

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Blida I



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des sciences alimentaires

**Laboratoire de recherche : Sciences, technologies alimentaires et
développement durable**

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Agro-alimentaires et Contrôle de Qualité

Filière : Sciences Alimentaires

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Thème

**Contribution à l'étude de la conservation de l'oignon
par séchage**

Présenté par :

Elemdani Meriem

Khelifi Nesrine

Soutenance le 08/07/2020 devant le jury composé de :

Présidente	Mme. HADJADJ N.	Pr à l'Université Blida 1
Examineur	Mr. BOUGHERRA F.	MCB à l'Université Blida 1
Promotrice	Mme. AIT CHAOUCHE FS.	MCB à l'Université Blida 1

Année Universitaire 2020-2021

Remerciements

Avant tout, nous remercions le bon Dieu, le tout puissant pour nous avoir accordé la fois, la force, la patience, le courage et les moyens afin de pouvoir accomplir ce travail.

Nous exprimons toute notre gratitude à Mme AIT CHAOUCHE FS., Maître de conférences B à l'Université de Blida 1 qui a accepté de nous encadrer et nous soutenir tout au long de la réalisation de ce travail. Nous la remercions pour sa disponibilité qui nous a été précieuse.

Nous remercions chaleureusement Mme HADJADJ N., d'avoir accepté d'honorer la présidence du jury,

Nous tenons également à exprimer nos remerciements à Mr. BOUGHERRA F., Maître de conférences B à l'Université de Blida 1, pour avoir accepté d'examiner le travail.

En fin, nous adressons nos profondes gratitude à nos familles qui nous ont toujours soutenus, et à l'ensemble des enseignant (e)s qui ont contribué à notre formation de Master.



Dedicaces

Tous d'abord je remercie mon Dieu tout puissant pour toutes
les bénédictions.

Je dédie ce mémoire A mes parents, Pour leur soutien
inconditionnel, Leur sacrifices, leur tendresse, leur amour infini
Je souhaite trouveront en ce modeste travail le témoignage de
ma reconnaissance et toutes mes affections

A mes sœurs Imene et Maria, mon frère Redha, Qui ont
été toujours près de moi, Je leur souhaite beaucoup de joie et
de succès dans leur longue vie.

A ma grande mère que puisse Allah l'accueillir en son Vaste
paradis.

Mes sentiments les plus sincères d'amitié s'adressent à ma
chère binôme Khelifi Nesrine.



Elemdani Meriem



Dedicaces

*Tout d'abord merci à dieu de nous avoir donné la force pour
terminer ce travail.*

*Je dédie ce modeste travail à celle qui sacrifié sa vie et qui a
attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation à ma
chéré maman Nora Chabane, À celui qui s'est changé la
nuit en jour pour m'assurer les bonnes conditions à mon cher
père Abd Hamid Khelifi, À mon cher frère Adlen et sa
Femme et sa fille Nihel, À mes belles sœurs Khadija et
Ghania et leurs maris et leurs enfants Sarah, Liela, Kadil,
Anes, Soufiane, pour leur amour et soutien pendant tout au
long de mes études, À mon soutien moral et source de joie et
de bonheur, mon fiancé Tarek, et sa famille pour
l'encouragement et l'aide qu'il m'a toujours accordé à tout ma
famille qui porte le nom Khelifi et Chabane source
d'espoirs et de motivation, À ma Chère binôme Meriem pour
sa entente et sa sympathie.*



Khelifi Nesrine

Résumé

L'oignon (*Allium cepa* L.) est l'une des principales cultures maraîchères cultivées en Algérie. Il est apprécié pour sa saveur piquante distincte et constitue un ingrédient de base pour plusieurs préparations culinaires. Néanmoins, la courte durée de conservation des oignons frais est une cause majeure de pertes post-récolte pendant la haute saison de production. Afin d'échelonner la période de consommation de ce légume, de mieux exploiter ses excellentes propriétés biologiques et de développer de nouvelles formes de produit notamment la poudre d'oignon, le séchage est une technique qui permet de répondre à ces attentes. Cependant, cette technique est énergétiquement très coûteuse. Pour cette raison, le séchage est souvent précédé d'une autre opération de déshydratation moins coûteuse en énergie : la déshydratation osmotique. En effet, cette opération diminue la teneur en eau initiale dans le produit induisant une réduction du temps de séchage et du besoin énergétique pour le séchage complémentaire. Par ailleurs, la déshydratation osmotique permet d'obtenir des produits de meilleure qualité et leur confère des propriétés sensorielles nouvelles et appréciées. Ainsi, cette synthèse bibliographique a pour objectif de recueillir, d'analyser et de présenter des informations sur la conservation et la production de la poudre d'oignon séché par couplage entre la déshydratation osmotique et le séchage convectif.

Mots clés : Oignon, conservation, déshydratation osmotique, séchage, production de poudre.

Abstract

Onion (*Allium cepa* L.) is one of the main vegetable crops grown in Algeria. It is appreciated for its distinct pungent flavor and is a basic ingredient for several culinary preparations. However, the short shelf life of fresh onions is a major cause of post-harvest losses during the peak production season. In order to stagger the consumption period of this vegetable, to better exploit its excellent biological properties and to develop new forms of product, especially onion powder, drying is a technique that can meet these expectations. However, this technique is energetically very expensive. For this reason, drying is often preceded by another dehydration operation less expensive in energy: osmotic dehydration. Indeed, this operation decreases the initial water content in the product inducing a reduction of the drying time and the energy need for the complementary drying. Moreover, osmotic dehydration allows to obtain better quality products and gives them new and appreciated sensory properties. Thus, this bibliographic synthesis aims to collect, analyze and present information on the conservation and production of dried onion powder by coupling osmotic dehydration and convective drying.

Key words: Onion, conservation, osmotic dehydration, drying, powder production.

الملخص

البصل (*Allium cepa* L) هو أحد محاصيل الخضروات الرئيسية التي تزرع في الجزائر. وهو جدير بالتقدير لما يتميز به من نكهة ثابتة، وهو مكون أساسي للعديد من تحضيرات الطهي. ومع ذلك، فإن قصر عمر البصل الطازج هو سبب رئيسي لخسائر ما بعد الحصاد خلال موسم ذروة الإنتاج. ومن أجل تعطيل فترة استهلاك هذه الخضروات، وتحسين استغلال خصائصها البيولوجية الممتازة، وتطوير أشكال جديدة من المنتجات، ال سيما مسحوق البصل، فإن التجفيف هو تقنية يمكن أن ، كثيرا بق التجفيف عملية أخرى أقل تلبي هذه التوقعات. بيد أن هذه التقنية مكلفة للغاية من الناحية النشطة. ولهذا السبب ما يس تكلفة في مجال الطاقة: التجفيف التناضحي. والواقع أن هذه العملية تقلل من محتوى المياه الأولي في المنتج الحث على ذلك. وهذه العملية تقلل من محتوى الماء الأولي في المنتج مما يسبب تراجعاً في الوقت اللازم للتجفيف واحتياج الطاقة إلى التجفيف التكميلي. وعالوة على ذلك، فإن استعمال تقنية الجفاف التناضحي يسمح بالحصول على منتجات ذات نوعية أفضل ويعطيها خصائص حسية جديدة ومقترنة. والهدف هذه الدراسة هو جمع وتحليل وعرض المعلومات المتعلقة بحفظ وإنتاج مسحوق البصل المجفف عن طريق الجمع بين التجفيف الحراري والتناضحي.

الكلمات المفتاحية: بصل، حفظ، التجفيف التناضحي، التجفيف، مسحوق البصل

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction	01

Chapitre 1 : Généralités sur l'oignon

1.1 Origine et aire de répartition	03
1.2. Caractéristiques botaniques	04
1.2.1. Classification	04
1.2.2 Description	05
1.2.3. Exigences de la culture	05
1.2.4. La récolte d'oignon	06
1.3. Variétés d'oignons	06
1.3.1. Oignons jaunes	06
1.3.2. Oignons blancs	07
1.3.3. Oignons rouges	08
1.3.4 Oignons espagnoles	08
1.3.5 Oignons à marinades	08
1.3.6 Oignons à bottelet	09
1.4. Les variétés d'oignon les plus cultivées en Algérie.....	09
1.4.1 L'oignon Rouge d'amposta	09
1.4.2 L'oignon jaune paille de vertus	09
1.5. Composition chimique	09
1.6. Vertus nutritionnelles et thérapeutiques	11
1.6.1. Activités antioxydantes	11
1.6.2. Activités antibactériennes	12
1.6.3. Activités antivirales	12
1.6.4. Activités anticancéreuses	12

1.7. Utilisations de l'oignon	13
1.7.1. Utilisations de la poudre d'oignon en Algérie	13
1.8. Importance économique de l'oignon	15
1.8.1. Production mondiale	15
1.8.2. Production locale	16

Chapitre 2 : Déshydratation osmotique partielle

2.1 Définition	17
2.2 Principe et mécanisme.....	17
2.3 Cinétique de la déshydratation osmotique.....	19
2.4 Principaux facteurs influençant les performances de la DO.....	21
2.4.1 Facteurs liés à l'aliment	21
2.4.2 Facteurs liés à la solution osmotique	22
2.4.2.1 Concentration de la solution osmotique.....	22
2.4.2.2 Température de la solution osmotique.....	23
2.4.2.3 Composition de la solution osmotique	23
2.4.3 Durée du traitement.....	24
2.4.4 Effet de l'agitation sur la DO.....	24
2.4.5 Effet du rapport solide/solution.....	25
2.4.6 mode de mise en contact des phases.....	25
2.5 Application de la déshydratation osmotique	26
2.5.1 Prétraitement thermique	26
2.5.1.1 Le blanchiment.....	26
2.5.1.2 La congélation.....	27
2.6 Méthodes combinées à la déshydratation osmotique.....	27
2.6.1 Imprégnation sous vide	27
2.6.2 Centrifugation.....	28
2.6.3 Ultrasons.....	28
2.6.4 Chlorure de sodium.....	29

2.6.5 Haute pression hydrostatique.....	29
2.6.6 Irradiation.....	29
2.6.7 Traitement par champ électrique pulsé.....	30
2.7 Stabilisation des produits déshydratés osmotiquement par des traitements physiques..	30
2.7.1 Congélation.....	30
2.7.2 Séchage.....	31
2.8 Qualité des produits végétaux traités par la déshydratation osmotique.....	32
2.8.1 Saveur.....	32
2.8.2 Couleur.....	32
2.8.3 Texture.....	33
2.8.4 Réhydratation.....	33
2.8.5 Effet de la déshydratation osmotique sur la composition biochimique.....	34
2.9 Différentes méthodes de la déshydratation osmotique.....	34
2.9.1 La méthode discontinue de la déshydratation osmotique.....	34
2.9.2 La méthode continue de la déshydratation osmotique.....	35
2.10 Avantages de la déshydratation osmotique	35
2.11 Importance du couplage déshydratation osmotique-séchage.....	36
2.12 La déshydratation osmotique de l'oignon.....	36

Chapitre 3 : Séchage de l'oignon

3.1 Définitions de séchage	38
3.2 Principe de séchage	39
3.3 Objectifs de séchage	39
3.4 Avantages et inconvénients de séchage	40
3.5 Le séchage et l'énergie	41
3.6 Le domaine d'utilisation	42
3.6.1 En industrie agroalimentaire	42
3.7 Le choix du procédé de séchage	42
3.8 Méthodes de séchage	43
3.8.1 Séchage au soleil.....	43

3.8.2 Séchage a l'air libre	44
3.8.3. Séchage par entraînement	44
3.8.4 Séchage par ébullition	45
3.8.5. Le séchage à l'étuve	45
3.8.6. Le séchage par micro-onde	45
3.9. Technologie de transformation et séchage d'oignon	45
3.9.1 Importance et intérêt de la transformation d'oignon	45
3.9.2. Le séchage d'oignon	46
3.9.3. Production de la poudre d'oignon	47
3.10. Travaux antérieurs sur le séchage d'oignon	48
3.10.1. Qualité du produit final	50
Conclusion.....	52
Références bibliographiques.....	53

Liste des figures

Figure 1 : Description d'un Bulbe d'oignon sectionné transversalement	05
Figure 2 : Oignons jaunes	07
Figure 3 : Oignons blancs	07
Figure 4 : Oignons rouges	08
Figure 5 : Production d'oignon dans le monde	15
Figure 6 : production de l'oignon en Algérie	16
Figure 7 : Le transfert de masse dans les fruits ou les légumes pendant processus de déshydratation osmotique	18
Figure 8 : Séchoir solaire	43
Figure 9 : Séchage solaire d'oignons	43
Figure 10 : Transfert entre l'air et la surface du produit	44
Figure 11 : Procédé de fabrication de la poudre d'oignon	47

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification de l'oignon	04
Tableau 2 : Composition chimique de l'oignon pour 100g de matière sèche	10
Tableau 3 : Utilisations de l'oignon en poudre en Algérie	13
Tableau 4 : Les conditions optimales de la déshydrations osmotique des fruits et légumes.....	20

Liste des abréviations

DO : déshydratation osmotique

ES : extrait sec

FAO: food and agriculture organisation of the united nations

GE : gain en solide

MADR : ministère de l'agriculture et du développement rural

MS : matière sèche

PAI : produit alimentaire intermédiaire.

R² : coefficient de détermination

RMSE : valeur d'erreur quadratique moyenne

SSE : la somme des carrés des erreurs

T : température.

Introduction

Introduction

L'oignon (*Allium cepa* L.) est un légume très consommé à travers le monde (**Shrivastava et Rao**, 2012). La production mondiale d'oignons est estimée à environ 85 millions de tonnes par année (**FAOSTAT**, 2021). Par ailleurs, l'oignon, avec une production de 1.6 millions de tonnes, constitue la principale culture *maraîchère* d'Algérie après la pomme de terre et la tomate (**MADR**, 2019).

L'oignon est un légume qui a des propriétés nutritionnelles et thérapeutiques appréciables. En effet, l'oignon est une excellente source de nutriment, fournissant des quantités importantes de vitamines C, B6 et potassium (**Sami et al.**, 2021). Il est reconnu comme une source importante de phytonutriments précieux comme les flavonoïdes, les fructo-oligosaccharides et les thiosulfates et d'autres composés soufrés (**Cecchi et al.**, 2020). Le principal polyphénol de l'oignon est la quercétine qui est reconnue pour ses propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, anticancéreuses et antidiabétiques (**Goudra et al.**, 2018). Cela justifie que la consommation régulière de l'oignon frais ou séché en poudre permet de prévenir de façon très efficace l'apparition de certaines de ces maladies (**Arshad et al.**, 2021).

Toutes ses vertus font de l'oignon un bon candidat pour la conception et formulation d'aliments fonctionnels. Cependant, sa périssabilité et sa saisonnalité entraîne sa pénurie sur le marché local en dehors de la saison de production (**Goudra et al.**, 2018). Il s'avère donc nécessaire d'identifier des voies et moyens pour réduire les pertes post-récoltes, pérenniser l'oignon tout au long de l'année et valoriser davantage sa production croissante en Algérie.

L'une des principales voies de transformation de l'oignon consiste à le sécher et le réduire en poudre. La production de poudre d'oignon séché permet de prolonger la durée de conservation de ce légume, de réduire son volume, son poids et son emballage et faciliter son transport et son stockage (**Madji et Nanda**, 2017). Aussi, les poudres d'oignons séchés donnent une saveur piquante aux aliments lorsqu'elles sont utilisées comme condiment (**Goudra et al.**, 2018).

Le séchage est l'une des méthodes les plus utilisées pour la conservation des fruits et légumes. Ce procédé permet de prolonger la durée de vie d'un aliment tout en préservant sa qualité nutritionnelle (**Vega-Gálvez et al.**, 2009). Son objectif est de convertir des denrées périssables en produits stabilisés, par abaissement de l'activité de l'eau jusqu'à une valeur

inférieure à 0.5. Néanmoins, le séchage est un procédé énergétiquement très coûteux (**Fernandes et al.**, 2006). Afin de réduire le coût énergétique global de l'élimination de l'eau, plusieurs auteurs proposent l'enchaînement déshydratation osmotique et séchage convectif (**Pavkov et al.**, 2021). En effet, la déshydratation osmotique diminue la teneur en eau initiale dans le produit induisant une réduction du temps de séchage et du besoin énergétique pour le séchage complémentaire tout en maintenant leurs propriétés organoleptiques et fonctionnelles (**Ramya et al.**, 2017).

Dans ce contexte, cette synthèse bibliographique vise principalement à présenter l'ensemble des études récentes menées sur la déshydratation osmotique couplé au séchage de l'oignon ainsi que sur les procédés de transformation et de production de la poudre d'oignon séché.

La présente étude est constituée de trois chapitres. Le premier chapitre est consacré aux généralités sur l'oignon notamment sa description botanique, sa composition chimique, ses caractéristiques nutritionnelles et sa production nationale et mondiale. Le second chapitre est dédié à la déshydratation osmotique partielle utilisée comme un prétraitement qui précède le séchage et à son importance dans la stabilisation des fruits et légumes. Dans le troisième chapitre, le séchage des denrées alimentaires proprement dit est présenté. Le principe du séchage et son importance dans la conservation des aliments, les méthodes de séchage notamment le séchage convectif et les travaux récents menés sur le séchage de l'oignon sont également énoncés dans ce chapitre.

Chapitre 1 : Généralités sur l'oignon

Chapitre 1 : Généralités sur l'oignon

1.1. Origine et air de répartition

L'histoire de l'oignon est une histoire intéressante. Il est impossible de savoir exactement quand ils ont fait leur apparition sur la scène culinaire. La plupart des historiens s'accordent à dire qu'ils ont été domestiqués et cultivés depuis au moins 6000 ans.

A son origine, l'oignon (*Allium cepa*) est issu d'une espèce sauvage qui aujourd'hui n'existe plus dans la nature. C'est une plante potagère qui de nos jours n'est connue que sous forme cultivée. Cette plante qui provient sans doute d'Asie centrale. Sa domestication remonte à plusieurs milliers d'années ; elle aurait eu lieu dans la région du Baloutchistan, ou de façon plus large de la Palestine à l'Inde (**Gaikwad et al.**, 2014). Il apparaît dans toutes les civilisations avec différentes interprétations : En Mésopotamie il figure dans les plus anciennes recettes de cuisine qui soient parvenues à l'époque contemporaine (**Birlouez**, 2020). En Égypte, la culture des oignons est représentée sur des décorations de tombes. L'oignon est une offrande religieuse que l'on place sur les autels, et auprès des morts. Par sa croissance et sa reproduction à la verticale, il symbolise la résurrection solaire. L'oignon est utilisé pour ses propriétés désodorisantes : placé dans la bouche du défunt, il la purifie et « illumine » son visage. Il est associé aux serpents et aux hirondelles. L'oignon est un « anti-serpent » qui les maintient en hibernation tant qu'il reste sous la terre. Le départ des hirondelles indique le moment de semer des oignons, et leur retour le moment de les récolter.

L'oignon était apprécié des Grecs, des Gaulois et des Romains et n'a jamais cessé d'être utilisé. Il fait partie des plantes dont la culture est recommandée dans les domaines royaux par Charlemagne dans le capitulaire De Villis (fin du viii^e ou début du ix^e siècle). Le voyageur, chroniqueur et géographe arabe Ibn Hawqal, ayant visité la Sicile au milieu du x^e siècle, s'étonna de voir la consommation quotidienne immodérée d'oignons crus par les Siciliens, et il écrivit à leur sujet : « [...] l'abus qu'ils font de l'oignon et le mauvais goût dérivant de leur habitude de manger excessivement de cet oignon tout cru ; car entre eux il n'y a personne, à quelque classe qu'il appartienne, qui n'en mange tous les jours dans sa maison matin et soir. Voilà ce qui a corrompu leurs intelligences, altéré leurs cerveaux, abruti leurs sens, changé leurs facultés,

rétréci leurs esprits, gâté le teint de leurs visages et changé tout à fait leur tempérament, au point qu'ils voient tout, ou du moins la plupart des choses, autrement qu'elles ne sont en réalité. »

L'oignon est actuellement cultivé un peu partout dans le monde mais il est surtout présent dans les zones tempérées (**Van DerMeer**, 1968). La zone géographique comprenant la Turquie, l'Iran, le nord de l'Iran, l'Afghanistan, l'Asie du centre-ouest (y compris le Kazakhstan) et le Pakistan occidental est considérée comme le principal centre des espèces *allium*.

1.2. Caractéristiques botaniques

1.2.1. Classification

Selon la FAO, (2010), Les oignons sont diversement placés dans la famille des plantes à fleurs Liliaceae et au genre *Allium*. La classification botanique de l'oignon est présentée dans le **tableau 1**.

Tableau 1 : Classification de l'oignon (FAO, 2010).

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida
Sous-classe	Liliidae
Ordre	Liliales
Famille	Liliaceae
Genre	<i>Allium</i>
Espèce	<i>Allium cepa</i>

1.2.3. Description

L'oignon, *Allium cepa*, n'est connu qu'en culture ; on ne le trouve plus à l'état sauvage. C'est une espèce herbacée vivace par son bulbe unique, cultivée comme une plante bisannuelle qui a besoin de deux saisons pour produire de la semence.

La première saison, il forme un bulbe (souvent appelé bulbe-mère) comestible de forme et couleur variable suivant la variété. Le bulbe de l'oignon est formé par le renflement plus ou moins important de la base des feuilles. Ce bulbe sert d'organe de réservoir (**Figure 1**). La deuxième année, après repos et plantation, le bulbe grossit et éclate en plusieurs bulbes qui donnent une ou plusieurs tiges florales, dans lesquelles évolueront en donnant des graines (**Hamdini, 2009**).

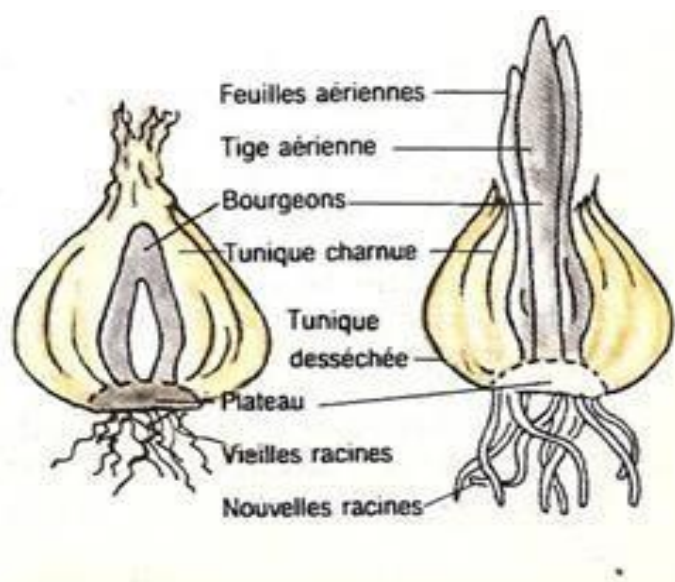


Figure 1 : Description d'un Bulbe d'oignon sectionné transversalement (**Moreau, B. et al. 1996 L'oignon de garde, Ctifl, 2010**).

1.2.4. Exigences de la culture

L'oignon a besoin de températures relativement élevées pour pouvoir bulber cependant des températures trop élevées peuvent entraîner une maturation hâtive et donc une baisse de rendement. Les variétés diffèrent quant à longueur du jour minimum nécessaire à la bulbaison.

La floraison en deuxième année est induite par des températures basses, entre 4 à 5°C. Généralement, une vernalisation pendant 4-6 semaines à des températures de 8-12°C est suffisante pour l'induction florale (**Collin et al.**, 2004).

1.2.5. La récolte d'oignon

Les oignons sont ramassés par une récolteuse et placés habituellement dans des bennes (caisses-palettes) en bois adaptées pour l'entrepôt. Chez certains producteurs, les oignons sont mis directement dans de grandes remorques et triés avant qu'ils soient placés dans des bennes. Les feuilles doivent être coupées 1 à 2 cm au-dessus du collet. Idéalement, les oignons récoltés sont triés pour éliminer les matières étrangères, les gros collets, les bulbes déformés, malades ou endommagés (**CDAQ**, 2014).

Pour une longue durée d'entreposage, l'oignon doit être mature lors de la récolte, le feuillage complètement desséché et le collet bien fermé. Lorsque ce stade n'est pas atteint, les risques de pourriture en entrepôt sont élevés (**CDAQ**, 2014).

La récolte (le ramassage des oignons andains) doit se faire par temps sec, idéalement en après-midi par temps ensoleillé ; les oignons récoltés après une pluie ou lorsque l'humidité est élevée, sont plus susceptibles aux maladies après la récolte. Dans ce cas, il faudra recourir au séchage artificiel (**CDAQ**, 2014).

1.3. Variétés d'oignons

Il existe six principaux types d'oignon : les oignons jaunes, les oignons espagnols, les oignons rouges, les oignons blancs, les oignons à botteler, les oignons à marinades, et les oignons à semences (**CSA**, 2011).

1.3.1. Oignons jaunes

Les oignons jaunes sont cultivés à grande échelle. Les hybrides hâtifs en semis direct demandent de 75 à 100 jours pour arriver à maturité. Ils ont habituellement une durée d'entreposage courte ou moyenne. Les hybrides de pleine saison et les hybrides tardifs mûrissent entre 100 à 110 après le semis. Ils se conservent bien et donnent un bon rendement avec des tolérances et des résistances intéressantes face aux maladies **Figure 2**.



Figure 2 : Oignons jaunes (Anonyme 1, 2010)

1.3.2. Oignons blancs

Les oignons blancs sont surtout utilisés comme variétés à bottelet, mais ils peuvent devenir gros à l'automne avec une chair ferme et douce, ils ne conservent pas longtemps ils exigent de 100 à 110 jours pour venir à maturité. Ils sont difficiles à réussir à cause de leur susceptibilité à l'antracnose (**FAD**, 2008).



Figure 3 : Oignons blancs (Anonyme 2, 2016).

1.3.3. Oignons rouges

Les oignons rouges demandent de 100 à 110 jours pour arriver à maturité, mais ils ne se conservent pas longtemps, sauf quelques hybrides développés pour la conservation. Ils sont cultivés à partir de transplants ou d'oignon, ils sont généralement plus sucrés que les oignons jaunes. On les apprécie crus, dans les salades, auxquelles ils donnent de la couleur.



Figure 4 : Oignons rouges (Anonyme 3, 2018).

1.3.4. Oignons espagnoles

Les oignons espagnols sont généralement très gros ; il existe un cultivar. Les oignons espagnols sont plus sucrés et plus doux que les autres types. Ils murissent en 120 à 150 jours et sont habituellement démarrés en serre pour être transplantés en avril et mai.

1.3.5. Oignons à marinades

Les oignons à marinades sont des petits oignons d'environ 2 cm qu'on obtient en juillet et en août à partir de semis direct faits tôt au printemps. On en trouve des blancs et des jaunes qui prennent entre 65 et 105 jours pour arriver à maturité. Il est important de les semer densément pour obtenir de petits oignons.

1.3.6. Oignons à botteler

Les oignons à botteler, connus sous le nom populaire incorrect d'échalotes, sont des variétés d'oignons que l'on récolte avant que le bulbe ne se développe. Ils sont prêts entre 60 à 75 jours après le semis direct. Il existe des variétés de printemps, d'été et d'automne.

1.4. Les variétés d'oignon les plus cultivées en Algérie

Parmi les variétés les plus cultivées en Algérie on trouve :

1.4.1. L'oignon Rouge d'amposta

Oignon rond à légèrement aplati, Tunique rouge brillant foncé, Marché de frais et de consommation courte, Conservation de 3 mois maximum.

- Semis : de février à avril.
- Récolte : de juillet à septembre.

1.4.2. L'oignon jaune paille de vertus

Bulbe épais jaune rond, légèrement aplati dont le diamètre atteint 8 à 10 cm, Tunique ocre brun doré. Chair ferme au goût prononcé, de bonne qualité gustative et une Longue conservation.

- Semis : mars à juin.
- Récolte : juillet à septembre.

1.5. Composition chimique

L'oignon contient en moyenne entre 87 et 92 % d'eau (**Islam et al.**, 2019). Ses glucides assurent l'essentiel de son apport énergétique (40 Kcal). Par ailleurs, l'oignon est doté de propriétés lacrymales. Ainsi, lorsqu'on coupe un oignon on détruit ses cellules, la vacuole se perce, le cytoplasme se propage ce qui entraîne le mélange des organites et forme une réaction chimique. Un précurseur du facteur lacrymogène, *1-propényl L-cystéine sulfoxide* (un dérivé de la cystésine), va entrer en contact avec une enzyme, l'alliinase. Cette dernière en contact de l'**eau** produit une deuxième réaction et plusieurs molécules se forment : l'acide sulfurique, l'ammoniac, l'acide pyruvique (une des molécules responsables du goût). Ces deux dernières

molécules étant en petite quantité, ne joueront pas de rôle dans la réaction, contrairement à l'acide sulfurique au contact de liquide lacimal. La composition biochimique moyenne pour 100g d'oignon est représentée dans le **tableau 2** (Konate et *al.*, 2017).

Tableau 2 : Composition chimique de l'oignon pour 100g de matière sèche (Konate et *al.*, 2017).

Composants	Valeurs
Eau	87-92 %
Glucides	9,3 g
Lipides	0,1 g
Protéines	1,1 g
Fibres Alimentaires	2,80 g
Calcium	25 mg
Magnésium	10 mg
Potassium	170 mg
fer	0,3 mg
Vitamine B1	0,06 mg
Vitamine B3	0,3 mg
Vitamine B6	0,14 mg
Vitamine B9	0,02 mg
Vitamine C	7 mg
Vitamine E	0,14 mg

1.6. Vertus nutritionnelles et thérapeutiques

La forte consommation de l'oignon dans le monde et son importance économique est due non seulement à ses vertus nutritionnelles mais également thérapeutiques (**Speck et al.**, 2008). Sur le plan nutritionnel, l'oignon est considéré comme un aliment énergétique, protecteur et de soutien du fait de sa richesse en vitamines (vitamines B, vitamine C, provitamine A), en minéraux (potassium, sodium, zinc, fer, phosphore, sélénium, magnésium, manganèse, calcium...), en lipides, en protéines, en glucides, en huiles essentielles, en acides organiques et en fibres (**CIQUAL**, 2013).

Sur le plan thérapeutique, plusieurs études ont montré que la consommation régulière d'oignon cru jouerait un rôle dans la coagulation du sang, la prévention de diverses pathologies (athérosclérose, cataracte), de certaines maladies cardio-vasculaires et de cancers (**Graft et al.**, 2005).

Il a aussi des effets thérapeutiques sur l'agrégation plaquettaire, l'hyperglycémie, le taux de triglycérides sanguins et son efficacité a été prouvée contre la toux, le rhume, les rhumatismes, les oxyures et les sciatiques (**Gabler et Osrowska**, 2006 ; **Hubbard et Wolffram**, 2006). Les propriétés antioxydantes, antibactériennes, antivirales et anticancéreuses de l'oignon sont dues à sa forte teneur en flavonoïdes (**Compaore et al.**, 2020).

1.6.1. Activités antioxydantes

C'est un fait bien établi que les flavonoïdes ont des propriétés antioxydantes. Il s'agit de l'activité la mieux étudiée et décrite des flavonoïdes de l'oignon, qui protègent les cellules et les tissus contre les espèces réactives de l'oxygène (ROS). Les ROS produisent des radicaux libres, qui endommagent les cellules de différents organes de manière exogène (**Kumar et Pandey**, 2013). Il a également été prouvé in vitro que les flavonoïdes, tels que la quercétine et le kaempférol, stabilisent les électrons libres qui proviennent des ROS (**Pietta**, 2000). Le principal flavonoïde présent dans l'oignon est la quercétine (**Sellappan et Akoh**, 2002). Les couches extérieures sèches de l'oignon, qui sont éliminées avant la transformation des aliments, comme la cuisson, contiennent de grandes quantité de quercétine (**Gulsen et al.**, 2007), qui est un antioxydant efficace contre la peroxydation lipidique non enzymatique et l'oxydation des lipoprotéines de basse densité (LDL). La quercétine, et son composé dimérisé, présentent

l'activité antioxydante la plus élevée, qui est comparable à celle de l' α -tocophérol. Par conséquent, l'extrait de la couche externe de l'oignon devrait être une ressource pour les ingrédients alimentaires (Ly *et al.*, 2005).

1.6.2. Activités antibactériennes

Plusieurs études ont révélé que les flavonoïdes de l'oignon ont de fortes propriétés antimicrobiennes (Kumar et Pandey, 2013). Leur action inhibitrice antibactérienne consiste à entraver la formation d'enzymes microbiennes, d'adhésines et de protéines de transport (Mishra *et al.*, 2009). La quercétine est l'un des flavonoïdes les plus étudiés qui inhibe la croissance bactérienne (Wu *et al.*, 2008). Elle a montré un grand potentiel pour inhiber complètement la croissance de *Staphylococcus aureus* (Havsteen, 1983).

Il a été rapporté que les extraits d'oignon exercent des effets bactéricides sur *Streptococcus mutans*, *Streptococcus sobrinus*, *Porphyromonas gingivalis* et *Prevotella intermedia* (bactéries Gram-positives), considérées comme les principales bactéries responsables des caries dentaires et de la parodontite adulte, respectivement (Bakri et Douglas, 2005). Cependant, l'oignon n'est pas efficace contre les bactéries Gram-négatives (Griffiths *et al.*, 2002).

1.6.3. Activités antivirales

Des études suggèrent que les flavonoïdes de l'oignon sont connus pour être très efficaces contre les virus depuis longtemps. Le mécanisme d'inhibition de la croissance virale réside dans le blocage et la destruction de la synthèse de protéines et des acides nucléiques viraux (Zandi *et al.*, 2011). En particulier, les substances phytochimiques présentes dans les oignons, comme la quercétine et le kaempférol, jouent un rôle important dans la réduction de la croissance de divers virus (Kumar et Pandey, 2013).

1.6.4. Activités anticancéreuses

Les substances phytochimiques de l'oignon jouent un rôle crucial dans la prévention de diverses activités cancérogènes. De nombreuses études ont révélé le rôle positif des flavonoïdes dans la réduction du risque de cancer (Kamaraj *et al.*, 2009). Les flavonoïdes adoptent ou suivent différents mécanismes pour prévenir le cancer, notamment l'arrêt du cycle cellulaire, l'inhibition de la tyrosine kinase, la régulation de la protéine p53, l'inhibition de la protéine de

choc thermique et le blocage de l'expression de la protéine Ras (une classe de protéines cellulaires) (**Duthie et al.**, 2000).

Kumar et Pandey (2013) ont suggéré que la consommation d'oignons réduit le risque de cancer pour différents organes, tels que la prostate, l'estomac, le sein et les poumons. La quercétine a été testée comme inhibiteur de la tyrosine kinase dans un essai de phase I sur l'homme. Le kaempférol a également montré son potentiel positif contre le cancer des ovaires, le cancer du poumon, la leucémie, le cancer de la vessie, de la prostate, du sein et du pancréas (**alderon- Montaña et al.**, 2011 ; **Chen et al.**, 2012 ; **Kim et Choi**, 2013).

1.7. Utilisations de l'oignon

Aujourd'hui, les oignons sont disponibles sous forme fraîche, congelée, en conserve, marinée et déshydratée. Les oignons peuvent être utilisés, généralement hachés ou tranchés, dans presque tous les types d'aliments, y compris les aliments cuits et les salades fraîches, et comme garniture épicée. Ils sont rarement consommés seuls mais servent généralement d'accompagnement au plat principal. Selon la variété, l'oignon peut être piquant, épicé et piquant ou doux et sucré (**INERA**, 2013).

Les oignons sont un aliment de base en Algérie, et sont donc essentiels à la cuisine Algérienne. Ils sont généralement utilisés comme base pour presque tous les plats et mets traditionnels tels que la chakchouka aux oignons et aux œufs, la Mahjouba traditionnelle, la kesra aux oignons et à la tomate, le brik aux oignons et aux œufs, etc ... (**MADR**, 2019).

1.7.1. Utilisations de la poudre d'oignon en Algérie

La poudre d'oignon est un produit aromatique qui peut être utilisé dans la plupart des préparations ou entre habituellement l'oignon frais. Lorsqu'il est bien conditionné, c'est un produit stable. L'oignon en poudre, est préparé à partir d'oignon déshydraté et pulvérisé. La poudre, de couleur blanchâtre, peut être fine ou granuleuse dépendant du degré de pulvérisation. Elle peut être utilisée comme condiment sur une variété d'aliments et de plats, tels que les pâtes alimentaires, les pizzas et les grillades. Présente un goût légèrement piquant et sucré, la poudre d'oignon est également utilisée par l'industrie agro-alimentaire comme assaisonnement (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Utilisations de l'oignon en poudre en Algérie (MADR, 2019).

Produits alimentaires	Quantité de la poudre d'oignon
 	0,5%
	0,3%
 Ingredients : Nouilles instantanées (92 %) : farine de blé, huile végétale de palme, sel, (SIN 412) : stabilisant, (SIN 500) : régulateur d'acidité, (SIN 501i) : régulateur d'acidité, (SIN101 i) inférieur à 300 mg/kg : colorant alimentaire végétal. Assaisonnement (7,7%) : Sel, légumes (oignon, tomate, ail), maltodextrine, extrait de protéines végétales, arômes, curcuma, fer (pyrophosphate ferrique), huile de tournesol, vitamine A, (SIN 621) : exhausteur de goût, (SIN 551) : antiagglomérant. Epice (0,3%) : chili en poudre. Les additifs alimentaires sont utilisés selon les bonnes pratiques de fabrication. Peut contenir des traces de : lait	0,7%

1.8. Importance économique de l'oignon

Plus que tout autre légume, les ménages ne peuvent se passer de l'oignon. Ce dernier figure parmi les cultures maraîchères stratégiques dans plusieurs continents (Mah, 2012). Dans le monde, de nombreux pays produisent l'oignon. Environ 190 pays produisent des oignons à des fins de consommation nationale et nombre d'entre eux participent aux échanges internationaux (FAOSTAT, 2021). Les oignons font l'objet d'intenses échanges commerciaux, auxquels plus de 100 pays participent à travers le monde. Il n'est donc pas étonnant que la valeur des exportations mondiales d'oignons par pays ait atteint le chiffre impressionnant de 3,1 milliards d'USD en 2016.

1.8.1. Production mondiale

La production mondiale d'oignons est estimée à 85 millions de tonnes par an (FAOSTAT, 2021). La Chine est le plus grand producteur d'oignons au monde avec un volume de production de 23,39 millions de tonnes par an. L'Inde arrive en deuxième position avec une production annuelle de 19,4 millions de tonnes. L'Asie représente 50% des volumes de la production d'oignons mondiale loin devant l'Europe, l'Afrique ou l'Amérique qui représentent chacun environ 10 %.

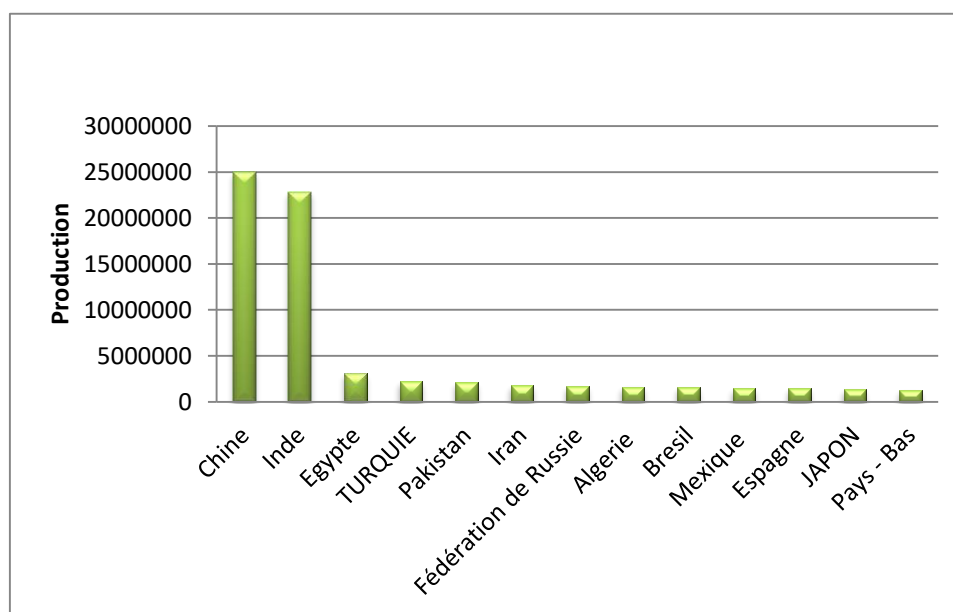


Figure 5 : Production d'oignon dans le monde (FAOSTAT, 2021).

1.8.2. Production locale

En 2019, la production nationale de l'oignon a été estimée à 1,6 millions de tonnes (**MADR**, 2019). Selon la même source, les wilayas potentielles en matière de production de l'oignon sont Mascara, Tiaret et Skikda (**MADR**, 2019). La culture plein champ de l'oignon a occupé en 2016 près de 50.000 hectares en Algérie pour un rendement moyen de 300 q/ha. La production d'oignon en Algérie est illustrée sur la **figure 6**.

Malgré la croissance de la production d'oignon, ce légume fait défaut sur le marché à partir d'une certaine période de l'année et l'Algérie est contrainte à l'importer à partir d'autres pays, notamment d'Espagne (**MADR**, 2014). En effet, la production de l'oignon bulbe est réalisée pendant la saison sèche et est caractérisée par un seul cycle qui s'étale de novembre à janvier et des périodes de récolte qui s'arrêtent entre mars et avril (**Garané et al.**, 2019). A cette saisonnalité de la production, s'ajoute la faiblesse d'infrastructures adaptées de conservation de l'oignon avec parfois d'énormes pertes pour les producteurs pouvant atteindre 30 à 40% de la récolte, ce qui constitue une entrave au développement de la filière. En outre, en Algérie l'oignon ne bénéficie pas pour l'instant d'un procédé particulier de transformation. Il est généralement utilisé frais dans les préparations culinaires. Il s'avère donc nécessaire d'identifier des voies et moyens pour réduire les pertes post-récoltes, pérenniser l'oignon tout au long de l'année et valoriser davantage sa production croissante.

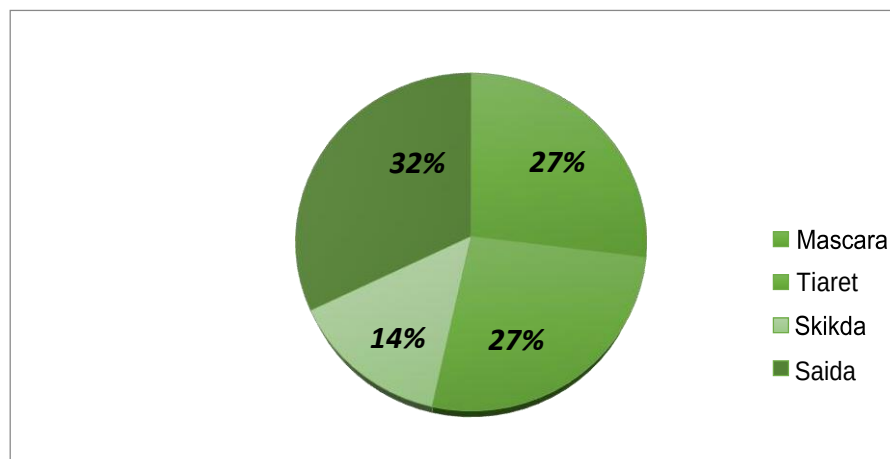


Figure 6 : Production de l'oignon en Algérie (**MADR**, 2019).

Chapitre 2 : La déshydratation osmotique

Chapitre 2 : La déshydratation osmotique

2.1 Définition

La technique de déshydratation osmotique a surtout été utilisée pour développer de nouveaux produits, car elle affecte les propriétés nutritionnelles et sensorielles des fruits et légumes frais (**Khan**, 2012). C'est l'un des moyens d'assurer la durabilité des aliments (poisson, légumes, fruits et viande) et constitue la plus ancienne méthode de conservation connue de l'homme (**Nastaj & Witkiewicz**, 2004).

Ces dernières années, le développement d'aliments à humidité intermédiaire par l'utilisation de la déshydratation osmotique a été très apprécié par les consommateurs en raison du traitement minimal (**Silva et al.**, 2014).

La déshydratation osmotique est un processus de prétraitement qui repose sur le phénomène de diffusion de l'humidité à partir de matières alimentaires en les immergeant dans une solution hypertonique (**Tortoe**, 2010).

Différents types d'agents osmotiques tels que le glucose, le sirop de maïs, le chlorure de sodium, les concentrés d'amidon, le fructose et le saccharose sont utilisés en fonction du produit final. La déshydratation osmotique est généralement suivie par d'autres méthodes de séchage telles que le séchage à l'air, la friture, la lyophilisation afin de produire un produit final de meilleure qualité (**Khan**, 2012).

2.2 Principe et mécanisme

Le traitement osmotique est en fait une combinaison de processus de déshydratation et d'imprégnation, qui permet de minimiser les modifications négatives des composants des aliments frais.

La déshydratation osmotique, également appelée "processus de trempage d'imprégnation de déshydratation", est un processus d'élimination de l'eau qui implique le trempage de fruits et de légumes dans un sel ou un sucre hypertonique ou dans une solution combinée, afin de réduire la teneur en eau tout en augmentant la teneur en solides solubles (**Falade et Igbeka** 2007).

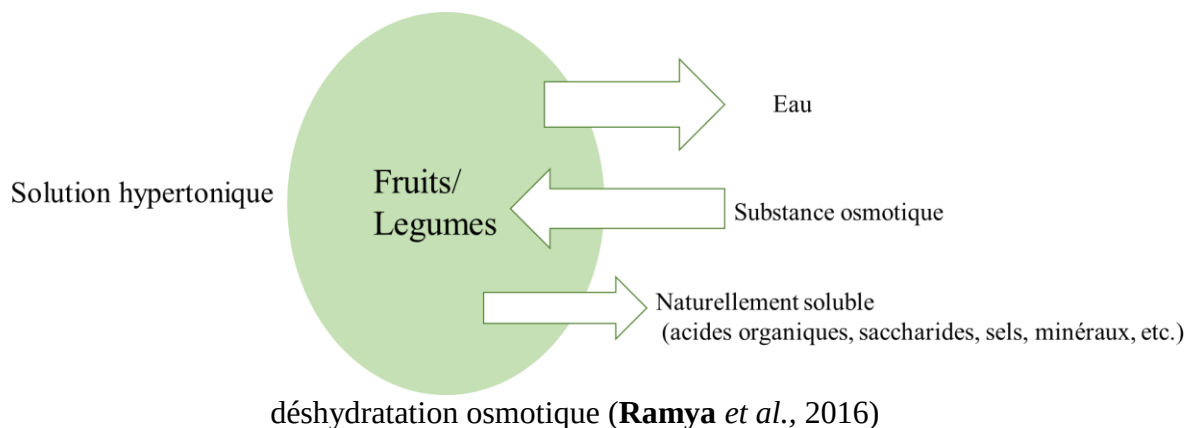
La matière première est placée dans des solutions concentrées de solides solubles présentant une pression osmotique plus élevée et une activité de l'eau plus faible. Ceci résulte

en trois types de phénomène de transfert de masse inverse dans le processus de déshydratation osmotique (Akbarian *et al.*, 2014).

(1) L'eau diffuse du produit vers la solution, à un rythme plus rapide au début et lentement par la suite. (2) Un transfert de soluté, de la solution vers le produit ; il permet ainsi d'introduire la quantité désirée d'un principe actif, d'un agent de conservation, de tout soluté ou encore une amélioration de la qualité sensorielle du produit. (3) Le lessivage des solutés propres aux produits (sucre, acides organiques, minéraux, vitamines, etc.), qui est quantitativement négligeable par rapport aux deux premiers types de transfert, mais essentiel en ce qui concerne la composition du produit final.

Le diagramme schématique du transfert de masse pendant le processus de déshydratation osmotique est donné dans la **Figure 7**.

Figure 7 : Le transfert de masse dans les fruits ou les légumes pendant processus de



Lorsqu'un matériau solide cellulaire est immergé dans une solution hypertonique, les cellules de la première couche du matériau entrent en contact avec la solution hypertonique et commencent à perdre de l'eau en raison du gradient de concentration entre les cellules et la solution hypertonique ; elles commencent alors à se rétracter. Après que les cellules de la première couche perdent de l'eau, une "différence de potentiel chimique de l'eau" entre la première couche de cellules et la deuxième couche de cellules est établie. Par la suite, les cellules de la seconde couche commencent à pomper de l'eau vers les cellules de la première couche, puis à se rétracter. Les phénomènes de transfert de masse et de rétraction des tissus se propagent de la surface vers le centre du matériau en fonction de la durée de l'opération. Enfin, les cellules du centre matériel perdent de l'eau et le processus de transfert de masse tend à s'équilibrer après une longue période de contact solide-liquide. Le transfert de masse

et le rétrécissement du tissu se produisent simultanément au cours du processus de déshydratation osmotique (**Phisut**, 2012).

Afin d'améliorer l'efficacité du processus de déshydratation osmotique, divers traitements peuvent être appliqués pour faciliter la diffusion de l'eau : ultrasons, irradiation, champ électrique pulsé, etc. Pour une conservation de très longue durée, le produit obtenu après déshydratation osmotique peut encore subir un traitement complémentaire, tel qu'un séchage à l'air (**Garcia-Segovia et al.**, 2010). Il n'est généralement pas intéressant d'utiliser la technique de déshydratation osmotique pour une réduction de poids de plus de 50 %, en raison de la diminution de l'efficacité du procédé.

2.3 Cinétique de la déshydratation osmotique

Les cinétiques de transfert de matière dans les produits végétaux (Tableau 3) peuvent se décomposer en deux phases : une première phase, responsable de l'essentiel des transferts d'eau et de solutés, suivie d'une seconde phase, pendant laquelle la perte en eau ralentit fortement tandis que les débits d'entrée en solutés continuent d'augmenter régulièrement (**Kowalska et al.**, 2008). Il semble probable que les membranes cellulaires soient victimes d'une perte de leur caractère semi-perméable, permettant progressivement aux solutés de pénétrer dans la cellule (**Raoult-Wack**, 1994). La durée de la première phase est très variable suivant le produit traité, d'une demi-heure à deux heures dans les conditions les plus courantes (morceaux de petites tailles, de l'ordre du cm³). Ces transferts se déroulent à travers les parois et membranes cellulaires du produit. À l'intérieur de ces derniers, les espaces intercellulaires servent de lieux d'accumulation ou de passage pour les substances échangées (**Kowalska et al.**, 2008).

Tableau 4 : Les conditions optimales de la déshydrations osmotique des fruits et légumes.

Légumes/ Fruits	Agent osmotique Et concentration	Temp- érature C°	Forme et taille de l'échantillon	Références
--------------------	-------------------------------------	---------------------	-------------------------------------	------------

Tomates	Sucre (25-35%) + sel (5-10%)	30–60	Tranches, 0,5 mm	Antonio et al., (2008)
Choux	Betterave sucrière Mélasse, 40-80%	50	Cubes 10 mm ³	Misljenovic et al., (2009)
Oranges	Saccharose 65° Brix		Disque 10 mm d'épaisseur	Khatir, 2013
Oignons	NaCl, 10–20°Brix	30	Tranches 4 mm	Revaskar et al., (2014)
Pamplemousse	Sirop de sucre, 40 et 60°Brix Sel, 5-20%.	35–55	Pièces parallélépipédiques	Swami et al., (2014)
Ananas	Saccharose, 40-60°Brix	Temp. ambiante	Cubes	Chaudhari et al., (2015)
Fraise	Saccharose 50° Brix	50	Tranches, 0,5 mm	Ferradji et al., 2016
Banane	Sirop de sucre, 50°Brix	30	Tranchs 8mm	Kumari et Samsher, (2015)
Carottes	Saccharose 50° Brix	55	Disque, diamètre 24 mm et 10 mm d'épaisseur	Ferradji et al., 2017
Grenade	Saccharose 50° Brix	40	Cubes 10 mm ³	Khoualdia et al., 2020

Deux approches sont employées afin d'étudier la cinétique de la déshydratation osmotique: L'approche classique se base sur la détermination de deux paramètres. En effet, des travaux antérieurs ont prouvé que deux paramètres peuvent quantitativement représenter le processus osmotique. Ces paramètres sont la perte d'eau (WL), indiquant l'eau qui sort du matériel cellulaire vers la solution et le gain en solides (Solids Gain).

Ces paramètres sont habituellement déterminés par la mesure des solides totaux ou par analyse chimique (**Krokida et al.,** 2000 ; **Segovia Garcia et al.,** 2010).

2.4 Principaux facteurs influençant les performances de la DO

La déshydratation osmotique en tant que processus de transfert de masse est affectée par différents facteurs. La cinétique du transfert de masse est décrite en utilisant des termes tels que perte d'eau, gain de solides ou de solutés et réduction de poids (**Pekoslawska et Lenart**, 2009).

Le tableau 3 présente un bref aperçu de la déshydratation osmotique de plusieurs fruits et légumes. Le tableau montre les variables et leurs gammes pour la déshydratation osmotique des fruits et légumes. Certains facteurs qui affectent le transfert de masse pendant la déshydratation osmotique sont les facteurs liés au prétraitement, au produit et à la solution osmotique.

2.4.1 Facteurs liés à l'aliment

La géométrie de l'échantillon affecte le comportement de la concentration osmotique en raison de la variation de la surface par unité de volume (ou de masse) et de la longueur de diffusion de l'eau et des solutés impliqués dans le transport de masse (**Tortoe**, 2010). La forme de la matière solide est un autre facteur important car la perte d'humidité et le gain de matières solides diminuent avec une augmentation de la taille de l'échantillon. Si le solide est de plus grande taille, il se déshydratera plus lentement car la longueur du chemin de diffusion est plus grande et la surface disponible pour l'échange de solides est moins importante les solides pénètrent donc plus lentement dans l'échantillon (**Nieuwenhuijzen et al.**, 2001 ; **Rastogi et al.**, 2002).

Au cours d'un traitement osmotique, la membrane cellulaire semi-perméable peut passer d'une perméabilité partielle à une perméabilité totale, ce qui entraîne des changements importants dans l'architecture des tissus. La perte d'eau pendant le traitement osmotique a entraîné un rétrécissement des cellules, conduisant à des dommages cellulaires à des dommages cellulaires en raison de la perte de contact entre la membrane cellulaire et la paroi cellulaire (**Bellary et Rastogi**, 2012).

En particulier, la porosité de la matière première a un effet significatif sur les phénomènes de rétraction et les taux de transfert de masse ainsi que sur le taux de réhydratation (**Bekele et Ramaswamy**, 2010).

Yan et al., (2008) ont souligné que le volume spécifique, rétraction et la porosité de la banane, de l'ananas et de la mangue diminuent avec la réduction de la teneur en eau pendant séchage.

2.4.2. Facteurs liés aux solutions osmotiques

Le processus osmotique est également affecté par les propriétés physico-chimiques des solutés employés, car une différence dans l'efficacité de la déshydratation découle principalement des différences de poids moléculaire, d'état ionique et de solubilité du soluté dans l'eau (**Bekele et Ramaswamy**, 2010).

Le choix du soluté doit tenir compte des principaux facteurs suivants tels que la température de la solution osmotique, la concentration de l'agent osmotique, le type d'agent osmotique, l'agitation/le brassage pendant le processus osmotique, le rapport entre la solution osmotique et la masse des aliments.

2.4.2.1. Concentration de la solution osmotique

La concentration de l'agent osmotique joue un rôle important dans la déshydratation osmotique, L'augmentation de la concentration de la solution entraîne l'augmentation des gradients de pression osmotique et une perte d'eau plus importante (**Phisut**, 2012).

Au cours d'un traitement osmotique prolongé, l'augmentation des concentrations de solutés entraîne l'augmentation des taux de perte d'eau et de gain de matières solides (**Phisut**, 2012).

Une solution de saccharose moins concentrée entraîne une perte minimale de rapports de gain d'eau et de solides (**Tortoe**, 2010).

Bekele et Ramaswamy (2010) ont examiné que les solutions mixtes de saccharose/sel donnent une plus grande diminution de l'activité de l'eau du produit que les solutions de saccharose pur, bien que les taux de transport de l'eau soient similaires. Le pH de la solution peut également affecter le processus osmotique. L'acidification augmente le taux d'élimination de l'eau l'élimination de l'eau en modifiant les propriétés des tissus et en de la texture des fruits et légumes.

Lorsque la concentration de la solution augmente, la résistance au transfert de masse dans la solution adjacente à la surface des échantillons augmente également (**Nieuwenhuijzen et al.**, 2001). C'est pourquoi, plus de temps est nécessaire pour que la

solution concentrée atteint le stade de l'équilibre. Plus la concentration de la solution est élevée, plus le stade d'équilibre est élevé.

Cela a été attribué au fait que lorsque la concentration augmente, on observe que les solutions osmotiques sont plus visqueuses et donc que les solutés ont plus de difficultés à pénétrer, la viscosité de la solution étant un facteur limitant (**Oladejo et al.**, 2013).

2.4.2.2. Température de la solution osmotique

Il est bien connu que la diffusion est un phénomène dépendant de la température. La variable la plus importante affectant de manière marquée la cinétique du transfert de masse pendant la déshydratation osmotique est la température (**Mokhtarian et al.**, 2014). Par conséquent, il est assez logique de s'attendre à ce qu'une augmentation de la température et de la concentration de la solution de sucre entraîne une augmentation de la perte de poids, de la perte d'humidité et du gain de solides (**Narang et Pandey**, 2013).

L'élimination rapide de l'eau dans les premiers stades avec l'augmentation température de l'osmose a été signalée pour les champignons (**Ramya et al.**, 2014), les citrouilles (**Mokhtarian et al.**, 2014), oignon (**Alam et Islam**, 2013), tomate (**Tonon et al.**, 2007), pêche (**Yadav et al.**, 2012), mangue (**Oladejo et al.**, 2013) et la papaye (**Jain et al.**, 2011).

2.4.2.1 Composition de la solution osmotique

La composition des solutions (type, masse moléculaire du soluté) mises en œuvre en DO est un facteur clé du procédé (**Corrêa et al.**, 2010). Les solutions sont préparées à partir de solutés cristallins solubles ou de solvants miscibles à l'eau, utilisés seuls ou en mélange. Les constituants doivent être dépourvus de toute toxicité, présenter une solubilité suffisante et être, idéalement, bon marché (**Rastogi et al.**, 2004).

Utiliser différents solutés en mélange permet de tirer parti de l'effet respectif de chacun (masse molaire, propriétés de diffusion, etc.), mais aussi de développer des interactions spécifiques (soluté-soluté et soluté-aliment) pour mieux maîtriser les niveaux de déshydratation et d'imprégnation (**Giraldo et al.**, 2003).

L'addition de NaCl à une solution osmotique semble augmenter la force d'entraînement lors de la déshydratation. Ce phénomène est attribué à la capacité du NaCl d'abaisser l'activité de l'eau (a_w) (**Kowalska et al.**, 2008).

LeMaguer *et al.*, (1997) ont montré que l'utilisation d'une solution osmotique contenant 44 % de saccharose et 7 % de NaCl permet d'optimiser les conditions de déshydratation osmotique des carottes.

2.4.3. Durée du traitement

La durée du traitement est un facteur important à considérer, quels que soient les produits traités. Généralement, la perte d'eau, la réduction de masse et le gain en solides augmentent avec le temps de traitement (**Kowalska** *et al.*, 2008).

Lenart (1996) a montré que la durée de déshydratation de morceaux de pomme ne doit pas dépasser une durée de 15 min à une température comprise entre 70 et 90 °C

Marchal *et al.*, (2005) ont rapporté un changement de sélectivité au cours de la déshydratation, c'est-à-dire que le rapport de la perte en eau sur le gain en solide (PE/GS) décroît au cours du temps. Ce phénomène déjà mentionné est attribué à la mort des cellules qui accompagne l'augmentation de la concentration en sucre dans le tissu (**Mavroudis** *et al.*, 2004). Ceci conduit à la perte de fonctionnalité de la membrane cellulaire et peut affecter la qualité du produit.

2.4.4. Effet de l'agitation sur la déshydratation osmotique

L'agitation est en effet l'un des facteurs clés et un niveau d'agitation adéquat permet de minimiser ou d'éliminer la résistance au transfert de masse côté liquide et d'assurer une force d'entraînement constante (**Rastogi** *et al.*, 2002).

L'utilisation de solutions de sucre très concentrées crée des problèmes majeurs tels que la flottaison des morceaux d'aliments, l'entrave au contact entre les aliments et la solution osmotique, la réduction des taux de transfert de masse.

Ainsi, pour améliorer le transfert de masse et pour éviter la formation d'un film de solution diluée autour des échantillons, un processus d'agitation ou de brassage peut être appliqué pendant la déshydratation osmotique (**Gupta** *et al.*, 2012 ; et pour éviter la formation d'un film de solution diluée autour des échantillons, un processus d'agitation peut être appliqué pendant la déshydratation osmotique (**Akbarian** *et al.*, 2014). Cependant, l'agitation peut être difficile et peut endommager l'échantillon. La circulation du sirop avec une pompe centrifuge est simple et assez efficace.

Gupta et al., (2012) ils ont développé un bonbon au miel et au gingembre en utilisant la déshydratation osmo-convective. La température de la solution a été maintenue par une agitation dans un bain d'eau chaude à 75 oscillations par minute pour réduire la résistance au transfert de masse à la surface du gingembre et de mieux contrôler la température dans le milieu osmotique. Le résultat a indiqué que, l'augmentation de la perte d'eau et du gain de soluté avec le temps d'immersion et la température peut être due à l'agitation communiquée pendant le processus de déshydratation osmotique, qui a réduit la résistance au transfert de masse entre la surface du gingembre et le miel.

2.4.5. Effet du rapport solide/solution

Des études ont montré qu'un rapport pondéral, solution de déshydratation/tranches de fruit, trop grand (facteur de dilution trop marqué), rend difficile la détermination des différentes substances diffusées et le suivi efficace du phénomène osmotique. Par contre, un rapport petit ralentit le taux de diffusion (**Adamrounou et al.**, 1994).

2.4.6 mode de mise en contact des phases

Les transferts de matière dépendent fortement de la manière dont sont mises en contact les phases solide (fragile et « légère » ; l'aliment) et liquide (« lourde » et visqueuse, la solution hypertonique). Une viscosité élevée du liquide augmente la résistance externe (à l'interface (solide/liquide) aux transferts de matière et nécessite la mise en œuvre d'un système de brassage adapté, compatible avec la fragilité des produits.

Pour une meilleure efficacité de la DO, les systèmes de mise en contact des phases doivent permettre de réduire la dispersion des temps de séjour, forcer l'immersion des produits, réduire les effets de couches limites et préserver la forme et la fragilité des produits (**Adamrounou et al.**, 1994).

2.5 Application de la déshydratation osmotique

La déshydratation osmotique est un procédé relativement lent. Il est donc important de trouver des méthodes qui augmentent le transfert de masse sans affecter la qualité du produit. Ainsi, un traitement permettant d'augmenter la perméabilité des membranes cellulaires et de faciliter la libération de l'eau pendant la déshydratation osmotique est obligatoire. Parmi les prétraitements utilisés, on peut citer les méthodes thermiques de blanchiment et de congélation. D'autres procédés consistent à remplacer un traitement unique (ici, la DO) par la combinaison de plusieurs techniques de conservation modérées, respectueuses du produit

et pouvant accélérer les transferts. Ces techniques peuvent être l'application du vide, les hautes pressions hydrostatiques, l'ultrasons, les irradiations, la centrifugation, le champs électrique pulsé, etc. (**Bchir.B.**, 2011).

2.5.1 Pré-traitement thermique

2.5.1.1 Le blanchiment

Le blanchiment est un traitement thermique, réalisé par immersion du produit dans un bain d'eau chaude, par passage dans une atmosphère de vapeur ou par chauffage ohmique. Sa durée est de quelques minutes, dans une gamme de 85 °C à 100 °C. Il permet de détruire les enzymes susceptibles d'altérer les légumes ou les fruits avant son traitement ultérieur (dans notre cas, c'est la déshydratation). Ce procédé prévient ainsi un certain nombre d'altérations organoleptiques telles que des modifications de saveurs et de couleurs (dégradation de la chlorophylle, brunissement des pommes, etc.). Il limite également certaines pertes nutritionnelles comme la destruction des vitamines et permet l'élimination de l'air et des gaz occlus dans les tissus végétaux facilitant la réhydratation (**Dermesonlouoglou et al.**, 2008).

En accompagnant la DO, le blanchiment facilite le transfert des matières dissoutes, comme il l'a été rapporté pour les tranches de pomme et de tomate précédemment blanchies à la vapeur (**Dermesonlouoglou et al.**, 2008 ; **Kowalska et al.**, 2008).

2.5.1.2 La congélation

La congélation maintient la température au cœur de la denrée jusqu'à -18°C. Ce procédé provoque la cristallisation en glace de l'eau contenue dans les aliments. On assiste alors à une diminution importante de l'eau disponible, soit à une baisse de l'activité de l'eau (A_w). La congélation permet la conservation des aliments à plus long terme que la réfrigération (**Boumendjel**, 2005).

La vitesse de congélation et la température finale de conservation sont des points critiques pour le maintien des propriétés sensorielles, fonctionnelles ou biologiques après la congélation. Une congélation très lente peut conduire à un exsudat excessif à la décongélation, alors qu'une congélation très rapide permet de préserver la texture de certains produits (**Talens et al.**, 2003).

2.6 Méthodes combinées à la DO

2.6.1 Imprégnation sous vide

Le procédé de DO pour les produits végétaux est généralement mis en œuvre à pression atmosphérique (**Wack Raoult**, 1994). Toutefois, l'application d'une dépression stationnaire augmente la vitesse de déshydratation (**Corrêa et al.**, 2010).

La présence de gaz occlus dans les espaces intercellulaires de la structure poreuse du produit traité apparaît comme la cause principale de la modification des cinétiques de transferts de matières (**Fito**, 1994 ; **Wu et al.**, 2009).

Pendant la DO sous vide, le gaz est expulsé du tissu tandis que l'écoulement capillaire augmente. L'augmentation de la vitesse du transfert d'eau est principalement attribuée à l'action combinée du vide et de l'écoulement capillaire, qui dépend lui-même du volume de gaz occlus dans le tissu. Par conséquent, l'accélération des transferts de matière en DO sous vide est d'autant plus marquée que la porosité du produit est plus importante (**Corrêa et al.**, 2010). Cependant, sous vide pulsé, c'est l'imprégnation qui est favorisée. En effet, lorsque le produit revient à pression atmosphérique, la solution concentrée pénètre massivement dans les pores du produit alimentaire, ce qui a pour conséquence ultérieure d'augmenter la surface de contact entre le produit et la solution et d'accélérer ainsi les transferts de matières (**Fito**, 1994).

Corrêa et al., (2010) ont obtenu par cette technique une perte d'eau plus élevée que dans le cas d'une déshydratation osmotique ordinaire, en utilisant le vide seulement pendant 15 min.

La technologie du sous vide partiel cyclique trouve tout son potentiel lorsque l'on souhaite formuler le produit à l'aide d'additifs. Ainsi, la texture des fruits peut être améliorée par immersion sous vide dans une solution contenant de la pectine-méthylestérase ou différentes solutions salines, par exemple à base de chlorure de calcium ou de nitrate de calcium (**Javeri et al.**, 1991). La DO sous vide permettrait d'obtenir des produits de qualité organoleptique et physicochimique supérieure à celle des produits traités par DO à pression atmosphérique. De plus, cette alternative réduit les coûts énergétiques globaux (**Fito**, 1994).

2.6.2 Centrifugation

Cette technique peut être utilisée pour augmenter la perte en eau tout en retardant le gain en solide.

Azuara et al., (1998) ont appliqué une force centrifuge de 64 g pendant la déshydratation osmotique de disques de pomme et entière à 30°C. Ils ont observé que ces conditions augmentent le transfert de masse (perte en eau) de 15 % tout en retardant considérablement (80 %) le gain en solide.

2.6.3 Ultrasons

L'application d'ultrasons (onde à fréquence supérieur à 20 000 Hz) a déjà fait ses preuves dans l'augmentation du taux de transfert de masse pour la déshydratation osmotique de tissus poreux comme des cubes de pomme.

Simal et al., (2001) ont obtenu par cette technique une perte d'eau de 27 % et un gain de solide de 23 % plus élevés que dans le cas d'une DO ordinaire. L'application d'ultrasons produit un phénomène de cavitation consistant en la formation dans le liquide de bulles de gaz qui engendrent, en éclatant, des fluctuations de pression (**Fernandes et al.**, 2009). Cet effet facilite la diffusion pendant le processus osmotique et accélère le dégazage du produit, tout en préservant la saveur, la couleur et les composants nutritifs les plus sensibles à la chaleur (**Simal et al.**, 2001). Cette technique permet aussi l'inactivation des enzymes et des bactéries en cassant leurs membranes cellulaires (**Jambrak et al.**, 2010).

2.6.4 Chlorure de sodium

D'après **Simal et al.**, (2001), le chlorure de sodium est un excellent agent osmotique, en raison de sa faible masse moléculaire qui se reflète par sa grande mobilité pendant le transfert de masse. Dans le cas des solutions sucrées-salées, des effets fortement antagonistes sur le gain en solutés ont été identifiés. L'imprégnation en sel est en particulier limitée par la présence de sucre. Cet effet « barrière » du sucre sur la pénétration du sel a été mis en évidence sur des produits végétaux (**Lenart**, 1996). Il serait dû à la formation, dans l'aliment, d'une couche périphérique fortement concentrée en sucre. En même temps, la présence de sucre diminuerait fortement le coefficient de diffusion du NaCl (**Lenart**, 1996). La présence de sel empêche par ailleurs dans certains cas la formation d'une croûte superficielle (croustage du produit) causée par le sucre.

2.6.5 Haute pression hydrostatique

Les traitements à haute pression permettent une stabilisation microbiologique significative des aliments, tout en préservant les qualités organoleptiques et nutritionnelles de manière plus importante que les traitements thermiques. Certaines études (**Rastogi et al.**,

2004) ont mis en évidence le fait que le prétraitement à haute pression crée un compactage de la structure cellulaire accompagné d'une libération de composants cellulaires. Ce phénomène a pour conséquence la formation d'un gel par liaison d'ions divalents avec la pectine estérifiée qui limite le coefficient de diffusion des solides. À haute pression, les membranes cellulaires sont réversiblement perméabilisées. Ce phénomène est imputable aux transitions de phase des bicouches lipidiques de la membrane cellulaire. Cet effet est recherché pour l'élaboration rapide des fruits sucrés tout en préservant l'aspect, les qualités organoleptiques et nutritionnelles du produit frais. Cependant, la technologie haute pression reste couteuse, du fait des contraintes de fabrication des enceintes et par leur capacité limitée.

2.6.6 Irradiation

Cette technique est utilisée par l'industrie agroalimentaire depuis une cinquantaine d'années elle a objectif d'augmenter la durée de conservation des aliments en leur infligeant une dose radioactive légère (**Anonyme**, 2010).

L'ionisation ou l'irradiation sont des techniques qui consistent à « bombarder » le produit par des radiations ionisantes créés par accélération d'électrons, par isotopes radioactifs ou par une source de rayon X. L'irradiation est le plus souvent utilisée pour le traitement des aliments solides (viandes, fruit de mer, épices), séchés ou frais (**Boumendjel**, 2005).

2.6.7 Traitement par champ électrique pulsé

Le traitement par champ électrique pulsé, pour une intensité de champ électrique comprise entre 0,5 et 15 kV.cm⁻¹, entraîne une augmentation de la perméabilité des membranes végétales. Son action instantanée, sa courte durée d'application (moins d'une seconde) et la possibilité de traiter des aliments solides à basse température, rendent le champ électrique pulsé plus prometteur qu'un traitement thermique dans une perspective de diffusion ou d'extraction d'eau (séchage) ou de métabolites (**Ade-Omowaye et al.**, 2003). Un autre avantage du champ électrique pulsé réside dans le fait qu'il n'augmente pratiquement pas la température du produit.

Ade-Omowaye et al., (2003) ont montré que la cinétique de DO à 20 °C du paprika traité à 2,5 kV.cm⁻¹ est comparable à celle d'une DO réalisée à 55 °C sur le même produit sans application de champ électrique.

2.7 Stabilisation des produits déshydratés osmotiquement par des traitements physiques

Les produits issus du procédé de déshydratation osmotique sont classés parmi les produits à humidité intermédiaire (PAI), (**Garcia-Martinez et al.**, 2002).

Aussi, le produit n'est pas encore microbiologiquement stabilisé et l'activité de l'eau peut y être élevée. Plusieurs traitements ont été proposés pour parfaire le processus : séchage, congélation, pasteurisation, friture, etc. Les plus communs sont le séchage par air et la congélation (**Agnelli et al.**, 2005).

2.7.1 Congélation

La congélation des aliments est un excellent moyen de maintenir pendant longtemps, presque inchangées, leurs valeurs nutritionnelles. Cette préservation de la qualité s'explique tant par l'abaissement de la température qui ralentit les réactions biochimiques et inhibe les activités microbiennes que par la réduction de l'activité de l'eau du substrat (**Floury et al.**, 2008). La possibilité de prétraiter les produits par une déshydratation partielle avant congélation semble prometteuse (**Wu et al.**, 2009). Cette technique, dite de déshydro-congélation, permet la réduction de la quantité d'eau dans le produit afin de diminuer la quantité de cristaux formés, le temps de congélation et de décongélation. Il en résulte une meilleure conservation des propriétés du fruit. La déshydratation osmotique constitue de ce point de vue un prétraitement efficace (**Dermesonlouoglou et al.**, 2008).

Au point de vue énergétique, on notera que, sans déshydratation préalable, la congélation des fruits nécessite entre 250 et 340 kJ.kg⁻¹ d'eau congelée et entre 150 et 320 kJ.kg⁻¹ d'eau congelée pour les légumes (**Mujumdar**, 2006).

2.7.2 Séchage

Le séchage provoque un abaissement de l'activité de l'eau du produit, c'est-à-dire que l'eau reste peu disponible pour les micro-organismes et pour les réactions chimiques. On considère généralement qu'un produit est stable lorsque son activité de l'eau est inférieure ou égale à 0,65 (Thebud et al., 1982). L'utilisation du séchage dans les industries agro-alimentaires a de multiples objectifs : accroître la durée de conservation des produits, stabiliser les produits agricoles (maïs, luzerne, riz, lait, etc.) pour amortir le caractère saisonnier de certaines activités et transformer les produits par des réactions biochimiques ou biologiques (produits de salaison, touraillage de malt, etc.). Cependant, cette technique

est couteuse en énergie : le séchage des produits végétaux nécessite environ 5 000 kJ.kg⁻¹ d'eau évaporée (**Mujumdar**, 2006).

La combinaison de la déshydratation osmotique avec le séchage permet d'améliorer la qualité des produits et de réduire le cout énergétique global de l'élimination de l'eau. En effet, la pré- déshydratation diminue le temps de séchage et le besoin énergétique du séchage complémentaire (**Fernandes et al.**, 2006). En effet, la DO n'exige qu'entre 100 et 2 400 kJ.kg⁻¹ d'eau enlevée, selon les applications (**Mujumdar**, 2006).

Après une période de mise en régime, la cinétique de séchage par l'air est caractérisée par une période à une vitesse de l'eau constante, correspondant à l'évaporation de l'eau de surface qui est constamment renouvelée par transport interne et qui se traduit par une variation linéaire de la teneur en eau en fonction du temps. Cette première période est suivie d'une ou plusieurs étapes à des vitesses décroissantes, où les forces capillaires n'acheminent plus suffisamment d'eau en surface pour compenser l'évaporation. Pour les produits alimentaires et biologiques, le séchage est limité par la résistance des parois cellulaires, par la migration des solutés qui obstruent les pores et par le croutage de la surface (**Ade-Omowaye et al.**, 2003).

2.8 Qualité des produits végétaux traités par DO

La déshydratation osmotique permet le maintien des qualités nutritionnelles, voire l'amélioration des qualités organoleptiques de produits souvent fragiles, ainsi qu'une meilleure résistance à des traitements ultérieurs (séchage, stockage, etc.). En effet, en tenant compte de la possibilité de transferts de masse dans les deux sens (gain de solutés et perte de solutés), la déshydratation osmotique permet la formulation de nouveaux produits (**Albagnac et al.**, 2002). Selon **Wack Raoult**, (1994), la déshydratation osmotique permet de modifier les propriétés fonctionnelles des produits en les imprégnant des solutés souhaités.

La DO augmente le rapport sucre/acide, améliore la texture et préserve la couleur pendant la déshydratation et le stockage. Toutefois, il convient de noter que les apports en soluté, notamment en sucres, ne vont toujours pas dans le sens d'une amélioration des propriétés nutritionnelles.

En évitant le contact avec l'oxygène de l'air, la DO limite les réactions d'oxydation, mais aussi les pertes de composés volatils par entraînement. Elle est efficace même à température

modérée (souvent inférieure à 50 °C), ménageant ainsi les composés thermosensibles tels que les arômes, pigments et vitamines (**Vial et al.**, 1990).

L'effet de la DO sur les différents attributs de la qualité est détaillé ci-après.

2.8.1 Saveur

Au cours de la DO, l'introduction de soluté modifie inévitablement le rapport acides/sucre, ce qui adoucit la saveur du produit final. Cependant, en séchage ou en DO, l'élimination d'eau ne doit pas se faire au détriment de la saveur. En règle générale, tout facteur tendant à augmenter la viscosité de la solution osmotique diminue la diffusivité relative des arômes. Ainsi, il vaut mieux en DO diminuer la température et augmenter la concentration du produit en matières sèches pour conserver les arômes (**Torreggiani et al.**, 2001).

2.8.2 Couleur

La couleur est un attribut très important des aliments, car elle influence l'acceptabilité par le consommateur (40 % du critère d'acceptabilité) (**Falade et al.**, 2007). Des couleurs anormales, suggérant la détérioration de la qualité ou du caractère comestible, sont des causes de rejet par le consommateur. Beaucoup de réactions peuvent affecter la couleur pendant le traitement thermique des fruits et de leurs dérivés. Les plus connues sont la dégradation des pigments (chlorophylle, β -carotène, etc.), les caroténoïdes et la chlorophylle, les réactions de brunissement telles que la réaction de Maillard des hexoses, et l'oxydation de l'acide ascorbique. Au cours de la DO, les solutés introduits réduisent les modifications de la couleur du produit. L'activité enzymatique de polyphenol-oxydase responsable du brunissement enzymatique est alors inhibée. La sensibilité des produits au brunissement non enzymatique est également limitée (**Torreggiani et al.**, 2001).

2.8.3 Texture

Le départ d'eau, ainsi que son remplacement par d'autres molécules, implique des contraintes mécaniques qui modifient la conformité du matériau. Ainsi, le produit se rétracte sous l'action des fortes densités de flux (**Castello et al.**, 2009 ; **Garcia-Segovia et al.**, 2010). D'autre part, au cours du processus de déshydratation, les polysaccharides (pectine, hémicelluloses, cellulose) qui constituent la membrane cellulaire sont partiellement solubilisés, modifiant ainsi la fermeté du produit (**Nunes et al.**, 2008). Ces modifications

sont quantifiables par l'analyse de la texture du produit ; ces mesures sont basées sur la résistance à la pénétration par une sonde (**Torreggiani** et al., 2001).

2.8.4 Réhydratation

Les produits déshydratés sont souvent conçus pour être réhydratés ultérieurement. La capacité et la vitesse de réhydratation qui est souvent longue (plusieurs heures), sont décrites comme les principaux critères de la qualité des produits finis. La réhydratation des fruits et légumes a été bien étudiée (**Taiwo** et al., 2002 ; **Rastogi** et al., 2004). Une étude de la cinétique de réhydratation peut être effectuée pour mesurer l'ampleur nette des dommages subis par le produit pendant les étapes de transformation antérieures (**Rastogi** et al., 2004).

La réhydratation est influencée par plusieurs facteurs, groupés en tant que facteurs intrinsèques (composition chimique du produit, traitement de pré-séchage, formulation de produit, techniques et conditions de séchage) et extrinsèques (composition du milieu d'immersion, température, conditions hydrodynamiques).

Certains de ces facteurs induisent des changements de structure et de composition du tissu végétal, ce qui influence les propriétés de reconstitution lors de la réhydratation (**Taiwo** et al., 2002). Par exemple, plus la concentration en sucres est grande ou plus la période de la déshydratation osmotique est longue avant séchage, meilleure est la réhydratation, le sucre empêchant probablement le rétrécissement du tissu végétal lors du séchage à l'air. Dans l'étude sur le céleri sec, **Neumann** (1972) a rapporté que la réhydratation à des températures élevées diminue le temps exigé pour atteindre la capacité maximum de sorption d'eau et le contenu d'humidité finale.

2.8.5 Effet de la déshydratation osmotique sur la composition biochimique

De tous traitements technologiques, la déshydratation partielle par osmose est probablement le procédé le plus complexe du point de vue transfert de masse entre l'intérieur et l'extérieur des morceaux de fruits traités (**Adambounou** et al., 1994). En effet, durant le phénomène osmotique, les morceaux des fruits submergés dans la solution osmotique sont le siège de divers échanges.

L'eau libre contenue dans les fruits vers la solution de déshydratation entraînant avec elle certaines substances hydrosolubles et acides organique (**Ponting**, 1973). Dans le sens opposé, les substances en concentration élevée, la solution migre vers l'intérieur du fruit.

Ces échanges de part et d'autre de la membrane semi-perméable des cellules des fruits continuent jusqu'à ce que l'équilibre osmotique soit atteint dans le système.

2.9 Différentes méthodes de la DO

2.9.1 La méthode discontinue de la déshydratation osmotique

Dans cette méthode et dans le but de suivre la cinétique de transfert de masse, on utilise des échantillons de taille et de géométrie identique, en supposant que tous les échantillons ont exactement le même volume, la même taille et la même teneur en eau, en prenant la précaution d'avoir le même degré de maturité du produit, on effectue un dosage d'humidité pour chaque échantillon.

2.9.2 La méthode continue de la déshydratation osmotique

Comme il est difficile d'obtenir le même degré de maturité du produit, le même échantillon est utilisé durant tout le processus de la déshydratation osmotique, pour lequel on effectue un dosage d'humidité au début et à la fin du traitement osmotique. La dispersion des résultats dans le cas de la méthode discontinue serait due au fait que même si les échantillons ont la même taille et la même géométrie, il pourrait y avoir une différence dans leur poids et dans leur extrait sec (soluble) initial (Azura et al., 1988). Cette dispersion n'est pas notée dans la méthode continue, elle présente de plus un avantage en temps, en réactif et en économie du travail. Il est important de noter que dans les deux méthodes la perte en eau et le gain en solutés croissent linéairement.

2.10 Avantages de la déshydratation osmotique

La déshydratation osmotique des denrées alimentaires par immersion dans des solutions osmotiques avant le séchage convectif à l'air ne nécessite aucun équipements sophistiqués (Nazaneen *et al.*, 2017). Parmi les principaux avantages de l'utilisation de la DO sont la réduction de la température du processus donc consommation d'énergie et un temps de séchage plus court (Yetenayet et Hosahalli, 2010). Elle améliore aussi la qualité du produit final, car elle minimise les dommages causés à la cellule et puisque l'opération se fera à basse température, le brunissement enzymatique est réduit puisque les fruits seront immergés dans la solution hypertonique, la perte de composants aromatiques volatils et l'acidité des fruits est également réduite (Selvi *et al.*, 2014).

D'un autre côté, La déshydratation osmotique améliore les propriétés nutritionnelles, fonctionnelles et organoleptiques du produit et une plus grande ressemblance sensorielle entre les produits déshydratés et naturels (**Ahmed et al.**, 2016).

La solution osmotique restante peut également être utilisée dans l'industrie des boissons ce qui permet d'améliorer l'économie du processus. Elle peut être réutilisée pour un séchage supplémentaire (**Agnieszka et al.**, 2016).

Cependant, la déshydratation osmotique seule ne peut pas assurer une plus longue durée de conservation et la stabilité du produit final. Le séchage combiné est le meilleur moyen de réduire la consommation d'énergie, d'augmenter le rendement et d'améliorer la qualité.

2.11. Importance du couplage déshydratation osmotique-séchage

Les produits résultant de la DO ne sont pas suffisamment stables. Par conséquent. Ce processus est souvent suivi d'un traitement complémentaire comme le séchage thermique. En effet, dans le pays en développement, le séchage est le mode de conservation le plus utilisé pour les denrées alimentaires (**N'goran et al.**, 2012). Beaucoup de travaux entrepris sur les divers fruits et légumes ont montré que la combinaison du séchage et de la DO augmente leur durée de conservation et améliore leur qualité (**Fernandes et al.**, 2006).

Beedie et al., (1995) ont indiqué que l'amélioration de la consommation énergétique de 1 % pourrait se traduire par plus que 10 % d'augmentation dans les bénéfices. En réduisant la teneur en eau des produits alimentaires avant de procéder au séchage, la durée peut être significativement réduite. Ainsi, la déshydratation-imprégnation par immersion (DII) comme prétraitement précédant le séchage permet de minimiser la consommation d'énergie utilisée pour le chauffage du produit alimentaire et l'évaporation de l'eau du produit. (**Kudra et al.**, 2009) ont montré que la DO des pommes permet de réduire la consommation de l'énergie totale de 24 à 75 %

2.12 La déshydratation osmotique de l'oignon

Alam et al., (2013) ont étudié l'influence des paramètres opératoires du procédé de déshydratation osmotique (DO) sur la perte en eau et le gain en solides de l'oignon. La DO des tranches d'oignon a été réalisée dans des solutions aqueuses concentrées de saccharose et/ou de sel. En effet, trois concentrations de saccharose (40, 50 et 60%), cinq concentrations de chlorure de sodium (5, 10, 15, 20 et 25%) et cinq concentration de solutions aqueuses combinées de saccharose et de chlorure de sodium (40:15, 45:15, 45:20, 50:15 et 55:15 %)

ont été utilisées pour cette étude. Chaque échantillon a été traité par la DO pendant 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16 et 24 heures à une température de 25 et 40°C. Il a été constaté qu'une concentration en saccharose et en chlorure de sodium de 55:15 %, une température de 40°C, et une durée d'immersion de 6 heures ont conduit à un maximum de perte en eau (50.05%) et un minimum de gain en solides (12.21%) au cours de la déshydratation osmotique des tranches d'oignon.

Revaskar et al., (2014) se sont intéressés à l'étude de l'effet de la concentration en chlorure de sodium, de la température de la solution osmotique et de la durée de l'opération de déshydratation osmotique sur la perte en eau des tranches d'oignon. Pour chaque expérience, le rapport solution/échantillon a été maintenu à 2.5:1. Les conditions optimales de cette étude conduisant à une perte en eau maximale ont été une concentration en chlorure de sodium de 15%, un temps de traitement de 255 min et une température de 30 °C.

Les conditions optimales permettant un maximum de perte en eau et de réduction du poids et un minimum de gain en solides au cours de la déshydratation osmotique des tranches d'oignon dans une solution concentrée de saccharose et/ou de sel ont été déterminés par **Gourav sahu et al.**, 2017. Ces derniers se sont également intéressés à l'étude de l'effet du type de soluté, de la concentration de la solution osmotique, de la température et du temps d'immersion sur les caractéristiques nutritionnelles et organoleptiques des tranches d'oignon déshydratées par osmose. Il a été observé que le choix du type de soluté et la concentration de la solution osmotique étaient les facteurs qui affectent le plus la perte en eau et en poids, le gain en solides et les qualités nutritionnelles et organoleptiques des tranches d'oignon.

Katarzyna Grzelak-Błaszczak et al., (2020) ont étudié l'effet de la déshydrations osmotique sur la teneur en polyphénols des oignons var. Robusta.

Des échantillons de 20 ± 1 g ont été déshydratés pendant cinq heures dans une solution de saccharose à 40-60°Brix et une solution de NaCl à 5-15% (25°C). Ils ont été coupés en quartiers juste avant l'égouttage.

D'après les résultats de cette étude, L'utilisation d'un mélange de deux agents osmotiques (saccharose, chlorure de sodium) a été plus efficace pour augmenter la teneur en matière sèche que l'utilisation du saccharose seulement. Près de 49% de la teneur en matière sèche de l'oignon a été obtenue en utilisant une solution à 60% (50% de saccharose + 10% de NaCl) pendant cinq heures. Les plus grandes différences dans la teneur en polyphénols totaux se sont produites au cours de la première heure. Après ce temps, la rétention s'élevait

à 48-90%, selon la concentration de saccharose (40-60%) et de chlorure de sodium (5-15%). La rétention des diglycosides de quercétine (principalement quercétine-3,4'-diglucoside) était plus faible que celle des monoglycosides (principalement quercétine-4'-glucoside). Après déshydratation dans une solution contenant 60% de saccharose et 10% de NaCl, au bout de trois heures, l'oignon contenait environ un tiers de la quantité initiale des composés susmentionnés.

Chapitre 3 : Le séchage d'oignon

Chapitre 3 : Le séchage d'oignon

3.1. Définition de séchage

Le séchage est une opération unitaire multidisciplinaire qui peut être exprimée comme le cœur des opérations de transformation dans de nombreuses industries (**Dehnad et al.**, 2016). Ce processus a des utilisations polyvalentes dans l'alimentation, bois et papier, textile, pharmaceutique, chimique et biologique (**Defraeye**, 2014).

Dans la transformation des aliments, le séchage est également considéré comme l'une des pratiques les plus cruciales qui est appliquée à différents types de produits alimentaires allant des cultures agricoles à faible humidité (par exemple, le riz, le maïs et le blé) aux produits à humidité intermédiaire (par exemple, les pâtes, le thé et le café) et à forte humidité (lait, fruits et légumes) (**Azizi et al.**, 2017).

L'objectif principal du séchage est de réduire la teneur en eau du produit afin d'atteindre un niveau sûr pour le préserver des facteurs de détérioration tels que les paramètres microbiens, physiques et chimiques tout en conservant sa qualité sensorielle et nutritionnelle et en diminuant la consommation d'énergie et de temps et l'optimisation du débit du processus (**Jafari et al.**, 2017). Le séchage est un processus sophistiqué.

Selon **Defraeye** (2014), le séchage est une opération multi-cubes ; multiphase signifie qu'il implique différentes phases (produits alimentaires solides, eau liquide et phase gazeuse du séchage l'air de séchage), multiéchelle allant de l'échelle du sécheur aux parois cellulaires du produit à sécher et multiphysique, y compris le transport simultané de la chaleur, de la masse et de la quantité de mouvement, en plus de nombreux processus biochimiques et chimiques tels que la perte de nutriments, les réactions enzymatiques, les changements d'arôme et de couleur et l'oxydation des graisses et la dégradation microbienne, qui sont si importants pour garantir la qualité et la sécurité des aliments.

Le séchage est également un processus à forte intensité énergétique et comprend 12 à 20% des besoins énergétiques des industries nationales dans les pays développés (**Bardy et al.**, 2015), il a donc toujours été un défi dans l'industrie alimentaire (**Norton & Sun**, 2006 ; **Strumillo**, 2006).

L'étude des changements physico-chimiques qui se produisent au cours du séchage en vue de développer de nouvelles stratégies pour optimiser la consommation d'énergie, l'utilisation d'énergie renouvelable, la récupération de la chaleur utilisée pour ce processus et l'application de technologies respectueuses de l'environnement sont de plus en plus importantes dans le monde actuel et toute réalisation dans ce domaine est fortement encouragée (**jafari et al.**, 2016).

Il existe plusieurs procédés de séchage : les procédés mécaniques (presse, décantation ou centrifugation), les procédés physico-chimiques (adsorption, absorption, réfrigération et séchage par évaporation). Ce dernier consiste à transférer le liquide à éliminer dans la phase gazeuse.

3.2. Principe de séchage

Le séchage est une opération consistant à retirer une partie du solvant d'un corps, par vaporisation de ce solvant, le produit final dit « sec » étant obtenu sous une forme solide de taille variable, éventuellement de « solide divisé » ou de poudre.

Le produit passe ainsi d'un état initial dit « humide », selon le cas solide ou liquide, jusqu'à un état final dit « solide sec », même s'il contient encore une teneur en eau (ou solvant) résiduelle. Le solvant considéré est le plus souvent l'eau, et nous ne présenterons ici que le séchage de l'eau, les mêmes principes pouvant s'appliquer à d'autres solvants, organiques par exemple, mais en prenant les propriétés associées à ce solvant (chaleur latente de vaporisation, isothermes de sorption). Le séchage est 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. En séchage, on devra donc s'intéresser à la fois aux transferts de matière et de chaleur couplés (**Vasseur**, 2009).

3.3. Objectifs de séchage

L'objectif est de convertir des denrées périssables en produits stabilisés, par abaissement de l'activité de l'eau (a_w) jusqu'à une valeur inférieure à 0,5. L'opération de séchage peut être considérée comme une opération de formulation ou de texturation, qui est lorsqu'elle est convenablement conduite, est capable de fournir des produits nouveaux, faciles d'emploi (**Bonazzi et Dumoulin**, 2011).

Selon **Bonazzi et al.**, (2008), l'utilisation du séchage dans les industries agro-alimentaires a de multiples buts :

- Accroître la durée de conservation des produits (viandes, poissons, fruits, graines, pâtes, épices, thé, champignons, ...).
- Stabiliser les produits agricoles (maïs, luzerne, riz, lait, ...) et amortir le caractère saisonnier de certaines activités. Transformer les produits par des réactions biochimiques ou biologiques (produits de salaison, touraillage de malt, ...).
- Stabiliser des coproduits industriels pour l'alimentation animale (pulpes de sucrerie ou d'amidonnerie, drêches de brasserie, farines de viande et de poisson, lactosérum, ...).
- Produire des ingrédients ou des additifs pour une seconde transformation, également appelés produits alimentaires intermédiaires (PAI). Ce sont par exemple des légumes pour les potages, des oignons pour la charcuterie, des fruits pour la pâtisserie, des épaississants, arômes, colorants.

3.4. Avantages et inconvénients du séchage

Le séchage des aliments est l'une des plus anciennes méthodes de conservation des aliments pour une utilisation ultérieure. Il peut être soit une alternative à la mise en conserve ou à la congélation, soit un complément à ces méthodes. Le séchage des aliments est simple, sûr et facile à apprendre qui comme tous les traitements thermiques il présente des inconvénients comme il présente des avantages pour l'industrie agro-alimentaire.

3.4.1. Les avantages

- La simplicité de la méthode avec généralement un bon rendement.
- Une durée de conservation des aliments déshydratés qui peut être de plusieurs mois.
- La désactivation des enzymes responsables de la dégradation des aliments.
- L'inhibition de la croissance des micro-organismes grâce à la réduction de l'activité d'eau.
- Sa capacité à être utilisée à des fins commerciales permettant de limiter les pertes de récoltes.

- La diminution des coûts financiers et environnementaux liés au transport des marchandises en raison de la réduction massive (**fourrier**, 2003).

3.4.2. Les inconvénients

- Des pertes d'arômes, de vitamines et de pigments, des réactions de brunissement et des durcissements superficiels (**Boroze**, 2011).
- Des modifications irréversibles de texture et donc de capacité à la réhydratation, des pertes de constituants volatils.
- La modification de la répartition de l'humidité dans le produit.
- Il est coûteux, notamment en énergie. Il est utile alors de connaître tout ce qui peut influencer le séchage et en particulier la vitesse de séchage afin de diminuer le coût de cette opération (**Nguyen**, 2015).

En général, le séchage a moins d'inconvénients que d'autres procédés de conservation (appertisation, congélation ou traitement aseptique). Le séchage des fruits, des légumes et des épices reste encore une méthode très répandue de conservation de ces aliments (**Ekechukwu et Norton**, 1999).

3.5. Le séchage et l'énergie

Afin de sécher un produit, liquide ou solide, il faut fournir de la chaleur, de l'énergie, globalement on considère que les opérations de séchage consomment environ 15 % de l'énergie industrielle dans les pays développés. Cette part est importante et il faut essayer de trouver les moyens d'optimiser les procédés, dans une démarche économique mais aussi écologique.

Toutes les parties d'un même produit n'ont pas le même comportement vis à vis de l'eau. Cela varie aussi d'un produit à l'autre, suivant sa composition biochimique : certaines structures ou molécules retiennent l'eau plus que d'autres. Lorsque le produit est très humide, l'eau qu'il contient est qualifiée de "libre" et lors du séchage, l'eau libre se comporte comme de l'eau pure. Il suffit pour la vaporiser d'environ 2250 kJ/kg. Lorsque le produit est plus sec, l'eau est davantage retenue par celui-ci et on la qualifie de "liée". L'évaporation de cette eau est plus difficile et demande plus d'énergie (**Nguyen**, 2015).

3.6. Le domaine d'utilisation

Si le séchage consomme autant d'énergie c'est qu'il intervient dans de nombreuses industries. Les produits concernés nous touchent souvent de près dans la vie de tous les jours. Le choix d'une opération de séchage peut être effectué pour diverses raisons :

- Le produit humide se conserve mal.
- Le liquide doit être enlevé pour le déroulement de la suite du procédé.
- L'enlèvement de l'eau donne une texture et une structure finale du produit et constitue une étape à part entière du procédé.

3.6.1. En industrie agroalimentaire

Une grande partie des aliments que nous consommons ont subi une opération de séchage, et ce dernier peut être une étape nécessaire à la production des produits ou un rôle dans la conservation des aliments. On peut citer par exemple :

- La viande fumée : saucisson, jambon...
- Les fromages : séchage dans une ambiance contrôlée.
- Le sucre cristallisé est obtenu par évaporation.
- Les légumes (pois, poivron...) et fruits secs (pruneaux, raisins, abricots, figes...).
- Les jus de fruits sont préparés à partir d'un concentré obtenu par vaporisation (café, cacao, riz et autres céréales, feuilles de thé, épice, certains biscuits apéritifs).

3.7. Le choix du procédé de séchage

Actuellement, il existe plus de 200 types de séchoirs industriels dans le secteur alimentaire. Les types des séchoirs utilisés pour sécher un produit donné est basé sur le choix de l'appareil adéquat qui se fait alors en fonction de certain facteur (**McCabe et al.**, 1985).

- La nature du produit (liquide, solide, pâte).
- Le taux d'humidité finale et initiale.
- Débit de produit exigé.

3.8. Méthodes de séchage

3.8.1 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 : peu de travail et pas d'investissement, mais, très souvent, les résultats obtenus sont médiocres car les produits sont souillés de sable et de poussière, ils subissent les attaques des animaux, des insectes et des micro- organismes, les pertes sont ainsi importantes. De plus, les produits s'abîment, sèchent trop ou pas assez, ce qui dégrade fortement leur qualité (Nguyen, 2016).



Figure 8 : Séchoir solaire (Naseer, 2013).



Figure 9 : Séchage solaire d'oignons (Anonyme 5, 2017).

3.8.2. Séchage a l'air libre

Le séchage à l'air libre est réalisé dans l'ombre, avec une circulation naturelle de l'air. La température moyenne de la chambre est de 22 ± 2 °C. Le séchage est contrôlé par convection naturelle, (**Lahmari et al.**, 2012).

3.8.3. Séchage par entraînement

Lorsqu'un produit humide est placé dans un courant de gaz (air le plus souvent) suffisamment chaud et sec, il s'établit un écart de température et de pression partielle tel que :

- Le gaz apporte au produit une partie au moins de l'énergie nécessaire à la vaporisation.
- L'eau est évaporée sans ébullition sous l'effet du gradient de pression partielle d'eau. La vapeur d'eau est transférée par conduction et convection du produit dans le milieu ambiant et elle est ensuite entraînée par le gaz (**Bonazzi et al.**, 2008).

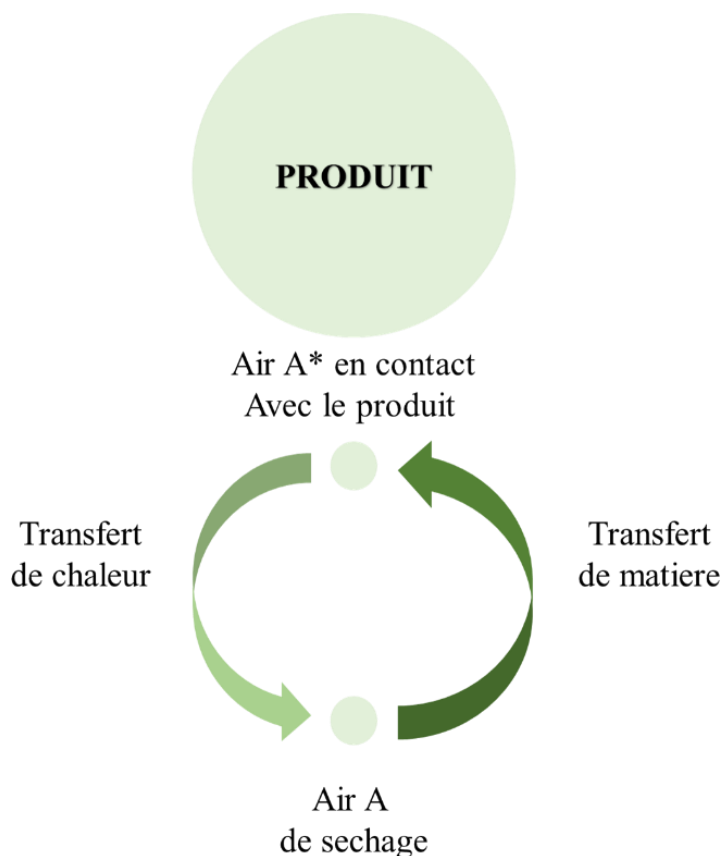


Figure 10 : Transfert entre l'air et la surface du produit (**Alim**, 2016).

3.8.4. Séchage par ébullition

Le séchage par ébullition a lieu lorsque le flux thermique transféré au produit est très intense à cause d'un écart de température très élevé entre la source chaude et le produit (par conduction sur une surface chaude, séchoirs cylindres...etc.), dans toutes ces conditions la température du produit atteint un niveau tel que la pression de vapeur d'eau de ce produit est égale ou dépasse la pression totale ambiante (**Bonazzi et al.**, 2008).

3.8.5. Séchage à l'étuve

Dans ce type de séchage, 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 (Taille et temps de séjours) doit être adapté au rapport surface/volume (**Vasseur**, 2009).

3.8.6. Séchage par micro-onde

Le chauffage par micro-ondes se rapporte à l'utilisation d'ondes électromagnétiques afin de produire de la chaleur dans le matériel à sécher. Le fonctionnement d'un four à micro-onde est simple, l'énergie électrique apportée alimente le magnétron qui convertit l'énergie électrique en champ électromagnétique et par un guide d'onde (tube rectangulaire en métal), les ondes produites sont dirigées vers l'agitateur d'onde et pénètrent dans l'enceinte métallique où se trouve l'aliment à chauffer sur une plaque tournante, ce qui permet au produit alimentaire d'être exposé aux ondes qui pénètrent l'aliment pour atteindre les molécules d'eau (**Mathavi et al.**, 2013).

3.9. Technologie de transformation et séchage d'oignon

3.9.1. Importance et intérêt de la transformation d'oignon

L'oignon est un légume indispensable dans toutes les cuisines, mais étant un légume saisonnier on ne le trouve pas vraiment tout au long de l'année et en raison de sa forte teneur en eau allant jusqu'à 90% qui le rend parmi les denrées périssables qui ne peuvent être conservés longtemps après la récolte dans des conditions ordinaires, il est crucial de penser à le déshydrater

dans des conditions hygiéniques et à un coût raisonnable, mais suffisamment pratiques pour être utilisés même par les établissements de restauration à grande échelle.

Les oignons déshydratés ou poudre d'oignon ont été produits en petites quantités depuis le dix-neuvième siècle, sont spécifiquement fabriqués à partir d'oignons blancs (**Ismail** , 2006), ont un marché extrêmement limité en Algérie, mais ont une bonne demande sur les marchés internationaux (**Premi et Premi**, 2017), La demande provient principalement des États-Unis, de l'Europe et de certaines régions d'Amérique du Sud, entre autres (**Punjabi et Mukherjee**, 2015).

3.9.2. Le séchage d'oignon

Le séchage est un procédé effectué pour éliminer l'excès d'humidité des peaux extérieures, des racines et des tissus du collet des bulbes d'oignon récoltés. Il améliore la qualité de conservation des bulbes d'oignon et réduit les risques d'infection par des organismes pathogènes pendant le stockage (**Petropoulos et al.**, 2016).

L'élimination de l'humidité se fait uniquement sur l'écaille extérieure, plutôt que sur l'ensemble du bulbe. Le séchage des écailles de surface permet de créer une barrière sèche autour du bulbe d'oignon et de le rendre étanche à la perte d'eau. (**Downes et al.** 2009).

Le séchage nécessite de la chaleur et une bonne ventilation, de préférence avec une faible humidité. Cela permet d'assécher le col et les deux ou trois couches extérieures du bulbe. Les oignons sont considérés comme mûrs lorsque le cou est serré et que les écailles extérieures sont séchées jusqu'à ce qu'elles bruissent, cette condition est atteinte lorsque les oignons ont perdu 3 à 5 % de leur poids (**Anonyme 6**, 2016).

Les écailles externes de l'oignon offrent une protection contre les organismes responsables de la pourriture grâce aux composés antifongiques qu'elles contiennent. La présence de ces composés est nécessaire pour un stockage prolongé. La récolte prématurée augmente les pertes après récolte dues à la perte de poids physiologique, à la pourriture et à la germination. Les oignons immatures ont moins d'écailles extérieures et une teneur en eau élevée ; ils nécessitent donc des conditions de séchage plus poussées que les oignons matures (**Anonyme 6**, 2016). Le séchage des oignons peut être effectué sur le terrain par convection naturelle de l'air ou par circulation forcée d'air chaud à l'aide de chambres de séchage artificielles.

3.9.3. Production de la poudre d'oignon

Comme nous l'avons mentionné précédemment, la poudre d'oignon est fabriquée à partir des oignons qui ont été pré-déshydratés osmotiquement et ayant subis les différentes étapes indiquées dans la **figure 11**.

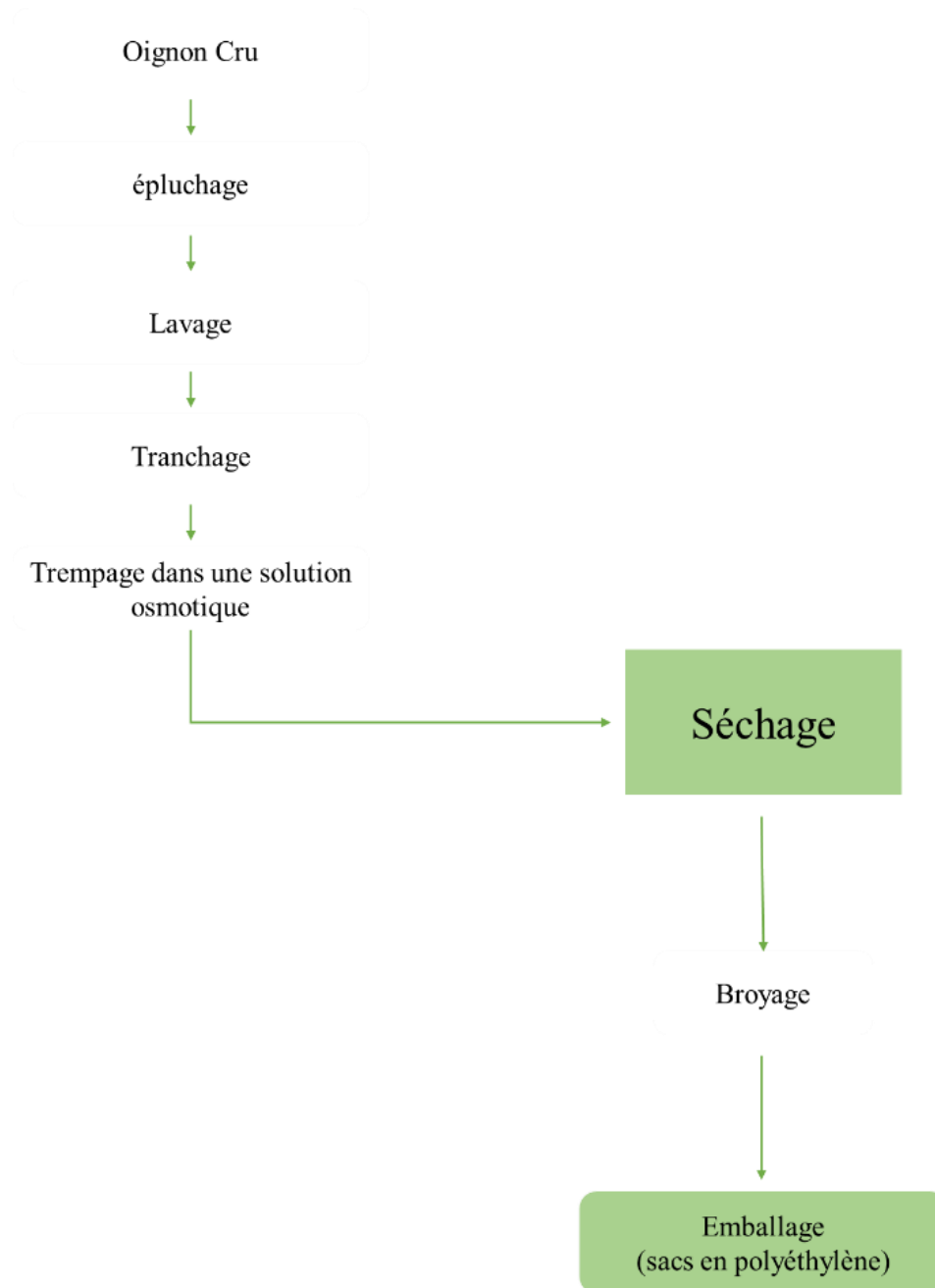


Figure 11 : Procédé de fabrication de la poudre d'oignon (Ramya, 2016).

3.10. Travaux antérieurs menés sur le séchage de l'oignon

Mota et al., (2010) se sont intéressés au séchage convectif de l'oignon de la variété portugaise Mondego. L'effet de différentes températures de séchage (30, 50 et 60 °C) sur la composition chimique des oignons a été étudié. Il a été observé que certains composants de l'oignon n'ont pas été affectés par la température de séchage notamment les matières grasses, les cendres, les protéines totales et les fibres brutes, tandis que les sucres totaux, l'acidité et la vitamine C ont été significativement influencés par ce paramètre. Il a été constaté aussi que pour la gamme de températures étudiées, 60 °C a donné les meilleurs résultats en ce qui concerne la réduction du temps de séchage, alors qu'à 30 °C le séchage se stabilise après environ 7 h, tandis qu'à 60 °C 2 h suffisent, ce qui représente une réduction très importante du temps de séchage. La diffusivité effective variait entre $3,33 \times 10^{-09} \text{ m}^2/\text{s}$ à 30 °C et $8,55 \times 10^{-09} \text{ m}^2/\text{s}$ à 60 °C.

Mitra et al., (2011) ont analysé et interprété les résultats obtenus par différentes méthodes de déshydratation des oignons. L'examen a révélé que plusieurs méthodes analytiques et numériques sont disponibles pour analyser le comportement de séchage ainsi que les paramètres de qualité. Cependant, il existe d'autres méthodes de séchage, comme le séchage sous vide, le séchage à l'air déshumidifié ou par condensation, etc. qui peuvent être explorées afin d'évaluer l'effet de différents paramètres de fonctionnement sur la qualité de l'oignon qui contient plusieurs nutriments essentiels et possède un énorme potentiel thérapeutique. La combinaison de deux ou plusieurs méthodes de séchage ou de techniques de séchage multimodes peut également être adoptée pour un séchage plus efficace.

Ramachandra et al., (2014) ont étudié la modélisation de séchage de trois variétés d'oignons, à savoir Arka kalyan, Bijapur blanc et Arka pragati. Les trois variétés ont nécessité 12 heures de séchage à l'air déshumidifié. La teneur eau finale de l'oignon séché était comprise entre 4,34 et 5,10%. Par conséquent, le séchage à l'air déshumidifié s'est avérée être plus efficace que le séchage solaire pour la conservation de l'oignon.

Abdellah Zikiou et al., (2014) se sont intéressés à la conception d'un séchoir convectif et à l'étude du comportement de l'oignon rouge lors du procédé de séchage. L'oignon rouge a été coupé en rondelles d'une épaisseur de 5 mm, prétraité par déshydratation osmotique dans une solution saline (300g/l) à une température de 60°C pendant 12 heures et ensuite séché par entraînement d'air chaud à une température de $40 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ pendant six heures. Le suivi de

l'évolution du séchage des échantillons est réalisé par pesée de chaque rondelle à des intervalles de temps d'une heure (1h). Le séchage prend fin lorsqu'une humidité de 12 à 15 % (base humide) est atteinte. Il a été démontré que le prétraitement par déshydratation osmotique a contribué à réduire le temps de séchage. En outre, il a été constaté que la couleur de l'oignon prétraité et séché était plus claire comparé à celle de l'échantillon séché sans prétraitement qui est plus susceptibles au brunissement. Le séchage convectif seul a contribué à réduire la teneur en eau des produits jusqu'à une teneur de 12,5 %, tandis que le séchage couplé à la déshydratation a conduit à une teneur en eau finale de 13,2 %. Ces teneurs en eau résiduelle s'inscrivent dans la plage de 10-15 % établie pour l'efficacité de la conservation des produits déshydratés.

Revaskar et al., (2014) ont mené une étude sur l'effet de la température et du prétraitement sur le comportement des tranches d'oignon durant le procédé de séchage réalisé dans un séchoir à plateaux. Une augmentation de la température de l'air de séchage a permis de réduire le temps de séchage. Les tranches d'oignon prétraitées ont eu un temps de séchage plus court que les échantillons non traités. L'ensemble du procédé de séchage de séchage s'est déroulé dans une période à vitesse décroissante. Néanmoins, la période à vitesse constante n'a pas été observée lors de cette étude. Cinq équations de séchage en couche mince ont été étudiées pour déterminer si elles décrivent bien le comportement de séchage des tranches d'oignon. Le modèle Page présentait le meilleur ajustement avec des valeurs élevées pour le coefficient de détermination et des valeurs faibles de χ^2 , EMB et ERMS. La diffusivité effective de l'humidité a varié dans la plage allant de $0,78$ à $1,21 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ et de $0,83$ à $1,30 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ respectivement pour les échantillons d'oignons non traités et prétraités en fonction de la température de l'air de séchage.

Roman et al., (2019) se sont intéressés au séchage convectif de l'oignon jaune (Angaco INTA), à l'étude de la cinétique de la perte en eau et l'effet des températures de séchage (60 et 70 °C) sur les composés phénoliques. Cette étude a pour objectif d'identifier la température optimale du procédé de séchage de l'oignon permettant de préserver les caractéristiques nutritionnelles de la poudre produite. Les résultats obtenus ont montré que le séchage par convection a augmenté les teneurs en polyphénols totaux et en flavonoïdes pour les deux températures, les teneurs les plus élevées étant obtenues à 70 °C. En ce qui concerne les propriétés antioxydantes, les oignons, séchés à 70 °C, ont également montré les valeurs les plus

élevées. La diffusivité effective de l'humidité obtenue a montré que le procédé de séchage des oignons variait avec la température de séchage. En comparant les résultats obtenus à 60 et 70 C°, nous pouvons dire que 70 C° était la meilleure température utilisée pour produire la poudre d'oignon déshydraté.

3.10.1 Qualité de la poudre d'oignon séchée

Seifu et al., (2018) se sont intéressés à l'étude de l'effet de la variété et de la température de séchage sur la qualité physico-chimique, les propriétés fonctionnelles et l'acceptation sensorielle de la poudre d'oignon séchée. Trois variétés d'oignon ont été utilisées pour réaliser cette étude à savoir Bombay, Qellafo et Sweet carolin. D'après les résultats obtenus, il a été observé que les différentes variétés d'oignons et les différents niveaux de température de séchage ont eu un impact variable sur les propriétés physico-chimiques et sensorielles de la poudre d'oignon. En général, une augmentation de la température de séchage entraîne une réduction de la plupart des propriétés souhaitées des tranches d'oignon. Mais une réduction de l'activité de l'eau et des valeurs de pH des poudres d'oignon sont des propriétés souhaitées en termes de sécurité et de stabilité des poudres séchées. Parmi les températures étudiées, la température de séchage de 70°C pendant 5 heures a donné les résultats suivants avec des propriétés physiques, chimiques et sensorielles comparativement acceptables. Il a été également constaté que la variété Qellafo a donné des résultats supérieurs pour la plupart des paramètres par rapport aux deux autres variétés. Par conséquent, la variété Qellafo est recommandée comme une variété d'oignon appropriée lorsque la production d'oignons déshydratés est souhaitée.

Edith et al., (2018) ont étudié l'effet du séchage sur les propriétés nutritionnelles, fonctionnelles et sensorielles de trois variétés de poudre d'oignon (Violet de Galmi, Goudami et Blanc de Galmi). Dans cette étude, deux méthodes de séchage ont été utilisées : le séchage solaire (40 ± 0.52 °C et une humidité relative de 20 à 22 % pendant 8 heures) et le séchage électrique à air (40 °C et une humidité de l'air de 20 % pendant 3 jours). Après séchage et broyage, les poudres d'oignon obtenues ont été conditionnées sous vide dans des sacs en polyéthylène et stockées à 4 °C jusqu'à leur analyse. Les résultats ont clairement montré que le niveau de tous ces composants chimiques diminuait significativement ($p < 0,05$) jusqu'à 50% avec les opérations de séchage et de broyage. En conséquence de la variation de la composition de l'oignon, le Violet de Galmi présente une capacité d'absorption d'eau, un indice de solubilité

dans l'eau, une capacité à former un gel et un pouvoir antioxydant plus élevés, tandis que le Blanc de Galmi présente une capacité d'absorption d'eau et un indice de solubilité dans l'eau plus faible. Pour conclure, nous pouvons dire que la qualité de toutes les poudres d'oignon séchés a été acceptable et ceci indépendamment de la variété et la méthode de séchage.

Shukla et al., (2019) ont étudié l'effet des prétraitements et des températures de séchage sur la qualité et les caractéristiques des tranches d'oignon séché dans un séchoir à plateaux. L'impact de la température de l'air de séchage (1ère étape de séchage à 70, 80, 90 °C et 2ème étape à 60 °C), de l'épaisseur des tranches d'oignon (2, 4 et 6mm) et des prétraitements (blanchiment à l'eau et 0,2, 0,4 et 0,6 % de métabisulfite de potassium) sur la qualité de l'oignon séchés a été évalué. Les résultats de cette étude ont montré que les échantillons d'oignons blanchis à l'eau et séchés à 90°C (taille 6mm) ont pris le moins de temps pour être séchés. Le taux de réhydratation a augmenté avec l'augmentation de la température. Les échantillons blanchis au métabisulfite de potassium et séchés à 70°C présentaient une meilleure qualité nutritionnelle. Il a été également observé que la qualité de l'oignon, la couleur, l'arôme et l'acceptabilité globale était meilleure pour les échantillons d'oignons blanchis au métabisulfite de potassium à 0,6 % et séchés à 70°C.

Conclusion

Conclusion

L'objectif de cette étude était d'identifier et de présenter les méthodes adéquates de conservation et de transformation de l'oignon dans l'optique de proposer des solutions efficaces permettant de pallier aux problèmes de périssabilité et la saisonnalité auxquels sont confrontés les acteurs de la filière oignon et d'autre part d'évaluer l'impact de ces technologies sur les caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles de la poudre d'oignon séché.

D'après tous les travaux antérieurs menés sur la conservation et de transformation des bulbes d'oignon, la déshydratation osmotique couplé au séchage s'est avérée être la méthode la plus efficace pour la production de poudre d'oignon séché de très bonne qualité. L'application de la déshydratation osmotique en tant que prétraitement avant le séchage permet de réduire la consommation d'énergie et de préserver la qualité nutritionnelle et sensorielle des oignons séchés.

En se basant sur les résultats antérieurs obtenus par les chercheurs, nous pouvons dire qu'une température de 60 C° et un temps de séchage de 2h permettent de réduire significativement la teneur en eau de la poudre d'oignon séché (12.5 %).

La poudre d'oignon séché peut être utilisée comme ingrédients et aromates pour relever le goût et la saveur de divers mets et grillades, ou utilisée dans la formulation de mélange d'épices ou encore comme sources de minéraux pour la fortification des aliments.

Enfin, il serait intéressant de compléter ce travail par d'autres études plus approfondies et nous préconisons comme perspectives :

- De réaliser l'étude expérimentale afin d'obtenir des résultats fiables et pertinents.
- De mener des études approfondies sur la qualité organoleptique et nutritionnelle de la poudre d'oignon séché.
- De caractériser les variétés locales d'oignons et d'adopter les méthodes de conservation sus-citées pour pallier à la pénurie de l'oignon sur le marché local et réduire ainsi son importation.

Références bibliographiques

Adam, E., Muhlbauer, W., Esper, A., Wolf, W. And Spiess, W. (2000). Quality Changes Of Onion (*Allium Cepa* L.) As Affected By The Drying Process. *Nahrung*, 44, 32-37. [Http://Dx.Doi.Org/10.1002/\(Sici\)1521-3803\(20000101\)44:13.0.Co;2-F](http://Dx.Doi.Org/10.1002/(Sici)1521-3803(20000101)44:13.0.Co;2-F). (Consulté le 08/06/2021).

C. Amadou, (1994) . Contribution A L'étude De La Qualité Des Fruits Et Légumes Par Trois Types De Séchoirs Solaires Domestiques ; Des Possibilités D'augmentation De Séchage Du Séchoir Coquillage. Mémoire De Fin D'études Option Agronomie, Idr- Université De Ouagadougou .

Berkaloff, A.; Bourguet, J.; Favard, P.; Lacroix, J.C. (1977). Biologie et physiologie cellulaire I. Membrane plasmique; Herman ETC: Paris,; 270.

Cecchi, L., Ieri, F., Vignolini, P., Mulinacci, N., & Romani, A. (2020). Characterization of Volatile and Flavonoid Composition of Different Cuts of Dried Onion (*Allium cepa* L.) by HS- SPME-GC-MS, HS-SPME-GC× GC-TOF and HPLC-DAD. *Molecules*, 25(2), 408.

Ciqual (Centre d'Information sur la Qualité des Aliments). (2013) . Table de composition nutritionnelle des aliments : Oignon. [http://www.afssa.fr/Table CIQUAL/index.htm](http://www.afssa.fr/Table_CIQUAL/index.htm), (consulté le 10/05/2021).

Compaore, C. S., Compaore, H., Inoussa, G. O., & Sawadogo-Lingan, H. (2020). Impact du prétraitement au sel (NaCl) et du séchage sur les caractéristiques nutritionnelles et microbiologiques de l'oignon bulbe. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(3), 685-697.

D'oignon (*Allium cepa* L.) bulbe introduites au Burkina Faso (2005-2015). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(5).

Fernandes, F. A., & Rodrigues, S. (2007). Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: Dehydration of banana. *Journal of Food Engineering*, 82(2), 261-267.

Fito, P.; Chiralt, (2000). A. Osmotic Dehydration: An Approach to the Modelling of Solid– liquid Food Operations. In *Food Engineering*; Fito, P.; Ortega-Rodriguez, E.; Barbosa-Canovas, G.; Eds., (1997). Chapman & Hall, International Thomson Publishing: New York .

G.J.E. Nychas, (1995). Natural Antimicrobials From Plants, In *New Methods Of Food Preservation*, Ed. By G.W. Gould (Blackie Academic Professional, London.

Gabler NK, Osrowska E. (2006). Dietary onion intake as part of a typical high fat diet improves indices of cardiovascular health using the mixed sex pig model. *Plant Foods Hum Nutrition*, **61**: 179-185. DOI: 10.1007/s11130-006-0030-8.

Graft BA, Milbury PE, Blumberg JB. (2005). Flavonols, flavones, flavanones and human health: epidemiological evidence.

Henderson, S.M.; Perry, R.L (1976). Agricultural Process Engineering; AVI Publishing Co. Inc.: Connecticut.

Hubbard GP, Wolfram S. (2006). Ingestion of onion soup high in quercetin inhibits platelet aggregation and essential components of the collagen-stimulated platelet activation pathway in man : a pilot study. *British Journal of Nutrition*, **96**: 482-488. DOI: 10.1079/BJN20061831.

Islam, M., Wahid, K. A., Dinh, A. V., & Bhowmik, P. (2019). Model of dehydration and assessment of moisture content on onion using EIS. *Journal of food science and technology*, 56(6), 2814-2824.

Isse, M.G.; Schubert, H. Osmotic Dehydration of Mango: Mass Transfer Between Mango and Syrup. In *Proceedings of Fourth World Congress of Chemical Engineering*; Behrens, D. Ed.; Bechema: Frankfurt, 1992; 728–745.

Jackson, T.H.; Mohammed, B.B. (1971). The Shambat Process. New Development Arising from the Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables. *Sudan Journal of Food Science and Technology* 1971, 3, 18–22.

Jiokap, N.Y.; Nuadje, G.B.; Raoult-Wack, A.L.; Giroux, F. (2001). Comportement de Certains Fruits Tropicaux Traités Par Déshydratation-imprégnation Par Immersion Dans Une Solution De Saccharose. *Fruits*, 56 (2), 75–83.

Kapseu, C.; Kayem, J.; Eds.; ENSAI (1975) , Université de Ngaoundéré: Cameroun, (1999) ; 381–387.13. Crank, J. *Mathematics of Diffusion*; Oxford University Press: London .

Kenfack, H.; Ndjouenkeu, R.; Ngongang, D.; Ferré, T.; Koumaro (1999), M. Evaluation de la Production et de la Commercialisation de la Poudre de Tomate au Nord Cameroun et au Tchad. In *Séminaire International sur le Séchage et la Valorisation du Karité et de L'aïélé*, *Proceedings of the International Workshop on Drying and*

Improvement of Shea and Canarium, Ngaoundere, Cameroon, Dec. 1–3.

Konate, M., Parkouda, C., Tarpaga, V., Guira, F., Rouamba, A., & Sawadogo–Lingani, H. (2017). Evaluation des potentialités nutritives et l’aptitude à la conservation de onze variétés.

Lenart, A.; Flink, J.N. Osmotic Concentration of Potatoes: Criteria for the End Point of the Osmotic Effect. *Journal of Food Technology* 1984, 19, 65–89.

Lewicki, P.P., Witrowa, R.D. And Nowak, D. (1998) .Effect Of Drying Mode On Drying Kinetics Of Onion. *Drying Technology*, 16, 59

M. Yaya, W. Noe, C. Magalie, (2002). Les Producteurs D’oignon Du Nord Cameroun : Les Défis D’une Filière A La Quête D’une Place Au Soleil. Acte Du Colloque, Mai 2002. Garoua, Cameroun. 8, 2–4 .

M. Yaya, W. Noe, C. Magalie, (2002). Les Producteurs D’oignon Du Nord Cameroun : Les Défis D’une Filière A La Quête D’une Place Au Soleil. Acte Du Colloque, Mai 2002. Garoua, Cameroun. 8, 2–4 .

D. Magalie, W. Noé, E. Timothée, (2002) .L’oignon, Une Production En Plein Essor Au Nord- Cameroun. Actes Du Colloque, Mai 2002, Garoua, Cameroun.

Moreno-Castillo, E.J.; Gonzales-Garcia, R.; Grajales-Lagunes, A.; Ruiz-Cabrera, M.A.; AbudAchilla, M. (2005) ,Water Diffusivity and Color of Cactus Pear Fruits (*Opuntia Ficus indica*) Subjected to Osmotic Dehydration. *International Journal of Food Properties*, 8 (2), 323– 336.

Passo Tsamo, C.V.; Bilame, A-F.; Ndjouenkeu, R.; Jiokap Nono, Y. Study of Material Transfer During Osmotic Dehydration of Onion Slices (*Allium Cepa*) and Tomato Fruits (*Lycopersicon Esculentum*). *LWT Food Science and Technology* 2005, 38, 495–500.

Pavkov, I., Radojčin, M., Stamenković, Z., Kešelj, K., Tylewicz, U., Sipos, P., ... & Sedlar, A. (2021). Effects of Osmotic Dehydration on the Hot Air Drying of Apricot Halves: Drying Kinetics, Mass Transfer, and Shrinkage. *Processes*, 9(2), 202.

Perry, R.H.; Green, D.W.; Maloney, J.O. (1984). *Perry’s Chemical Engineers’ Handbook*; McGraw Hill: New York .

Ponting, J.D. Osmotic Dehydration of Fruits—Recent Modifications and Applications. *Process Biochemistry* 1973, 8, 18–20.

Rahaman, M.D.S.; Lamb, J. Air Drying Behaviour of Fresh and Osmotically Dehydrated Pineapple. *Journal of Food Process Engineering* 1991, 14, 163–171.

Ramachandra, C.T., Goudra, P.M., Udaykumar N. (2014) “Dehydration of Onions With Different Drying Methods” *Current Trends In Technology And Science*. 3, 210-216.

Ramya, V., & Jain, N. K. (2017). A review on osmotic dehydration of fruits and vegetables: An integrated approach. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), e12440.

RAMYA, V., JAIN, N. K. (2016) “A Review On Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: An Integrated Approach” *Journal of Food Process Engineering*. 1-22.

Revaskar, V.A., Pisalkar, P.S., Pathare, P.B. And Sharma, G.P. (2014). Dehydration Kinetics of Onion Slices In Osmotic and Air Convective Drying Process. *Res. Agric. Eng.* 60, 92–99.

Sami, R., Elhakem, A., Alharbi, M., Benajiba, N., Almatrafi, M., & Helal, M. (2021). Nutritional values of onion bulbs with some essential structural parameters for packaging process. *Applied Sciences*, 11(5), 2317.

Sankat, C.K.; Castaigne, F.; Rohanie, M. (1996). The Air Drying Behaviour of Fresh and Osmotically Dehydrated Banana Slice. *International Journal of Food Science and Technology*, 31, 123–135.

Shi, J.; Le Maguer, M. Mass Transfer in Cellular Material at Solid–liquid Contacting Interface. *LWT Food Science and Technology* 2003, 36, 3–11.

Speck B, Ursula, Fotsch C. (2008). *Connaissance des herbes*. EGK-Caisse de Santé : 4

E. Tattelman, (2005) . Health Effects Of Garlic. *Am. Fam. Physician* 72, 103–106.