



Réf : ...../UAMOB/FSNVST/DSA/2022

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

Domaine : SNV      Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité : Agro-alimentaire & Contrôle de qualité

Présenté par :

*HAMRI Khadidja & TALEB Samira*

### *Thème*

*L'effet de la micro-ondes sur le séchage par étuve ventilée de la pomme, de l'abricot et de la banane*

Soutenance le : 06/ 07 / 2022

Devant le jury composé de :

<i>Nom et Prénom</i>	<i>Grade</i>		
<i>Mr NOURIA.</i>	<i>MAA</i>	<i>Univ. Bouira</i>	<i>Président</i>
<i>Mm HAMILOUD L.</i>	<i>MCB</i>	<i>Univ. Bouira</i>	<i>Promoteur</i>
<i>Mm IAZZOURENE G.</i>	<i>MCB</i>	<i>Univ. Bouira</i>	<i>Co-Promoteur</i>
<i>Mm AMMOUCHE Z.</i>	<i>MAA</i>	<i>Univ. Bouira</i>	<i>Examineur</i>

Année Universitaire : 2021/2022

## *Remerciement*

Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé, la force et le courage d'entamer et de terminer ce travail.

Nous adressons nos remerciements, nos gratitude et nos reconnaissances à notre promotrice **Mm HAMIOUD L.** Maître de Conférences à la Faculté des Sciences et Sciences Appliquées - Université AMO Bouira, pour nous avoir encadrées et nous avoir dirigées. Merci aussi pour l'offre de ses compétences scientifiques. Nous sommes profondément reconnaissantes pour sa confiance et sa patience.

Nous exprimons également nos vifs remerciements à **Mm IAZZOURENE G.** Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de la Nature et de Vie - Université -AMO - Bouira, qui nous a suivis de près pour gérer et réaliser ce travail. Nous la remercions profondément pour son soutien permanent tout au long de notre travail, pour son enthousiasme, ses conseils et sa patience.

Nous remercions également **Mr Nouri A. et Mm Ammouche Z.**, Maître assistante à la Faculté des Sciences de la Nature et de Vie - Université -AMO – Bouira pour l'honneur qu'ils nous ont fait de faire partie du jury.

## *Dédicaces*

J'adresse mes sincères remerciements et ma gratitude à :

Ma mère et mon père qui ont toujours été à mes côtés et qui n'ont jamais cessé de m'apporter tout ce que j'ai besoin durant mon parcours universitaire.

A tous mes chers frères et sœurs : *Jamila, Hanane, Zouhaira, Dijiga, Fatima, Louiza, Sid Ali et Salah Din et Mohammed* qui m'ont beaucoup aidé tout au long de mon parcours universitaire et à toutes les familles *Hamri* et *Bourabaa*.

A tous mes amis, *Maream, Hanin, Ibtissam, Rihab, Radhiya, Amira, Najat, Zainab*, et surtout mon professeur ami *Benalia Karima*.

Je n'oublierai jamais votre gentillesse et votre aide, je vous aime tous.

*Khadija*

Je dédie ce mémoire à...

Mes chers parents qui m'ont soutenu et encouragé durant ces années d'études

Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profondeur reconnaissance.

A mon frères « *Samir et Marivi* » et qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout a long de mon parcours.

A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnant de l'amour et de la vivacité.

A ma meilleur amie « *Hamri khadija* » qui m'a toujours encouragé et m'aider pour finir ce travail, et à qui je souhaite plus de succès.

*Samira*

## *Table des matières*

**Liste des abréviations**

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

	<b>N° de Page</b>
<b>Introduction</b>	01
<i><b>PARTIE I : BIBLIOGRAPHIQUE</b></i>	
<b>Chapitre I : Généralités sur le séchage</b>	
1. Définition	03
2. Principe et objectif du séchage	03
2. 1 Principe	03
2. 2. Objectifs de séchage	03
3. Technologies de séchage	03
4. Différents types de séchage	04
4. 1.Séchage au soleil	04
4. 2. Séchage solaire	04
4. 3. Ebullition à sec	04
4. 4. Séchage à l'étuve	05
4. 5. Séchage par micro-onde	06
4. 5.1.Mécanismes impliqués dans processus de séchage	07
4. 5. 2. Phénomènes du processus de séchage	07
4. 5. 3. Applications alimentaires des micro-ondes	08
4. 6. Lyophilisation	10
4. 7. Séchage par infiltration	10
5. Avantages et inconvénients de séchage	11
5. 1. Avantages	11
5. 1. Inconvénients	11
6. Cinétique de séchage	11
6. 1. Courbes caractéristiques de la cinétique de séchage	12
6. 2. Facteurs qui augmentent la cinétique de séchage	13
<b>Chapitre II : Généralités sur les fruits étudiés</b>	
1. Abricot	14
1. 1. Description du fruit	14
1. 2. Histoire et origine	14
1. 3. Anatomie des fruits	14
1. 4. Valeur nutritionnelle	15
1. 5. Variétés des abricots	17
2. Banane	18
2. 1. Historique	18
2. 2. Classification Botanique	18
2. 3. Qualités nutritionnelles	19
2. 3. 1. Peau de banane	19
2. 3. 2. Pulpe de banane	19
3. Pomme	20
3. 1. Description	20
3. 2 Anatomie et histologie de la pomme	21

3. 3. Propriétés nutritives	21
3. 4. Variétés	22
<b><i>PARTIE II : PARTIE EXPERIMENTALE</i></b>	
<b>Chapitre I : Matériel et Méthodes</b>	
1. Matériel	25
1. 1. Matériel végétal	25
1. 2. Appareillage et verreries	25
2. Méthodes	26
2. 1. Séchage	26
2. 1. 1. Prétraitement par micro-onde	26
3. 1. 2. Séchage par étuve ventilée	26
3. Détermination de la teneur en eau	27
<b>Chapitre II : Résultats et Interprétation</b>	
1. Evolution de la teneur en eau réduite de séchage de pomme	28
2. Evolution de la teneur en eau réduite de séchage de l'abricot	30
3. Evolution de la teneur en eau réduite de séchage de la pulpe de la banane	32
4. Evolution de la teneur en eau réduite de séchage de la pelure de la banane	33
<b>Conclusion générale</b>	36
<b>Références bibliographiques</b>	37
<b>Annexes</b>	
<b>Résumé &amp; Abstract</b>	

## *Liste des abréviations*

<b>(Ms)</b> : Matière sèche
<b>(ms)</b> : Masse sèche
<b>UFC</b> : Unité F Celsius
<b>HCAS</b> : Hétérocycliquesamines secondaires
<b>PP</b> : Vitamine B <sub>3</sub> ou niacine
<b>SO<sub>2</sub></b> : Dioxyde de soufre
<b>Hz</b> : Hertz
<b>MHZ</b> : Méga Hertz
<b>GHz</b> : Giga Hertz
<b>E. Coli</b> : Echerèchai Coli
<b>HDL</b> : High Density Lipoprotein
<b>LDL</b> : Low Density Lipoprotein

### *Liste des figures*

<i>N° de la figure</i>	<i>Titre</i>	<i>N° de page</i>
01	Exemple d'une étuve universelle ventilée XU	05
02	Schéma d'une micro-onde	06
03	Décongélation de viandes et poissons assistée par micro-ondes	09
04	Lyophilisateur Pilote LPCCPLS15 et lyophilisateur de production	10
05	Courbes d'évolution type au cours du temps de la teneur en eau du produit (A), l'allure de séchage (B) et l'allure de séchage en fonction du taux d'humidité	12
06	Coupe longitudinale d'un abricot	15
07	Structure anatomique générale d'une pomme	21
08	Photographies des échantillons de fruits avant séchage	25
09	photographie des échantillons lors du prétraitement par micro-ondes	26
10	Evolution de la teneur en eau en fonction de la durée de séchage de la pomme/ms (a), (b), (c) et (d) sont préalablement séchés par micro-ondes pendant 30 s, 1min, 2min et 4 min respectivement.*Témoin	29
11	Evolution de la teneur en eau en fonction de la durée de séchage de l'abricot/ms.	31
12	Evolution de la teneur en eau en fonction de la durée de séchage de la banane/ms.	32
13	Evolution de la teneur en eau en fonction de la durée de séchage de la peau de la banane/ms.	34

## Liste des tableaux

<i>N° du tableau</i>	<i>Titre</i>	<i>N° de page</i>
1	Valeurs nutritionnelles pour 100g d'abricot	16
2	Caractéristiques des vieilles variétés d'abricot	17
3	Caractéristiques de la composition chimique et biochimique de bananas dessert et bananas plantain, à différents stades physiologiques et après transformation, pour 100 g de poids frais	20
4	Composition moyenne d'une pomme	22
5	Concentrations moyennes des composés polyphénoliques de la chair de plusieurs variétés de pomme (mg/kg de poids frais)	23
6	Récapitulatif des durées de séchage de la pomme, de l'abricot, de la pulpe de la banane et sa pelure par étuve assisté par Micro-Ondes (MO)	35

### Introduction générale

La plupart des fruits et des légumes contiennent plus de 80% d'eau et sont donc hautement périssables. De 30% à 40% des produits sont perdus dans les pays en développement à cause des manipulations inadéquates, du transport et des installations de stockage. Outre les pertes pondérales et économiques, des pertes graves en nutriments essentiels, notamment en vitamines et en minéraux. Les fruits et les légumes sont dans la plupart des cas, consommés frais et leur valeur nutritive est alors élevée. Les fruits et les légumes saisonniers sont disponibles et consommés pendant une très courte période. Ils doivent donc être conservés pour être consommée en dehors de la saison de récolte. Plusieurs technologies sont employées dans l'industrie pour la conservation des fruits et légumes; les méthodes les plus importantes sont la mise en conserves, la congélation et le séchage (**Jayaraman & Das Gupta, 2006**).

Parmi ces dernières, le séchage qui est l'une des principales techniques de préservation des produits agricoles et alimentaires, c'est le processus d'élimination de l'humidité dans le produit jusqu'à certaine valeur-seuil. De cette façon, le produit peut être stocké pendant une longue période (**Alibas, 2007**).

Le séchage conventionnel est largement utilisé dans l'industrie des produits alimentaires, mais cette méthode prend beaucoup de temps. Par conséquent, des méthodes de séchage avancées sont souvent recommandées pour réduire le temps et les coûts de séchage notamment le séchage aux micro-ondes (**Sumnu et al, 2005**). Cette dernière technique a fait ses preuves en tant que technologie émergente (jusqu'à 80% du temps de séchage) (**Khan et al., 2020**). Mais l'utilisation de cette technique détériore la qualité des produits à cause d'un chauffage inégale (**Apicella & Romano, 2019**).

Etant données les très grandes variabilités et diversité des produits alimentaires et biologiques, le meilleur moyen de caractériser le comportement du séchage d'un produit consiste à mesurer expérimentalement sa cinétique de séchage (**Bonazzi & Bimbenet, 2003**).

Le séchage a beaucoup d'intérêt, mais toute élimination d'eau se heurte essentiellement aux risques d'altération de la qualité nutritionnelle et organoleptique du produit traité et une consommation énergétique considérable.

Aujourd'hui, le recourt aux micro-ondes pour la cuisson, le chauffage et la décongélation des aliments est chose courante. Dans un four, lorsqu'une micro-onde traverse la matière, elle agite les molécules sensibles, surtout les molécules d'eau.

Cette agitation représente une augmentation de la température des molécules. Les micro-ondes ont donc des effets thermiques (**Heldman, Lund et al., 2006**).

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

Le principal objectif de ce présent travail est d'étudier les effets des rayonnements de micro-onde sur le rendement et la qualité de séchage par étuve de certains fruits (la banane, la pomme et l'abricot), notamment de réduire le temps de séchage qui est considéré un inconvénient majeur de séchage des denrées alimentaires.

La présentation de ce manuscrit s'articulera autour de deux parties :

- La première partie est une synthèse bibliographique où nous apportons des généralités sur les séchages et la micro-onde ainsi que les fruits étudiés.
- La deuxième partie est consacrée à la méthodologie menée pour réaliser ce modeste travail avec les résultats que nous avons obtenus et leurs interprétations.

**Partie I : Partie Bibliographique****Chapitre I : Généralités sur le séchage****1. Définition**

Le séchage est une opération qui consiste à réduire le taux d'humidité contenu dans un aliment (Abbasi et Azari, 2009 ; Ding et al., 2012 ; Jelled et al., 2015), c'est la méthode la plus répandue en agriculture pour la conservation des fruits et légumes.

Il consiste à l'évaporation de l'eau et de composés volatils, réduisant ainsi la croissance des micro-organismes et des réactions chimiques non désirées, afin d'augmenter la durée de vie du produit. Il aide à obtenir un produit sec et homogène à l'extrémité du séchage (Verdier et al., 2016), ce qui permet de réduire considérablement la masse et le volume des produits et facilite leur transport, stockage et manutention (Djerroud et al., 2010).

**2. Principe et objectif du séchage****2.1. Principe**

Le séchage est une opération consistant à retirer une partie du solvant (le plus souvent l'eau), d'un corps, par vaporisation de ce solvant, le produit final dit « sec » étant 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).

**2. 2. Objectifs de séchage**

Les objectifs fixés pour le processus de séchage du produit :

- Réduire la teneur en eau afin que l'eau soit amenée à une valeur permettant un stockage à long terme à température ambiante (sur de l'ordre de l'année) (Bimbenet et al. 2002) ;
- Réduire les pertes de produits périssables après récolte (Guinebault, 1986)
- Réduit le volume ou volume d'alimentation ;
- Conserver les propriétés nutritionnelles le plus longtemps possible.

**3. Technologies de séchage**

Le séchage est une opération de transfert couplé de chaleur et de masse pour laquelle il est nécessaire de fournir de l'énergie. Plusieurs types de séchoirs et de méthodes de séchage sont adaptés à différentes situations.

Les paramètres opératoires des procédés classiques de séchage peuvent être aisément contrôlés. Ces procédés dits classiques sont le séchage au soleil, le séchage solaire et le séchage à l'air chaud. Ce sont les plus couramment utilisés pour les fruits et légumes (**Mounir et al, 2014**).

#### **4. Les différents types de séchage**

##### **4. 1. Séchage au soleil**

Le séchage au soleil s'est largement développé dans les zones arides ou semi-arides qui présentent des conditions climatiques optimales : une saison sèche avec un fort ensoleillement, une faible pluviométrie, une hygrométrie peu élevée.

Le séchage s'effectue sur le sol, sur des nattes, sur des rochers plats, ou bien sur les toits des maisons. Ce système présente deux principaux avantages pour les communautés : moins de travail et moins d'investissement, mais il est souvent inefficace car le produit est souillé par le sable et la poussière et est attaqué par les animaux, les insectes et les micro-organismes, donc la perte est très importante.

De plus, le produit est abîmé, sur-séché ou sous-séché, ce qui réduit considérablement sa qualité (**Thu Ha Nguyen, 2016**).

##### **4. 2. Séchage solaire**

Les séchoirs solaires peuvent être classifiés en séchoirs solaires directs, indirects et hybrides.

Le principe de fonctionnement des séchoirs dépend de la méthode de collecte de l'énergie solaire et de sa conversion en énergie thermique utile pour le séchage (**Visavale, 2012**).

Beaucoup de recherches sur la modélisation mathématique et les études expérimentales sont menées sur les processus de séchage solaire en couches minces pour divers légumes et fruits, comme le raisin (**Yaldiz et al, 2001**), les abricots (**Toğrul, İ. T., & Pehlivan, 2002**).

Le poivron vert, le haricot vert ou le squash (**Yaldız & Ertekyn, 2001**), la pistache (**Midilli, 2001; Midilli & Kucuk, 2003**), le poivron rouge (**Akpınar et al, 2003**), et la poire (**Lahsasni et al, 2004**).

##### **4. 3. Ébullition à sec**

La différence de température entre la source de chaleur et le produit étant très élevée (par conduction sur la surface chaude, séchoir à tambour, etc.), lorsque le flux de chaleur transféré au produit est très important, un séchage par ébullition se produira. La température du produit

atteint un certain niveau tel que la pression de vapeur d'eau du produit soit égale ou supérieure à la pression ambiante totale (**Bonazzi et al, 2008**).

#### 4.4. Séchage à l'étuve

Le séchage à l'air classique ou à l'air chaud est l'une des opérations les plus fréquemment utilisées pour la déshydratation des aliments.

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

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

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

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

- Simplicité et facilité à utiliser,
- Possibilité de contrôler la température du séchage,
- Rapidité de processus de séchage.



**Figure 01:** Exemple d'une étuve universelle ventilée XU (**France-Etuves, 2010**)

Néanmoins, plusieurs chercheurs n'ont souligné que le séchage conventionnel :

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

#### 4. 5. Séchage par micro-ondes

Les micro-ondes sont des ondes électromagnétiques, leurs gammes de fréquences est 300 MHz à 300 GHz (Figure 02). Quel que soit l'usage (domestique, médical ou industriel), la fréquence réglementaire est de 2,45 GHz (Kingston et Haswell, 1997 ; Thostenson, E. T. et Chou, 1999; Lidstrom *et al.*, 2001 ; Juane *et al.*, 2011).

Le séchage par micro-onde se caractérise par :

- **Absorptivité** : Le chauffage s'effectue par agitation des molécules d'eau contenues dans les aliments. La capacité de pénétration des micro-ondes dépend de la taille, de l'épaisseur et des caractéristiques des aliments.

- **Pénétrabilité** : Les micro-ondes peuvent pénétrer dans le verre céramique, le verre et le plastique.

- **Réfectivité** : Pour assurer une cuisson uniforme des aliments, les parois métalliques de la cavité du four font rebondir les micro-ondes et un plateau tournant permet une distribution homogène des micro-ondes aux aliments.

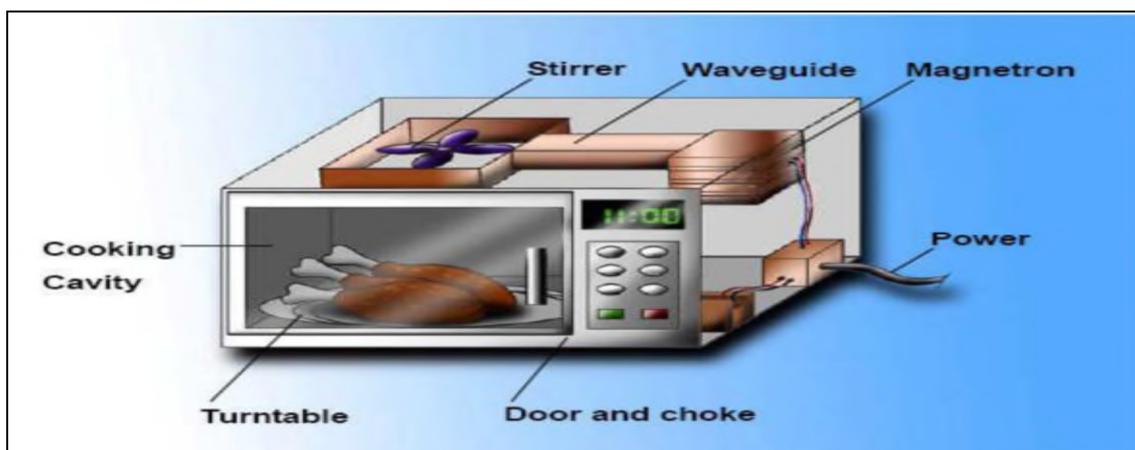


Figure 02: Schéma d'une micro-onde (Mathavi, Sujatha *et al.* 2013)

#### **4.5.1. Mécanismes impliqués dans le processus de séchage**

Le séchage est une opération complexe, qui va produire deux phénomènes physiques couplés, à savoir : le transfert de substances (eau sous forme de vapeur) du produit vers l'air et le transfert de chaleur de l'air vers le produit (**Belit, Haddar, & Taib, 2016**).

La chaleur se diffuse dans le produit en dessous de l'influence du gradient de température. Le séchage utilise les trois modes de transfert de chaleur. (**Bonazzi & Bimbenet, 2003**) à savoir :

- Rayonnement : Dans ce cas, le produit à sécher recevra un rayonnement infrarouge ou micro-ondes ;
- Par convection : Dans ce cas, le produit à sécher reçoit un flux d'air chaud, qui fournit la chaleur nécessaire à l'évaporation du liquide et évacue la vapeur formée ;
- Par conduction : Dans ce cas, le mécanisme est basé sur un contact direct entre le produit et la surface chauffante sur laquelle il est posé.

#### **4. 5. 2. Phénomènes du processus de séchage**

L'interaction entre l'eau et les autres composants dépend de la mobilité de l'eau et des solutés, ce qui peut entraîner des réactions, des transformations physiques et des phénomènes mécaniques lors du stockage et de la consommation (**Meste, M., Roudaut, G., Chiotelli, E., Simatos, D., & Colas, B. (2001)**).

##### ➤ **Les réactions biochimiques**

Ce sont les réactions de Maillard, l'oxydation des vitamines et des graisses, la dénaturation des protéines, les réactions enzymatiques, etc.

Certains prétraitements peuvent réduire le taux de ces réactions. Des exemples typiques sont le traitement au SO<sub>2</sub> (léger) pour limiter les réactions de Maillard dans les fruits secs et le blanchiment pour réduire les réactions enzymatiques dans les haricots (<sup>b</sup> **Bonazzi, C., Dumoulin, E., & Bimbenet, J.-J., 2008**).

##### ➤ **Transmission physiques**

Il en existe de nombreux types : activité de l'eau réduite, transition vitreuse, fusion des graisses, évaporation de composants volatils, migration ou rétention de composants volatils ou non. Ces transferts sont liés à la perte d'eau et les changements de température pendant le processus de séchage (<sup>a</sup> **Bonazzi C. et Bimbenet J.J., 2008**).

➤ **Les phénomènes mécaniques**

Certaines recherches citent des croûtes, des déformations, des fissures..., ces changements ne sont que partiellement réversibles lors de la réhydratation.

En bref, le séchage industriel des aliments continue de nécessiter des améliorations en termes de coût, d'efficacité de traitement et de qualité du produit final (<sup>a</sup> **Bonazzi et Bimbenet J.J., 2008**).

#### **4.5.3. Applications alimentaires des micro-ondes**

Les micro-ondes sont utilisées dans de nombreuses applications. Ils peuvent être utilisés dans l'industrie pharmaceutique (séchage de produits thermosensibles), épuration des déchets hospitaliers, le traitement du caoutchouc et de la résine..., etc (**Oberline, 1999**). Cependant, leurs applications dans les industries agroalimentaires et agricoles et dans notre vie quotidienne sont les plus utilisées comme outils de réchauffage des aliments.

- **Cuisson**

Lors de l'utilisation d'un four à micro-ondes pour cuisiner, de la chaleur sera générée à l'intérieur des aliments, et lors de l'utilisation d'un four traditionnel, lorsque l'air chaud du four s'échappe vers l'extérieur, la chaleur sera perdue. Par conséquent, nous perdons moins d'énergie lors de la cuisson aux micro-ondes, ce qui nous permet d'économiser au moins 20% d'énergie (**Hill et Ilsi, 1998**).

Pendant le processus de cuisson, une évaporation se produira et la vapeur d'eau n'aura aucun moyen de s'échapper.

- **Chauffage et séchage**

Les opérations de chauffage et de séchage par micro-ondes ont trouvé de nombreuses applications dans la transformation des aliments dans l'industrie agroalimentaire, dont certaines sont basées sur la concentration de solutions ou de suspensions thermosensibles (**Yuan et Pal, 1995**), comme le séchage du miel (**Cui et al, 2008**) et la lyophilisation du lait écrémé (**Wang et Guohua, 2005**).

Le chauffage par micro-ondes est une technologie émergente qui peut jouer un rôle dans la préservation de la fraîcheur en réduisant le nombre de micro-organismes dans les aliments (**Tang et al, 2008**). De manière générale, la durée et la température du processus de chauffage dépendent de nombreux facteurs, notamment la composition, la taille, la qualité, la forme, la densité et l'état physique des aliments.

La réduction du temps de séchage est très bénéfique pour maintenir la couleur et l'arôme des aliments (**Venkatesh et Raghavan, 2004**).

- **Décongélation**

C'est le moyen le plus rapide de décongeler les aliments et ne prend que quelques minutes au lieu de quelques heures. Cependant, veuillez noter que dans le four à micro-ondes, les aliments peuvent être décongelés de manière inégale (**Oberlin, 1999**).

La décongélation par micro-ondes réduit considérablement les pertes par fuite. Pour le bœuf, la perte de la méthode traditionnelle est d'environ 5%, et celle par micro-ondes est réduite deux à trois fois (**Priou et Decareau, 1981**).

La décongélation par micro-ondes a une qualité bactériologique très importante, et a également un effet bactéricide spécifique, car dans certains cas, la densité bactérienne du produit après décongélation est plus faible qu'avant décongélation.

Selon **Bezanson et al (1973)**, il a été observé que la qualité sensorielle des aliments décongelés dans un four à micro-ondes était améliorée par rapport aux aliments décongelés traditionnels.

- **Pasteurisation et stérilisation**

En raison de l'effet thermique incontesté des micro-ondes, ils peuvent être utilisés pour la pasteurisation et la stérilisation. Certains exemples d'aliments tels que le yaourt et le lait préemballés sont pasteurisés et stérilisés (**Helmar et al, 2007**).



**Figure 03:** Décongélation de viandes et poissons assistée par micro-ondes (**Viro, 2009**).

Les changements chimiques et organoleptiques du lait pasteurisé dans les fours à micro-ondes et le chauffage conventionnel ont été évalués. D'après les résultats, aucune différence n'a été observée dans la valeur du pH, la concentration en monosaccharides et les composés volatils de tout échantillon après le traitement ou pendant le stockage. Le goût et l'odeur du lait micro-ondes ne sont pas affectés pendant le traitement. Selon cette étude, le chauffage par micro-ondes est évidemment une bonne alternative à la pasteurisation traditionnelle (Valero et al 2000).

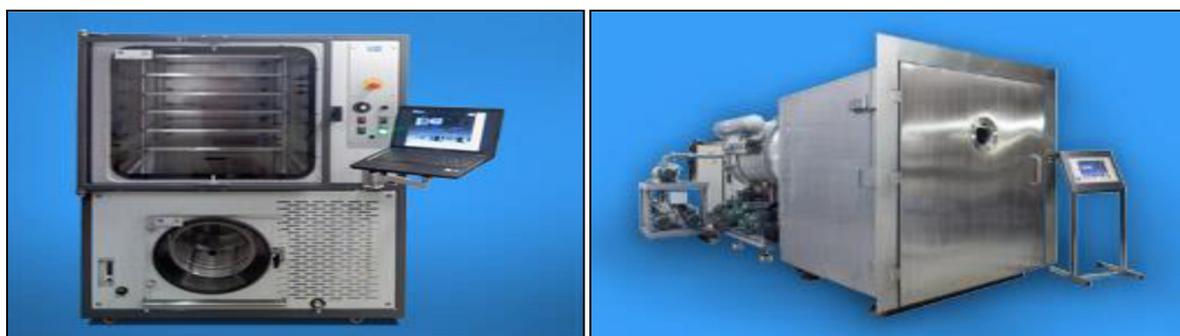
#### 4.6. Lyophilisation

Il s'agit d'un procédé de conservation permettant de conserver les denrées périssables et les organismes et produits chimiques dits fragiles.

La lyophilisation implique des produits pré congelés, de sorte que l'eau peut passer directement de la phase solide (glace) à la phase gazeuse sans étape de fusion. Ce changement d'état est appelé « sublimation ». La période de sublimation est suivie d'une période de séchage par désorption de la partie eau liée à une température progressivement croissante. Sous atmosphère de vapeur d'eau pure et sous vide, ce processus suit le principe similaire à l'ébullition, mais ce séchage peut également être effectué lorsqu'il y a un certain niveau de gaz non condensable dans l'atmosphère environnante du produit, de sorte que la pression dans le gaz extérieur de la vapeur Juste pression partielle (Vasseur, 2009).

#### 4.7. Séchage par infiltration

La déshydratation dite osmotique dans le domaine de la transformation des fruits et légumes, est un procédé dans lequel le tout ou une partie des fruits et légumes sont immergés dans une solution hypertonique de sucre et/ou d'eau salée, réduisant ainsi la teneur en eau.



**Figure 04 :** Lyophilisateur Pilote LPCCLP15 et lyophilisateur de production (Cryotec, 2015)

En principe, l'osmose décrit le mouvement de l'eau et des solutés qui se produit lorsque deux solutions sont séparées par une membrane semi-perméable. Ceci est dû à la pression osmotique relative de chaque composant (**Enrico Maltini, 2003**).

## 5. Avantages et inconvénients de séchage

### 5.1. Avantages

Les principaux avantages du processus de séchage sont :

- ✓ La méthode est simple et le rendement est moyen. L'universalité de la démarche est accessible à tous, y compris aux particuliers.
- ✓ La durée de conservation des aliments déshydratés peut aller jusqu'à plusieurs mois.
- ✓ Inactivation des enzymes qui causent la dégradation des aliments.
- ✓ Capacité à être utilisée à des fins commerciales pour limiter les pertes de récolte.
- ✓ Inhiber la croissance des micro-organismes en réduisant l'activité de l'eau.
- ✓ En raison de la réduction de la qualité, les coûts financiers et environnementaux liés au transport des marchandises sont réduits (**Fournier, 2003**).

### 5.2. Inconvénients

Comme pour tout traitement thermique, le séchage peut notamment provoquer des pertes d'arômes, de vitamines et de pigments (**Fournier, 2003**), des réactions de brunissement, un durcissement superficiel, des changements irréversibles de texture, de capacité de réhydratation, des pertes de composants volatils de produits sont modifiés. D'une manière générale, le séchage présente moins d'inconvénients que les autres modes de conservation (conservation, congélation ou traitement aseptique). Le séchage des fruits, des légumes et des épices est encore un moyen très populaire de conserver ces aliments (**Chakraverty, 2003**).

## 6. Cinétique de séchage

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

### 6. 1. Courbes caractéristiques de la cinétique de séchage

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

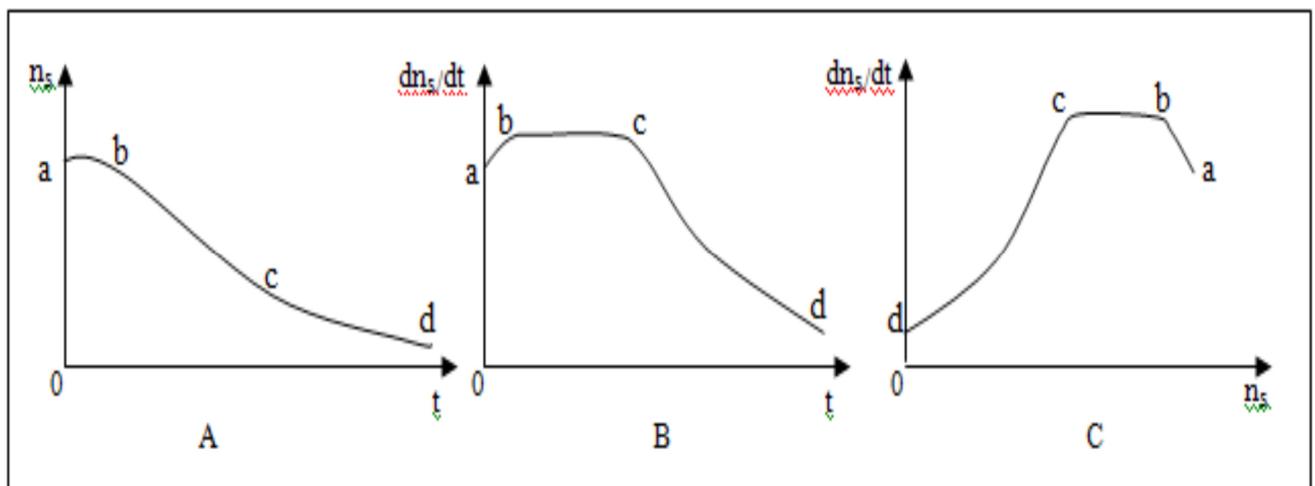
L'étude expérimentale de la cinétique de séchage permet de caractériser le comportement d'un produit alimentaire donné au cours de sa déshydratation par les courbes illustrées dans la figure 05 (Charreau A. et Cavaille R., 2003).

Le taux d'humidité du produit ( $n_s$  ou  $X$ ) en fonction du temps ( $t$ ), on obtient une courbe de séchage dont la forme la plus complète (c'est-à-dire lorsque toutes les phases de séchage existent) est donnée sur la figure 05 (A).

- L'allure de séchage ( $dn_s/dt$  ou  $dX/dt$ ) en fonction du temps ( $t$ ), on peut obtenir une nouvelle courbe qui est donnée sur la figure 05 (B).
- L'allure de séchage ( $dn_s/dt$ ) en fonction du taux d'humidité ( $n_s$ ) conduit à la courbe représentée sur la figure 05 (C).

On distingue plusieurs phases pendant le phénomène de séchage (Bimbenet et Bonazzi, 2008) :

- ✓ Phase initiale (0): de mise en température du produit, qui disparaît pratiquement lorsque le produit se présente sous forme de particules ou de feuilles.



**Figure 05** : Courbes d'évolution de la teneur en eau du produit au cours du temps (A), l'allure de séchage (vitesse) (B) et l'allure de séchage en fonction du taux d'humidité (C) (Charreau A. et Cavaille R., 2003).

- ✓ Phase de séchage à vitesse constante (I): correspond à l'évaporation superficielle de l'eau libre. Cette évaporation est causée par la pression capillaire. La vitesse de séchage dépend des conditions externes (humidité de l'air, température et la vitesse de circulation).

A la fin de cette période on peut déterminer la teneur en eau critique du produit.

- ✓ Phase de séchage décélérant (II) : correspond à la période de diminution de la vitesse de séchage qui s'explique par la saturation de la surface d'échange.

## **6. 2. Facteurs qui augmentent la cinétique de séchage**

Les principaux facteurs qui augmentent la cinétique de séchage sont :

- Diminution de l'humidité absolue de l'air de séchage.
- Elévation de la température de l'air de séchage.
- Augmentation du coefficient de transfert thermique par une augmentation de la vitesse de circulation de l'air.
- Augmentation de la surface spécifique du produit, ce qui entraîne une augmentation de la surface d'échange. Pendant cette période. La nature de solide et sa structure interne (pores, interstices) n'intervenant pas (**Zidani, 2009**).

## **Partie I : Partie Bibliographique**

### **Chapitre II : Généralités sur les fruits étudiés**

#### **1. Abricot**

##### **1.1. Description du fruit**

L'abricot est le fruit d'un arbre généralement de petite taille appelé abricotier, de la famille des Rosacées. Le nom scientifique de l'abricotier est : *Prunus armeniaca* (Prune d'Arménie).

C'est un fruit charnu, une drupe, de forme arrondie, possédant un noyau dur contenant une seule grosse graine ou amande.

La chair est sucrée, peu juteuse, jaune orangée et ferme. La teneur en carotène ou provitamine A est élevée, c'est elle qui donne la couleur orangée. L'abricot est riche en pectines qui se gonflent facilement d'eau et qui lui confèrent son côté moelleux. L'abricot se sépare aisément en suivant le sillon médian (**Arevalo P. A. Murr F. X., 2007**).

La peau veloutée, dont la couleur peut aller du jaune au rouge, est parfois piquetée de « taches de roussure » et se mange.

La couleur rouge n'est pas gage de maturité (le degré de maturité est apprécié par le parfum et la souplesse du fruit) et l'abricot mûrit après sa cueillette, il est climactérique (**Faust et al., 1998**).

##### **1. 2. Histoire et origine**

L'abricot et la pêche sont les deux fruits à noyaux du genre *Prunus* originaires de l'Asie. Ce sont les Chinois qui sont les premiers à le domestiqué, il y a au moins 4000 ans.

De la Chine, l'abricot a gagné l'Inde puis l'Italie et la Grèce, en suivant la Route de la Soie, un siècle avant notre ère. En Afrique du nord et en France, il a été introduit aux environs du XVème siècle (**Baert J-P., 1999**).

##### **1. 3 Anatomie du fruit**

Le fruit de l'abricotier est une drupe, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un simple fruit charnu avec un noyau. L'ovaire est situé sous le carpelle et au sommet du concept de feuilles tombantes.

La partie florale est fixée sur le carpelle. L'exocarpe (mésocarpe et exocarpe) est comestible charnu (**Figure 06**), et l'endocarpe (endocarpe) est lignifié; cette partie entoure et protège la graine. Nous avons observé la cicatrice du pédicelle au bas du fruit et le point de chute du pédicelle au sommet. Les rainures vues sur le côté du fruit représentent les sutures du carpelle

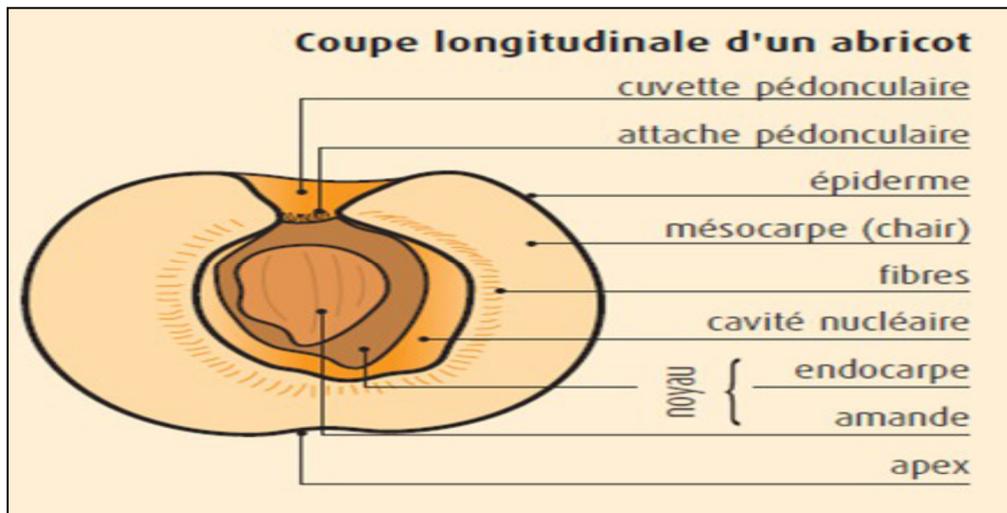


Figure 06 : Coupe longitudinale d'un abricot (Lahbari M., 2015)

S'étendant de la fixation du pédoncule au sommet.

Par conséquent, le fruit provient d'un seul carpelle, dans lequel se développe une graine (parfois deux) (Lahbari M., 2015).

Le mésocarpe est le parenchyme principal, qui devient mou lorsque le fruit mûrit et est très vascularisé. Dans le fruit mûr, le mésocarpe et l'endocarpe sont séparés par une cavité nucléaire. Par conséquent, dans la plupart des variétés, le fruit à noyau est libre ou faiblement adhérent, ce fruit est donc classé comme fruit à noyau. Cependant, pour certaines variétés, le noyau interne est très collant.

#### 1. 4. Valeur nutritionnelle

L'abricot est une bonne source de fibres alimentaires (pectine), de potassium et une bonne source de bêta-carotène (vitamine A) et de vitamine C. La pectine gonfle facilement au contact de l'eau, rendant la pulpe molle (Tableau1).

Les abricots peuvent être consommés frais, séchés ou consommés sous forme de jus de fruits et de confiture. Sa teneur en fibres, en antioxydants et en plusieurs autres nutriments rend les abricots particulièrement bénéfiques pour la santé (Breteau, 1981).

De nombreuses études prospectives et épidémiologiques ont montré qu'une consommation importante de fruits peut réduire le risque de maladies cardiovasculaires, de certains cancers et d'autres maladies chroniques (Bourgeois, 2003).

**Tableau 1** : Valeurs nutritionnelles pour 100g d'abricot (Lahbari M., 2015)

Abricot sec (d'après ANSES 2013 <sup>[ii.]</sup> , valeur nutritive pour 100 g)			
<a href="#">eau</a> : 29,4 g	<a href="#">cendres totales</a> : - g	<a href="#">fibres</a> : 5,70 g	<a href="#">valeur énergétique</a> : 271 kcal
<a href="#">protéines</a> : 3,14 g	<a href="#">lipides</a> : 0,80 g	<a href="#">glucides</a> : 53,0 g	<a href="#">sucres simples</a> : 40,5 g
Sels minéraux et oligo-éléments			
<a href="#">potassium</a> : 1090 mg	<a href="#">phosphore</a> : 68,3 mg	<a href="#">calcium</a> : 61,2 mg	<a href="#">magnésium</a> : 36,5 mg
<a href="#">sodium</a> : 39 mg	<a href="#">fer</a> : 4,33 mg	<a href="#">zinc</a> : 0,295 mg	<a href="#">cuivre</a> : 0,306 mg
Vitamines			
<a href="#">vitamine C</a> : 1 mg	<a href="#">vitamine B1</a> : 7,5 µg	<a href="#">vitamine B2</a> : 67 µg	<a href="#">vitamine B3</a> : 2690 µg
<a href="#">vitamine B5</a> : 608 µg	<a href="#">vitamine B6</a> : 157 µg	<a href="#">vitamine B9</a> : 22 µg	<a href="#">vitamine B12</a> : 0 µg
<a href="#">bêta-carotène</a> : 2160 µg	<a href="#">rétinol</a> : 0 µg	<a href="#">vitamine E</a> : 4000 µg	<a href="#">vitamine K</a> : 3,1 µg

Abricot cru (d'après ANSES 2013 <sup>[ii.]</sup> , valeur nutritive pour 100 g)			
<a href="#">eau</a> : 86,1 g	<a href="#">cendres totales</a> : 0,75 g	<a href="#">fibres</a> : 1,70 g	<a href="#">valeur énergétique</a> : 49,1 kcal
<a href="#">protéines</a> : 0,90 g	<a href="#">lipides</a> : 0,20 g	<a href="#">glucides</a> : 9,01 g	<a href="#">sucres simples</a> : 8,02 g
Sels minéraux et oligo-éléments			
<a href="#">potassium</a> : 237 mg	<a href="#">phosphore</a> : 16,6 mg	<a href="#">calcium</a> : 15,6 mg	<a href="#">magnésium</a> : 8,67 mg
<a href="#">sodium</a> : <2,2 mg	<a href="#">fer</a> : 0,32 mg	<a href="#">zinc</a> : 0,139 mg	<a href="#">cuivre</a> : 0,066 mg
Vitamines			
<a href="#">vitamine C</a> : 5,45 mg	<a href="#">vitamine B1</a> : 26,7 µg	<a href="#">vitamine B2</a> : 37 µg	<a href="#">vitamine B3</a> : 500 µg
<a href="#">vitamine B5</a> : 240 µg	<a href="#">vitamine B6</a> : 62,7 µg	<a href="#">vitamine B9</a> : 6 µg	<a href="#">vitamine B12</a> : 0 µg
<a href="#">bêta-carotène</a> : 1630 µg	<a href="#">rétinol</a> : 0 µg	<a href="#">vitamine E</a> : 610 µg	<a href="#">vitamine K</a> : 3,3 µg

L'abricot contient une variété d'antioxydants, en particulier des flavonoïdes, mais on dit que la teneur en antioxydants des abricots secs est supérieure à celle des abricots frais. L'abricot contient principalement du  $\beta$ -carotène, qui est un caroténoïde qui forme en grande partie de l'orange, et une petite quantité de lycopène. Dans le corps, le  $\beta$ -carotène a la capacité d'être converti en vitamine A (Lahbari M., 2015).

En comparaison, une portion de 125 ml d'abricots frais (environ deux abricots) contient environ 2000 microgrammes de  $\beta$ -carotène, tandis qu'une portion de 60 ml d'abricots secs contient 1400 microgrammes de  $\beta$ -carotène. Les abricots frais et secs sont une source de fibres alimentaires (Abrouche, 2013).

Les abricots secs apportent des éléments essentiels, tels que des glucides rapidement assimilables, Vitamines B, fer, cuivre et potassium et leur teneur élevée en fibres.

Parce qu'il est riche en vitamine A, il extrait également de son noyau une huile faible en gras, qui peut facilement pénétrer, hydrater et revitaliser la peau, grâce à sa richesse en vitamine A. (Bimbenet, 1998).

### 1. 5. Variétés des abricots

D'après Claire Doré et al2006, Il existe plus que 750 variétés d'abricots répertoriées dans le monde (Claire Dore, Varoquaux, 2006). Parmi ces anciennes variétés, nous citons les caractéristiques les plus connues (Tableau2).

**Tableau 2 :** Caractéristiques des vieilles variétés d'abricot (Lahbari M., 2015)

Variété	Caractères
<b>Paviot</b>	-Gros à très gros fruit, conique, enflé sur les joues épiderme rouge orangé. -Belle variété assez délicate pour le transport. -Fruit obtenu d'un semis de Hâtif du Clos, en 1882, à Marcilly d'Arzegues Par M. Paviot.
<b>Luizet</b>	-Fruit volumineux, de forme ovoïde allongée. -Une peau légèrement duveteuse, jaune orange ponctuée de rouge pourpre, Juteux et sucré.
<b>Bourbon</b>	-Fruit assez gros, peu parfumé. -Maturation irrégulière, souvent fendu par la pluie.
<b>Blanc Rosé (Poman Rosé)</b>	-Fruit moyen allongé, ovale conique, bien comprimé sur les joues, à doscaréné, assez peu arqué, suture centrale arquée. -Epiderme jaune pâle, pourpré, carminé à l'insolation. - Chair jaune pâle, fine se détachant bien, saveur relevée et agréable le Blanc Rosé est très apprécié en confiserie pour sa beauté et sa qualité. - Son noyau se détache aisément ; toutefois, il pourrit facilement à l'humidité

En Afrique du nord, on retrouve plusieurs variétés, deux particulières (Louzi et Rosé) en Algérie dans le seul massif des Aurès, l'une à N'Gaous, ouest de l'Aurès, l'autre à Mena au centre des Aurès (Sud ouest du chef lieu de la wilaya de Batna).

La variété Rosé de Mena est unique au Monde par sa blancheur et sa tache rouge.

## **2. Banane**

### **2.1. Historique**

La banane est l'un des fruits les plus anciennement cultivés par l'homme. En 327 avant Jésus-Christ, la banane fut remarquée dans la basse vallée de l'Indus en Inde. Tout comme dans le sud de la Chine, la culture de la banane est attestée de longue date. C'est également la raison pour laquelle, certains auteurs ont voulu rattacher l'origine de la banane à l'un ou l'autre de ces deux pays. Les missions de prospections effectuées en Asie au milieu du siècle dernier ont dévoilé la richesse insoupçonnée des ressources génétiques de Musa et montre que la banane a plus probablement son origine en Asie du Sud-Est. De là, elle aurait migré à travers le monde dans toutes les zones tropicales (**Charles, Comm. Per, 2013**).

La banane est introduite en Haïti avec la colonisation, en particulier à l'époque de l'importation des noirs d'Afrique. L'épanouissement total s'est fait avec l'occupation américaine par la compagnie Standard Food qui a introduit la variété Gros Michel (**Jeune, 1999**).

### **2. 2. Classification Botanique**

La banane fait partie des plantes de la famille des musacées qui, elle relève de l'ordre des zingibérales. Les musacées sont strictement des plantes tropicales. Ce sont des grandes herbes avec la gaine des feuilles imbriquées les unes dans les autres pour former un pseudo-tronc. Dans la famille des musacées, on retrouve deux genres: le genre Musa et le genre Ensete.

Dans le genre Ensete, on retrouve des plantes très rigoureuses ressemblant beaucoup aux bananiers considérant le feuillage mais se différenciant de ces derniers par le fait que la corne ne se ramifie pas (pas d'émission de rejets). Elles sont surtout utilisées comme plantes ornementales.

Dans le genre Musa, on retrouve quatre sections: la section des Eumusa est composée de neuf ou dix espèces parmi lesquelles on retrouve le Musa acuminante et le Musa balbisiana à l'origine des cultivars de bananiers comestibles cultivés à travers le monde.

Les Eumusa cultivés peuvent être diploïdes, triploïdes ou tétraploïdes. Les cultivars triploïdes sont stériles et parthenocarpiques ils ne produisent pas de semis et le développement des fruits se fait sans fécondation antérieure (**Ipgri, 1996**). Les Musa cultivés pour leurs fruits sont classés en deux grands groupes :

- Les bananes-dessert
- Les bananes à cuire

Les bananes dessert sont celles dont les fruits se consomment généralement frais et murs (figues-bananes) Les bananes à cuire sont de préférence celles dont les fruits même à maturité complète ne se consomment que cuits (frits ou bouillis).

### **2.3 Qualités nutritionnelles**

Aliment très complet, la banane est riche en fibres et glucides et pauvre en lipides. C'est une source de vitamines (toutes les vitamines du groupe B présentes dans le règne végétal, **Association Interprofessionnelle de la Banane 2014**, de minéraux (Potassium, phosphore, calcium, magnésium, sodium, fer, cuivre, zinc et manganèse) ainsi que de dopamine, puissant antioxydant (**Annexe 01**). Elle contribue ainsi au bon fonctionnement du métabolisme énergétique et du système nerveux et au maintien d'un bon transit digestif (**Aprifel, 2015**).

#### **2. 3. 1 Peau de banane**

Les principaux constituants de la peau sont en pourcentage du poids frais : l'eau (89,45), les glucides totaux (2,29), le saccharose (1,55), les pectines (0,58), les sucres réducteurs (0,51), les lipides (0,50), l'amidon (0,23).

La peau est plus riche en eau que la pulpe, elle a la même faible proportion de matières grasses mais elle est beaucoup plus pauvre en pectines et glucides. Les analyses de cendres de pulpe et de peau montrent que la proportion de tous les constituants minéraux, notamment celle de la potasse est plus élevée dans la peau que dans la pulpe (**Emaga et al., 2007**).

#### **2.3. 2 Pulpe de banane**

Comme nous l'avons vu précédemment, la composition de la pulpe peut varier selon le degré de mûrissement. Elle peut également varier en fonction des conditions de culture, de la variété. En règle générale, les bananes possèdent une forte teneur en glucides ou d'hydrates de carbonés (environ 20 à 23%) et sont quasiment dépourvues de lipides (0,2 à 0,3%) de chlorure de sodium, d'où leur utilisation dans les régimes sans sel. Elles sont également riches en protéines, vitamines et minéraux (**Tableau 3**).

**Tableau 3 :** Caractéristiques de la composition chimique et biochimique de bananes dessert et bananes plantain, à différents stades physiologiques et après transformation, pour 100 g de poids frais ((a) Ciquel & Cneva 1993), (b) Anonymous, 1981, (c) Marriott, 1983, (d) Woolfe, 1992), (e) Lassoudière, 2007, (Aurore, 2009))

Component or parameter	Unit	Sweet banana pulp				Plantain pulp	
		Ripe <sup>a</sup>	Unripe <sup>b</sup>	Dried <sup>a</sup>	Dehydrated or flour <sup>a</sup>	Unripe <sup>c</sup>	Ripe
Energy	Kcal	89	110 <sup>b</sup>	257	340	91	122 <sup>e</sup>
Water	g	74	69 <sup>b</sup>	28	3.0	63	65 <sup>e</sup>
Protein	g	1.1	1.4 <sup>b</sup>	3.0	3.9	0.8	1.3 <sup>e</sup>
Total lipid	g	0.3	0.2 <sup>b</sup>	1.0	1.8	0.1	0.37 <sup>e</sup>
Carbohydrate	g	21.8	28.7 <sup>b</sup>	63.0	82.1	24.3	32 <sup>e</sup>
Dietary fibre	g	2.0	0.5 <sup>b</sup>	5.5	7.6	5.4	2.0–3.4 <sup>e</sup>
Na	mg	1.0		8.0	3.0		4.0 <sup>e</sup>
K	mg	385.0		1150.0	1491.0		500 <sup>e</sup>
Ca	mg	8.0	8 <sup>b</sup>	20.0	22.0	7	3.0 <sup>e</sup>
Mg	mg	30		90.0	108.0	33	35.0 <sup>e</sup>
P	mg	22		75.0	74.0	35	30.0 <sup>e</sup>
Fe	mg	0.42	0.9 <sup>b</sup>	1.3	1.15	0.5	0.6 <sup>e</sup>
Cu	mg	0.11		0.4	0.39	0.16	
Zn	mg	0.18		0.5	0.61	0.1	
Mn	mg	0.2			0.57	15	
Eq. β-carotene	µg	68.0	48.3 <sup>b</sup>	150.0	183.0	0.03–1.20	390–1035 <sup>d</sup>
Vitamin E	mg	0.29		0.6		–	
Vitamin C	mg	11.7	31 <sup>b</sup>	4.0		20	20 <sup>d</sup>
Thiamin	mg	0.04	0.04 <sup>b</sup>	0.1	0.18	0.05	0.08 <sup>d</sup>
Riboflavin	mg	0.07	0.02 <sup>b</sup>	0.18	0.24	0.05	0.04 <sup>d</sup>
Niacin	mg	0.61	0.6 <sup>b</sup>	2.0	2.8	0.7	0.6 <sup>d</sup>
Panthenic acid	mg	0.28				0.37	
Vitamin B6	mg	0.47				–	
Total Folate	µg	23.0				0.016	
Biotin	µg	2.6				–	
Isoleucine	mg	34.0			167.0		
Leucine	mg	71.0			359.0		
Lysine	mg	50.0			162.0		
Methionine	mg	14.0			74.0		
Cystine	mg	20.0			63.0		
Phenylalanine	mg	41.0			201.0		
Tyrosine	mg	26.0			121.0		
Threonine	mg	36.0			171.0		
Tryptophan	mg	13.0					
Valine	mg	49.0			282.0		
Arginine	mg	57.0			176.0		
Histidine	mg	86.0			333.0		
Alanine	mg	43.0			222.0		
Aspartic acid	mg	120.0			503.0		
Glutamic Acid	mg	115.0			399.0		
Glycine	mg	41.0			190.0		
Proline	mg	43.0			229.0		
Serine	mg	49.0			226.0		
Dopamine	mg	65.0					
Serotonine	mg	3.3				45 <sup>e</sup>	76 <sup>e</sup>
Thiamine	mg	0.7					
Malic acid	meq	6.20 <sup>e</sup>	1.36 <sup>e</sup>				
Citric acid	meq	2.17 <sup>e</sup>	0.68 <sup>e</sup>				
Oxalic acid	meq	1.37 <sup>e</sup>	2.33 <sup>e</sup>				
Other acids	meq	0.17 <sup>e</sup>	0.19 <sup>e</sup>				

### 3. Pomme

#### 3.1. Description du fruit

La pomme est l'un des fruits les plus consommés dans le monde. Elle est consommée sous différentes formes, telles que les fruits frais, le jus concentré, la confiture, la marmelade et les produits secs (Thu Ha Nguyen. 2015). Sa taille est très variable selon les variétés et les conditions de végétation. La peau des pommes mûres peut être rouge, jaune, verte ou rose

bien que de nombreuses variétés bi-couleur ou tri-couleur existent. La chair est généralement jaunâtre-blanche ou jaune.

### 3.2. Anatomie et histologie de la pomme

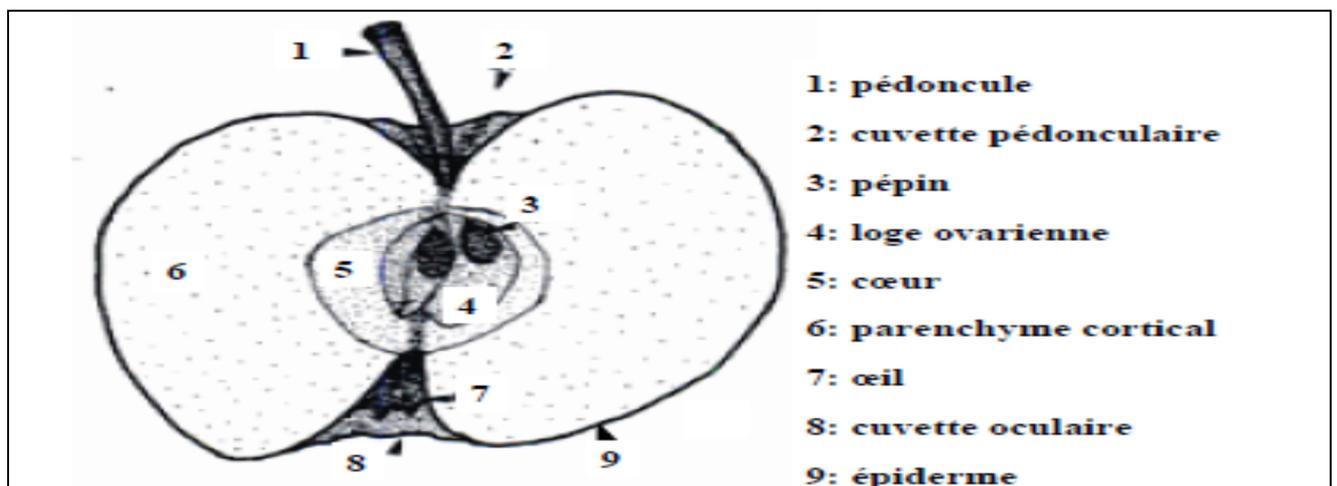
Le pommier est une angiosperme appartenant à la famille des Rosacées, sous famille des Malo idées (arbres fruitiers à pépins) et au genre *Malus* (Bondoux, 1992).

La pomme est considérée généralement comme une baie contenant des pépins. A maturité, ce fruit est constitué extérieurement de trois zones (Figure 07):

- le pédoncule et la cuvette pédonculaire,
- la cuvette oculaire et l'œil,
- la partie globuleuse qui s'étend entre les deux zones précédentes (Bourles, 2010).

### 3.3. Propriétés nutritives

La pomme est un fruit de composition variée et équilibrée (Tableau 4). Elle est notamment particulièrement riche en fibres alimentaires (de 2 à 3g/100g sans ou avec la peau). Cette teneur la positionne devant la banane (2g/100g) et l'orange (1,8 g/100g), les deux autres fruits les plus consommés en France. Une pomme (180 g en moyenne) apporte 5 g de fibres, soit l'équivalent de 200 g de légumes frais ou 150 g de pain blanc. Cet apport est loin de celui fourni par les fruits secs (5 à 10 g/100g) ou le coing (plus de 6g/100g) mais la forte consommation de pommes en France en font une importante source de fibres (Aprifel, 2008).



**Figure 07 :** Structure anatomique générale d'une pomme (Bondoux, 1992)

**Tableau4 :** Composition moyenne d'une pomme (Aprifel, 2008)

Composition moyenne pour 100g de produit frais							
Composants	(g)	Minéraux	(mg)	Vitamines	(mg)	Apports énergétiques	
Glucides	12,6	Potassium	145,0	Vitamine C	5,0	KCalories	54,0
Protides	0,3	Phosphore	9,0	Provitamine A	7,0 x 10 <sup>-2</sup>	KJoules	226,0
Lipides	0,3	Calcium	4,0	Vitamine B1	3,0 x 10 <sup>-2</sup>		
Acides organiques	0,6	Magnésium	4,0	Vitamine B2	2,0 x 10 <sup>-2</sup>		
Fibres alimentaires	2,1	Sodium	3,0	Vitamine B3	0,3		
Eau	84,3	Fer	0,2	Vitamine B5	0,1		
		Cuivre	4,0 x 10 <sup>-2</sup>	Vitamine B6	5,0 x 10 <sup>-2</sup>		
		Zinc	9,0 x 10 <sup>-2</sup>	Vitamine B9	1,2 x 10 <sup>-2</sup>		
		Manganèse	3,0 x 10 <sup>-2</sup>	Vitamine E	0,5		

Ces fibres sont notamment à l'origine des effets bénéfiques de la consommation de pomme sur le taux de cholestérol. Selon une étude récente menée au CHU d'Angers, la consommation régulière de pommes (2 à 3 par jour) peut en effet diminuer de 5 à 15 % le taux de cholestérol et améliorer le part de « bon cholestérol » (High Density Lipoprotein, HDL) par rapport au « mauvais cholestérol » (Low Density Lipoprotein, LDL) (étude réalisée pendant 2 mois sur 235 personnes atteintes de cholestérolémie élevée) (Aprifel, 2008).

Cette richesse en fibres s'accompagne par ailleurs d'une teneur intéressante en polyphénols: en moyenne 180 mg en équivalent acide gallique pour 100g de fruit frais. Dans l'étude de Bratt *et al.* (2006) sur 25 fruits consommés couramment, cette teneur moyenne place la pomme en cinquième position. Cependant, l'importance de sa consommation en fait le premier fruit source de composés phénoliques, avec en moyenne 100 mg d'équivalent acide gallique fourni par jour et par personne. D'après les travaux d'Eberhardt *et al.* (2000) les polyphénols de la pomme sont la principale source du fort potentiel antioxydant de ce fruit. La composition variée et équilibrée de la pomme, sa richesse en fibres et en composés phénoliques et son apport pauvre en calories en font donc un modèle de fruit à valeur santé.

### 3. 4. Variétés

De nombreux auteurs ont étudié l'impact du facteur génétique sur la teneur et la composition polyphénolique des pommes (Tableau 5). La nature et la teneur en composés phénoliques accumulés au sein du fruit est caractéristique de la variété considérée. Les données présentées ne concernent que des variétés de pommes de table, mais de manière générale, les pommes à

**Tableau 5 :** Concentrations moyennes des composés polyphénoliques de la chair de plusieurs variétés de pomme (mg/kg de poids frais) (**adapté de Muriel Colin-Henrion, 2008**)

Variété	Extraction	CAT	EC	B2	PCA	CQ	pCQ	PLZ	XPL	FLAV	Référence
Braeburn	HX/MeOH/AC60%										Guyot <i>et al.</i> , 2002a Schieber <i>et al.</i> , 2003 Robert <i>et al.</i> , 2005
	AC 70%/EAC MeOH	(-) -227	19 - 132	nd - 245	nd - 2404	25 - 86	2 - 9	22 - 116	(-) - 42	79 - 864	
Cortland	MeOH 70%	124	293	251	1065	19	14	38	28	334	Tsao <i>et al.</i> , 2003
Empire	MeOH										Burda <i>et al.</i> , 1990 Tsao <i>et al.</i> , 2003
	MeOH 70%	(-) - nd	78 - 130	73 - 120	151	30 - 77	(-) - 5	71 - 120	3 - 6	350 - 780	
Fuji	AC /EAC										Kondo <i>et al.</i> , 2002 Robert <i>et al.</i> , 2005
	MeOH	(-) - 7	25 - 204	(-)	(-) - 6	174 - 248	(-) - 1	111 - 461	(-)	(-) - 1023	
Golden Delicious	MeOH/EtOH (20%)										Perez-Ilzarbe <i>et al.</i> , 1991 Escarpa et Gonzales, 1998 Burda <i>et al.</i> , 1990 Chimici <i>et al.</i> , 2004 Guyot <i>et al.</i> , 2002b Tsao <i>et al.</i> , 2003
	MeOH 70%	4 - 115	85 - 222	104 - 277	205 - 1282	40 - 149	5 - 10	40 - 150	41 - 130	282 - 820	
	MeOH 95%										
Granny Smith	MeOH/EtOH (20%)										Perez-Ilzarbe <i>et al.</i> , 1991 Escarpa et Gonzales, 1998 Guyot <i>et al.</i> , 2002a
	MeOH	21 - 430	141 - 279	144 - 566	870 - 2727	1 - 33	3 - 6	6 - 13	30 - 41	146 - 1425	
	HX/MeOH/AC60%										
McIntosh	MeOH 70%	38 - 112	233 - 259	167 - 196	619 - 1015	136 - 234	34 - 67	58 - 66	46 - 55	301 - 892	Tsao <i>et al.</i> , 2003 Khanizadeh <i>et al.</i> , 2008
Pink Lady	MeOH	(-)	19	(-)	15	267	4	200	(-)	1768	Robert <i>et al.</i> , 2005
Red Delicious	MeOH 70%										Escarpa et Gonzales, 1998 Tsao <i>et al.</i> , 2003
	MeOH	82 - 371	364 - 592	468 - 546	1519 - 1655	45 - 135	(-) - 5	131 - 172	51 - 91	244 - 1131	
Redfield	AC /EAC	103	961	(-)	(-)	80	(-)	752	(-)	(-)	Kondo <i>et al.</i> , 2002
Reinette	MeOH EtOH (20%)										Perez-Ilzarbe <i>et al.</i> , 1991 Escarpa et Gonzales, 1998
	MeOH	22 - 344	338 - 371	376 - 484	(-) - 798	204 - 270	(-) - 39	230 - 521	(-) - 76	158 - 499	
Rhode Island Greening	MeOH	(-)	670	600	(-)	60	(-)	100	230	1070	Burda <i>et al.</i> , 1990
Royal Gala	AC 70%/EAC										Schieber <i>et al.</i> , 2003 Khanizadeh <i>et al.</i> , 2008 Robert <i>et al.</i> , 2005
	MeOH 70%	50 - 166	24 - 438	nd - 277	nd - 920	58 - 224	3 - 58	16 - 130	16 - 118	367 - 1337	
	MeOH										

CAT: (+)-catéchine ; EC: (-)-épicatéchine ; B2: procyanidine B2 ; PCA: procyanidines ; CQ: acide 5'-caféoylquinique ; pCQ: acide *para*-coumaroylquinique ; PLZ: phloridzine ; XPL: xyloglucoside de phlorétine ; FLAV: Flavonols ; MeOH: méthanol ; EtOH: éthanol ; AC: acétone ; EAC: éthylacétate HX:hexane ; (-): non dosé ; nd: non détectable.

cidres ont une teneur en polyphénols bien plus élevée (**Guyot et al. 2002; Song et al., 2007**). Selon les classes de polyphénols concernées, de nombreuses disparités sont observées entre les variétés. Ainsi, la Royal Gala et la Fuji sont plus pauvres en dihydrochalcones que la Golden Delicious. La Chair des variétés Golden Delicious, Braeburn et Granny Smith est bien plus riche en procyanidines que celle des variétés Empire ou Fuji.

Concernant l'épiderme des fruits, la teneur en flavonoïdes apparaît bien plus élevée dans les pommes colorées (Braeburn, Empire Fuji, Cripps Pink).

**Boyer et Liu (2004)**, ont aussi montré cet effet variétal sur 10 variétés de pommes.

Leur étude sur fruit entier a mis en évidence des teneurs en polyphénols totaux plus importantes de l'ordre de 200 à 240 mg en équivalent acide gallique pour 100 g de fruit frais, pour les variétés Fuji, Red Delicious et Gala. Les teneurs les plus basses ont été observées pour les variétés Cortland, Empire, NY647 avec des valeurs de l'ordre de 150 mg d'équivalent acide gallique pour 100 g de fruit frais. Il est important de noter que tous ces résultats sont difficiles à comparer car les méthodes analytiques sont différentes selon les auteurs et elles ne se réfèrent pas tout le temps aux mêmes standards phénoliques.

**Partie expérimentale****Chapitre I Matériel et méthodes**

Ce chapitre porte sur une description du matériel utilisé, la démarche expérimentale et plus précisément, le suivi de la cinétique de séchage de la pomme, de l'abricot, de la pulpe de la banane et sa pelure, à l'aide d'une étuve ventilée assistée par microonde. Les essais expérimentaux consistent à étudier l'influence de la température et de la durée de prétraitement par micro-onde sur le processus de séchage.

Notre étude expérimentale est réalisée au niveau de laboratoire de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie & Sciences de la Terre-Univ-AMO-BOUIRA.

**1. Matériel****1.1. Matériel végétal**

Les fruits étudiés proviennent du marché local de Bouira. Ces derniers sont achetés en Mai 2021 sauf la pomme qui est provenue, durant le mois de juin 2021 de la willaya de Batna (**Figure 08**).

**I. 2. Appareillages et verreries**

Nous avons utilisé une étuve ventilée, un four micro-ondes d'une puissance maximale de 1250W. Le four est équipé d'un plateau tournant en verre (300 mm du diamètre), verre de montre, assiettes en verre, balance de précision....



**Figure 08** : photographie des échantillons avant séchage

## 2. Les méthodes

### 2.1. Séchage

Une fois le tri est terminé, les fruits (les abricots, les bananes et les pommes) subissent un lavage à l'eau de robinet puis à l'eau distillée, avant être épluchés et découpés selon la taille et la forme souhaitée. Après l'essuyage, nous avons récupéré et coupée les fruits en fins morceaux, de longueur d'environ 2 à 5 cm et de 0.5 à 0.6 cm d'épaisseur (**Figure 09**). Pour les sécher, deux dispositifs ont été employés.

Un ensemble de 32 essais a été réalisé pour chaque fruit pour 4 valeurs de température (45, 55, 65 et 75°C) et 4 valeurs des durées de prétraitement par le four micro-ondes (30 sec, 1min, 2min et 4 min). On obtient à partir des mesures, la variation de masse des échantillons au cours du temps.

#### 2.1.1. Prétraitement par micro-ondes

Nous avons pesé 20g des fins morceaux des échantillons étudiées (pomme, abricots, pulpe de la banane et sa pelure). Nous les avons étalés sur des assiettes en monocouche, ensuite nous avons effectué un prétraitement par la micro-onde, de marque *Thomson*, pendant quatre durées : 30 sec, 1 min, 2 min et 4 min. Le four à microondes est caractérisé par une puissance de 1250 W (**Figure 09**).

#### 2. 1. 2. Séchage par l'étuve ventilée

Après initiation du séchage par le four à micro-ondes, les échantillons des fruits ont été mis dans une étuve ventilée (*Venticell*), à quatre températures différentes (45°C, 55°C, 65°C et



**Figure 09** : photographie des échantillons lors du prétraitement par micro-ondes.

75°C) pour terminer le séchage. Pour chaque échantillon, nous avons pris le soin de mesurer la masse régulièrement chaque de 30 min. En parallèle, un témoin pour chaque échantillon était associé (sans prétraitement par micro-ondes). Nous nous sommes intéressés à la variation de la teneur en eau par rapport à la masse d'équilibre (matière sèche  $M_S$ ).

Enfin, la cinétique de séchage de nos fruits a été étudiée, en traçant les courbes représentatives de la variation de la teneur en eau en fonction du temps et de la température, en utilisant *Origine 2021*.

### 3. Détermination de la teneur en eau

La méthode utilisée est connue sur le nom de « dessiccation par évaporation » ou méthode gravimétrique ou pondérale (**Schulze et al, 2014**). La teneur en eau est définie comme étant la perte de poids subit lors de la dessiccation. Elle est basée sur le poids sec ( $M_C$ ) et elle a été calculée en utilisant l'équation (4) (**Mehmet Alperet al., 2021**).

$$M_C = \frac{M_e - M_S}{M_S} \cdot 100$$

$M_C$  (%): la teneur en humidité.

$M_e$  (g): la masse initiale d'échantillon (avant séchage).

$M_S$  (g): la masse d'échantillon après séchage.

## Partie expérimentale

### Chapitre II : Résultats et Interprétation

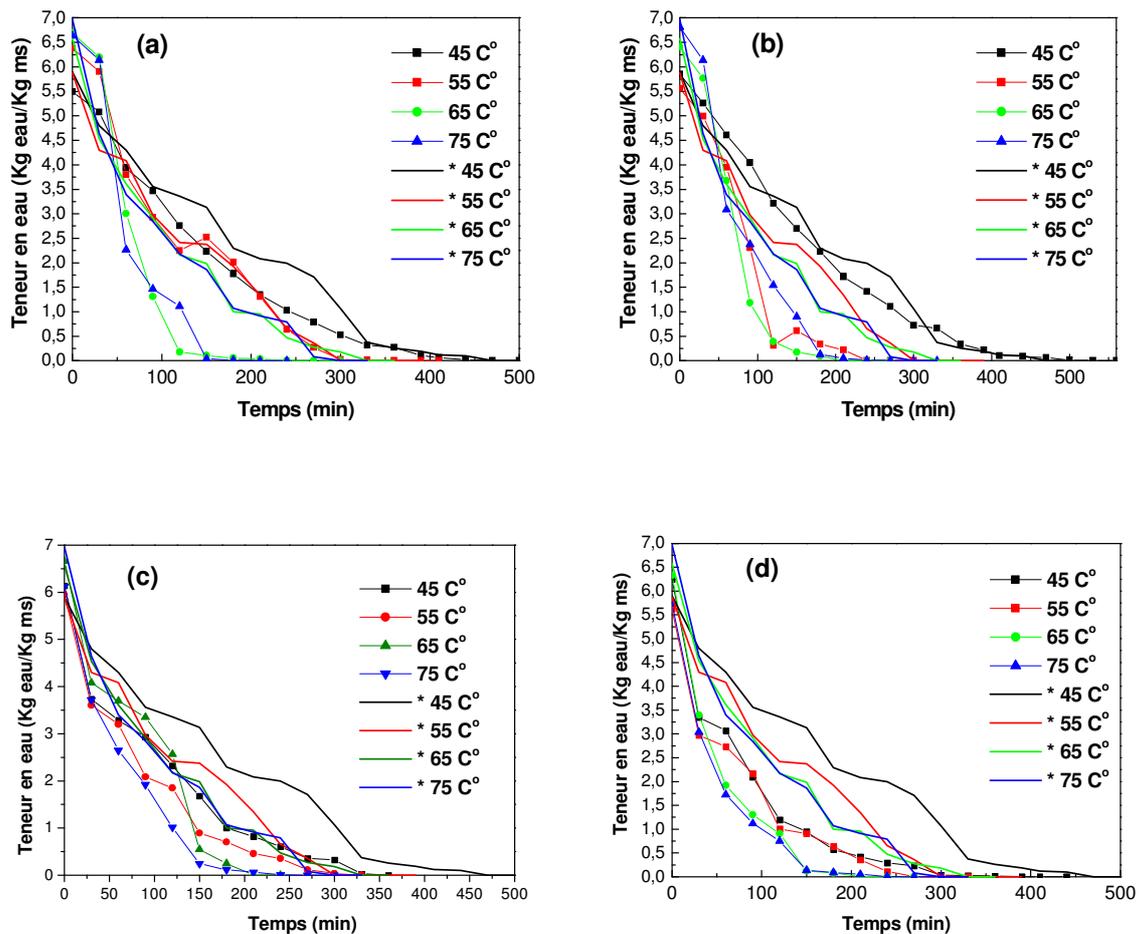
Le travail que nous avons réalisé consiste à étudier l'effet de la micro-onde et de la température sur la technique de séchage par étuve ventilée. En effet, nous avons suivi l'évolution des teneurs en eau réduites de la pomme, de l'abricot, de la pulpe de la banane et sa pelure en fonction du temps. La cinétique de séchage obtenue à 45°C, 55°C, 65°C et 75°C de ces produits est représentée par les figures 11, 12, 13 et 14. D'après les résultats obtenus, l'augmentation de température a une influence sur le processus de séchage, cette augmentation réduit le temps de séchage et favorise l'élimination partielle de l'eau, ces résultats sont similaires à ceux rapportés dans la littérature (**Bonazzi & Bimenet, 2003; Nieto et al., 2004 ; Vasseur, 2009 ; D. Fahloul et al., 2009 ;Correia, Loro, Zanatta, Spoto, & Vieira, 2015; Adeyeye, 2020**).

En générale, l'allure des courbes ont une apparence similaire. Elles représentent principalement deux phases fondamentales : la première phase qui est le début du séchage, montre une vitesse importante de perte d'eau suivi par une deuxième phase où l'évaporation a pris un rythme plus lent jusqu'à la stabilisation de la masse. Ainsi toutes les données expérimentales qui concernent les fruits étudiés, montrent une décroissance exponentielle de la teneur en eau en fonction du temps  $X(t)$  notamment pour les échantillons prétraités par micro-onde pendant 4 min :  $X(t) = X_0 e^{-\lambda t}$  où  $\lambda$  est la constante de décroissance et  $X_0$  est la teneur en eau initiale (t=0 min).

La stabilité du poids peut être expliquée par le 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. D'autre part, l'humidité de la matrice est en équilibre avec l'humidité de l'air de séchage, ce qui signifie que le séchage est achevé (**Bonazzi and Bimbenet, 2003**).

#### 1. L'évolution de la teneur en eau réduite de la pomme

D'après la **figure (10-a-b-c-d)**, le processus de séchage de la pomme est caractérisé par une diminution progressive de la teneur en eau avec le temps, nous avons tenu à mesurer le poids de nos échantillons à des intervalles de temps réguliers de 30min. D'après les résultats que nous avons obtenus, nous constatons que la teneur en eau diminue jusqu'à l'équilibre où le poids des échantillons passe de 20 g à  $2.7 \pm 0.3$ g, ce qui correspond à une valeur moyenne de la teneur eau de la pomme de  $86.05\% \pm 0.73\%$ , cette valeur est proche de celle obtenue par



**Figure 10 :** Evolution de la teneur en eau en fonction de la durée de séchage de la pomme/ms. (a), (b), (c) et (d) sont préalablement séchés par micro-ondes pendant 30 Sec, 1min, 2 min et 4 min respectivement. \*Témoin

**Aprifel, 2008**(84,3 %) et selon **Moreiras, 2004**, les pommes à maturité se composent d'environ 85% d'eau.

En outre, nous avons remarqué une disparité des courbes représentant nos échantillons par rapport aux témoins associés pour chaque température choisie. Donc, l'effet de la micro-ondes sur la technique de séchage est constatable. La pomme initialement séchée par microonde pendant 30 Sec, 1 min, 2min et 4 min présentent une augmentation de la vitesse de séchage dans l'étuve ventilée (perte d'eau/temps) par rapport aux témoins pour les températures de 45°C, 55°C, 65°C et 75°C. Le temps de séchage des tranches de pomme initialement traités par microonde pendant 30 sec, à 45°C, 55°C, 65°C, et 75°C étaient de 530 min, 300 min, 270 min et 210 min, respectivement . Cependant , le temps de séchage de celles traités par microonde pendant 1min, à 45°C, 55°C, 65°C, et 75°C étaient de 520 min, 270 min, 240 min et 210 min, respectivement. Par contre, le temps de séchage de la pomme

prétraités par microonde pendant 2min, à 45°C, 55°C, 65°C, et 75°C étaient de 360 min, 330 min, 240 min et 210 min, respectivement. En fin, la période de séchage des tranches de pomme initialement traités par microonde pendant 4 min, à 45°C, 55°C, 65°C, et 75°C étaient de 360 min, 270 min, 210 min et 210 min, respectivement.

Il convient à noter que le temps de séchage des tranches de pomme témoins à 45°C, 55°C, 65°C, et 75°C étaient de 530 min, 390 min, 360 min et 330 min, respectivement.

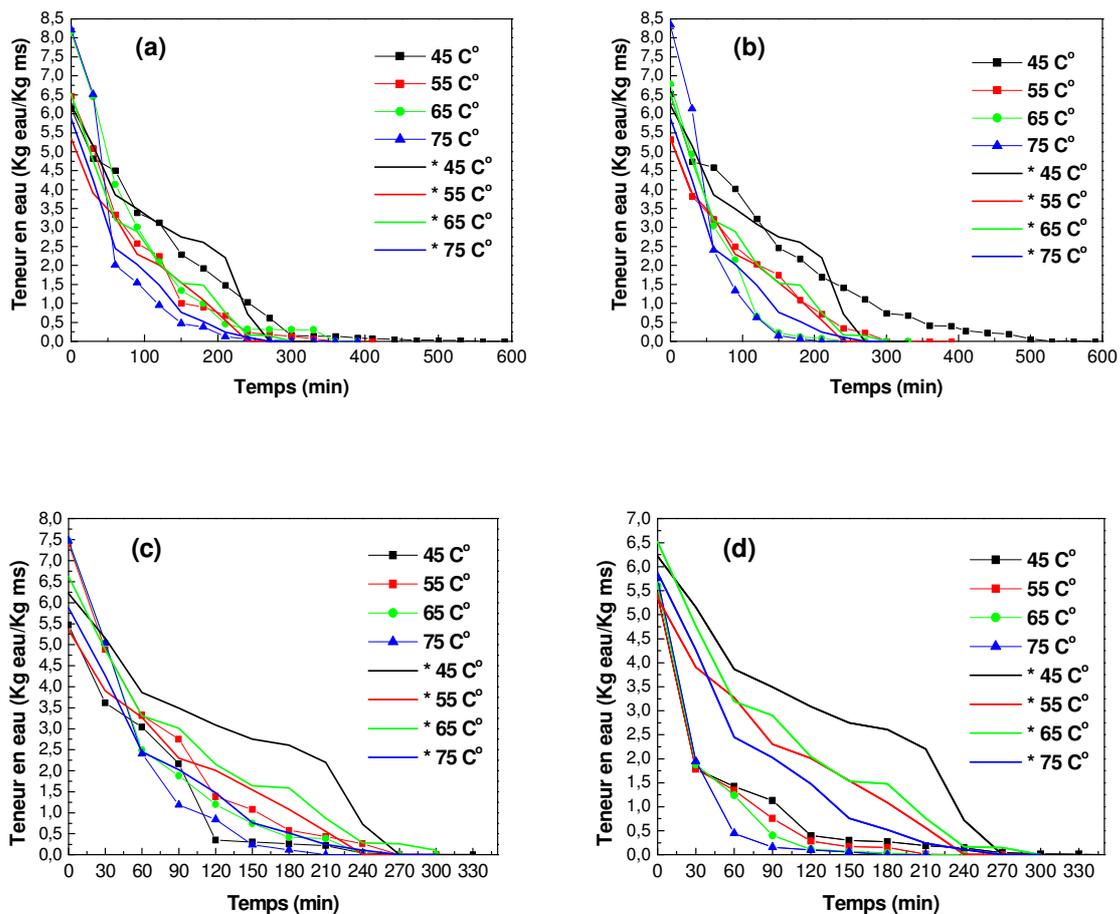
Cet effet est clairement constaté surtout pour les échantillons préalablement traités pendant 2 à 4 min (**Figures 10-c-d**), où les courbes ont pris une forme proche de l'exponentiel (**Figure 10-d**).

## 2. L'évolution de la teneur en eau réduite de séchage de l'abricot

D'après la **figure (11-a-b-c-d)**, l'évolution de séchage de l'abricot est généralement similaire de celui de la pomme, le poids de nos échantillons est régulièrement mesuré chaque 30min. D'après les résultats que nous avons obtenus, nous constatons que la teneur en eau diminue et tend vers zéro, en effet, le poids des échantillons passe de 20 g à  $3.1 \pm 0.4$ g, ce qui correspond à une valeur moyenne de la teneur en eau de l'abricot de  $86.4\% \pm 1.48\%$ . Cette valeur est proche de celles obtenues par **Benaziza & Lebid, 2007**, qui sont de 86.61%, 86.47% et 76.43% pour les variétés M'sili, Boufarik et Khad Romya respectivement. Egalement une valeur similaire de 86,3% a été trouvée par **Fратиanniet al, 2018**.

Les courbes qui représentent l'évolution de séchage des échantillons de l'abricot activés par la micro-onde montrent globalement une même allure par rapport aux résultats obtenus pour la pomme. Mais l'effet combiné de la micro-ondes et l'étuve ventilée est faiblement significatif pour les échantillons traités pendant 30 Sec, 1 min et 2 min (**Figure 11-a-b-c**), cependant cet effet se manifeste clairement pour les échantillons préalablement traités pendant 4min (**Figure 11-d**). Ainsi, d'après les résultats obtenus, nous avons remarqué que le temps de séchage des tranches de l'abricot initialement traités par microonde pendant 30 sec, à 45°C, 55°C, 65°C, et 75°C étaient de 500 min, 360 min, 330 min et 300 min, respectivement.

Cependant, le temps de séchage des tranches de l'abricot initialement traités par micro-onde pendant 1min, à 45°C, 55°C, 65°C, et 75°C étaient de 500 min, 330 min, 270 min et 240 min, respectivement. Par contre, le temps de séchage des tranches de l'abricot prétraités par micro-



**Figure 11 :** Evolution de la teneur en eau en fonction de la durée de séchage de l'abricot/ms.

(a), (b), (c) et (d) sont préalablement séchés par micro-ondes pendant 30 s, 1min, 2min et 4 min respectivement. \*Témoin

-ondes pendant 2min, à 45°C, 55°C, 65°C, et 75°C étaient de 330 min, 270 min, 240 min et 210 min, respectivement. En fin, le temps nécessaire pour atteindre la teneur en eau d'équilibre de l'abricot initialement traités par microonde pendant 4 min, à 45°C, 55°C, 65°C, et 75°C étaient de 330 min, 210 min, 210 min et 180 min, respectivement.

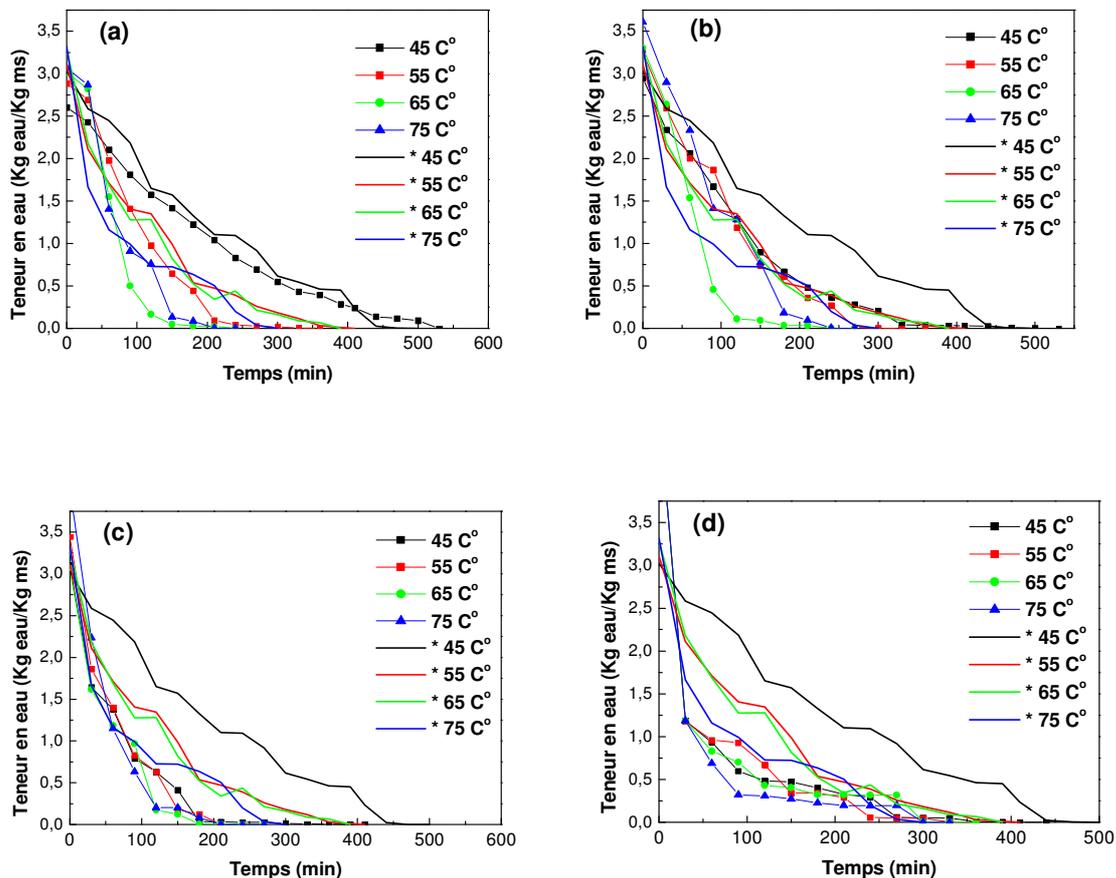
En parallèle, le temps de séchage du témoin à 45°C, 55°C, 65°C, et 75°C étaient de 300 min, 270 min, 270 min et 260 min, respectivement.

D'après la **figure (11-d)**, nous avons remarqué une superposition partielle des courbes de la variation de la teneur en eau, avec une forme exponentielle, ce qui signifie que l'effet de la microonde a neutralisé partiellement l'effet de l'augmentation de la température de l'étuve ventilée.

### 3. L'évolution de teneur en eau réduite de la pulpe de la banane

D'après les résultats que nous avons enregistrés dans la **figure (12-a-b-c-d)**, la cinétique de séchage de la pulpe de la banane est généralement similaire de celui de la pomme et de l'abricot. Nous avons présenté les durées de séchage de la pulpe pour ramener les échantillons d'une teneur en eau initiale de  $3.1 \pm 0.5$  (kg eau/kg ms) jusqu'à une valeur finale proche de zéro, ce qui correspond à une valeur moyenne de la teneur en eau de la pulpe de  $77.35\% \pm 2.6\%$ . Cette teneur en eau se situe dans l'intervalle rapporté par la littérature, de  $67.24\% \pm 2.19\%$  à  $73.14\% \pm 0.56\%$  **Harshani et al., 2021**.

Les courbes qui représentent l'évolution de séchage des échantillons de la pulpe prétraitée par la micro-onde montrent globalement une même allure par rapport aux résultats obtenus précédemment (voir **figures 10 et 11**). Mais l'effet combiné de la micro-onde et l'étuve



**Figure 12 :** Evolution de la teneur en eau en fonction de la durée de séchage de la pulpe de la banane /ms. (a), (b), (c) et (d) sont préalablement séchés par micro-ondes pendant 30 s, 1min, 2min et 4 min respectivement. \*Témoin

ventilée se manifeste par une diminution rapide de la teneur en eau pendant le début de séchage notamment pour les pulpes prétraitées pendant 2 à 4 min (**Figure 12-c-d**), cependant, en comparant nos résultats par rapport au témoin, nous avons constaté que l'effet de la microonde n'est pas significatif sur la durée de séchage. Ce qui explique les différences des durées de séchage effectué en association avec microonde pendant 2min, à 45°C, 55°C, 65°C, et 75°C par rapport au témoin étaient de 80 min, 140 min, 120 min et 60 min, respectivement. En fin, la différence du temps nécessaire pour atteindre la teneur en eau d'équilibre de la pulpe initialement traitée pendant 4 min par rapport au témoin, à 45°C, 55°C, 65°C, et 75°C étaient de 110 min, 80 min, 90 min et 0 min, respectivement. En effet, dans ce dernier cas, l'effet de la microonde se manifeste au début de séchage, en augmentant considérablement sa vitesse, cependant la durée de séchage reste la même par rapport au témoin.

#### **4. L'évolution de teneur en eau réduite de la pelure de la banane**

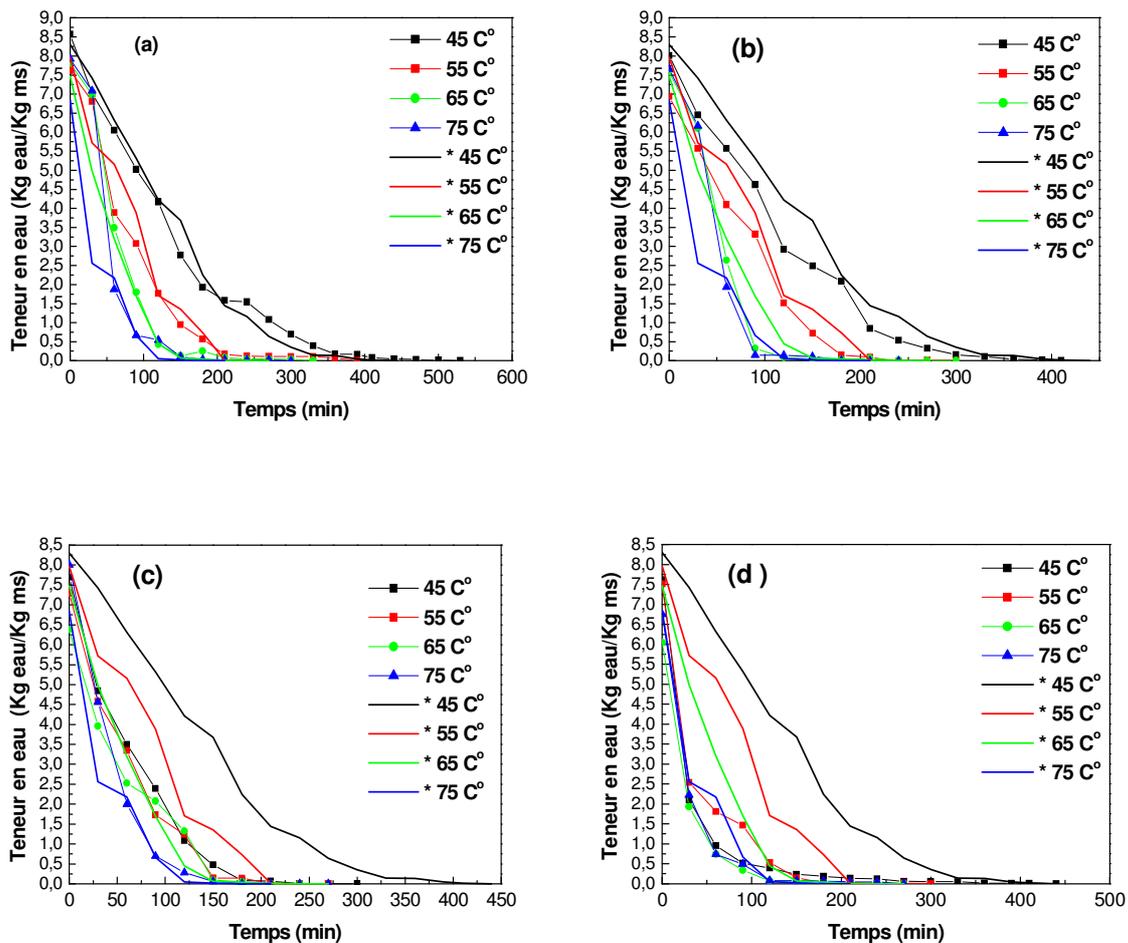
L'analyse de la **figure (13-a-b-c-d)**, montre que les courbes obtenues par les paramètres étudiés ne sont pas différentes des échantillons précédents (pomme, abricot et pulpe de banane).

En effet, l'augmentation respective de la température de 45°C à 75°C entraîne une réduction en masse jusqu'à sa stabilisation, ce qui correspond à une teneur en eau de la pelure de 88,17% ± 0.76%. Cette valeur n'est pas loin de celle obtenue par **Bonnet-Bruno 2012**, qui est de 89.45%.

Les valeurs durées de séchage des différents fruits étudiés sont illustrées dans le **tableau 6**.

Globalement l'évolution de séchage sous traitement par microonde pendant des différentes durées, montre une augmentation du taux du séchage pour une gamme de température qui varie de 45 à 75°C. Dans le même axe de recherche et selon plusieurs travaux scientifiques, expliquent que 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 produit.

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 (**Anizon, Lemaire, & Surbled, 2003; Kharisov, Kharissova, & Méndez, 2012; Roussy, Rochas, & Oberlin, 2003**).



**Figure 13 :** Evolution de la teneur en eau en fonction de la durée de séchage de la pelure de la banane/ms. (a), (b), (c) et (d) sont préalablement séchés par micro-ondes pendant 30 s, 1min, 2min et 4 min respectivement.\*Témoin

Et selon Mikulás, Sain, & Simon, 1992, sous l'effet de la puissance micro-onde l'eau est chauffée dans la masse de produit, ce qui provoque des ilots de surpression, ces derniers vont migrer du cœur vers l'extérieur de produit en emmenant une stabilité du poids.

**Tableau 6 :** Récapitulatif des durées de séchage de la pomme, de l'abricot, de la pulpe de la banane et sa pelure par étuve assisté par Micro-Ondes (MO).

Fruits séché	Temps de prétraitement par MO	Durée de séchage (min)			
		45C°	55 C°	65 C°	75 C°
<b>Pomme</b>	30 Sec	530	300	270	210
	1 min	520	270	240	210
	2 min	360	330	240	210
	4 min	360	270	210	210
	<b>Témoin</b>	<b>530</b>	<b>390</b>	<b>360</b>	<b>330</b>
<b>Abricot</b>	30 Sec	500	360	330	300
	1 min	500	330	270	240
	2 min	330	270	240	210
	4 min	330	210	210	180
	<b>Témoin</b>	<b>300</b>	<b>270</b>	<b>270</b>	<b>260</b>
<b>Pulpe de banane</b>	30 Sec	470	360	240	240
	1 min	530	390	300	300
	2 min	420	270	270	240
	4 min	390	330	300	300
	<b>Témoin</b>	<b>500</b>	<b>410</b>	<b>390</b>	<b>300</b>
<b>Pelure de banane</b>	30 Sec	500	360	300	240
	1 min	480	330	300	210
	2 min	270	240	210	210
	4 min	360	270	210	210
	<b>Témoin</b>	<b>440</b>	<b>300</b>	<b>270</b>	<b>270</b>

### Conclusion générale

Dans le présent travail, nous avons effectué un séchage de plusieurs fruits par étuve ventilée à différentes températures, à l'aide d'un prétraitement par micro-ondes pendant différentes durées. La cinétique de séchage en fonction du temps et de température a été étudiée afin de trouver les bonnes conditions pour améliorer le processus de séchage par étuve ventilée.

Nous avons suivi l'évolution des teneurs en eau réduites de la pomme, de l'abricot, de la pulpe de la banane et de sa pelure où le poids de nos échantillons est régulièrement mesuré chaque 30 min. Les courbes de la variation de la teneur en eau en fonction du temps, de température et de durée de prétraitement par micro-ondes ont été tracées et interprétées.

Cette étude expérimentale nous a conduits à conclure que :

- L'augmentation de la température de 45°C à 75°C a une forte influence sur le processus de séchage par étuve ventilée de la pomme, de l'abricot, de la pulpe de la banane et de sa pelure. Elle réduit considérablement le temps de séchage et favorise l'élimination partielle de l'eau. Ces résultats sont similaires à ceux rapportés dans la littérature.
- La cinétique de séchage par étuve ventilée de tous nos échantillons est plus élevée dans le début de processus et se réduit progressivement jusqu'à l'équilibre. Elle montre une vitesse importante de perte d'eau, puis elle a pris un rythme plus lent jusqu'à la stabilisation de la masse. Cette stabilisation correspond aux valeurs moyennes de la teneur en eau obtenues qui sont 86.4 %  $\pm$  1.48 % pour l'abricot, 86.05 %  $\pm$  0.73 %, pour la pomme, 77.35 %  $\pm$  2.6 % pour la pulpe de la banane et 88,17 %  $\pm$  0.76 % pour sa pelure. Ces résultats sont en bon accord avec ceux obtenus dans la littérature.
- Toutes les données expérimentales qui concernent les quatre fruits prétraités par micro-onde pendant 4 min, montrent une décroissance exponentielle de la teneur en eau en fonction du temps  $X(t) : X(t) = X_0 e^{-\lambda t}$  où  $\lambda$  est la constante de décroissance et  $X_0$  est la teneur en eau initiale.
- Le prétraitement par micro-onde pendant 2 à 4 min provoque une diminution du temps de séchage de tous nos échantillons par rapport aux témoins, qui varie de 110 à 170 min, de 60 à 140 min, de 60 à 150 min et de 60 à 120 min à 45°C, 55°C, 65°C et à 75°C respectivement.

## *Conclusion Générale*

---

- L'effet de la micro-ondes constaté est due au phénomène de transfert de la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur de masse chauffée ce qui provoque la migration des particules d'eau sur-pressées du cœur vers l'extérieur de produit prétraité en emmenant une stabilité du poids.

Il convient à noter que le séchage simple ou combiné est parmi les techniques connues, qui servent à la conservation des aliments mais, il faut veiller à tenir compte : de l'apparence de l'aliment séché, de la préservation de la qualité nutritionnelle et organoleptique ainsi que de la capacité ou l'aptitude des aliments déshydratés à se reconstituer. En effet, des analyses physicochimiques doivent accompagner l'évolution de la perte en eau en fonction des paramètres à considérés.

### Références

#### A

**Abbasi, S., & Azari, S. (2009).** Novel microwave–freeze drying of onion slices. *International journal of food science & technology*, 44(5), 974-979.

**Abrouche R, 2013.** Incorporation du tourteau d'amande d'abricot en substitution de tourteau de soja dans l'alimentation des animaux domestiques. Thèse de doctorat, Université de Batna, P 8-9-10.

**Adeyeye Samuel Ayofemi Olalekan, 2020.** Banana Nutrition - Function and Processing Kinetics, Banana Drying Kinetics. doi: 10.5772/intechopen.84669.

**Akpinar, E.K., Bicer, Y., Yildiz, C. 2003.** Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering*, 59 (1), 99-104.

**Alibas, I. (2007).** "Microwave, air and combined microwave–air-drying parameters of pumpkin slices." *LWT-food science and technology* 40 (8): 1445-1451.

**Anizon JY, Lemaire B, Surbled M. (2003).** Extraction assistée par microondes. *Technique de l'Ingénieur*, F 3 060, 1-10.

**Anonymous (1981).** Pour mieux se nourrir en Guadeloupe. Comité Guadeloupéen pour la journée mondiale de l'alimentation. pp. 1- 47.

**Apicella, R.; Romano, V. 2019.** Comparison between Lambert and Maxwell Approaches in the Modelling of Microwave Heating of Liquid Foods. *ENG.* 11, 1–13. DOI: 10.4236/eng.2019.111001.

**Aprifel, 2008.** Site internet de l'agence des fruits et des légumes frais. Fiches nutritionnelles par produits : la pomme. <http://www.aprifel.com/fiches.produits>. p 11-12.

**Arevalo P. A. Murr F. X., 2007.** Influence of pre-treatments on the drying kinetics during vacuum drying of carrot and pumpkin. *Journal of Food Engineering*, 80: 152–156.

**Aurore G., Parfait B., & Fährasmane L., 2009.** Banens, raw materials for making processed food products. *Trends in Food Science and Technology*, 20 : 78-91.

---

#### B

**Baert J-P., 1999.** Agroalimentaire. Techniques de l'ingénieur. F100: Vol. Génie des Procédés.

**Belit, A., Haddar, S., & Taib, N. 2016.** *Etude Et Programmation D'une Nouvelle Ligne De Séchage De Sucre Avec Un API S7-300.* Université abderrahmane mira béjaia.

**Benaziza & Lebid, 2007.** caractérisation de quelques variétés d'abricotier (prunus armeniaca l.) dans la région de m'chouneche wilaya de biskra. *Courrier du Savoir – N°08, Juin 2007*, pp.101-110.

**Bimbenet J.J., 1998.** Bases conceptuelles du génie des procédés agroalimentaires. Techniques de l'ingénieur, F1000, 19 p.

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

**Bimbenet J.J. Bonazzi C. (2008).** Séchage des produits alimentaires. Appareils et applications. Edition Techniques de l'ingénieur. p. 471-473.

**Bonazzi, C., & Bimbenet, J.-J. 2003.** Séchage des produits alimentaires Principes. *Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire*, 2 (F3000): F3000. 3001-F3000. 3014.

**<sup>a</sup>Bonazzi C. et Bimbenet J.J., 2008.** Séchage des produits alimentaires-matériels et applications. In : *Techniques de l'Ingenieur*, Paris, France, F3002.

**<sup>b</sup>Bonazzi, C., Dumoulin, E., & Bimbenet, J.-J ., (2008).** Le séchage des produits alimentaires." *Industrie Alimentaire Agricole* 125 (03-04): 12-22.

**Bondoux, P. 1992.** Maladies de conservation des fruits à pépins. Pommes et poires, Editions INRA.

**Bonnet-Bruno Christelle, 2012.** Valorisation de la banane Cavendish FWI, à différents stades physiologiques de récolte pour l'obtention par procédés de chimie verte de molécules d'intérêt biologique impliquées dans des activités anti-ulcères et cardiovasculaires. Thèse de doctorat, Université des Antilles et de la Guyane Faculté des Sciences de la vie, France.

**Bourgeois C., 2003.** Les vitamines dans les industries agroalimentaires. Ed : Tec et Doc., Lavoisier, Paris, 708 p.

**Bourles E (2010).** Aptitude variétale des pommes à la transformation recherche d'indicateurs biochimiques de l'évolution de la texture et de marqueurs d'intérêt nutritionnel. Thèse de Doctorat. Université d'Angers. 229 p.

**Boyer J. et Liu R. 2004.** "Apple phytochemicals and their health benefits." *Nutrition journal* 3(1): 5.

**Bratt P., Georgé S., Bellamy A., Du Chaffault L., Scalbert A., Mennen L., Arnault N. et Amiot M. J., 2006.** Daily polyphenol intake in France from fruit and vegetables. *Journal of Nutrition*, 136, 2368-2373.

**Bretraudeau J., 1981.** Atlas d'arboriculture fruitière. Volume8. Deuxième édition. Edition J-B. Balie, Paris, 246p.

---

## C

**Chakraverty, A. 2003.** Conversion and utilization of biomass. In: *Handbook of postharvest technology: cereals, fruits, vegetables, tea, and spices*, (Eds.) H.S. Ramaswamy, G.S.V. Raghavan, A. Chakraverty, A.S. Mujumdar, Marcel Dekker. New York, 797-819.

**Charles, C.R. 2013.** STATGRAPHICS : une gamme de logiciels pour les analyses

statistiques et graphiques. <http://www.statgraphics.fr/info/centurion.htm>.

**Charreau A. et Cavallé R., 2003.** Séchage Théorie et Calculs. *Techniques de l'ingénieur*, J2480 : Vol. Génie des Procédés.

**Chavan, R.S. and Chavan, S.R. 2010.** Microwave baking in food industry: A Review. *International Journal of Dairy Science* 5:113-127.

**Ciquel & Cneva (1993).** Répertoire général des aliments. In: Table de composition des fruitsexotiques de cueillette d'Afrique, Vol. 1. France: ORSTOM Editions/Tec & Doc Lavoisier/INRA Editions. pp. 8-12.

**Claire Doré, F. Varoquaux. 2006.** Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées Editions Quae, - 812 pages.

**Correia, A., A. Loro, et al. (2015).** "Effect of temperature, time, and material thickness on the dehydration process of tomato." *International journal of food science* **2015**.

**Cui Z ; Sun L ; Chen W. et Sun D. (2008).** Preparation of dry honey by microwave-vacuum drying. *Journal of Food Engineering* ; **84 (4)**, 582-590.

---

### D

**D. Fahloul, F. Benmadi et S. Boudraa; 2009.** Estimation de la diffusivité massique et cinétique de séchage sous vide de la pomme de terre (variété *Spunta*). *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 12 N°4 (2009) 655 – 665.

**Ding, S. H., An, K. J., Zhao, C. P., Li, Y., Guo, Y. H., & Wang, Z. F. (2012).** Effect of drying methods on volatiles of Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Food and Bioproducts Processing*, 90(3), 515-524.

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

---

### E

**Eberhardt M. V., Lee C. Y. et Liu R. H., 2000.** Antioxidant activity of fresh apples. *Nature*, 405, 903-904.

**Emaga; Andrianaivo; Wathelet; Tchango; Paquot., (2007).** Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. *Food chemistry*, vol 103, Issue 2, pp 590-600.

**Enrico Maltini, 2003:** "La déshydratation osmotique et les produits de semi-confisage."

---

### F

**Faust M, Suranyi D et Nyujto, F. 1998.** Origin et la diffusion de apricot. In: j.janick (ed), Avis horticoles, John Wiley et Sons, Inc., New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapour, Toronto.22: 225-266.

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

**Fournier, V. 2003.** *Conservation des aliments*. Université Laval, Canada; 16 p.

**Fратиани Florinda; Ombra, Maria Neve; d’Acierno, Antonio; Cipriano, Luigi; Nazzaro, Freng, H. et Tang, J. (1998).** Microwave Finish Drying of Diced Apples in a Spouted Bed. *Journal of food science*. 63(4): 679-683.

**Fратиани Florinda; Ombra, Maria Neve; d’Acierno, Antonio; Cipriano, Luigi; Nazzaro, Filomena. (2018).** *Apricots: biochemistry and functional properties*. *Current Opinion in Food Science*, S2214799317301789–.doi:10.1016/j.cofs.2018.12.006.

---

### G

**Gowen, A.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.

**Guinebault. (1986).** Le point sur le séchage solaire, les produits alimentaires GRESS/GRET. Dossier n°8 Ed. Trady Quercy. France.

**Guyot S., Marnet N., Sanoner P. et Drilleau J.-F. 2002.** "Variability of the polyphenolic composition of cider apple (*malus domestica*) fruits and juices." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **51**: 6240-6247.

---

### H,I,J

**Heldman, D. R., D. B. Lund, et al. (2006).** Handbook of food engineering, CRC press.

**Harshani Nadeeshani; Gamini Samarasinghe; Renuka Silva; Danny Hunter; Terrence Madhujith; (2021).** Proximate composition, fatty acid profile, vitamin and mineral content of selected banana varieties grown in Sri Lanka. *Journal of Food Composition and Analysis*, doi:10.1016/j.jfca.2021.103887.

**Hill A. et Ilsi (1998).** Europe Microwave Oven Task Force. Microwave Ovens.

**Ipgri, (1996).** Descriptores para el banano, CIRAD, 55 pages.

**Jayaraman, K.S., Das Gupta, D.K. 2006.** Drying of fruits and vegetables. In: *Handbook of industrial drying*, (Ed.) A.S. Mujumdar, CRC Press. Florida, United States, pp 606-634.

**Jelled A., Fernandes A., Barros L., Chahdoura H., Achour L., Ferreira I.C.F.R. et Ben**

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

## Références Bibliographiques

---

**Jean L-C (2002).** Printemps des sciences, L'Énergie Sous Toutes Ses Formes. Les Microondes.48 p.

**Jeune, P (1999),** la banane plantain dans le système de production de la plaine de l'Arcahaie, mémoire de fin d'études universitaires (1e cycle), FAMV.

**Juane D., Xihan M., Zhuorui F., Ying G. (2011).** Effects of microwave drying on the contents of functional constituents of *Eucommia ulmoides* flower tea. *Industrial Crops and Products* 34,1102– 1110.<espace.inrs.c1/ 641/R000429.pdf> (18/03/2017).

---

### K

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

**Khan, M. I. H.; Welsh, Z.; Gu, Y.; Karim, M.; Bhandari, B. 2020.** Modelling of Simultaneous Heat and Mass Transfer Considering the Spatial Distribution of Air Velocity during Intermittent Microwave Convective Drying. *Int. J. Heat Mass Transf.* 2020, 153, 119668. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.119668.

**Kharisov, B. I., Kharissova, O. V., & Méndez, U. O. (2012).** Microwave hydrothermal and solvothermal processing of materials and compounds. *The Development and Application of Microwave Heating*, 5, 107-140.

**Kingston M.M., et Haswell S.J. (1997) :** Microwave – Enhanced Chemistry, Fundamentals, Sample Preparation, and applications. Edition American Chemistry Society, Washington, DC, 772 p.

---

### L

**Lahbari M, 2015.** Etude et simulation du séchage de l'abricot : Application a quelques variétés de la région des Aures. Thèse de doctorat, Université de Batna, 01-10 p.

**Lahsani, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., & Jaouhari, J. 2004.** Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). *Journal of Food Engineering*, 61 (2): 173-179.

**Lassoudière A., (2007).** Le bananier et sa culture. Versailles, France : Éditions Quæ.

**Lidstrom P., Tierney J., Wathey B., and Westman J. (2001).** Microwave assisted organic synthesis A review. *Tetrahedron* 57, 9225-9283.

---

### M,N

**Marriott, J., & Lancaster, P. A. (1983).** Bananas and plantains. In H. T. Chan Jr. (Ed.), *Handbook of tropical foods* (pp. 85e143). New York/Basel: Marcel Dekker, Inc.

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

**Mathavi V, Sujatha G, S-B Ramya et Karthika B -M. Food Technology and Assistant Professor, College of Food and Dairy Technology. (2013).** New trends in food processing, *International Journal of Advances in Engineering and Technology*. India 5(2):176-187.

**Mehmet Alper ASLAN , Yunus ÖNAL , Yeliz AKBULUT, Canan AKMİL BAŞAR ,2021.** Investigation Of Drying Kinetics Of Apricots In Different Environments. *Journal of Inonu University Health Services Vocational School*, ISSN: 2147-7892, Volume 9, Issue 2 (2021) 385-401, doi: 10.33715/inonusaglik.834743.

**Meste, M., Roudaut, G., Chiotelli, E., Simatos, D., & Colas, B. (2001).** Fonctionnalité de l'eau dans les aliments. *Ind. Alim. Agr.*, 11(8). 21-28.

**Midilli, A. 2001.** Détermination de la cinétique de séchage des pistaches et des conditions de séchage dans un système de séchage solaire. *International Journal of Energy Research*, 25(8), 715-725.

**Midilli, A., & Kucuk, H. 2003.** Modélisation mathématique du séchage en couche mince des pistaches à l'énergie solaire. *Energy Conversion and Management*, 44 (7): 1111-1122.

**Mikulás, S., I. Sain, et al. (1992).** "Complexité de la théorie équationnelle des algèbres relationnelles avec des éléments de projection." *Bulletin of the Section of Logic* 21(3): 103-111.

**Mikula S. (1992).** Mise au point d'un pilote micro-ondes multifonction en vue d'un séchage d'algues alimentaires. Valorisation des produits de la pêche. 45 p.

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

**Moreiras Tuni, O., Carbajal, Á., Cabrera Forneiro, L. et Cuadrado Vives, C. (2004).** Tablas de Composición de Alimentos (pages: 144). Madrid Espagne: Piramide Ediciones.

**Mounir, S., Téllez-Pérez, C., Alonzo-Macías, M., Allaf, K. 2014.** Swell-Drying. In: *Instant Controlled Pressure Drop (D.I.C.) in food processing*, (Eds.) T. Allaf, K. Allaf, Springer New York, 3-43.

**Muriel Colin-Henrion .2008.** De la pomme à la pomme transformée : impact du procédé sur deux composés d'intérêt nutritionnel Caractérisation physique et sensorielle des produits transformés. domainot her. Université d'Angers. Français. P 46- 47.

**Nieto A.B., Salvatori D.M., Castro M.A. Alzamora S.M. 2004.** Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: Shrinkage, porosity, density and microscopic features. *Journal of Food Engineering*, 61, p. 269-278.

---

## O, R

**Oberlin, C. (1999).** Les applications innovantes des micro-ondes dans l'industrie: Les micro-ondes de forte puissance. REE. Revue de l'électricité et de l'électronique (1).p

**Roussy, G., Rochas, J. F., & Oberlin, C. (2003).** Chauffage diélectrique: Technologies. Techniques de l'ingénieur. Génie électrique, 12 (D 5941), D 5 941, 1-15.

---

### S

**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(1): 426-433.

**Sharrock, S. and Lusty, C., 2000.** Nutritive value of banana. *In* Inibap annual report 1999. Inibap: Montpellier, France. Pp. 28-31.

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

**Song Y., Yao Y.-X., Zhai H., Du Y.-P., Chen F. et Shu-Wei W. E. I. 2007.** "Polyphenolic Compound and the Degree of Browning in Processing Apple Varieties." *Agricultural Sciences in China* 6(5): 607-612.

**Sumnu, G., Sahin, S., & Sevimli, M. (2005).** Microwave, infrared and infrared-microwave combination baking of cakes. *Journal of Food Engineering*, 71(2), 150-155.

---

### T

**Thostenson, E. T. & Chou, T. W. (1999).** **Microwave processing : fundamentals and applications. Composites: Part A 30 (1999) 1055-1071.**

**Tang Z ; Mikhaylenko, G ; Liu F ; Mah J ; Pandit R. et Younce F.(2008).** Microwave sterilization of sliced beef in gravy in trays. *Journal of Food Engineering* ; 89, 375-383.

**Thu Ha Nguyen. 2015.** Étude expérimentale et modélisation du procédé de séchage des végétaux. Génie des procédés. Université de Bretagne Sud. Français. P 74.

**Thu Ha Nguyen. 2016.** Étude expérimentale et modélisation du procédé de séchage des végétaux. Génie des procédés. Université de Bretagne Sud, 2015. Français. p 25.

**Toğrul, İ. T., & Pehlivan, D. 2002.** Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers. *Journal of Food Engineering*, 55(3): 209-216.

---

### V

**Vasseur., (2009).** "Séchage: principes et calcul d'appareils-Séchage convectif par air chaud (partie 1)"

**Venkatesh M. S. et Raghavan. S. V. (2004).** An Overview of microwave processing and dielectric properties of agri-food materials. *Biosystems Engineering*; 88(1), 1-18.

**Verdier, N-A., Sadat, A-W., Clément, D-A., Emmanuel, N-A et Georges, N-A. 2016.** Impact of solar and Microwave Oven Drying on A Few Chemical Parameters of Market Value

Quality of Fermented Forastero (Theobroma Cacao L.). *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 12(4): 402-406.

**Virot, M. (2009).** "Soxhlet assisté par micro-ondes. Conception et application à l'extraction des matières grasses." Thèse de doctorat, Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse.

**Visavale, G. 2012.** Principles, classification and selection of solar dryers. *Solar drying: Fundamentals, Applications and Innovations. Singapore.*

---

### W

**Wang, H.; Zhang, M.; Mujumdar, A. S. 2014.** Comparison of three new drying methods for drying characteristics and quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). *Dry Technology*, 32(15):1791-1802.

**Wang W. et Guohua C. (2005).** Heat and mass transfer model of dielectric material-assisted microwave freeze drying of skim milk with hygroscopic effect. *Chemical Engineering Science* ; 60(23), 6542–6550.

**Woolfe, J. A. (1992).** Sweet potato an untapped food resource. Cambridge/ Port Chester/Melbourne/Sydney: Cambridge University Press.

---

### Y

**Yaldiz, O., Ertekin, C., & Uzun, H. I. 2001.** Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 26 (5): 457-465.

**Yaldız, O., & Ertekin, C. 2001.** Thin layer solar drying of some vegetables. *Drying Technology*, 19(3-4): 583-597.

**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.

**Yuan F. et Pal R. (1995).** Measurement of solids concentration in using a microwave technique. *Chemical Engineering Science* ; 50(22), 3525-3533.

---

### Z

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

---

#### Web graphie:

**Cryotec.2015.** Concepteur et fabricant de lyophilisateurs et d'enceintes climatiques. . <http://www.cryotec.fr/nosproduis/lyophilisateur/>.

## *Références Bibliographiques*

---

**France Etuves 2010 Etuve de séchage - XUE112- de cuisson / de ...**  
[www.directindustry.f](http://www.directindustry.f)

**Annexe 01: Valeur nutritionnelle de banane par 100 g (Sharrock et Lusty, 2000)**

<b>Substances</b>	<b>Proportions</b>
Eau (g)	65,28
Energie alimentaire (Kcal)	122
Protéines (g)	1.3
Graisse (g)	0.37
Hydrate de carbone (g)	31.89
Calcium (mg)	3
Fer (mg)	0.6
Potassium (mg)	499
Sodium (mg)	4
Vitamine C (mg)	18
Thiamine (mg)	0.052
Riboflavine (mg)	0.054
Niacine (mg)	0.686
Vitamine A (UI)	1127
Acides gras saturés (g)	0.143
Acides gras mono insaturés (g)	0.032
Acides gras polyinsaturés (g)	0.069

## Annexes

**Annexe 02** : photographies des échantillons utilisés dans notre travail (A) coupées d'échantillons en fins morceaux (B) pesée 20g des fins morceaux des échantillons.



(A)



(B)

## Résumé

Dans cette étude, nous avons effectué un séchage de la pomme, de l'abricot, de la pulpe de la banane et de sa pelure par étuve ventilée à différentes températures, à l'aide d'un prétraitement par micro-ondes. Nous avons essayé de trouver les courbes caractéristiques de la cinétique de séchage de chaque fruit, pour une gamme de température de l'étuve qui varie de 45 à 75 C° pour différentes durées de prétraitement par micro-ondes. Une réduction de temps de séchage a été constatée due à l'effet de la micro-onde. La stabilisation de la masse lors de séchage, nous a permis d'obtenir la valeur moyenne de la teneur en eau pour chaque fruit. Ces valeurs sont en bon accord avec ceux obtenus dans la littérature. Tous les résultats obtenus qui concernent les quatre fruits prétraités par micro-onde pendant 2 à 4 min, montrent une décroissance exponentielle de la teneur en eau en fonction du temps.

**Mots clés :** Cinétique de séchage, Micro-ondes, Etuve ventilée, Teneur en eau, Fruit séché.

---

## Abstract

In this study, we dried the apple, apricot, banana pulp and peel of banana by ventilated oven at different temperatures, using microwave pre-treatment. We tried to find the characteristic curves of the drying kinetics of each fruit, for a temperature range of the oven that varies from 45 to 75 C° for different durations of microwave pretreatment. A reduction in drying time was noted due to the effect of the microwave. The stabilization of the mass during drying, allowed us to obtain the average value of the Moisture content for each fruit. These values are in good agreement with those obtained in the literature. All the results obtained, which concern the four fruits pre-treated by microwave for 2 to 4 min, show an exponential decrease in the water content as a function of time.

**Keywords:** Keywords: Drying kinetics, Microwave, Ventilated oven, Moisture content, Dried fruit.

---

## ملخص

في هذه الدراسة ، أجرينا تجفيف التفاح والمشمش ولب الموز وقشره بواسطة فرن مهوى في درجات حرارة مختلفة ، باستخدام المعالجة المسبقة بالميكروويف. حاولنا إيجاد المنحنيات المميزة لحركية التجفيف لكل فاكهة ، لنطاق درجة حرارة فرن يتراوح من 45 إلى 75 درجة مئوية لفترات مختلفة من المعالجة المسبقة بالميكروويف. لوحظ انخفاض في وقت التجفيف بسبب تأثير الميكروويف. سمح لنا استقرار الكتلة أثناء التجفيف بالحصول على متوسط قيمة محتوى الماء لكل فاكهة. تتوافق هذه القيم جيداً مع تلك التي تم الحصول عليها في المراجع. جميع النتائج التي تم الحصول عليها، والتي تتعلق بالفواكه الأربعة التي تمت معالجتها بواسطة الميكروويف لمدة 2 إلى 4 دقائق ، تظهر انخفاضاً أسياً في محتوى الماء كدالة للوقت.

كلمات مفتاحية: حركيات التجفيف ، المايكروويف ، الفرن المهوى ، المحتوى المائي ، الفاكهة المجففة