et mon cousin ALILI pour leurs encouragements

✚ *A tous les profs qui m'ont enseignée depuis le premier palier jusqu'à ce niveau particulièrement Melle BENSTITI N., Mr CHAIBI B., Mr AISSAT S., Mr NASRI L., et Mme GUERFI F. Sachez que vous êtes, pour moi, un exemple édifiant devant me servir de référence.*

✚ *A mes amis (es) : Simsim, Ryma, Biba, Kaçou, Chiraz, Djallal, Saad, Fouad, Sana, Dona, Dally, Asma, Farida, Mohamed, Warda, Meriem et Sabrina.*

✚ *A mes nièces Aicha, Assia, Djazia, Ikram, Cyrine et Sana*

✚ *A toute la promotion Bioprocédé Technologie Alimentaire et à tout le personnel du laboratoire BBBS.*

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction	1
I. Revue Bibliographique	2
I.1. <i>Allium sativum</i> (l'ail).....	2
I.1.1. Description d' <i>Allium sativum</i>	2
I.1.2. Etymologie (Noms et traductions).....	2
I.1.3. Classification	3
I.1.4. Culture.....	3
I.1.5. Production mondiale.....	4
I.1.6. Usage traditionnelle	5
I.1.7. Etudes antérieures sur l' <i>A. sativum</i>	6
I.1.8. Composition biochimique de l' <i>A. sativum</i>	6
I.2. Séchage	8
I.2.1. Définition du séchage.....	8
I.2.2. Principe du séchage.....	8
I.2.3. Mécanismes intervenants au cours du séchage.....	8
I.2.3.1. Transfert de chaleur.....	9
I.2.3.2. Transfert de matière.....	9
I.2.4. Séchage assisté par étuve.....	9
I.2.5. Séchage assisté par micro-onde.....	10
I.2.7. Phénomènes se produisant au cours du séchage.....	11

II. Matériels et méthodes	13
III.1. Présentation du sujet.....	13
III.2. Matériels végétal.....	15
III.3. Traitements des échantillons.....	15
III.3.1. Détermination de la teneur en eau dans la matière fraîche.....	15
III.3.2. Séchage par étuve et par micro-onde.....	15
III.3.3. Broyage	16
III.4. Etude phénoménologique des poudres obtenues.....	17
III.4.1- Caractérisation physicochimiques.....	17
III.4.1.1. Détermination du taux d'humidité.....	17
III.4.1.2. Caractérisation de la couleur.....	18
III. Résultats et discussion	20
III.1. Cinétique du séchage.....	20
III.2. Résultats d'analyses physicochimiques.....	22
III.2.1. Teneur en eau.....	23
III.2.2. La couleur.....	24
Conclusion	27
Références bibliographiques.....	28

Liste des Figures

Figure 01 : L' <i>Allium sativum</i> . L.....	2
Figure 02 : Les différentes variétés de l' <i>A. sativum</i> classer selon la couleur.....	4
Figure 03 : Schéma général du plan de travail.....	14
Figure 04 : Photographie du micro-onde et de l'étuve.....	16
Figure 05 : Photographie de l'ail séchée , une des poudres obtenues et les flacons contiennent l'ail broyé..... ;;;.....	17
Figure 06: Photographie d'un colorimètre.....	19
Figure 07 : La cinétique du séchage par étuve.....	21
Figure 08 : La cinétique du séchage de l'ail par micro-onde.....	21
Figure 09 : Observation microscopique des poudres d'ail à différente température et à différente puissance.....	25

Liste des tableaux

Tableau I : La classification d' <i>Allium sativum</i>	3
Tableau II : Production d'ail en tonnes durant les années 2012 et 2013.....	4
Tableau III: Composition de l'ail frais.....	7
Tableau IV : Le temps et la vitesse du séchage d' <i>A. sativum</i> à différentes températures et puissances.....	20
Tableau V : Le taux d'humidité et de l'activité de l'eau des poudres de <i>A. sativum</i> séchées.....	23
Tableau VI : Les résultats du test colorimétrique des poudres.....	25

INTRODUCTION

La plupart des légumes, des fruits, des céréales, des grains, des champignons et des ingrédients sont destinés à la consommation alimentaire, pharmaceutique ou cosmétique (**Allaf et al., 2002**). Parmi ces aliments, on trouve l'ail « *Allium sativum* » qui est un antiseptique, stimulant et hypotenseur (**Couplan, 2011**), mais aussi un condiment largement utilisé en cuisine du jour. Vu que l'ail n'est pas disponible le long de l'année (sa plantation ne se fait qu'en hiver et au printemps) et afin de pouvoir l'utiliser pendant toute l'année, l'Homme doit le conserver. Et pour s'y faire, le séchage est une étape indispensable.

Le séchage, une des méthodes de stockage des produits agroalimentaires, présente une grande diversité en termes d'échelle de production et de produit traité. Cette activité peut être réalisée au niveau domestique comme au niveau industriel ; elle concerne des produits vivriers de base, comme les plantes à tubercules, ou des produits maraîchers comme les légumes et les condiments (**Arvy et Gallouin, 2003**). Cette opération a la capacité de prolonger la période de consommation de produit alimentaire, tout en conservant son contenu nutritionnel (**Alibas, 2007**).

Actuellement, plusieurs travaux sont dirigés sur le même axe de recherche, à savoir le séchage de l'ail tel que ceux de Touil et ses collaborateurs (2015). L'objectif de cette étude expérimentale est d'obtenir, par l'utilisation de deux méthodes de séchage (séchage innovant et conventionnel) une poudre d'ail à partir d'ail frais et de comparer entre eux à travers le suivi de la cinétique du séchage et des analyses physico-chimiques.

I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. *Allium sativum*

Allium sativum (*A. sativum*) est la plante sélectionnée pour cette étude « Etude comparative de la cinétique du séchage de l'ail par micro-onde et par étuve » (Figure 1). C'est une plante largement utilisée en médecine traditionnelle pour ses vertus médicinales. Elle est communément appelée ail et localement appelée Toum ou bien Teskart (Beloued, 2001).

I.1.1. Description d'*Allium sativum*

Allium sativum est une espèce de plante potagère, vivace et monocotylédone. Les bulbes ont une odeur et un goût fort (Gerges Geaga, 2015), ils forment des caïeux, qui ne dépassent pas une cinquantaine de centimètres de hauteur. Les fleurs blanches ou rosées en ombelle, sont renfermées avant la floraison dans une spathe membraneuse munie d'une pointe très longue ; les feuilles vertes vives sont longues, toutes droites, effilées et rondes, comme celle de la ciboulette (Callery, 1998). L'ail s'adapte à tous les climats, mais, il donne les meilleures récoltes dans les pays tempérés (Cavagnaro *et al*, 2007).



Figure 01: L'*Allium sativum*. L. (Callery, 1998).

I.1.2. Etymologie (Noms et traductions)

Ail n. m. [Le pluriel ails tend à remplacer aulx, sauf dans la langue littéraire.]. Ail (*Allium sativum* L.) du celte all qui veut dire : chaud, brulant. Garlic de l'Anglo-saxon « gar-leac » ou « spear plant » qui veut dire plante en forme de lance ou plante pointue (Harris *et al*, 2001).

Latin botanique : *Allium sativum* L. ; Français : Ail, la rose des plantes ... et dans d'autres langues : Garlic, Ajo, aglio, alho ...

I.1.3. Classification

La classification taxonomique d'*A. sativum* est comme suite (Tableau I) (Anonyme)

Tableau I : La classification d'*Allium sativum*

Règne	Plantae
Embranchement	Spermatophyta
Sous-embranchement	Angiosperm
Classe	Liopsida
Ordre	Liliales
Famille	Alliaceae
Genre	<i>Allium</i>
Espèce	<i>Allium sativum</i>

I.1.4. Culture

La culture de l'ail est pratiquée dans les régions tempérées et subtropicales du monde entier. Sa multiplication se fait à partir des caïeux. Ces derniers doivent être à peine recouverts de terre, environ 3 centimètres, lors de la plantation (Arvy et Gallouin, 2003).

La classification traditionnelle de l'ail est distinguée par les cultivars selon des critères morpho-physiologiques en fonction de leurs périodes de végétation et de la couleur de la tunique du bulbe et des bulbilles (Touilet *al.*, 2015). L'*A. sativum* se subdivise en deux groupes, selon la capacité ou non de développer une hampe florale, et en plusieurs variétés qui diffèrent par la taille et la forme du bulbe ainsi que par la couleur de leurs enveloppes (Arvy et Gallouin, 2003). L'ail violet (Figure 2.b) et l'ail blanc (Figure 2.a) doivent être plantés avant décembre (pour les variétés d'hivers). L'ail rose (Figure 2.d) et l'ail rouge (Figure 2.c) sont de préférence plantés au printemps (variétés de printemps). Cette plante préfère un sol assez fermé en profondeur, mais bien ameubli en surface, frais et drainé, riche en limon, en argile et en calcium, le sol ne doit pas comporter du fumier frais ou du compost insuffisamment décomposé ; le PH favorable est au voisinage de 6,5 (Arvy et Gallouin, 2003).

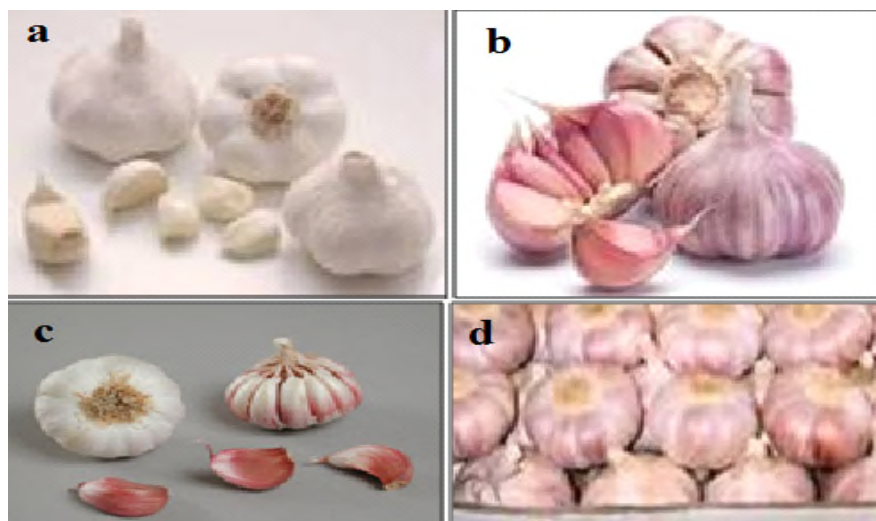


Figure 02 : Les différentes variétés de l'*A. sativum* classer selon la couleur. a) Blanc, b) Violet, c) Rouge, d) Rose.

I.1.5. Production mondiale

La production d'ail dans le monde est représentée dans le tableau suivant :

Tableau II : Production d'ail en tonnes durant les années 2012 et 2013 (FAOSTAT).

Production en tonnes chiffres 2012-2013				
Donnée de FAOSTAT (FAO)				
	2012		2013	
Chine	18 429 500	79%	19 168 800	79%
Inde	1 228 000	5%	1 259 000	5%
Corée du sud	339 113	1%	412 250	2%
Égypte	309 155	1%	234 164	1%
Russie	239 312	1%	232 843	1%
Bangladesh	233 609	1%	224 000	1%
Birmanie	213 000	1%	212 000	1%
Ethiopie	222 548	1%	170 000	1%
Etat unis	195 910	1%	175 445	1%
Ukraine	171 400	1%	185 600	1%
Autres pays	1 848 314	8%	1 981 200	8%
Le monde	23 429 862	100%	24 255 303	100%

I.1.6. Usage traditionnelle

L'*A. sativum* est largement utilisé en cuisine, cette plante est placée dans la même catégorie que les oignons, les poireaux et les échalotes. L'ail est utilisé comme épice ou condiment, il est commercialisé sous différentes formes tel que la forme poudre, jus, ou bien sous forme d'huile (**Teuscher et al., 2005**).

L'origine de l'ail se perd dans les méandres de l'histoire, il est lié à la mythologie, la religion et l'histoire de nombreux pays. On suppose qu'il est natif de l'Asie centrale ou d'Inde du nord, il est connu chez eux depuis des siècles pour ces vertus médicinales. Les Sumériens l'ont cultivé depuis plus de 5000 ans. En Amérique centrale, les Mayas l'utilisent contre les parasites intestinaux, par application de cataplasme sur le ventre (**Harris et al., 2001**). En Egypte ancienne, ils l'ont utilisé comme fortifiant pour prévenir certaines infections (**Teuscher et al., 2005**).

On l'a retrouvé aussi, dans la tombe de Toutankhamon (**Song et al., 2007**) et dans les mythologies gréco-romaines (Légende de Toison d'or, L'Odyssée, chant X...) . Ces derniers lui ont attribué un pouvoir fortifiant et l'ont donné à manger pour leurs soldats en compagnie. Cette plante est consommée en grandes quantités chez les athlètes grecs pour ces propriétés de vasodilatation et de broncho-dilatation, qui a un intérêt évident d'améliorer les performances sportives (**Harris et al., 2001**).

Selon Pline l'ancien « il neutralise tous les venins, guérit la lèpre, l'asthme, la toux », donc il a été utilisé contre la peste, le choléra, le typhus, la fièvre typhoïde, les gripes et autres épidémies avec l'efficacité que l'on devine, aussi il a été prescrit comme stimulant de l'appétit et de la digestion et aussi comme diurétique. D'ailleurs, l'huile essentielle de caïeux est réputée pour lutter contre l'infection pulmonaire. Pour l'usage externe, cette huile permet de désinfecter les plaies et de favoriser leurs cicatrises (**Arvy et Gallouin, 2003**). L'*A. sativum* a été considérée comme la « thérapie du pauvre », capable de soigner tous les maux, à bien peu de frais (**Teuscher et al., 2005**). Cette plante miraculeuse a apparue même dans le saint Coran pour ses vertus médicinales (**Younos et Bellakhdar, 1993**).

En usage externe, il était utilisé comme rubéfiant et antiseptique. Actuellement, il est considéré dans les thérapeutiques douces comme antiseptique local, antiputride, bactéricide et vermifuge ... et des extraits de bulbes de l'ail (élusanes) sont commercialisés sous forme de gélules.

I.1.7. Etudes antérieures sur *A. sativum*

Dans le but de valider l'utilisation traditionnelle d'*A. sativum*, quelques études ont été conduites sur cette plante. Bozin et ses collaborateurs (2008) ont montré les propriétés antioxydantes des polyphénols extraits d'*A. sativum* en utilisant des tests *in vitro* tel que le DPPH (α, α -diphényl- β -picrylhydrazyl) et la peroxydation lipidique. Ces résultats ont été confirmés par l'étude de Metwally, (2009), cette dernière, a montré que l'utilisation de l'ail sous la forme naturelle, poudre ou huile permet d'augmenter le taux de croissance, diminue le taux de mortalité et augmente l'activité antioxydante chez les poissons. Par ailleurs, Les travaux de Sheela et Augusti (1992) ont montré que l'ail a diminué significativement les lipides et le glucose dans le sang et l'activité de plusieurs enzymes tel que la phosphatase alcaline, la lactate déshydrogénase et la glucose-6-phosphatase. Cette étude a aussi révélée que l'ail augmente l'activité de HMG CoA réductase dans le foie et les intestins et les hexokinase du foie. Ce qui leur a permis de suggérer que cette plante possède un effet antidiabétique. En outre, l'activité anti-bactérienne et anti-fongique des extraits d'*A. sativum* a été évaluée par l'étude de Benkeblia, (2004) et les résultats ont révélé que ses huiles essentielles ont fortement inhibé l'activité des souches bactériennes et fongiques.

Une autre recherche de Wargovich, (1986) a montré que le diallylsulfide, un composé aromatique de *A. sativum*, inhibe le diméthylhydrazine qui induit le cancer du côlon ; ce résultat lui a permis de suggérer que l'ail peut prévenir le cancer.

En outre, Il a été aussi rapporté que l'ail peut prévenir le cancer, il est un antibiotique, antimicrobienne, anti-hypertensive, hypoglycémiant et diminue le taux du cholestérol (Cantwell, 2000).

I.1.8. Composition biochimique d'*A. sativum*

Les activités biologiques de cette plante sont essentiellement dues à leur composition en métabolites secondaires. Quelques études se sont intéressées à la séparation et l'identification des composés actifs présents dans l'ail. Le principal composé organosulfuré de l'ail est l'alliine, ce dernier se transforme en allicine sous l'influence de l'alliinase, une enzyme libérée lors de la rupture des cellules quand les caïeux sont hachés ou coupés. L'allicine est un composé volatil responsable à la fois des propriétés aromatiques et biotiques de l'ail (Arvy et Gallouin, 2003), principalement, ses vertus antiseptiques, grâce à son efficacité contre différentes bactéries.

La composition chimique de l'*A. sativum* frais est présentée dans le tableau suivant (tableau III) :

Tableau III : Composition de l'ail frais (Mandez Lagunas, 2007).

Composés	Mg/g m.h
Eau	620-680
Carbuhdrates	260-300
Fructosanes	220-250
Fibres	15
Protéines	15-21
Acides aminés	10-15
Composants organosulfurés	11-35
B-Sitostérol	0,015
Adénosine	0,1
Saponine	0,4-1,1
Vitamines	0,15
Minéraux	7
Sulfure	2,3-3,7
Azote	6-13
Lipides	1-2
Acide phénoliques	0,8
m.h / matière humide	

En se basant sur la littérature, l'*A. sativum* peut être considéré comme une source de phytochimique, car elle est largement utilisée en médecine traditionnelle et ses activités biologiques ont été confirmées par plusieurs études antérieures.

I.2. SECHAGE

I.2.1. Définition du séchage

Le séchage ou déshydratation est une étape importante dans l'industrie chimique et alimentaire. C'est un procédé ancien de conservation des aliments dans lequel l'humidité d'un solide est enlevée (diminuer l'AW) en utilisant comme énergie la chaleur. L'objectif étant, d'augmenter la période de stockage des aliments, tout en préservant leur qualité nutritionnelle (**Bonazzi et Bimbinet, 2003 ; Mandez Lagunas, 2007 ; Li et al., 2011**).

Selon Li et ses collaborateurs, (2010) l'objectif principal du séchage est de convertir les denrées périssables en produits stabilisés par abaissement de l'activité de l'eau dans les produits à traiter. L'utilisation du séchage dans l'industrie agro-alimentaire « IAA » à plusieurs objectifs, parmi eux (**Li et al., 2010 ; Bonazzi et Bimbinet, 2003**) :

- Augmenter la durée de conservation des produits alimentaires, ainsi que, leurs qualités organoleptiques,
- réduire la masse et le volume du produit afin de faciliter leur transport, stockage et manutention,
- donner une structure, une présentation ou une fonctionnalité particulière aux produits,
- stabiliser les produits agricoles et amortir le caractère de certaines activités.

I.2.2. Principe du séchage

C'est une opération permettant de faire passer un produit de son état initial dit « humide » à un état final dit « solide sec ». Il s'agit de retirer une partie du solvant d'un corps afin d'obtenir un produit fini sous la forme d'un solide, d'un état divisé ou de poudre. Le produit passe ainsi d'un état initial dit « humide », selon le cas solide ou liquide, jusqu'à un état final dit « solide sec », même s'il contient encore une teneur en eau (ou solvant) résiduelle (**Vasseur, 2009**).

I.2.3. 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, il est accompagné par des modifications physico-chimiques et des structures des matériaux (**Bonazzi et Bimbinet, 2003**).

I.2.3.1. Transfert de chaleur

La chaleur est diffusée dans le produit sous l'effet du gradient de température. Il existe 3 mécanismes de transfert de chaleur (**Bonazzi et Bimbinet, 2003**) :

- Par rayonnement : Dans ce cas le produit à sécher est exposé à un rayonnement infra-rouge ou micro-onde à la spécificité d'un chauffage en volume.
- Par Convection : Dans ce cas le produit à sécher reçoit un courant gazeux chaud qui fournit la chaleur nécessaire à l'évaporation du liquide et entraîne la vapeur formée.
- Par Conduction : Dans ce cas le mécanisme se base sur un contact direct du produit avec une surface chauffante sur laquelle il est posé.

I.2.3.2. Transfert de matière

Le séchage se distingue des autres opérations de déshydratation par le fait que l'eau est enlevée du produit exclusivement par évaporation. L'évaporation de l'eau à la surface dépend de la température et de l'activité de l'eau. 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 proprement dit (**Allafet al., 2012**).

Le débit de chaleur mené par le milieu extérieur assure le changement de phase de l'eau en vapeur (**Bonazzi et Bimbinet, 2003**).

I.2.4. Séchage assisté par étuve

Dans le cas du séchage par étuve, l'air apporte au produit une partie au moins de l'énergie nécessaire à la vaporisation ; et donc l'eau sera évaporée sans ébullition sous l'effet du gradient de pression partielle d'eau. La vapeur d'eau est transférée par conduction et convection du produit dans le milieu ambiant et est ensuite entraînée par le gaz (**Bonazzi et Bimbinet, 2003**).

Il faut préciser la température de l'étuve, le temps, et la taille de l'échantillon à tester. Même si cette dernière n'est pas en général critique (**Vasseur, 2009**).

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

- Il est simple et relativement facile à utiliser,
- la température du séchage peut être contrôlée,
- la teneur en eau du produit sec est inférieure à 10% et son contrôle est facile,
- la rapidité et la facilité sont aussi des caractéristiques non négligeables.

Néanmoins, plusieurs chercheurs ont souligné que le séchage conventionnel (Yongsawatdigul et Gunaskaran, 1996 ; Freng et Tang, 1998 ; Maskan, 2000 ; Gowenat *al.*, 2008):

- Provoque une dégradation importante de la qualité du produit tel que : la couleur, la texture, la flaveur, les nutriments,
- longue durée du séchage,
- sévère rétrécissement, implique souvent une réduction de transfert de l'humidité et parfois réduction de transfert de chaleur.

I.2.5. Séchage assisté par micro-onde

Ce type du séchage est une méthode efficace de temps et d'énergie qui peut améliorer la qualité du produit dans certains cas (Li *et al.*, 2010).

Le séchage par micro-onde est identique à celui du chauffage haute fréquence, il se caractérise par l'absorption d'un rayonnement électromagnétique par le produit à chauffer (Roussy *etal.*, 2003). Les vagues électromagnétiques agissent l'une sur l'autre directement avec des particules ioniques et dipolaires, entraînant l'excitation et le frottement (Li *et al.*, 2010).

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 son milieu dans le cas du chauffage micro-ondes, et inversement pour le cas du chauffage conventionnel (Kaarissovaet *al.*, 2012). Quand le courant du micro-onde est coupé, ces activités vont toute s'arrêter et la température tombe immédiatement (Li *et al.*, 2010).

Selon plusieurs recherches le séchage assisté par micro-onde à plusieurs avantages (**Al-Duri and McIntyre, 1992 ; Giese, 1992 ; Kharissovaetal., 2012 ; McSweeney et Seetharaman, 2015 ; Wray and Ramaswamy, 2015**); parmi eux :

- Réduction du temps de séchage à plus de 99%, quand il est comparé au séchage par étuve ou bien au soleil,
- amélioration de la qualité de quelques produits déshydratés et l'efficacité du séchage,
- facilité d'utilisation,
- réduction maximale de la consommation d'énergie suite à la spécifié de l'action des radiations micro-onde,
- combinaison avec d'autres méthodes du séchage.

Cependant, il présente certains inconvénients comme(**Simon, 2012**):

- Son coût élevé,
- La nécessité de l'associer à un séchage à air chaud.

I.2.7. 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 et Dumoulin, 2011**).

- **Réaction biochimique**

Il s'agit des réactions de Maillard, de l'oxydation de vitamine et de matières grasses, de la dénaturation des protéines, de réactions enzymatiques, etc.(**Bonazzi et Bimbenet, 2003**).

- **Phénomènes mécaniques**

On parle de croutage, des déformations, des fissures Ces changements ne sont que partiellement réversibles lors de la réhydratation (**Mafart, 1991**).

- **Transfert physique**

Il s'agit de la diminution de l'activité de l'eau, transition vitreuse, fusion de la matière grasse, l'évaporation de constituants volatils, migration ou rétention de constituants volatils (Bonazzi et Bimbenet, 2008).

II – MATERIELS ET METHODES

II-1- Présentation du sujet

L'ail « ail commun » ou « ail cultivé » (*Allium sativum*. L) est une espèce d'*Allium* importante potagère vivace herbacée, communément cultivée dans le bassin méditerranéen et partout, elle est connue depuis des siècles, originaire de la Chine, dont les bulbes à l'odeur et au goût fort, sont souvent employés comme condiments précieux dans la cuisine de tous les jours, et parfois comme agent thérapeutique et agent aromatisant.

La qualité de l'ail est généralement évaluée en fonction de ces caractéristiques sensorielles, principalement la couleur et l'intensité de la saveur ou l'âcreté (**Zheng-Wei et al., 2003**).

L'ail est commercialisé sous différentes formes tel que le jus, l'huile ou bien sous forme de poudre. Cette dernière est obtenue par déshydratation de l'ail frais, avec des différentes méthodes de séchage. Mais vu que, l'ail est très sensible à la température, le choix de la méthode de séchage peut être la clé pour une opération réussie.

Comment peut-on obtenir une poudre d'ail à partir de l'ail frais ?

Quelle est la méthode la plus adéquate pour le séchage de l'ail ?

La réponse à ces questions fera l'objet du développement du sujet de cette étude expérimentale.

Ce travail se penche sur l'obtention d'une poudre d'ail à partir d'ail frais, par séchage micro-onde et conventionnel (étuve). Un suivi de cinétique du séchage est effectué pour les deux procédés de séchage et enfin des analyses physico-chimiques ont été réalisées.

Le schéma suivant (Figure 3) résume le plan général du travail :

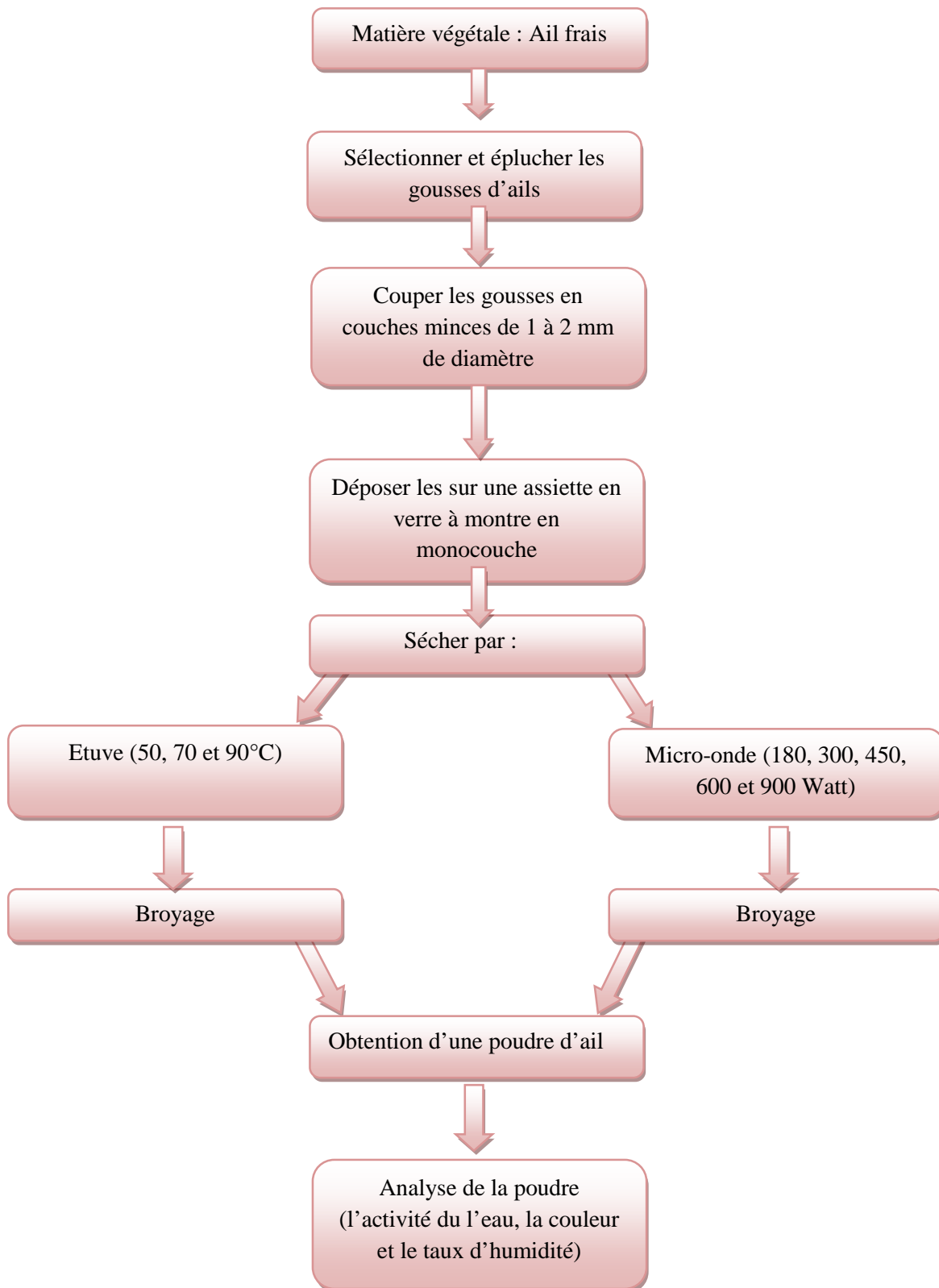


Figure 03 : Schéma général du plan de travail

II-2- Matériels végétal

L'étude a été réalisée sur une variété d'ail *Allium sativum*, originaire de la Chine, acheté au marché de la ville de Béjaia le 7 Mars 2016, le matériel végétal était de couleur blanche, et les parties qui font l'objet de cette recherche sont les gousses d'ail.

II-3- Traitements des échantillons

II-3-1-Détermination de la teneur en eau dans la matière fraîche :

La teneur en eau est déterminée sur trois échantillons d'ail frais dont chacun d'eux contient 5 g de matière végétale, coupée en tranche fine et déposée sur une assiette en verre à montre, puis séchée sur une étuve, à une température de 103 ± 2 °C pendant 3 heures (Boivin et al., 2015).

➤ Expression des résultats

La teneur en eau a été déterminée selon la formule suivante :

$$H\% = \frac{M_i - M_f}{M_i}$$

Où :

M_i : la masse de l'échantillon à l'état humide (g)

M_f : la masse de l'échantillon à l'état sec (g)

H% : la variation finale de la masse d'ail frais (%)

II-3-2-Séchage par étuve et par micro-onde

Avant l'étape du séchage, les gousses d'ail ont été trié, bien éplucher, l'ail a été découpé en fines tranches d'épaisseur 1 à 2 mm (la mesure a été effectuée par un pied à coulisse), les fines tranches de l'ail ont été déposées en monocouche sur une assiette en verre à montre puis elles ont subi deux types du séchage étuve et micro-onde (à différentes puissances et températures).

✓ Séchage par micro-onde

Pour le séchage au micro-onde, les tranches fines de gousses d'ail ont été étalées sur une assiette en verre à montre en monocouche, ensuite séchées au micro onde de marque SAMSUNG pour 5 puissances différentes (180, 300, 450, 600 et 900 Watt) (Figure 4.A).

✓ Séchage conventionnel (par étuve)

La même méthode que la précédente a été réalisée pour le séchage à l'étuve, où les tranches fines ont été étalées sur une assiette en aluminium, puis ont subi un séchage à trois températures différentes (50, 70 et 90°C) (Figure 4.B).

Pour les deux types du séchage la perte de masse a été suivi périodiquement, jusqu'à avoir une valeur constante, et les essais par les deux méthodes ont été réalisées en triple pour chaque température et chaque puissance. Donc nous avons quinze échantillons séchés par micro onde et neuf échantillons séchés par étuve.



Figure 04: Photographie du micro-onde (A), et de l'étuve (B)

II-3-3- Broyage

Après le séchage par les deux méthodes, le matériel végétal séché a été broyé à l'aide d'un broyeur électrique de type (IKA model A11 basic) dans le but d'obtenir une poudre d'ail pour les différents échantillons. Puis ces poudres ont été conservées dans des flacons en verre bien fermé à l'abri de la lumière et l'humidité (Figure 5).

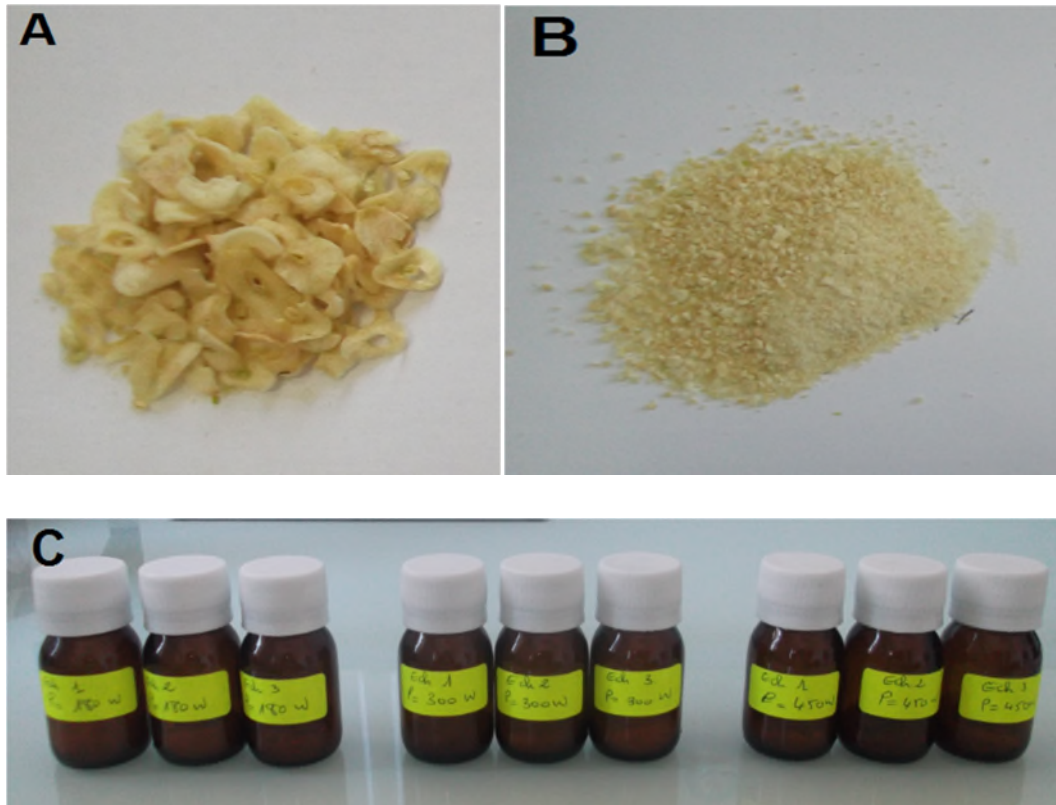


Figure 05 : Photographie de l'ail séché (A), Une des poudres obtenues (B) et les flacons contiennent l'ail broyé (C).

II-4- Etude phénoménologique des poudres obtenues

L'analyse physico-chimique des poudres obtenues a été réalisée au niveau du laboratoire Biomathématique, Biophysique, Biochimie et de Scientométrie (LBBBS) de l'université Abderrahmane Mira de Béjaïa.

II-4-1- Caractérisation physicochimiques

II-4-1-1- Détermination du taux d'humidité

Dans le but d'évaluer l'efficacité du séchage en terme de perte en eau, le taux d'humidité a été effectué pour les différentes poudre obtenues dans les différentes conditions, en prenant 1 g de chaque poudre sur une boîte de pétrie et séchées par étuve à une température 103 ± 2 °C pendant 3 heures.

Le taux d'humidité est calculé comme le rapport de la masse perdue par chauffage d'un échantillon sur sa masse initiale (**Boivin et al., 2015**).

➤ **Expression des résultats**

La teneur en eau a été déterminée selon la formule suivante :

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

Où :

H% : est la variation finale de la masse de la poudre(%)

M₁ : la masse de la poudre avant étuvage (g)

M₂ : la masse de la poudre après étuvage (g)

II-4-1-2- Caractérisation de la couleur

La couleur est une propriété importante de la qualité tout au long de l'agriculture et de l'industrie alimentaire, car elle est étroitement associée avec des facteurs tels que la fraîcheur, la maturité, l'opportunité et la sécurité alimentaire (**Demiray et Talek, 2014**).

L'espace de CEI (Commission Internationale d'Eclairage) crée en 1976 est réservé à l'étude des couleurs de surface ou objet comme le cas de la poudre en utilisant un système RBG (Red Blue Green) signifie les couleurs primaires avec des longueurs d'ondes dominantes pour le rouge, le vert et le bleu.

➤ **Principe**

La couleur des poudres obtenues a été définie en utilisant un colorimètre de type (CM-2500 d MINOLTA)(Figure 6). Ce dernier fonctionne en présence d'un logiciel open RBG.



Figure 06 : photographie d'un colorimètre

Toute couleur est représentée par trois coordonnées [L^* , a^* , b^*] (Bhawya *et al.*, 2015)

Sachant que :

- ✓ L^* représente la **clarté**
- ✓ a^* représente la composante chromatique (Rouge-Vert)

Une valeur positive de a^* indiquant une localisation vers le rouge

Une valeur négative de a^* indiquant une localisation vers le vert

- ✓ b^* représente la composante chromatique (jaune-Bleu)

Une valeur positive de b^* indiquant une localisation vers le jaune,

Une valeur négative de b^* indiquant une localisation vers le bleu.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Cinétique du séchage

Le séchage conventionnel (étuve) et innovant (micro onde) sont les méthodes adoptées dans cette étude en suivant les conditions établies précédemment, avec des mesures de perte de masse périodiquement.

Dans le but de comparer l'activité et l'efficacité des deux procédures du séchage, le temps et la vitesse du séchage ont été calculés pour les différentes températures et puissances testées (Tableau IV) :

Tableau IV: Le temps et la vitesse du séchage d'*A. sativum* à différentes températures et puissances.

Puissance (W)	Temps (s)	Vitesse (g/s)	Température (°C)	Temps (h)	Vitesse (g/s)
180	12 min 40 s	$1,74.10^{-4}$	50	45	$1,13.10^{-5}$
300	10 min 8 s	$1,99.10^{-4}$	70	23	$1,36.10^{-5}$
450	9 min 30 s	$2,46.10^{-4}$	90	15	$5,81.10^{-5}$
600	8 min 75 s	$2,70.10^{-4}$	/	/	/
900	8 min 25 s	$2,75.10^{-4}$	/	/	/

Ces résultats sont représentés dans les graphes suivant comme suit : La perte de masse en fonction du couple temps-température pour le séchage par étuve (Figure 7) et pour le séchage par micro-onde, la perte de masse est en fonction du couple temps-puissance (Figure 8).

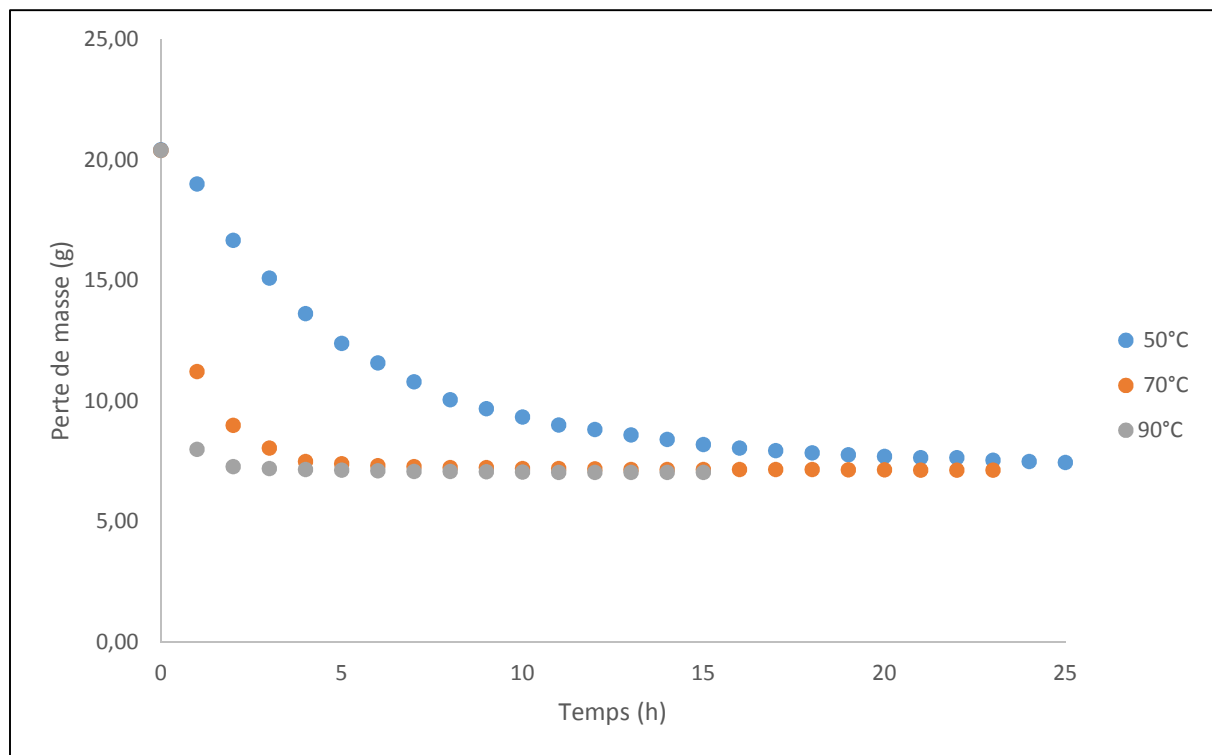


Figure 07 : La cinétique du séchage par étuve

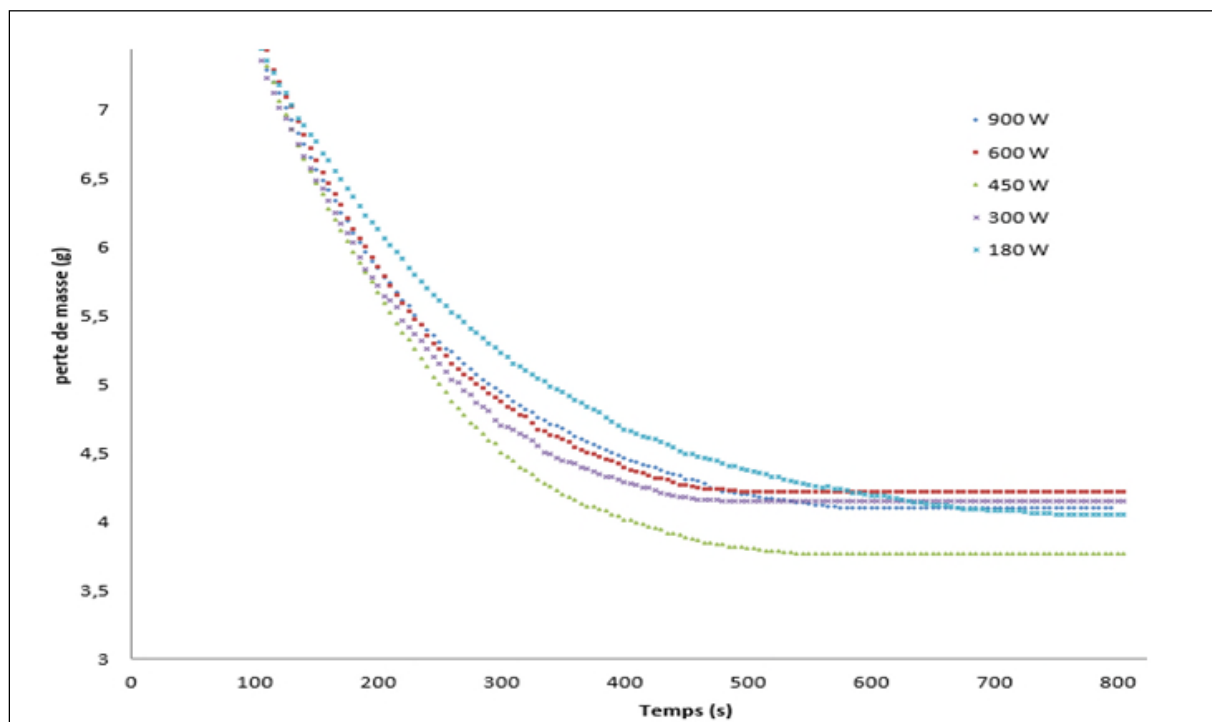


Figure 08 : La cinétique du séchage de l'ail par micro-onde

En remarquant les courbes de séchage conventionnel et innovant, on distingue un comportement typique observé lors du séchage des aliments avec deux phases : une première phase pendant laquelle la teneur en eau diminue rapidement, suivie par une deuxième phase de diminution plus lente jusqu'à la fin du séchage.

D'après la figure 7 et le tableau IV, les résultats expérimentaux ont révélé qu'à haute température (90°), la perte en eau a été plus rapide et la stabilité du poids a été atteinte juste après 5h avec une vitesse de séchage de $5,81 \cdot 10^{-5}$ g/s. Alors qu'à faible température (50°), la vitesse de la perte en eau a été très lente ($1,13 \cdot 10^{-5}$ g/s) et cela a été confirmé par le temps (45h) qui a été nécessaire pour avoir une matière sèche avec un poids stable. Ces résultats ont permis de suggérer d'une part que la vitesse du séchage par étuve est proportionnelle à l'augmentation de la température appliquée et d'une autre part que le temps de séchage conventionnel est inversement proportionnel à l'augmentation de la température appliquée. Les résultats obtenus sont comparables à ceux de plusieurs travaux (**Madamba et al. (1996)**, **Pezzutti et Crapiste (1997)** et **Sharma et Prasad (2001)**).

En ce qui concerne le séchage par micro-onde (innovant), on remarque qu'à tous les niveaux de puissance, les séchages ont été plus rapides et avaient tendance à s'achever à peu près au même moment. On a constaté que le séchage a été plus rapide, qui ne nécessitant que 12 min et 40s à une puissance de 180W avec une vitesse de $1,74 \cdot 10^{-4}$ g/s. Cette dernière a augmenté notablement en augmentant les puissances du micro-onde jusqu'à une vitesse de $2,75 \cdot 10^{-4}$ g/s pour une puissance de 900W, cette vitesse est maximale pour les différentes puissances utilisées dans cette étude qui n'a nécessité que 8min et 25s. Les résultats du séchage par micro-onde ont montré que la vitesse de séchage augmente continuellement avec l'augmentation de la puissance et que le temps de séchage diminue considérablement avec l'augmentation de la puissance (Tableau IV). Cela a été confirmé par plusieurs recherches telles que les travaux d'Al-Duri et McIntyre, (1992) où, ils ont signalé l'effet de puissance sur le temps de séchage des matières alimentaires.

L'augmentation de la vitesse peut être expliquée par le fait qu'elle est contrôlée par les gradients d'humidité qui dépendent de la diffusion de l'eau dans le produit, donc le séchage est contrôlé par les résistances internes aux transferts de matière (**Mandez Laguna, 2007**). La réduction du temps de séchage pour les deux procédures conventionnel et innovant résulte de l'accélération de la vitesse du séchage.

La stabilité du poids est probablement due au fait que la température de la matrice atteint celle de l'air de séchage, car la force de migration de l'eau de l'intérieur vers la surface est insuffisante. Il est possible également qu'il n'y est plus d'eau libre dans le produit, donc l'humidité de la matrice est en équilibre avec l'humidité de l'air de séchage ce qui signifie que le séchage est achevé (Bonnazi et Bimbinet, 2003).

La comparaison entre les résultats de la cinétique du séchage pour les deux types indique que le transfert de masse au sein de l'échantillon a été rapide au cours du chauffage par micro-ondes par rapport au séchage par étuve. Car le séchage innovant ne nécessite que 12min et 40s pour la puissance minimale de 180W, alors que, pour la plus grande température 90°, le séchage conventionnel a été après 15h. D'après Lin et ses collaborateurs, (1998) ces observations ont été le résultat de la chaleur générée au sein de l'échantillon, avec la création d'un gradient de pression de vapeur différentielle entre le centre et la surface des produits. L'accélération du séchage par micro-onde observée a peut-être été provoquée par une ouverture de la structure physique, permettant l'évaporation rapide et le transport de l'eau (Maskan, 2000).

III.2.Résultats d'analyses physicochimiques

III.2.1. Teneur en eau

La teneur moyenne en eau de l'ail frais est de 86% et dans le but d'évaluer l'efficacité du séchage en terme de perte d'eau, les mesures d'activités de l'eau (AW) et du taux d'humidité pour les différentes poudres obtenues après le séchage et le broyage de l'ail séché ont été déterminés et les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau V : Le taux d'humidité et de l'activité de l'eau des poudres d'*A. sativum* séchées

Puissance (W)	TH%	L'activité de l'eau (AW)	Température (°C)	TH%	L'activité de l'eau (AW)
180	33	0,551	50	12	0,491
300	30	0,544	70	8	0,426
450	28	0,570	90	4	0,356
600	24	0,588	/	/	/
900	20	0,553	/	/	/

Les résultats de ce test ont révélé que l'activité de l'eau et le taux d'humidité ont été influencés remarquablement par le séchage avec les deux méthodes. En effet, le taux d'humidité de la matière fraîche a été de 86% ce qui montre que l'activité d'eau a été élevée. Tandis que, les résultats ont montré que le taux d'humidité a diminué considérablement après le séchage par micro-onde ou par étuve jusqu'à 20% et 4%, respectivement, ces résultats ont été confirmés par la diminution de l'activité d'eau (Tableau V). Aussi, il a été enregistré que la poudre obtenue par séchage à 90°C présente un taux d'humidité (4%) et une activité en eau plus faible en comparaison aux autres températures testées dans ce travail. En ce qui concerne les valeurs observées pour ces deux paramètres avec les différentes puissances de séchage au micro-onde, il a été remarqué que les valeurs diminuent avec l'augmentation des puissances. Par ailleurs, les valeurs les plus faibles enregistrées correspondent à la puissance de 900 W avec un taux d'humidité de 20% et une activité d'eau de 0,553 (AW). Ces résultats de la cinétique de séchage permettent de suggérer que la diminution de l'activité d'eau et le taux d'humidité ont été inversement proportionnel à l'augmentation des puissances ou à l'augmentation des températures.

Selon Mafart, (1991), Au cours du processus de déshydratation, les molécules d'eau les moins liées sont d'abord éliminées et la dernière fraction extraite correspond aux molécules d'eau de structure, fortement liée aux macromolécules organique d'extrait sec par les liaisons électrostatiques.

Les observations démontrées dans ce travail sont comparable à plusieurs études telles que celle de Chua et ses collaborateurs, (2001), où ils ont proposé une hypothèse. Ils ont attribué le phénomène de l'élimination rapide de l'eau de la surface saturée en eau au début du séchage, suivi par un gradient élevé de température entre la surface et l'intérieur du produit. En suite, la température de l'air change favorisant la migration de l'humidité à la surface en maintenant une surface quasi saturée. Finalement, au bout d'un certain temps, la teneur en eau est trop faible et la courbe s'aplatit.

III.2.2. La couleur

La couleur est le dernier test qui a été suivi dans cette étude, cette détermination constitue un attribut important de la qualité des produits alimentaires secs, ceci est dû à la relation entre la saveur de la couleur et l'arôme des produits

déshydratés (Tsami *et al.*, 1998). Les résultats du test colorimétrique de cette étude sont présentés dans le tableau VI ci-dessous :

Tableau VI: Les résultats du test colorimétrique des poudres.

Puissance (W)	L	a	b	Température (°C)	L	a	b
180	78,77	9,87	23,73	50	91,69	3,35	15,49
300	83,33	6,33	22,74	70	82,10	8,35	22,91
450	79,85	16,55	24,51	90	71,51	12,25	24,98
600	80,02	3,81	26,85				
900	78,20	9,24	24,89				

Les paramètres : Luminosité (L), Composante chromatographique rouge-vert (a), Composante chromatographique jaune-bleu (b) pour les différentes poudres obtenue par les deux types du séchage.



Figure 09 : Observation macroscopique des poudres d'ail à différentes températures et à différentes puissances. A : Les poudres obtenue par micro-onde à différentes puissances (A.1=900W, A.2=600W, A.3=450W, A.4=300W, A.5=180W). B : Les poudres obtenue par étuve à différentes températures (B.1=50, B.2=70, B.3=90).

La comparaison des résultats du test colorimétrique chez les poudres obtenue par séchage innovant a révélé l'absence d'une différence importante entre les différentes puissances utilisé pour les valeurs (L, a, b). Cette absence de différence, malgré le changement de puissance, est confirmée par l'observation macroscopique (Figure 09. (A.1-5)) qui ne montre aucun changement de couleur des poudres. Ces observations coïncident avec plusieurs autres études et selon Maskan, (2000) qui a travaillé sur le séchage des bananes par micro onde, les changements des valeurs de couleur ne dépendent pas de l'intensité des puissances du micro-onde. Par ailleurs, le tableau VI montre que les valeurs de luminosité "L" du séchage conventionnel ont été diminués de 91,69 à 71,51 en fonction de l'augmentation de la température de 50°C à 90°C, respectivement, tandis que les valeurs (a) et (b) augmentent en fonction de l'augmentation de la température de 3,35 et 15,49 pour 50°C à 12,25 et 24,98 pour 90°C, respectivement. D'après la littérature, la diminution de (L) signifie la perte de luminosité en donnant une couleur plus foncée et l'augmentation de (a, b) indique la formation des couleurs (rouge, jaune). Cela a été confirmé par le grand changement de couleurs observé à l'échelle macroscopique (Figure 09. (B.1-3)).

Des résultats similaires ont été rapportés par Mendez Lagunas, (2006), où ils ont suggéré que la formation ou la dégradation de la couleur augmente en fonction du temps de traitement. De plus, la formation de la couleur (rouge, jaune) et la perte de luminosité sont provoquées par la réaction enzymatique de l'allinase pendant le mélange des composants à la surface du produit. Aussi, elle est influencée par la température de séchage qui favorise les réactions de type Maillard, cette réaction transforme des composants présents dans l'ail en formant des composants précurseurs des composants colorés, parmi ces composants : les protéines et les sucres réductase. Ce qui laisse suggérer que la composition phytochimique de l'ail est modifiée après séchage par étuve surtout à haute température. Les résultats de ce test permettent de suggérer que le séchage par micro-onde préserve la couleur des poudres ainsi que les principes actifs, alors que, le séchage par étuve induit des changements de couleur qui sont les résultats des changements dans la composition biochimique de l'ail.

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

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le présent travail s'est attelé d'une part sur le séchage des gousses d'ail par deux différentes méthodes et d'autre part caractérisation physico-chimique des poudres obtenues.

Les résultats de la cinétique ont montré que le temps de séchage par micro-onde a été plus court que celui enregistré par étuve. En effet, pour atteindre un poids stable par séchage innovant, la puissance minimale (180W) n'avait besoin que de 12 minutes avec une vitesse de $1,74.10^{-4}$ g/s, tandis que, la vitesse de séchage conventionnel a été plus lente avec une vitesse de $5,81.10^{-5}$ g/s pour la température maximale 90°C ce qui a nécessité 15 heures de séchage.

Les résultats du taux d'humidité et l'activité d'eau ont révélé que le séchage innovant a enregistré des valeurs légèrement supérieures à celle enregistré par séchage conventionnel. Les résultats du test colorimétrique ont montré que le séchage par micro-onde préserve la couleur, contrairement au séchage par étuve qui a induit des changements remarquables de la couleur des poudres.

En se basant sur la littérature, l'augmentation de la vitesse du séchage, la réduction de son temps et les changements de couleur que les poudres subissent permet de suggérer que la meilleure procédure est celle du séchage par micro-onde.

En effet, le séchage peut provoquer des changements physiques, chimiques ou biologiques. Ces changements provoquent des modifications physiques et structurelles, ainsi que la dégradation des composés aromatiques ou de dégradation de la substance nutritive résultant de réactions biochimiques indésirables. Tous ces changements physiques et biochimiques réduisent la qualité du produit et diminuent sa valeur nutritionnelle. Afin de valider la meilleure méthode du séchage il est nécessaire d'effectuer une analyse phytochimique pour les poudres obtenues, dans le but de confirmer la méthode qui préserve qualitativement et quantitativement l'ail.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

Al-Duri, B. et McIntyre, S. (1992). Comparison of Drying Kinetics of Foods Using a Fan-Assisted Convection Oven, a Microwave Oven a Combined Microwave/Convection Oven. *Journal of Food Engineering*.15(2): 139-155.

Alibas, I. (2007). Microwave, air and combined microwave–air-drying parameters of pumpkin slices. *LWT-Food Science and Technology*, 40(8) : 1445-1451.

Allaf, K.; Mounir, S. et Allaf, T. (2012). Swell-drying: séchage et texturation par DIC des végétaux. *Technique de l'ingénieur*. France : La Rochelle, France.

Arvy, M.P. et Gallouin, F. (2003). Epices aromates et condiments. Paris: Belin. P: 24-30.

B

Beloued A. (2001). Plantes médicinales d'Algérie. 2^{ème} éd. Alger: Office des publications universitaires. P : 24-25.

Benkeblia, N. (2004). Antimicrobial activity of essential oil extracts of various onions (*Allium cepa*) and garlic (*Allium sativum*). *LWT - Food Science and Technology*, 37(2): 263-268.

Bonnazi, C. et Bimbinet, J.J. (2003). Séchage des produits alimentaires principes. *Techniques de l'ingénieur : Agroalimentaire : 2 F3000* :1-14.

Bonnazi, C. et Bimbinet, J.J. (2008). Séchage des produits alimentaires principes : Appareils et applications. *Techniques de l'ingénieur : Agroalimentaire 2 (F3002)*.

Bonazzi, C. et Dumoulin, J.J. (2011). Séchage des produits alimentaires principe. *Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire 2, F3000* : 01-14.

Bozin, B. ; Mimica-Dukic, N. ; Samojlik, I. ; Goran, A. et Igetic, R. (2008). Phenolics as antioxidants in garlic (*Allium sativum* L., Alliaceae). *Food Chemistry*, 111(4): 925-929.

C

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Callery, E. (1998). Le grand livre des herbes : un guide pratique de la culture et des vertus de plus de 50 plantes. France :Konemann. P : 55-56.

Cantwell, M. I. (2000). Alliin in garlic. *Perishables Handling Q*, 102: 5-6.

Cavagnaro, P. F., Camargo, A., Galmarini, C. R., & Simon, P. W. (2007). Effect of cooking on garlic (*Allium sativum* L.) antiplatelet activity and thiosulfinates content. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(4) : 1280-1288.

Chua K.J., Mujumdar A.S., Hawlader M.N.A., Chou S.K. et Ho, J.C. (2001). Convective drying of agricultural products. Effect of continuous and stepwise change in drying air temperature. *Drying Technology*, 19(8) : 1949-1960 .

Couplan, F. (2011). Guide nutritionnel des plantes sauvages et cultivés. Paris : Delachaux et Niestlé. P: 117.

D

Demiray, E. et Tulek, Y. (2015). Color degradation kinetics of carrot (*Daucus carota* L.) slices during hot air drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6): 800-805.

F

F.A.O. (2013). Food and Alimentation Organisation. Site FAO-STAT
<http://faostat3.fao.org/home/F>

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

G

Gerges Geaga, A. (2015). Les Bienfaits de l'Ail sur la Santé. *HUMAN & HEALTH*. 31:46-47.

Giese, J. (1992). Advances in microwave food processing. *Food Technology*. 46(9): 118-123.

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

H

Harris, J.C.; Cottrell, S. L. ; Plummer, S. et Lloyd, D. (2001). Antimicrobial properties of *Allium sativum* (garlic). *Applied Microbiology and Biotechnology*. 57: 282-286.

K

Kaarissova, O.V.; Kharisov, B.I. et Ménder, U.O. (2012). Microwave-Assisted Synthesis of Coordination and Organometallic Compounds Advances in Induction and Microwave Heating of Mineral and Organic Materials. Croatia: INTECH.pp:346-390.

Krokida, M.K.E. ; Tsami, E. et Maroulis, Z.B. (1998). Kinetics on color changes during drying of some fruits and vegetables. *DRYING TECHNOLOGY*. 16 (3-5): 667-685.

L

Li, Z. ; Raghavan, G. et Orsat, V. (2010). Temperature and power control in microwave drying. *Journal of food Engineering*. 97(4): 478-483.

Li, Z.; Raghavan, G.S.V.; Wang, N. et Vigneault, C. (2011). Drying rate control in the middle stage of microwave drying. *Journal of food Engineering*. 104(2): 234-238.

Lin, T.M.; Durance, T.D. et Saman, C.H. (1998). Characterization of vacuum microwave air and freeze-dried carrot slices. *Food Research International*. 31(2): 111-117.

M

Madamba, P.S.; Driscollb, R.H. et Buckleb, K.A. (1996). The Thin-layer Drying Characteristics of Garlic Slices. *Journal of Food Engineering*. 29(1): 75-97.

Mafart, P. (1991). Génie industriel alimentaire. Tome 1 : Procédés physiques de conservation 2^{ème} éd. Paris :Tec & Doc.

Mandez Lagunas, L. (2007). L'effet des conditions variables de séchage sur la cinétique de séchage et la qualité de l'ail. Thèse de Doctorat en science et technologie des aliments pour

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D). Université Laval, Faculté des études supérieures. pp : 1-139.

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

McSweeney, M. et Seetharaman, K. (2015). State of Polyphenols in the Drying Process of Fruits and Vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 55(5): 660-669.

Metwally, M. A. A. (2009). Effects of garlic (*Allium sativum*) on some antioxidant activities in tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*). *World Journal of fish and marine sciences*, 1(1) : 56-64.

P

Pezzutti, A. et Crapiste, G.H. (1997). Sorptional Equilibrium and Drying Characteristics of Garlic. *International Journal of Food Properties*. 31(1): 113-123.

R

Roussy, G. ; Rochas, J.F. et Oberlin, C. (2003). Chauffage diélectrique-Technologies. Technique de l'ingénieur. *Electrothermie industrielle*. 12(D5941), D5941-1..

S

Sharma et Prasad (2001). Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave-hot air combination. *Journal of Food Engineering*. 50(2): 99-105.

Sheela, C.G et Augusti, K.T. (1992). Antidiabetic effects of S-allyl cysteine sulphoxide isolated from garlic *Allium sativum* Linn. *Indian Journal of Experimental Biology*, 30(6): 523-526.

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

Song, S. I., Cheong, J. J., & Choi, Y. D. (2007). Onion, garlic and related species. In *Transgenic Crops IV* (pp. 415-433). Springer Berlin Heidelberg.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

T

Teuscher, E. ; Anton, R. et Lobstien, A. (2005). Plantes aromatique ; Epices, aromates, condiments et huiles essentielles. Ed. Paris : Tec & Doc. Page : 522.

Touil, A., Litaïem, J., & Zagrouba, F. (2015). Isothermes de sorption et propriétés thermodynamique de l'Allium sativum. *Journal of the Tunisian Chemical Society*, 17 : 105-114.

V

Vasseur, J. (2009). "Séchage : principe et calcul d'appareils : séchage convectif par air chaud (partie 1)." *Technique de l'ingénieur : Génie des procédés*, (J2451).

W

Wargovich , M. J. (1986). Diallyl sulfide, a flavor component of garlic (*Allium sativum*), inhibits dimethylhydrazine-induced colon cancer. *Oxford Journals Medicine & Health Science Mathematics Carcinogenesis*, 8(3): 487-489.

Wray, D. et Ramaswamy, H.S. (2015). Novel Concepts in Microwave Drying of Foods. *Drying Technology: An International Journal*. 33 (7): 769-783.

Y

Yongsawatdigul, J. et Gunaskaran, S. (1996). MICROWAVE-VACUUM DRYING OF CRANBERRIES: PART II. QUALITY EVALUATION. *Journal of food processing and preservation*. 20(2): 145-156.

Younos, C. et Bellakhdar, J. (1993). Diététique en médecine arabo-persane. Médicament et aliments : l'approche ethno pharmacologique. pp : 53-57.

Z

Zheng-Wei, C., Shi-ying, X., et Da-Wen, S. (2003). Drying Technology: An International Journal. *DRYING TECHNOLOGY*. 21(7): 1173-1184.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Site internet:

Anonyme: plants.usda.gov/core/profile?symbol=ALSA2. Consulté le 04/04/2016

Résumé

Ce travail a pour objectif d'étudier le suivi de deux méthodes de séchages (conventionnel et innovant) sur l'espèce *Allium sativum*. Le séchage a été effectué à différentes puissances (180, 300, 450, 600 et 900W) au micro-onde, ainsi qu'à différentes températures (50, 70 et 90°C) à l'étuve. Les poudres ont été obtenues à partir de la matière séchée. La cinétique de la perte de masse en fonction du temps a été déterminée et des analyses physicochimiques ont été réalisées pour ces poudres. Par micro-onde, la puissance de 180W a enregistré une réduction du temps du séchage (12 minutes) avec une augmentation de sa vitesse ($1,74 \cdot 10^{-4}$ g/s). Alors que par étuve, une augmentation du temps du séchage (15 heures) accompagnée d'une diminution de sa vitesse ($5,81 \cdot 10^{-5}$ g/s) a été observé à la température de 90°C. Le séchage innovant préserve la couleur par rapport à l'étuve et donne une meilleure qualité pour la poudre.

Mots clé : *Allium sativum*, cinétique, séchage, analyses physicochimiques, couleur.

Abstract

This work aims to study the follow two methods of drying (conventional and innovative) the species *Allium sativum*. The drying was performed at different powers (180, 300, 450, 600 and 900W) in a microwave, as well as different temperatures (50, 70 and 90 ° C) in an oven. The powders were obtained from the dried material. The kinetics of the loss of mass over time was determined and the physicochemical analyzes were performed for these powders. By microwave, the power of 180W recorded a reduction of drying time (12 minutes) with an increase in speed ($1,74 \cdot 10^{-4}$ g / s). While in oven, an increase in drying time (15 hours) with a decrease of its speed ($5,81 \cdot 10^{-5}$ g / s) was measured at the temperature of 90 ° C. The innovative drying preserves the color with respect to the oven and provides a better quality for the powder.

Keywords: *Allium sativum*, kinetics, drying, physicochemical analysis, color.

Introduction

*Revue
bibliographique*

*Matériels et
méthodes*

Résultats et discussion

*Conclusion et
perspectives*

*Références
bibliographiques*