

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des sciences et de technologie
Département d'Agroalimentaire



Projet de Fin d'Etudes
Dans le cadre de l'arrêté ministériel 1275
« Un diplôme, une startup / micro entreprise ou brevet d'invention »
Pour l'obtention du diplôme de Master
Filière : sciences Alimentaires
Spécialité : Agroalimentaire et contrôle de qualité

Les fruits lyophilisés

Présenté Par :

1/ BOUZZAHAMADOUCHE Houaria	M2	Nom du département :
2/ BAILICHE Abir	M2	Agroalimentaires
3/ BELKALLOUCHE Chaima	M2	
4/ BELHADJ Hadjer	M2	

Devant le jury composé de :

BELHACINI Fatima	MCA	U.Ain Témouchent	Président
CHIHAB Mounir	MCB	U.Ain Témouchent	Examineur
KHALFA Ali	MCB	U.Ain Témouchent	Encadrant
BENNABI Farid	MCA	U.Ain Témouchent	Co-Encadrant
BEMMOUSSAT Chemseddine	MCB	U.Ain Témouchent	Représentant de l'incubateur
GHORZI Hafida		U.Ain Témouchent	Partenaire socioéconomique

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements

Nous apportons toutes nos gratitudee à **Dieu** le tout puissant de nous avoir donné le courage et l'énergie durant notre formation.

Nous adressons une profonde reconnaissance au **Dr. KHALFA Ali**, maitre de conférences à l'université -Belhadj Bouchaib- d'Aïn-Témouchent, pour la formation qu'elle nous a assuré. On le remercie pour ses enseignements pédagogiques et scientifiques.

Nous remercions également **Dr. BENNABI Farid**, maitre de conférences à l'université -Belhadj Bouchaib- d'Aïn-Témouchent, on le remercie pour ses enseignements qui nous ont beaucoup aidés à nous construire intellectuellement.

On souhaite témoigner nos remerciements tout aussi sincères aux membres de notre jury.

Au Dr. **BELHACINI Fatima** ; **Dr CHIHAB Mounir** ; Dr. **GHORZI Hafida** ; **Dr. BEMMOUSSAT Chemseddine** maitre de conférences à l'université d'Ain-Temouchent qui nous ont fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury, hommages respectueux.

Nous remercions également tous les enseignants du département Alimentaires et particulièrement à ceux du parcours Sciences Alimentaires ainsi que tous les étudiants de la Promotion 2022-2023

Enfin, nous remercions tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à réaliser ce travail.

DÉDICACE

Je dédie ce travail

A mon père et ma mère qui ont éclairé mon chemin et qui m'ont encouragé et soutenu tout au long de mes études depuis ma naissance.

A mes sœurs,

Halima, Nour El Houda

A mon frère,

Mohammed Abdelbasset

A Iyed Jamel Eddine

A toute ma famille **Belkallouche** et **Berrached**

A mes très chère amies

***A toutes les personnes qui nous ont aidé de
près ou de loin.***

BELKALLOUCHE Chaima

DÉDICACE

*A l'aide de DIEU tout puissant, qui a tracé le chemin de ma vie, j'ai pu
réaliser ce travail que je dédie :*

A mes très chers parents,

*qui m'ont toujours apporté soutien et confort dans les
moments difficiles, A mes adorables sœurs Aicha Souad et*

Anfal, et mes frères

Mohamed Nadir et Ahmad Safi din, à qui je souhaite

beaucoup de bonheur.

A mon grand-père et à ma grand-mère.

A toute ma famille

A mes chers Amis,

A tous ceux et celles qui me sont chers.

Merci à vous tous.

BELHADJ Hadjer

DÉDICACE

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents ma mère et mon père

Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs Encouragements

A mes frères, Mohamed et Abdel Karim.

A mes amies et mes camarades.

***Sans oublier tous les professeurs que ce soit du Primaire, du moyen, du
secondaire ou de***

L'enseignement supérieur.

BAILICHE Abir

DÉDICACE

Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui ont toujours été à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études.

A mes sœurs,

Najia & Amina & nadjat & djihane.

A mes frères,

Mohamed et Ahmed

Riad.

A mes neveux,

Nadir Djawad et Rahmouna et Idir et

Nilia.

En témoignage de mon profond amour et attachement que dieu vous procure beaucoup de bonheur et de succès.

Un grand remerciement à mes copines Sabrina et Nahid qui m'ont toujours soutenu et encourager au cours de la réalisation de ce mémoire.

A toute ma famille tantes et oncles et à tous mes cousins et cousines et à toutes mes connaissances.

A mes copines Abir et Chaima et hadjer

Merci de notre coopération pour compléter ensemble cette mémoire.

A mes chers Amis

En souvenir de nos éclats de rire et des bons moments, en souvenir de tout ce qu'on a vécu ensemble, j'espère de tout mon cœur que notre amitié durera éternellement.

BOUAZZA HAMADOUCHE Houaria

RÉSUMÉ

Les fruits lyophilisés sont une solution idéale pour tous ceux qui cherchent à manger de manière saine et équilibrée. Bien que les prix des fruits frais puissent être élevés, les fruits lyophilisés sont une alternative pratique et abordable. De plus, ils sont disponibles toute l'année, ce qui n'est pas le cas pour de nombreux fruits frais, les fruits lyophilisés gardent leur qualité organoleptique et leur valeur nutritive, ce qui les rend également utiles pour les personnes souhaitant perdre du poids ou suivre un régime alimentaire particulier.

De plus, grâce à leur faible teneur en eau, ils peuvent être stockés pendant de longues périodes sans réfrigération.

Enfin, la lyophilisation est l'une des meilleures méthodes de conservation des aliments en général et des fruits en particulier, car elle préserve la plupart des nutriments essentiels tout en éliminant l'eau qui est le responsable du développement de bactéries et de microbes.

Si vous cherchez à ajouter des fruits à votre alimentation de manière pratique, économique et saine, les fruits lyophilisés sont une excellente option à considérer.

Mots clés : Lyophilisation, Méthode de conservation, Fruits, qualité organoleptique, valeur nutritive.

ملخص

تعتبر الفواكه المجففة بالتجميد حلاً مثاليًا لأي شخص يتطلع إلى تناول الطعام بطريقة صحية ومتوازنة. على الرغم من أن أسعار الفاكهة الطازجة يمكن أن تكون مرتفعة ، فإن الفواكه المجففة بالتجميد هي بديل مناسب وبأسعار معقولة. بالإضافة إلى ذلك ، فهي متوفرة على مدار السنة ، وهذا ليس هو الحال بالنسبة للعديد من الفواكه الطازجة ، حيث تحتفظ الفواكه المجففة بالتجميد بجودتها الحسية وقيمتها الغذائية ، مما يجعلها مفيدة أيضًا للأشخاص الذين يرغبون في إنقاص الوزن أو اتباع نظام غذائي خاص.

بالإضافة إلى ذلك ، بفضل محتواها المائي المنخفض ، يمكن تخزينها لفترات طويلة دون تبريد.

أخيرًا ، يعد التجفيف بالتجميد من أفضل طرق حفظ الطعام بشكل عام والفاكهة بشكل خاص ، حيث يحافظ على معظم العناصر الغذائية الأساسية مع التخلص من الماء ، وهو المسؤول عن نمو البكتيريا والميكروبات.

إذا كنت تبحث عن إضافة الفاكهة إلى نظامك الغذائي بطريقة مريحة واقتصادية وصحية ، فإن الفواكه المجففة بالتجميد تعد خيارًا رائعًا يجب مراعاته.

الكلمات المفتاحية: التجفيف بالتجميد، طريقة الحفظ، الفاكهة، القيمة الغذائية، الجودة الحسية

ABSTRACT

Freeze dried fruits are an ideal solution for anyone looking to eat in a healthy and balanced way. Although the prices of fresh fruit can be high, freeze-dried fruit is a convenient and affordable alternative. In addition, they are available all year round, which is not the case for many fresh fruits. Freeze-dried fruits retain their sensory quality and nutritional value, which also makes them useful for people who want to lose weight or follow a special diet.

In addition, thanks to its low water content, it can be stored for long periods of time without refrigeration.

Finally, freeze-drying is one of the best methods of preserving food in general and fruits in particular, as it preserves most of the essential nutrients while eliminating water, which is responsible for the growth of bacteria and microbes.

If you are looking to add fruit to your diet in a convenient, economical, and healthy way, freeze-dried fruits are a great option to consider.

Keywords: Freeze-drying, Preservation method, Fruits, organoleptic quality, nutritional value.

SOMMAIRE

Liste des tableaux

Listes des figures

Liste des abréviations

Introduction..... 01

Chapitre I. Le comportement des micro-organismes en milieu alimentaire

I.1. Action des micro-organismes dans les aliments.....	04
I.2. La qualité marchande.....	05
I.3 La qualité hygiénique.....	05
I.4. Les différents types d'altération.....	05
I.4.1. Mécanismes d'altération.....	06
I.4.2. Les facteurs d'altération des aliments.....	07
I.5. Les conséquences.....	10
I.5.1. Incidences sanitaires de la présence de micro-organismes.....	10
I.6. Principales flores et germes de contaminations des aliments.....	12
I.7. Définition de la sécurité alimentaire	13
I.8. Définition de l'hygiène alimentaire.....	14
I.9. Système HACCP.....	14

Chapitre II. Méthodes de conservation des aliments

II.1. Définition de la conservation.....	16
II.2. Les différentes techniques de conservation.....	16
II.2.1. Techniques de conservation par la chaleur.....	16
II.2.2. Techniques de conservation par le froid.....	19
II.2.3. Techniques de conservation par séparation et élimination l'eau (déshydratation).....	22
II.2.4. Techniques chimiques de conservation.....	25

Chapitre III. La lyophilisation

III.1. Historique.....	28
III.2. Généralités sur lyophilisation.....	29
III.3. Les avantages de procédé de lyophilisation.....	30
III.4. Les étapes de lyophilisation.....	31
III.4.1. La congélation.....	31
III.4.2. Sublimation ou dessiccation primaire (séchage primaire).....	32
III.4.3. Dessiccation secondaire (Séchage secondaire).....	33

III.5. Conditionnement emballage et stockage.....	34
III.6. Modifications des produits alimentaires au cours de la lyophilisation.....	35
III.6.1. Les altérations physiques et physico-chimiques.....	35
III.7. Les agents protecteurs de lyophilisation selon leur fonction.....	38
III.8. Les composantes d'un lyophilisateur.....	39
III.9. Domaines d'application de technologie de lyophilisation.....	40
Chapitre IV. Les fruits lyophilisés	
IV.1. Introduction.....	44
IV.2. Définition de fruits.....	44
IV.3. Classification des fruits.....	44
IV.4. La production de fruits.....	46
IV.5. La valeur nutritionnelle des fruits.....	46
IV.6. Lyophilisation de fruits.....	48
IV.7. Les avantages de fruit lyophilisé.....	49
IV.8. Effet des conditions de lyophilisation sur les propriétés physiques sélectionnées des fruits.....	50
IV.9. poudre de fruits lyophilisés.....	53
IV.9.1. Lyophilisation de fraise.....	53
IV.9.2. Lyophilisation de Framboise.....	54
IV.9.3. Lyophilisation de Mangue.....	55
IV.9.4. Lyophilisation de Myrtille.....	55
IV.9.5. Lyophilisation de Mure.....	55
IV.9.6. Lyophilisation de kiwi.....	56
IV.9.7. Lyophilisation de Prunes.....	56
CONCLUSION.....	58
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	61
ANNEXE.....	70

Liste des tableaux

Tableau 01 : Classification des facteurs d'altération des aliments.....	07
Tableau 02 : Les différentes techniques de pasteurisation.....	17
Tableau03 : Les différentes techniques de stérilisation.....	18
Tableau 04: Intérêts et limites de la surgélation.....	21
Tableau 05: Intérêts et limites de la déshydratation.....	23
Tableau 06: Classification des fruits et leur période de production.....	45
Tableau 07: Activité de l'eau et teneur en humidité de certains produits lyophilisé.....	52

LISTES DES FIGURES

Figure 01: Les principales interactions aliment / microorganisme / consommateur	11
Figure 02: Principes du plan HACCP et bonnes pratiques d'hygiène.....	14
Figure 03 : Schéma d'un appareil de lyophilisation.....	40

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Aw : Activité de l'eau (activité de l'eau).

DLC : La date limite de consommation.

DLUO : La date limite d'utilisation optimale.

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

NASA : Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace.

Ph : Le puissant hydrogène.

RMF : L'humidité résiduelle finale.

RTD : Détecteur de température à résistance.

Tc : Température d'effondrement.

Teu : Température euctique.

TG : La température de transition de la glace.

Introduction

Introduction

La consommation quotidienne de fruits est positivement liée aux bienfaits pour la santé et à la réduction de l'incidence et de la mortalité dues aux troubles dégénératifs, tels que le cancer et les maladies cardiovasculaires (**Oyebode *et al.*, 2014 ; Wang *et al.*, 2014**).

les fruits sont une riche source de micronutriments essentiels (tels que la vitamine C et l'acide folique) et d'autres composés bioactifs, y compris les composés phénoliques (**Van Duyn *et al.*, 2000 ; Beattie *et al.*, 2015**).

Les techniques de conservation jouent un rôle important pour garantir la qualité et la sécurité des produits transformés à base de fruits.

Parmi ces techniques, la lyophilisation est reconnue comme l'un des principaux procédés utilisés pour la conservation et le stockage à long terme des produits fruitiers (**Skrede *et al.*, 1996**). Outre les aspects de conservation, la lyophilisation permet également le transport de produits vers des marchés éloignés qui n'ont pas accès à des fruits frais, et permet aux fruits de saison, tels que les baies, et leurs produits d'être disponibles pour les consommateurs tout au long de l'année.

La lyophilisation est un processus dans lequel l'eau est sublimée par la transition directe de l'eau du solide (glace) à la vapeur, omettant ainsi l'état liquide, puis désorbant l'eau de la couche "sèche" (**Oyebode *et al.*, 2014 ; Van Duyn *et al.*, 2000**).

Cette technique est une courtoisie utilisée pour prolonger la période de maintien des aliments dans le traitement des teneurs en eau, ce qui empêche la croissance des micro-organismes tels que les bactéries, l'humidité et les levures qui peuvent causer la détérioration des aliments.

La NASA a été l'un des premiers consommateurs de ces produits, les astronautes ont besoin d'une nourriture de bonne qualité et les navettes spatiales sont limitées en ce qui concerne le poids le volume (**Jiang et Adhikari, 2013**).

L'objectif de cette étude est d'appréhender les bienfaits des fruits lyophilisés et d'évaluer leur efficacité à préserver leurs propriétés nutritionnelles, gustatives et organoleptiques ainsi qu'à prolonger leur durée de conservation

Chapitre I

*Le comportement des micro-
organismes en milieu
alimentaire.*

Chapitre I. Le comportement des micro-organismes en milieu alimentaire

Une fois l'agriculture devenue possible, les gens ne dépendent plus de la chasse et de la pêche pour satisfaire leurs besoins alimentaires. A partir de 3000 ans avant JC, il y avait un surplus de nourriture. La viande était conservée avec du sel, le fromage, le vin et le fumage du poisson sont tous issus de cette culture, il a également été introduit à cette époque.

Les aliments impropres à la consommation humaine, contenant des bactéries, des virus, des parasites nuisibles ou des substances chimiques nocives, sont à l'origine de plus de 200 maladies, ces derniers diarrhéiques sont les affections résultant de la consommation d'aliments contaminés les plus courantes : chaque année, 550 millions de personnes sont atteintes par ces maladies et 230 000 en meurent.

Les maladies d'origine alimentaire, qui couvrent une large gamme de maladies, constituent un problème de santé publique croissant dans le monde entier, en particulier chez les personnes très jeunes et très âgées.

Dans la population humaine, un nombre stupéfiant de personnes tombe malade à la suite de l'ingestion d'aliments contaminés par des bactéries, des virus ou des parasites. Selon l'organisation mondiale de la santé (OMS), chaque année, environ 600 millions d'individus soit près d'une personne sur dix dans le monde tombent malades après avoir ingéré des aliments contaminés ; et plus de 400 000 personnes meurent chaque année à cause des maladies d'origine alimentaire (OMSA, 2023).

I.1. Action des micro-organismes dans les aliments

La surveillance des micros biomes dans les environnements de production alimentaire permet d'identifier les incidents à un stade précoce. C'est par exemple le cas des contaminations qui risquent de compromettre la qualité et la sécurité des produits.

Par ailleurs, étant donné que le type de micro-organismes présents dans certaines matières premières ou produits est conditionné par leur origine et leur environnement de transformation, le micro biome pourrait permettre de vérifier l'origine et l'authenticité de certains aliments (Lorena, 2021).

I.2. La qualité marchande

Concerne essentiellement les caractéristiques organoleptiques et se traduit par un attrait ou une répugnance par les consommateurs, ses incidences économiques sont déterminantes pour l'industrie alimentaire, les caractéristiques nutritionnelles et technologiques de l'aliment contribuent à cette qualité (**Jean, 2015**).

Les microorganismes les plus courants appartiennent aux genres Pseudomonas, Acinetobacter, Moraxella, Alcaligenes, Aspergillus, Rhizopus, Clostridium Sporogenes et Flavobacterium (**Roussary, 2010**).

I.3 La qualité hygiénique

La nocivité des aliments correspond au seuil de qualité, et certains types d'aliments doivent répondre au critère de l'absence de défauts, notamment à partir du moment où les micro-organismes présents dans le produit peuvent avoir des effets nocifs et parfois très dangereux pour la santé du consommateur (**Rosaire, 2010**).

I.4. Les différents types d'altération

Il existe en effet différents types d'altération (**Joffin & Joffin, 2003**).

a/Altération physique

Ex Chocs, blessures, changements d'état, variation de la teneur en eau, changement de couleur.

b/ Altération chimique et biochimique

Ex Oxydation (rancissement), par les enzymes (brunissement enzymatique, lyses, destruction des vitamines et de certains nutriments).

c/ Altération microbienne

Est sans doute la forme la plus connue et la plus risquée. Ex: fermentation.

I.4.1. Mécanismes d'altération

Les aliments vivent, vieillissent et meurent selon des cycles biologiques naturels .On a inventé des termes (DLC et DLUO) pour indiquer les durées de conservation des produits **(Becila, 2009)**.

- Durée de vie et dégradation alimentaire.
- La dégradation microbienne.

a / Durée de vie et dégradation alimentaire

Le concept de durée de conservation est souvent utilisé pour définir la période pendant laquelle un aliment conserve des propriétés compatibles avec l'usage auquel il est destiné. Quand on parle de la vie commerciale d'un produit, cela signifie qu'après une certaine date il ne fournira plus toutes les qualités requises pour la vente. La date de péremption est parfois mentionnée sur l'emballage, on peut aussi parler d'âge.

-DLC : date limite de conservation: cela signifie qu'à partir de la date indiquée sur l'emballage l'aliment est devenu immangeable et ne doit plus être consommé car le niveau de risque pour le consommateur n'est plus, il est méprisable ; le risque est de nature microbiologique.

-DLUO : indique que l'aliment a changé et ne possède plus nécessairement les caractéristiques sensorielles (couleur, texture, consistance, arôme, saveur, goût, etc.) qui composent la qualité recherchée.

Cependant, ce produit n'est pas dangereux et peut être consommé en toute sécurité, certains produits s'améliorent avec le temps, c'est le cas de certaines charcuteries, conserves et fromages **(Becila, 2009)**.

b/ la dégradation microbienne

Les micro-organismes ne décolorent pas, ne gâtent pas ou ne donnent pas une odeur et un goût très mauvais aux aliments, ils peuvent également constituer une menace sérieuse pour la santé publique **(Becila, 2009)**.

Les micro-organismes présents dans les aliments soit à partir de matières premières, ingrédients utilisés ou de contamination, la manière dont ces micro-organismes contaminent les aliments varie selon les organismes présents et les aliments qui les supportent.

I.4.2. Les facteurs d'altération des aliments

On peut classer les facteurs d'altération des aliments selon leur caractère intrinsèque ou extrinsèque, la classification des facteurs d'altération des aliments est illustrée dans le (Tableau 1) (Becila, 2009).

Tableau 1: Classification des facteurs d'altération des aliments (Becila, 2009).

Facteurs intrinsèques	Facteurs extrinsèques
<ul style="list-style-type: none"> - pH - Humidité, activité ou disponibilité de l'eau - Potentiel d'oxydo- réduction - Structure physique de l'aliment - Présence d'agents antimicrobiens naturels 	<ul style="list-style-type: none"> - Température - Humidité relative - Gaz présents (CO₂, O₂) - Types et quantités de microorganismes Ajoutés

I.4.2.1. Facteurs intrinsèques

a/ Le pH

C'est un facteur très important, a un pH faible, le développement des levures et des moisissures est favorisé, a un pH neutre ou alcalin, ce sont les bactéries qui prédominent au cours du processus de pourrissement ou de putréfaction Pour un microorganisme donné, la vitesse de croissance en fonction du pH passe par un optimum. Ce sont souvent des activités enzymatiques sensibles au pH qui sont les facteurs limitant de la croissance microbienne (Louis, 2007).

b/ L'activité de l'eau

La disponibilité de l'eau a un effet sur la capacité des microorganismes à se multiplier.

Plus l'eau est disponible en grande quantité, plus il sera facile de coloniser un aliment, c'est pourquoi on limite cette eau disponible en séchant les aliments par le séchage, la lyophilisation et la déshydratation. Il y a aussi une autre façon de réduire l'eau disponible tout en ne diminuant pas la quantité totale d'eau. Il s'agit d'ajouter des solutés comme du sel ou du sucre que l'on appelle des agents humectant. De cette façon, l'eau se lie à ces solutés et n'est donc plus disponible pour les microorganismes. C'est entre autres pour cette raison qu'on ajoute de grandes quantités de sucres aux confitures et beaucoup de sel aux marinades et poissons (**Bazinet & Castaigne, 2011**).

c/ Le potentiel d'oxydo-réduction

Un faible potentiel d'oxydo-réduction favorise le développement de microorganismes, par exemple, les produits carnés, comme les bouillons, contiennent beaucoup de molécules qui sont directement disponibles pour les microorganismes, puisque leur potentiel d'oxydo-réduction est faible (**Louis, 2007**).

d/ Composition chimique de l'aliment

Pour proliférer, les microorganismes doivent trouver dans l'aliment des substances nutritives. Rappelons que les microorganismes dangereux sont pour la plupart hétérotrophes chimio-organotrophes et doivent donc trouver leur énergie dans les composants de l'aliment. Ils doivent aussi y trouver de l'eau, une source d'azote, des minéraux et pour certains des vitamines et des facteurs de croissance (**Gillespie et al., 2011**).

Plus la diversité de composition d'un aliment est grande (produits animaux tels que les viandes et dérivés, le lait ...) et plus sa susceptibilité à servir de milieu de culture est grande (**Louis, 2007**).

e/ La structure physique

Cette caractéristique a un grand rôle à jouer dans la multiplication des microorganismes.

Le broyage ou le hachage des aliments augmente la surface de la nourriture et brise les cellules. De cette façon, les germes contaminants peuvent se retrouver partout dans les

aliments et rendre le produit insalubre, si on compare un steak à une boulette de bœuf haché, la dernière est beaucoup plus susceptible d'être contaminée rapidement, de plus, la présence de pelures pour les fruits et légumes agit un peu comme une barrière contre les microorganismes (**Fardet, 2013**).

f/ La présence d'agents antimicrobiens naturels

On trouve des agents antimicrobiens naturels dans plusieurs aliments, ceux-ci inhibent la croissance de certains microorganismes, par exemple, les épices contiennent souvent ce genre d'agent, la sauge et le romarin sont les deux épices les plus antimicrobiennes. Dans la cannelle, la moutarde et l'origan, il y a d'autres inhibiteurs chimiques. L'ail contient de l'allicine et le clou de girofle de l'eugénol (c'est la molécule organique donnant l'odeur caractéristique du clou de girofle), ces deux produits sont aussi des antimicrobiens, la coumarine, une enzyme présente dans les fruits et légumes, agit aussi comme un antimicrobien (**Dion, 2000**).

Le lait frais contient des lacténines et des facteurs anti-coliformes à activité limitée dans le temps. L'œuf contient du lysozyme actif sur des germes à Gram positif. Les airelles contiennent de l'acide benzoïque actif sur les levures et moisissures (**Louis, 2007**).

I.4.2.2. Les facteurs extrinsèques

a/ La température et l'humidité relative du milieu

Ce sont les deux facteurs les plus importants lorsque l'on parle de l'avarie d'un aliment. Une humidité relative élevée est favorable aux micro-organismes, même si la température est basse. Si les réfrigérateurs n'ont pas de dégivrage, le milieu devient très humide et permet alors la multiplication des germes microbiens, de plus, si on place un aliment très sec dans un milieu humide, l'aliment aura tendance à absorber très rapidement l'humidité et à offrir aux microorganismes un environnement favorable à leur croissance (**Bruneton, 1999**).

L'humidité relative du lieu d'entreposage influe à la fois sur l'activité de l'eau de l'aliment (équilibre dynamique) et sur la croissance des microorganismes à la surface de cet aliment. Par exemple, quand un aliment a une activité d'eau de 0,6 il faut éviter que les conditions d'humidité relative de l'atmosphère environnante ne conduisent à une augmentation de

l'activité d'eau en surface jusqu'à une valeur compatible avec une croissance microbienne (Borges, 2014).

b/ La présence de gaz

Si on emballe des aliments dans une pellicule plastique, cela favorise la diffusion de l'oxygène, ceci permet donc la croissance de contaminants microbiens superficiels. Pour ce qui est du gaz carbonique(CO₂), sa présence nuit à plusieurs microorganismes. Un excès de ce gaz permet d'abaisser le pH et ainsi de limiter la croissance des agents microbiens, par contre, d'autres organismes vont très bien croître, même en présence de gaz carbonique (Borges, 2014).

c/ Les produits antimicrobiens au cours de la fabrication de l'aliment

Il s'agit de substances qui sont soit bactériostatiques soit bactéricides (éthanol, acides organiques comme les acides lactique, acétique, citrique, tartrique, malique, etc.).

L'addition de composés antimicrobiens aux produits alimentaires (additifs) ou l'utilisation d'agents antimicrobiens divers dans l'environnement de production des aliments (agents de désinfection, de nettoyage, etc.) est réglementée (Lesage, 2013).

I.5. Les conséquences

I.5.1. Incidences sanitaires de la présence de micro-organismes

La croissance incontrôlée de micro-organismes dans les aliments peut provoquer des problèmes au niveau industriel, mais aussi au niveau médical. Les risques encourus varient selon les fonctions multi-paramètres (Roussary, 2010).

- Nature du micro-organisme.
- Niveau décontamination (dose infectante).
- Nature de l'aliment.
- L'état physiologique du consommateur.

a/ Maladies alimentaires

Une maladie d'origine alimentaire est une maladie qui survient pendant l'ingestion des aliments ou des boissons contaminés par des micro-organismes pathogènes (bactéries, virus, parasites). Ils prolifèrent dans l'organisme, s'y multiplient et créent des troubles. Il s'agit d'une infection, en général de nature infectieuse ou toxique les maladies microbiennes transmises par les aliments. (Lesage, 2013).

Les aliments peuvent être des vecteurs ou de véritables cultures pour micro-organismes. Ils sont alors capables de provoquer des conditions différentes chez les consommateurs dont la gravité dépend essentiellement de la nature et de la quantité micro-organismes toxicité de leurs produits d'excrétion. Chaque système alimentaire, microorganisme, consommateur est particulier. Néanmoins il est possible de schématiser les principales interactions susceptibles de se produire de la façon suivante (Figure 01) (Ramsay, 2011)

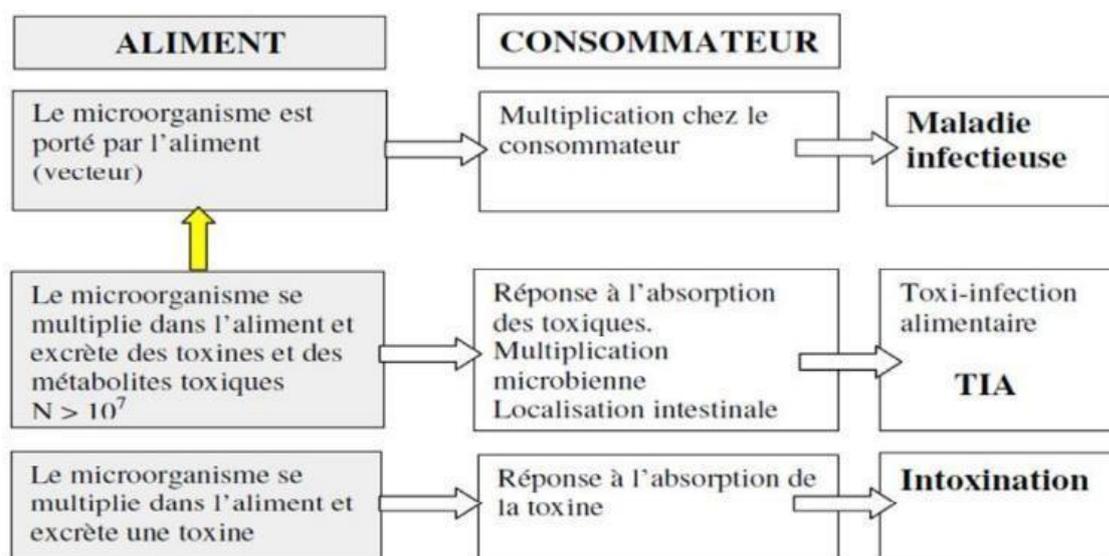


Figure 01: Interactions microorganisme, consommateur protides (Ramsay, 2011).

b/ Les maladies infectieuses

Parmi les maladies infectieuses d'origine alimentaire, la plus fréquente causée par l'ingestion de micro-organismes du genre Salmonella, Shigella, Listeria, Brucella, Mycobacterium, Escherichia, Campylobacter, Clostridium, Yersinia, Vibrio et infection virale (Bouza, 2009).

La présence de l'un de ces micro-organismes est inacceptable dans les aliments en raison de risques qu'ils font courir aux consommateurs. Leur étude a donc été menée par présent /absence (ou tout ou rien) (Louis, 2007).

c/ Les toxi-infections

Croissance microbienne qui réside normalement dans le système digestif et entraîne différents syndromes selon le micro-organisme : crampes, douleurs abdominales, diarrhée, vomissements, sang dans les selles, fièvre, mal de tête (**Panisset et al., 2003**).

Cela dépend évidemment du type de consommateur, de la nature et des conditions de production et de stockage des aliments et des micro-organismes. Compter ensuite pour évaluer la qualité hygiénique du produit (**Louis, 2007**).

d/ Les intoxications

L'empoisonnement est le résultat de l'ingestion de toxines préformées dans les aliments, il s'agit essentiellement des intoxications botuliques, staphylocoque et bacillus cereus. Les micro-organismes synthétisent ces toxines protéiques à ce stade croissance exponentielle (Botox) ou en fin de phase (*S. aureus*) (**Lesage, 2013**).

Par conséquent, chaque système microbe-alimentaire-consommateur peut définir la qualité de l'hygiène, l'effet de normalisation est évident, plus le risque est grand, plus le niveau est élevé, la tolérance alimentaire sera faible (**Roussary, 2010**).

I.6. Principales flores et germes de contaminations des aliments

Les aliments sont rarement stériles à l'intérieur, jamais en surface, souvent contaminés de façon primaire, elles le sont systématiquement de façon secondaire dans divers processus la manipulation dont ils font l'objet (**Becila, 2009**).

Certains contaminants (bactéries, champignons, levures) n'ont pas d'effets indésirables, ni pour le produit ni pour ceux qui vont le consommer, d'autres, en revanche, peuvent gravement mettre en danger la santé humaine (flore agents pathogènes) ou des produits dangereux pour la vie commerciale (flore d'altération) (**Becila, 2009**).

I.6.1. Flore d'altération

Les bactéries d'altération peuvent causer des changements d'apparence, de texture, diminution de la consistance ou de la saveur des aliments (**Becila, 2009**).

Parmi ces pathogènes, on retient spécifiquement les enterobacteriaceae, les levures et moisissure et pseudomonas car ce sont aussi des indicateurs spécifiques (**Jequel, 2013**).

I.6.2. Flore pathogène

Le terme pathogène fait référence à la naissance de la douleur, c'est-à-dire à la cause de la maladie, les agents pathogènes, ou bactéries pathogènes, sont la cause de la maladie. Ainsi, la pathogénicité d'une bactérie est sa capacité à provoquer des maladies chez l'hôte. En fonction de son caractère invasif (capacité à se propager dans les tissus et y établir une source d'infection), et son potentiel toxigène (capacité à produire des toxines) (**Bouza, 2009**).

I.6.3. Les agents pathogènes appartiennent à deux catégories

- Strictes ou spécifiques: Ces bactéries provoquent des troubles quel que soit le patient, sauf dans le cas des porteurs sains.
- Opportunistes: Ces bactéries provoquent des troubles lorsque les défenses immunitaires de l'hôte sont affaiblies (**Becila, 2009**).

I.7. Définition de la sécurité alimentaire

C'est l'ingrédient essentiel pour la qualité des aliments, il est important de savoir que la sécurité alimentaire est un minimum non négociable, le terme est utilisé pour désigner la salubrité des aliments, qui est l'assurance que les aliments ne nuiront pas aux consommateurs lorsqu'ils sont préparés et/ou consommés conformément à l'usage auquel ils sont destinés (**Becila, 2009**).

I.8. Définition de l'hygiène alimentaire

L'hygiène alimentaire est présente tout au long de la chaîne alimentaire, il contient « des mesures et des conditions pour maîtriser les risques et garantir l'adéquation des denrées alimentaires à la consommation humaine. Il se définit également comme un simple ensemble de règles pour éviter les intoxications alimentaires et manger en toute sécurité (**Becila, 2009**).

I.9. Système HACCP

L'HACCP ne sera mis en œuvre que si l'entreprise adopte de bonnes pratiques d'hygiène (BPH) et satisfait aux exigences de sécurité alimentaire pertinentes (FAO/OMS, 2007) (Figure 02) (Dupuis *et al.*, 2002).

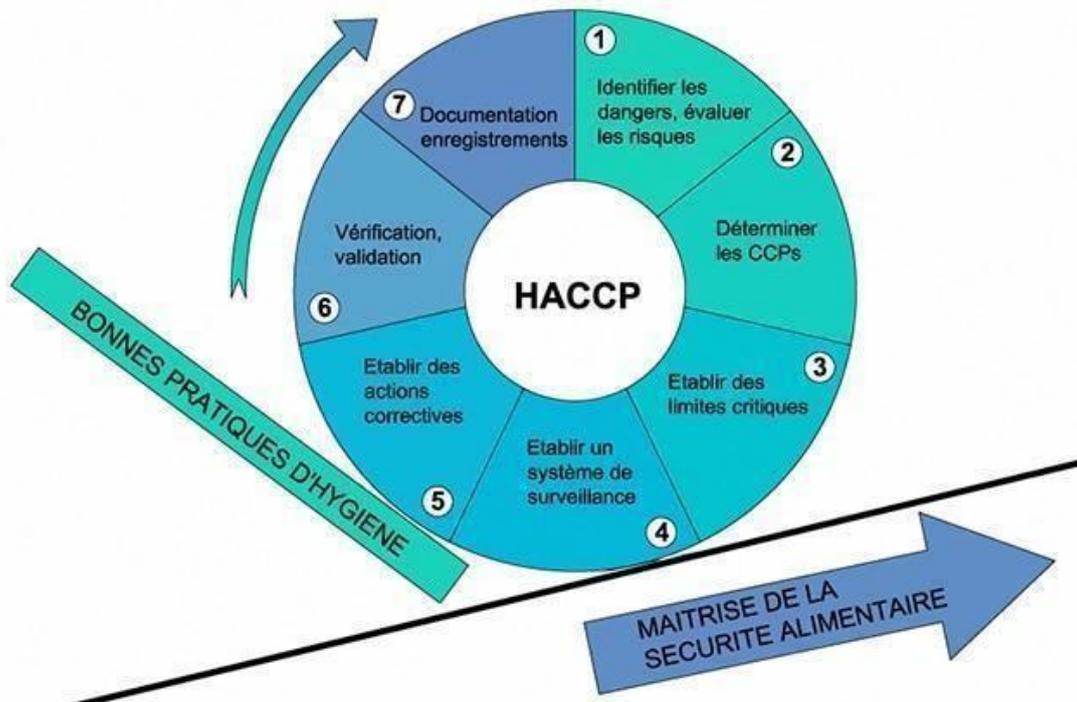


Figure 02: Principes du plan HACCP et bonnes pratiques d'hygiène (Dupuis *et al.*, 2002).

Chapitre II.
***Les méthodes de conservation des
aliments***

Chapitre II. Méthodes de conservation des aliments

II.1. Définition de la conservation

La protection est un ensemble de gestionnaires dont le but est de protéger les aliments, en conservant leur comestibilité, leur goût et leurs propriétés nutritionnelles. Cela implique surtout d'empêcher la croissance des micro-organismes et retarder l'oxydation des graisses qui font rancir (**Darinmou, 2000**).

Il est toujours conseillé de manger des aliments frais car la conservation réduit la valeur nutritionnelle du produit. En d'autres termes, les aliments marinés sont mauvais pour la santé, que des aliments frais (**Corlien, 2005**).

Les deux objectifs poursuivis par la conservation sont :

- ✓ Assurer la stabilité des aliments en empêchant ou en ralentissant la transformation des aliments développement microbien. Dans le cas de procédés autres que la réfrigération, ou obtenir des demi-conserves qui doivent être transportées et stockées à basse température.
- ✓ La stérilisation des aliments, y compris la destruction des micro-organismes et des enzymes nourriture. Il conduit à des conserves qui peuvent être transportées et stockées à température ambiante (**Guy, 2007**).

II.2. Les différentes techniques de conservation

Il existe plusieurs techniques pour prolonger la durée de conservation des aliments, et la recherche dans techniques ce domaine est en cours (**Alexandra, 2001**).

II.2.1. Techniques de conservation par la chaleur

Le traitement des aliments par la chaleur (ou traitement thermique) est aujourd'hui la plus importante technique de conservation de longue durée (**Darinmou, 2000**).

Dont le but est de détruire ou l'inhibition complète ou partielle des enzymes et des micro-organismes, la présence ou la diffusion peut altérer l'aliment concerné ou le rendre impropre à la consommation humains (**Boumendjel, 2005**).

a/ La pasteurisation

Le but de la pasteurisation est de détruire les micro-organismes pathogènes et le changement. En 1856, Louis Pasteur invente la méthode de chauffage des aliments pour maintenir une température définie pendant une période de temps définie avant de refroidir rapidement. Les températures de pasteurisation sont inférieures à 100°C car elles sont traitées de 70°C à 85°C (Tableau 2) (Emilie, 2009).

Tableau 02: Les différentes techniques de pasteurisation (Murielle, 2009).

Nom de la technique de pasteurisation	Traitement		Exemple
	Température appliquée	Durée de traitement	
La pasteurisation basse	63-65 °C	Quelques minutes	Ovoproduits, bière, soda
La pasteurisation basse	70-75 °C		Lait, jus de fruits, semi-conserves, potage.
Le flash pasteurisation	+95°C	Quelques secondes	Lait, jus de fruits

b/ La stérilisation

La stérilisation est une technique visant à éliminer tous les micro-organismes, agents pathogènes, y compris les formes de spores et la plupart des autres bactéries sensibles contaminent les aliments. Par conséquent, les aliments stérilisés peuvent être conservés dans température ambiante, tant que le contenant n'a pas été ouvert et bénéficie de la date limite de meilleure utilisation (DLUO).

Le tableau ci-dessous présente les différentes techniques de stérilisation utilisées (Tableau 03) (Emilie, 2009).

Tableau 03: Les différentes techniques de stérilisation (Murielle, 2009).

Nom de la technique de pasteurisation	Traitement		Exemple
	Température appliquée	Durée de traitement	
La stérilisation classique	110 à 115 °C	Quelques minutes	Lait, viandes, légumes, poisson.
La stérilisation par ultra haute température (UHT)	140 à 150°C par injection de vapeur	Quelques secondes	Lait, crème fraîche liquide, potage, jus de fruit.

c/ L'appertisation

La mise en conserve est un processus de conservation qui consiste à stériliser à la chaleur des aliments périssables dans des contenants hermétiques (boîtes métalliques, bocaux) (Darinmou, 2000), mise en conserve à des fins de conservation à long terme des aliments (Larousse, 1991).

Selon la nature du produit et le temps de chauffe, chauffer les aliments à + 100°C, les bactéries, les spores et les enzymes sont détruites pour un stockage à long terme à l'abri de l'air et de la lumière (Jean-Pierre, 2000).

Le cœur du produit n'atteindra cette température qu'après un temps plus ou moins long selon:

- Type de produit: les pâtes solides ne chauffent pas aussi rapidement que les pois et peuvent se déplacer dans leur jus.
- Taille et forme de l'emballage: le facteur limitant est la distance minimale entre le cœur du produit et la surface de l'emballage.

- Type de matériau: emballage en verre, plastique ou fer-blanc.
- Fluide chauffant: eau ou vapeur, que l'emballage soit agité (**Boumendjel, 2005**).

Il s'agit donc en fait d'un processus clé dans la mise en conserve de divers produits, légumes, fruits au sirop, produits solidifiés, poissons, crème dessert, plats cuisinés, etc (**Mafart, 1991**).

Le processus de mise en conserve entraîne des changements dans les qualités nutritionnelles et organoleptiques de l'aliment (couleur, saveur, texture) (**François et al., 2007**).

Cette technique permet une excellente conservation au niveau microbien (**Gaetan et al., 2004**).

d/ L'Ultra Haute Température

Le principal problème de la mise en conserve est le transfert de chaleur vers le centre chaud, cela nécessite un temps de traitement thermique plus long, et diminue la qualité nutritionnelle et sensorielle de la portion de l'aliment proche de l'aliment mur de boîte. Peut être traitée à des températures plus élevées, et la durée est plus courte si le produit est stérilisé en milieu stérile (remplissage aseptique). C'est le procédé de stérilisation UHT (Ultra Haute Température), idéalement, le processus UHT devrait chauffer le produit immédiatement (et homogénéité), maintenez-le à la température souhaitée (supérieure à 132°C pour réduire - temps de séjour de quelques secondes) puis immédiatement refroidi à cette température de remplissage. Il existe deux principaux types d'équipements: les systèmes directs et le système d'injection de vapeur et d'échangeur de chaleur indirect (**Werner et al., 2010 ; Boumendjel, 2005**).

II.2.2 Techniques de conservation par le froid

Le respect de la chaîne du froid permet d'assurer la sécurité alimentaire et maintenir sa qualité, car toute augmentation de température accélère sa croissance les micro-organismes et raccourcit la durée de conservation des aliments (**Quebec, 2014 ; Murielle, 2009 ; Darinmou, 2000**).

a/ La réfrigération

La réfrigération consiste à stocker les aliments à basse température, proche de la congélation mais toujours positive par rapport à celle-ci (**Darinmou, 2000**). Elle correspond à une période

de stockage en froid positif limité car les produits réfrigérés ont une durée de conservation (DLC) La température générale de réfrigération est 0°C à 4°C (**Emilie, 2009**).

Il y a trois règles de base à suivre lors de l'application de compresses froides:

- ❖ La réfrigération doit être appliquée d'abord et avant tout aux aliments sains.
- ❖ Doit refroidir le plus rapidement possible.
- ❖ La réfrigération doit traverser toute la chaîne de distribution: chaîne d'approvisionnement Les rhumes ne doivent pas être interrompus (**Jean, 2014**).

b/ La congélation

La congélation est un processus de conservation à long terme car elle inhibe le développement enzymatique et microbien (**Emilie, 2009 ; Boumendjel, 2005 ; Morgane, 2013**).

La congélation conserve les aliments plus longtemps que la réfrigération (**Anonyme, 2000**), quel que soit le processus de congélation des aliments, la qualité du produit est limitée par les conditions de stockage (**Guy et al., 2007**).

c/ La congélation rapide ou surgélation

Cette technique utilise des températures plus basses que la congélation (**Murielle, 2009**), c'est une technique de refroidissement brutal (-35°C, -196°C) suivie d'une congélation à - 15°C, - 18°C (**Morgane, 2013**). Vous pouvez congeler des légumes, des fruits, certains fromages, du beurre, des œufs, des jus, de la viande, des produits de la pêche, des plats cuisinés, des pâtisseries et autres desserts. Le stockage peut durer plus de deux ans. Les emballages des aliments surgelés doivent être imperméables à la vapeur d'eau et aux gaz (risque d'oxydation ou odeur) (Tableau 04) (**Boumendjel, 2005**).

Tableau 04 : Intérêts et limites de la surgélation (Murielle, 2009).

Qualité de l'aliment	Intérêts	Limites
Qualité hygiénique	-Stabilisation de la qualité sanitaire par inhibition de la croissance bactérienne et blocage des réactions métaboliques.	-Inhibition mais pas destruction de certains micro-organismes (sous forme végétatives ou des spores) résistant au procédé de congélation et qui reprennent leur métabolisme lors de la décongélation.
Qualité organoleptique	-Arrêt de l'activité enzymatique responsable des altérations à l'exception de quelques enzymes végétales (chlorophylles peroxydases et des lipases). -Conservation d'une qualité Organoleptique moyennement satisfaisante (mais variable selon le type d'aliment et la technique de la congélation utilisée)	-La qualité organoleptique des produits diminue avec la durée du stockage, sous l'effet des modifications physiques et chimiques, et ceci d'autant plus lorsque la température est supérieure à -18 °C Ex: rancissement des lipides si stockage prolongé, modification de couleur et texture des végétaux

<p style="text-align: center;">Qualité nutritionnelles</p>	<p>-Peu d'altérations nutritionnelles les.</p>	<p>-Perte vitaminique (Vitamine C) et déshydratation modérées mais d'autant plus importantes que la durée de stockage est longue Ex: moins 20% de vitamine C après un an de stockage pour des haricots verts.</p>
<p style="text-align: center;">Qualité de service</p>	<p>-Allongement de la durée de vie des produits périssables (stockage très longue durée).</p> <p>-occupation d'un volume restreint.</p> <p>-Facilité d'utilisation: décongélation rapide et ultra rapide avec une enceinte à micro-ondes, travail de préparation limité voire parfois.</p>	<p>-Produit généralement utilisables et disponible avec délai (décongélation).</p> <p>-Procédé de congélation grand dévoreur d'énergie, donc coûteux.</p>

Lors de la congélation, l'eau cristallise très rapidement et atteint un maximum tant au niveau extracellulaire que intracellulaire, les cristaux obtenus sont petits et nombreux, ce qui préserve mieux la structure du produit (**Emilie, 2009**).

II.2.3. Techniques de conservation par séparation et élimination l'eau (déshydratation)

a/ La déshydratation

Le but des techniques de déshydratation est d'éliminer partiellement ou presque complètement l'eau des aliments afin de réduire l'activité de l'eau "aw". De plus, l'élimination presque complète de l'eau permet un stockage plus long (**Emilie, 2009**). Ce

procédé présente deux avantages principaux : l'activité de l'eau du produit traité atteint une valeur suffisamment faible pour inhiber le développement des micro-organismes et stopper les réactions enzymatiques, la réduction du poids et du volume se traduit par d'importantes économies de conditionnement, de transport et de stockage (**Darinmou, 2000**). Réduire le taux d'humidité des produits pour assurer la conservation des produits sans en altérer le goût et l'arôme est une priorité stratégique pour l'industrie agroalimentaire (**Tableau 05**) (**Pierre, 1998**).

Tableau 05: Intérêts et limites de la déshydratation (**Murielle, 2009**).

Qualité de l'aliment	Intérêt	Limites
Qualité hygiénique	-Stabilisation de la qualité sanitaire par arrêt de la croissance bactérienne.	
Qualité organoleptique	-Arrêt de l'activité enzymatique responsable des altérations. -Conservation d'une qualité organoleptique moyennement satisfaisante (variable selon la nature de l'aliment).	-Le produit réhydraté avant sa consommation ne reprend jamais totalement sa forme, son goût d'origine et son aspect : -Saveur modifiée parfois, pertes d'arômes. -Altération de la couleur -Flétrissement et durcissement par migration de constituants solubles à la surface.
Qualité nutritionnelles	Peu d'altérations nutritionnelles.	Perte des vitamines les plus vulnérables (A.D.C).

Qualité de Service	-Allongement de la durée de vie des produits périssables (quelque mois) -Diminution massique et volumique du produit donc gain de place. -Stockage à température ambiante. -Conditionnement individuel ou familial.	-Modification des propriétés fonctionnelles ex: lors du moussage des blancs d'œufs. -Stockage obligatoire en atmosphère sèche. -Temps de réhydratation assez long, et nécessite d'une eau très chaude.
--------------------	--	--

b/ La concentration

La concentration consiste à augmenter la masse du produit par unité de volume et peut être obtenue par déshydratation partielle (**Mafart, 1991**).

La déshydratation peut se faire par:

- Moyens mécaniques (centrifugation, égouttage, pressage, ultrafiltration).
- Thermique (évaporateurs, sécheurs, tours de séchage) (**Murielle, 2009**).

c/ Le séchage

Le séchage est la méthode la plus ancienne de conservation des aliments, elle consiste à éliminer l'excès d'humidité par évaporation de l'eau responsable de l'activité microbienne ou enzymatique (**Mafart, 1991**). Cela a conduit aux produits alimentaires dits secs (**Corlien, 2005**).

Il permet de conserver de bons aliments naturels et de manger sainement toute l'année. Le produit séché se conserve bien dans l'obscurité, conservant sa saveur et sa valeur nutritive pendant environ un an. Le volume des aliments peut parfois être réduit jusqu'à 90 %, par exemple, un kilogramme de pommes fraîches donne 100 grammes de pommes séchées (**Yolande, 2001**).

d/ La lyophilisation

La lyophilisation, anciennement connue sous le nom de séchage à basse température, consiste à congeler des aliments puis à les placer sous vide, l'eau passant directement de l'état solide à la vapeur, c'est-à-dire la sublimation de la glace (**Mafart, 1991**).

Cette technique permet de conserver le volume, l'aspect et les caractéristiques du produit traité (**Machacine, 2007**).

II.2.4. Techniques chimiques de conservation

a/ Le fumage

Le fumage ou fumigation consiste à soumettre les aliments à des composés gazeux dégagés lors de la combustion des végétaux. Le fumage a plusieurs objectifs : aromatiser et colorer, conserver par des effets antimicrobiens et modifier la texture du produit. Il convient principalement aux produits à base de viande qui sont fumés après séchage et peut conserver la viande et le poisson à la déshydratation et aux conservateurs combinés contenus dans la fumée (**Darinmou, 2000**).

b/ Le sucrage

Le sucre ajouté est un excellent conservateur car il est très liquide, le sucre agit comme le sel, sauf qu'il n'est efficace qu'à des concentrations très élevées (65-67 %) (**Boumendjel, 2005**).

La concentration avec du sucre ou des édulcorants ne doit être effectuée qu'à chaud car les aliments doivent perdre une partie de l'eau qu'ils contiennent par évaporation afin qu'une fois dissous, les sucres se lient aux molécules d'eau et les rendent indisponibles pour la croissance microbienne (**Murielle, 2009**).

La conservation du sucre est un savoir-faire connu depuis de nombreux siècles et on le retrouve encore aujourd'hui dans la fabrication de confiserie (fruits confits) et de confitures. (**Geraldine, 2009**).

De plus, la cuisson dissout la pectine dans le fruit, qui se solidifie une fois refroidi, mais seulement s'il y a suffisamment de sucre dans le milieu. Le gel ainsi formé limite la diffusion des contaminants et la croissance des micro-organismes (**Gret, 1993**).

c/ Le salage ou la salaison

Le salage ou la conservation du sel consiste à soumettre les aliments à l'action du sel en saupoudrant les aliments directement sur la surface des aliments (salage à sec) ou en plongeant le produit dans une solution de saumure (saumure). En réduisant l'activité de l'eau du produit, le procédé ralentit ou stoppe le développement des micro-organismes (**Murielle, 2009**).

d/ L'ionisation ou l'irradiation

Cette technologie est utilisée par l'industrie agro-alimentaire depuis 50 ans, elle est conçue pour prolonger la durée de conservation des aliments en les soumettant à une légère dose radioactive (**Anonyme, 2010**).

L'ionisation ou l'irradiation fait référence à la technique consistant à « bombarder » un produit avec un rayonnement ionisant provenant d'électrons accélérés, de radio-isotopes ou de sources de rayons x. L'irradiation est le plus souvent utilisée sur des aliments solides (viande, fruits de mer, épices), séchés ou frais (**Boumendjel, 2005**).

Chapitre II.
La
lyophilisation

Chapitre III. La lyophilisation

III.1. Historique

L'homme a depuis bien longtemps, voulu conserver, voire stocker une part de sa nourriture pour les jours, voire les mois à venir, raison pour laquelle il ne cessait de chercher les méthodes adéquates à cela en conservant intact les aliments pour préserver leurs valeurs gustatives et nutritives.

Parmi les méthodes utilisées par l'homme pour arriver à sa fin la lyophilisation, ce procédé de conservation des aliments par séchage est très bénéfique certes, En 1938, le café lyophilisé a été fabriqué pour la première fois, ce qui a conduit au développement de produits alimentaires en poudre (**Bellis, 2008**).

Les années 1940 ont été marquées par un grand développement, la première utilisation commerciale de la lyophilisation a été signalée. Des équipements et des techniques ont été développés pour fournir du plasma sanguin et de la pénicilline aux forces armées pendant la Seconde Guerre mondiale.

Dans les années 1950 et 1960, avec la popularité croissante des produits alimentaires lyophilisés, le processus de lyophilisation a continué à se développer, en 1960, le terme "lyophilisation" a été inventé. La lyophilisation est généralement attribuée à LR Rey, qui a décrit la nature poreuse du produit séché et ses caractéristiques "lyophiles" pour réabsorber rapidement le solvant et redonner à la substance son état d'origine.

La lyophilisation, qui nécessite l'utilisation d'un équipement spécial, est appelée lyophilisateur. Il contient une grande chambre pour la congélation et une pompe à vide pour éliminer l'humidité ou la sublimation de la glace (**Petal, 2014**).

Depuis les années 1960, plus de 400 types d'aliments lyophilisés ont été fabriqués commercialement, le café lyophilisé est le produit lyophilisé le plus connu. C'est après la Seconde Guerre mondiale que le séchage a été converti en une méthode industrielle utilisant le lyophilisateur à plateaux pour améliorer la durée de conservation des produits pharmaceutiques. De même, pour les granulés de café instantané, le lyophilisateur /à plateaux a été utilisé pour la sublimation de l'eau.

En 1968, Whirlpool Corporation, sous contrat avec la NASA pour les missions Apollo, a mis au point la crème glacée lyophilisée, bien connue sous le nom de glace des astronautes (**Petal, 2014**).

III.2. Généralités sur lyophilisation

La lyophilisation est un procédé largement utilisé pour déshydrater une vaste gamme de matériaux, notamment les denrées alimentaires, les produits pharmaceutiques, les produits biotechnologiques, les vaccins, les produits de diagnostic et les matériaux biologiques. Ce procédé est, par définition, la dessiccation d'un produit à l'état congelé. Elle s'effectue selon deux processus, la sublimation (dessiccation primaire) et la désorption (dessiccation secondaire) (**Simatos *et al.*, 1974 ; Wolffet, 1990 ; Genin et René, 1995**).

C'est une méthode qui consiste à retirer l'eau contenue dans un produit en utilisant un principe physique simple qu'on appelle la sublimation. Celle-ci fait passer l'eau de l'état solide (la glace) à l'état gazeux (vapeur d'eau) directement sans passer par l'état liquide. Les vapeurs d'eau libérées sont ensuite condensées pour maintenir le document dans un environnement à faible humidité relative. La lyophilisation s'effectue au moyen de machines spécifiques qu'on appelle: les lyophilisateurs qui, pour pouvoir appliquer ce principe physique de sublimation.

Le but recherché en lyophilisation est le même que pour tous les autres procédés de déshydratation qui est la conservation des produits par abaissement de l'activité d'eau du produit (**Genin et René, 1995 ; Hammani et René, 1998**).

La lyophilisation est un procédé très utile pour la stabilisation de cultures probiotiques. C'est l'unique méthode qui permet de conserver des principes actifs thermosensibles à l'état sec sur le long terme, elle est également utilisée dans l'industrie alimentaire pour conserver les ferments lactiques (**Barbosa *et al.*, 2015**).

La technique consiste à retirer l'eau d'un produit par l'action combinée du froid et du vide. L'opération se déroule en trois étapes, la congélation, la sublimation (séchage primaire) et la désorption (séchage secondaire).

La lyophilisation, aussi appelée séchage à froid, est un procédé qui consiste à retirer l'eau d'un produit afin de le rendre stable à la température ambiante et de faciliter sa conservation.

On distingue trois phases majeures dans un cycle de lyophilisation. Le procédé de lyophilisation comprend trois étapes principales, successives et indissociables

La congélation: dans cette étape, les produits sont réfrigérés à des températures de l'ordre de -20 °C à -80 °C. L'eau se transforme alors en glace.

La sublimation (séchage primaire) qui permet de sublimer les cristaux glacés qui consistent à sublimer la glace libre (interstitielle), donc sans effet d'ébullition (pas d'eau en phase liquide).

La désorption c'est le fait d'éliminer l'eau liée et non congelée absorbée à la surface, elle permet d'extraire par désorption les molécules d'eau piégées à la surface des produits séchés.

III.3. Les avantages de procédé de lyophilisation

a/ Une conservation à l'état l'air libre

La durée de conservation dépend de l'eau contenue dans les aliments qui est le principal facteur. Ainsi, la lyophilisation permet d'extraire jusqu'à 95% de l'eau présente dans un produit. La durée de conservation d'un aliment lyophilisé à température ambiante est très élevée, bien souvent plusieurs années.

b/ Un gain de poids

L'aliment dont on extrait l'eau voit son poids diminuer drastiquement. Dans le cas de Sally & Cie, ce n'est pas très important, c'est un avantage certain pour les astronautes, les alpinistes, les marins et autres qui doivent emporter avec eux de grandes réserves sans avoir la contrainte de transporter un poids trop important.

c/ Une préservation de la contamination

Un aliment non lyophilisé est composé d'eau, donc il est exposé au développement des bactéries. Par contre le procédé de la lyophilisation permet une conservation parfaite et une protection contre les microbes et autres micro-organismes.

d/ Une préservation du goût et de l'apparence

La lyophilisation permet de conserver toutes les qualités organoleptiques des aliments. En effet, une fois réhydraté, le produit retrouve toutes ses saveurs et odeurs d'origine.

e/ Une préservation des quantités et de la qualité des nutriments

D'après les études menées sur la lyophilisation, il s'avère que celle-ci a un avantage premier par rapport aux autres techniques de conservation: un produit lyophilisé est capable de conserver près de 95% des valeurs nutritionnelles d'origine de l'aliment. Ainsi, les recettes lyophilisées apportent quasiment les mêmes apports nutritionnels: odeur, goût, la couleur et les éléments nutritifs abondamment respectés.

III.4. Les étapes de lyophilisation

III.4.1 La congélation

La première étape du processus de lyophilisation est la congélation, les échantillons sont exposés à une température suffisamment basse pour qu'ils deviennent solides. Cette opération peut être réalisée à l'aide d'azote liquide, dans un congélateur séparé ou dans le lyophilisateur lui-même dans un congélateur séparé ou dans le lyophilisateur lui-même.

Les changements dans les propriétés physiques causées par la formation de cristaux de glace qui peuvent causer l'agrégation des gouttelettes dans les systèmes émulsifiés et des changements de pH dus à la cristallisation des sels tampons (**Tang et Pikal, 2004 ; Wang, 2000**).

Les tampons font de cette étape la plus critique pour l'intégrité du produit. L'intégrité du produit Il est important de comprendre les paramètres critiques de la formulation afin d'optimiser la conception du procédé. Ces paramètres sont les suivant la température eutectique (T_e) pour les échantillons qui forment un eutectique (un mélange de solides cristallins, qui présente la plus forte concentration de solides cristallins).

Mélange de solides cristallins qui présente les mêmes propriétés physiques que s'ils étaient seuls) et la température eutectique propriétés physiques que s'ils étaient seuls) et la température de transition vitreuse (T_g), qui représente la température à laquelle la transformation d'un matériau amorphe en un matériau visqueux se produit de l'état visqueux à l'état vitreux. Cet état vitreux s'accompagne d'une augmentation de la viscosité au fur et à mesure que la température diminue. Il diffère du solide cristallin, qui a une structure moléculaire ordonnée (**Levi et Karel, 1995**).

Différentes valeurs de Tg peuvent exister dans le même échantillon, car la Tg dépend de la teneur en humidité de la teneur en eau. Au cours du processus de séchage, la Tg augmente au fur et à mesure que l'eau est éliminée. Par conséquent, c'est au taux d'humidité le plus bas que la valeur Tg la plus élevée est atteinte (**Fissore *et al.*, 2011 ; Meister et Gieseler, 2009 ; Tang et Pikal, 2004**).

La matière amorphe congelée prend la forme d'un solide (vitreux). Cependant, sa structure moléculaire reste désordonnée comme dans un liquide.

Les paramètres physiques tels que Tg et Teu ont une grande importance en raison de la désorganisation structurelle qui se produit lorsque la température du processus est atteinte.

Désorganisation structurelle qui se produit lorsque la température du processus dépasse ces températures (**Meister et Gieseler, 2009**).

La vitesse de congélation est un paramètre qu'il convient d'optimiser, car des vitesses différentes entraînent la formation de différents types de cristaux de glace. Une congélation rapide entraîne la formation de cristaux de glace petits et nombreux, tandis que la congélation lente forme des cristaux plus grands et moins nombreux. La surface de ces cristaux influencera les étapes ultérieures de la lyophilisation (**Ingvarsson *et al.*, 2011**).

III.4.2 Sublimation ou dessiccation primaire (séchage primaire)

L'eau à l'intérieur du matériau peut être classée en deux types. L'une est l'eau congelable à basse température, également appelée eau libre, l'autre ne peut pas être congelée à basse température. Cette partie de l'eau est liée, elle est donc appelée « eau liée ».

On pense généralement que l'eau liée est adsorbée par le matériau, pour les matériaux riches en eau, l'eau libre atteindra plus de 90% de la teneur en eau totale, Lors du séchage primaire, la quantité de chaleur nécessaire est la chaleur de sublimation de la glace, le chauffage peut se faire par conduction thermique ou par rayonnement thermique.

Deux conditions de base doivent être remplies pour assurer le déroulement du processus de sublimation : la vapeur sublimée doit être éloignée sans cesse de l'interface de sublimation ; et la chaleur nécessaire doit être fournie sans cesse au matériau à sublimer. Si l'une des deux conditions de base n'est pas remplie, certains phénomènes apparaissent, comme le ramollissement, le dégel, le gonflement ou l'effondrement. En fait, le séchage par sublimation

est un processus dans lequel le transfert de chaleur et le transfert de masse ont lieu simultanément. Ce n'est que lorsque le taux de chaleur transféré à l'interface de sublimation est égal au taux de chaleur nécessaire pour que la vapeur s'échappe de l'interface que le séchage par sublimation peut se poursuivre sans problème.

Le transfert de chaleur et le transfert de masse du matériau étant soumis à de nombreuses restrictions, le séchage par sublimation est un processus qui prend beaucoup de temps. Cette étape permet la sublimation de la glace, sous l'effet de faibles pressions et températures **(Tang et Pikal, 2004)**.

La sublimation de la glace commence par la surface supérieure de l'échantillon et se poursuit jusqu'à la base. De cette manière, la vapeur sublimée est éliminée par diffusion ou convection à travers les couches poreuses. Les couches poreuses. Comme la diffusivité est liée à la taille des pores, pour les échantillons qui ont été congelés rapidement et qui ont des pores de taille moyenne, la diffusion peut se faire par convection, l'échantillons qui ont été congelés rapidement et qui ont formé de petits cristaux de glace qui entravent le transfert de masse de la vapeur à travers la couche sèche, l'étape de séchage primaire sera effectuée par une machine à vapeur.

L'étape de séchage primaire sera longue, en revanche, une congélation lente de gros cristaux de glace qui facilitent le mouvement de la vapeur d'eau (le taux de transfert de masse est élevé), et par conséquent, le temps de séchage primaire est réduit, le temps de séchage primaire est réduit.

En outre, la pression joue un rôle important au cours de cette étape, puisqu'elle est la force motrice du transport de la vapeur d'eau. Par conséquent, une pression plus faible dans la chambre entraîne une sublimation plus rapide de la glace **(Ingvarsson et al, 2011)**.

La structure du produit est perdue ou endommagée lorsque l'affaissement se produit pendant le séchage primaire, ce qui peut affecter la qualité du produit lyophilisé. **(Levi et Karel, 1995)**.

III.4.3. Dessiccation secondaire (Séchage secondaire)

Après le séchage primaire, il reste de l'eau non gelée adsorbée sur la surface des structures poreuses et sur les groupes polaires à l'intérieur du matériau séché. Cependant, la température

de désorption ne doit pas être trop élevée, sinon elle entraînerait la dénaturation des matériaux.

Le séchage par désorption, également connu sous le nom de séchage secondaire, consiste à chauffer à une température plus élevée, de sorte que l'eau liée non gelée absorbe la chaleur de désorption et devient de l'eau libre. Ensuite, l'eau libre absorbe la chaleur d'évaporation et devient de la vapeur qui s'échappe finalement du matériau (**Wang, 2000**).

La surface affecte le taux de séchage secondaire, les échantillons soumis à une congélation rapide produisent de nombreux petits cristaux ayant une grande surface, ce qui favorise la désorption (**Rey et May, 2004**).

En revanche, avec une vitesse de congélation lente, la surface de la poudre sèche est faible, ce qui nuit à la désorption de l'eau, ce qui entraîne une vitesse de séchage lente pendant le séchage secondaire (**Wang et al., 2012**).

La réhydratation du produit séché doit se faire lentement en raison de son état anhydre. L'ajout rapide d'eau pourrait perturber la structure poreuse, entraînant l'effondrement de la matrice du système qui pourrait compromettre la qualité du produit (**Schaffazick et al., 2003 ; Wang, 2000**).

III.5. Conditionnement-emballage et stockage

Une fois que le produit est lyophilisé, il doit être immédiatement conditionné et stocké. Cette opération de conditionnement et d'emballage devait se faire dans un environnement sec.

Les produits lyophilisés peuvent être stockés plus longtemps sans contact avec l'oxygène ou la vapeur d'eau présente dans l'air. Lorsque le produit doit être utilisé, il doit être réhydraté dans la plupart des cas.

L'emballage et le scellage doivent être effectués dans une chambre à vide ou une chambre contenant suffisamment de gaz inerte (azote ou argon). Pour les produits lyophilisés en bouteilles ou en flacons, le scellage peut être effectué dans une salle de séchage et le passage de l'air peut être pressé avec un bouchon en caoutchouc, Pour les produits en vrac ou les matériaux en ampoules, ils peuvent être extraits de la chambre de séchage par le canal à vide et transportés vers la chambre à vide (ou une chambre contenant suffisamment de gaz inerte) et scellés par le manipulateur (**Hua et al., 2011**).

III.6. Modifications des produits alimentaires au cours de la lyophilisation

III.6.1. Les altérations physiques et physico-chimiques

En général, les modifications qui surviennent sur un produit lors de la lyophilisation peuvent être de nature physique et physico-chimique. La faible teneur en eau des produits lyophilisés les protège généralement de la prolifération microbienne. Les changements physiques les plus importants dans l'effondrement de la structure du produit, ainsi que diverses réactions physico-chimiques, peuvent être expliqués par un nouveau concept, à savoir la transition vitreuse.

III.6.1.1. Transition vitreuse dans les aliments séchés

Depuis le début des années 1980, la recherche dans le secteur agroalimentaire a développé un nouveau concept de transition vitreuse. Ce dernier joue un rôle clé dans la qualité des aliments transformés par congélation, atomisation, lyophilisation ou séchage conventionnel (**Genin et René, 1995**).

Les notions d'état vitreux et de transition vitreuse expliquent de nombreux phénomènes tels que la recristallisation des produits surgelés au cours du temps, l'affaissement des produits lors de la lyophilisation, leur rancissement et la perte d'arôme lors du stockage. (**Genin et René, 1995**).

III.6.1.2. État vitreux-état cristallin et température de transition vitreuse

Les aliments sont souvent des mélanges complexes, concentrés et hétérogènes avec des structures amorphes ou partiellement cristallines (**Le Meste et Simatos, 1990**).

Les cristaux apparaissent comme des répétitions infinies d'un même motif géométrique reliés entre eux par des liaisons de haut niveau (liaisons covalentes), leur conférant une grande stabilité, tandis que les structures amorphes sont caractérisées au niveau microscopique par des états ordonnés à courte portée (avec les liaisons les plus proches entre les molécules), mais sont désordonnés à longue distance (pas de répétition de motifs comme dans les cristaux).

Les aliments lyophilisés sont à l'état amorphe. La transition vitreuse est un phénomène affectant les substances amorphes qui souligne le caractère instable de cet état de non-

équilibre. Il sépare deux plages de température où les matériaux ont des propriétés distinctes qui déterminent leurs applications potentielles. En dessous de la température de transition vitreuse, le matériau est vitrifié et rigide, et au-dessus de la température de transition vitreuse, le matériau est viscoélastique (caoutchouteux). Si la température est élevée, le produit acquiert des propriétés liquides ou cristallines (**Le Meste et Simatos, 1990 ; Genin et René, 1995**).

III.6.1.3. Obtention de l'état vitreux

L'état vitreux peut être obtenu de différentes manières dans le domaine de la biologie ou de l'agroalimentaire: fusion thermique de certains sucres cristallins suivie d'un refroidissement, congélation rapide des solutions, concentration rapide des solutions à haute température suivie d'un refroidissement, et enfin déshydratation des solutions (lyophilisation, atomisation). Pour obtenir un état vitreux à partir d'un liquide, la vitesse de refroidissement ou de concentration doit être suffisante pour que les molécules n'aient pas le temps de produire des germes stables avant d'atteindre les conditions de vitrification (**Le Meste et Simatos, 1990 ; Genin et René, 1995 ; Busin, 1996**).

III.6.1.4. Transition vitreuse et qualité alimentaire

A l'état vitreux, la viscosité est si élevée que les phénomènes de diffusion sont quasiment inexistant à l'échelle du temps dans le procédé (ils ne sont pas totalement absents, mais excessivement ralentis) et les réactions chimiques ou biochimiques sont empêchées, notamment la dégradation aromatique ou réaction à l'oxydation et au changement de couleur. Dès que la température dépasse la température de transition vitreuse, la matrice amorphe se transforme en un fluide viscoélastique dont la viscosité chute fortement et le phénomène de diffusion reprend avec une vitesse croissante, jusqu'à un point où la déformation est facilitée (**Genin et René, 1995 ; Le Meste et Simatos, 1990 ; Levi et Karel, 1995**).

III.6.1.5. Vitesse de congélation et qualité des aliments lyophilisés

La congélation est une étape importante qui peut grandement affecter la qualité du produit ainsi que la durée de la lyophilisation (**Simatos *et al.*, 1974**).

L'effet de la vitesse de congélation sur la qualité des produits lyophilisés a fait l'objet de plusieurs études. Certes, la forme du réseau poreux développé dépend fortement des

conditions de congélation (vitesse de refroidissement) et de la nature de l'échantillon (**Loch-Bonazzi et Wolff, 1991 ; Chen *et al.*, 1993 ; Mazza et Miniati, 1993 ; Kompany et René, 1995 ; Hammami et René, 1997**).

La vitesse de congélation affecte la taille des cristaux de glace et donc la porosité finale du produit lyophilisé (**Simatos *et al.*, 1974**).

III.7. Les agents protecteurs de lyophilisation selon leur fonction

a/ Lyoprotecteur

Le lyoprotecteur, ou l'agent protecteur de la lyophilisation, est une espèce de substance qui peut empêcher la dénaturation du constituant actif pendant, la congélation. L'activité de l'eau des lyophilisats est clairement liée à la disponibilité de l'eau et le maintien d'une faible *aw* pendant le stockage permet d'augmenter la viabilité des bactéries.

b/ Agent gonflant (composé gonflant)

L'agent de charge, appelé aussi le composé de charge, est une sorte de substance qui peut empêcher les composants efficaces de la formule de s'échapper avec la vapeur d'eau, et qui peut favoriser la fixation des composants efficaces dans la matière, comme le mannitol, le lactose, la gélatine, etc.

c/Antioxydant

L'antioxydant, à savoir l'inhibiteur d'oxydation, est une forme de substance empêchant les composants efficaces de la matière de s'oxyder et de se dénaturer durant les opérations de la lyophilisation et le stockage, comme la vitamine D, la vitamine E, l'hydrolysate de protéines et l'hyposulfite de sodium, etc.

d/ Agent tampon (modificateur de PH)

Les tampons sont des formulations nécessaires pour stabiliser le pH. Lors du développement de formulations lyophilisées, le choix du tampon peut être critique. Les tampons de phosphate, en particulier le phosphate de sodium, subissent des changements de pH drastiques pendant la congélation, des changements radicaux de pH pendant la congélation. Une bonne approche consiste à d'utiliser de faibles concentrations d'un tampon qui subit un changement de pH minimal pendant la congélation (**Williams et Dean, 1991**).

III.8. Les composantes d'un lyophilisateur

Le lyophilisateur est formé de plusieurs composants

a/ Chambre

Il s'agit d'une boîte scellée sous vide, parfois appelée chambre ou armoire de lyophilisation. La chambre contient une ou plusieurs étagères pour la manipulation des produits. La chambre peut également être équipée d'un système de bouchage. C'est généralement dans acier inoxydable, intérieur généralement très poli et isolé et habillé à l'extérieur verrou alimenté par des moteurs hydrauliques ou électriques pour bateau (**Snowman, 2006**).

b/ Étagère

Un petit lyophilisateur de recherche ne peut avoir qu'une seule étagère mais tous les autres en auront plusieurs. La conception des étagères est encore compliquée par les différentes fonctions qu'elles doivent remplir. Les étagères agissent comme des échangeurs de chaleur, retirant l'énergie du produit et la fournissant au produit pendant le processus de congélation. L'énergie du produit pendant le processus de congélation et fournit de l'énergie au produit dans les étapes primaire et secondaire. La partie séchage du cycle de lyophilisation. Étagère sera connectée au système d'huile de silicone par Tuyauterie fixe ou flexible.

c/ Condenseur de procédé

Les condenseurs de processus sont parfois simplement appelés condenseur ou piège à froid. Il est conçu pour capturer le solvant, généralement de l'eau, est utilisé dans le processus de séchage. Processus de séchage. Les condenseurs de processus sont constitués de serpentins ou de plaques qui sont refroidis à un niveau inférieur.

Ces serpentins ou plaques de réfrigération peuvent être dans des conteneurs séparés de la chambre, ou ils peuvent être situés à l'intérieur de la chambre. Dans un conteneur séparé de la chambre, ou ils peuvent être situés dans la même pièce que l'étagère.

d/ Système de liquide d'étagère

Le procédé de lyophilisation consiste à congeler le produit, qui génère alors de l'énergie sous forme de fluide. Le produit est d'abord congelé, puis de l'énergie est appliquée sous forme de chaleur pendant toute la phase de séchage du cycle. Cet échange d'énergie se fait

traditionnellement en faisant circuler un fluide dans le rack à la température souhaitée. Passer sur les grilles à la température souhaitée. La température est régulée dans un système d'échange de chaleur externe se compose d'un échangeur de chaleur de refroidissement et d'un électrothermique (**Snowman, 2006**).

e/ Système de réfrigération

Les produits à lyophiliser sont soit congelés avant d'entrer dans le séchoir, soit congelés en rayon. Cette tâche demande une énergie considérable. Énergie froide le refroidissement est assuré par des compresseurs et parfois aussi par des liquides (**Snowman, 2006**).

f/ Système de vide

Pour éliminer le solvant en un temps raisonnable, le vide doit être appliqué pendant le processus de séchage, une pompe à vide rotative à deux étages est pour les grandes chambres, plusieurs pompes peuvent être utilisées.

g/ Capteurs

L'appareil de mesure de température utilisé est un RTD (PT100) ou thermocouple (généralement de type T). Le capteur de vide comprend deux types principaux: compteurs thermoélectriques ou Pirani et manomètre volumétrique.

h/ Système de contrôle

Les éléments de contrôle nécessaires sont comme mentionné ci-dessus, la température et la pression du plateau plus temps. Le programme de contrôle configure ces valeurs en fonction du produit ou du processus, les horaires peuvent varier des heures aux jours, d'autres données telles que température du produit et température du condenseur de processus. Il est également possible d'enregistrer (**figure 03**) (**Duan et al., 2016**).

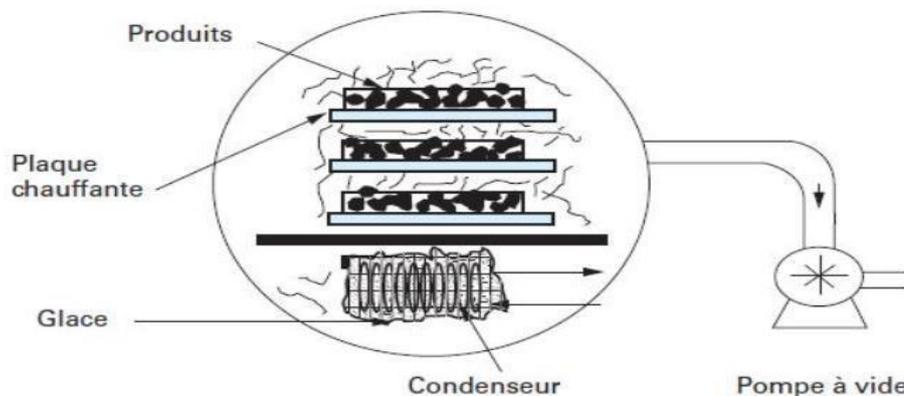


Figure 03: Schéma d'un appareil de lyophilisation (Duan *et al.*, 2016).

III.9. Domaines d'application de technologie de lyophilisation

a/ Lyophilisation de microorganisme: la lyophilisation des micro-organismes

Un grand nombre de micro-organismes ont pu être lyophilisés avec succès, comme les bactéries, les actinomycètes, les levures, les champignons filamenteux et les virus. La survie par lyophilisation des micro-organismes est supérieure à 80%. Néanmoins, jusqu'à présent, de nombreux micro-organismes ne peuvent pas encore être lyophilisés. Même pour les micro-organismes qui sont lyophilisés avec succès, les procédures de lyophilisation ne sont pas les mêmes, et les agents protecteurs ne sont pas aussi similaires.

b/ Lyophilisation pharmaceutique

La plupart des produits de la médecine moderne sont sensibles à la chaleur, comme les liposomes, l'interféron, l'hormone de croissance humaine, ainsi que la phytothérapie chinoise. Ces produits sont sensibles à la température, principalement à une température élevée les produits pharmaceutiques fabriqués selon cette méthode présentent les caractéristiques suivantes: stabilité structurelle, activité biologique pratiquement inchangée, perte quasi nulle des ingrédients volatils et des ingrédients thermosensibles. Les produits pharmaceutiques ont une structure poreuse et une bonne efficacité thérapeutique, une perte d'eau élevée de 95 % à 99 %, un stockage pratique à température ambiante ou au réfrigérateur pendant une longue période (Hua *et al.*, 2011).

c/ La lyophilisation des médicaments

Le séchage des médicaments à basse température n'entraîne pas de dénaturation ni de perte de vitalité biologique. Les médicaments protéiques, les vaccins, les bactéries, les souches et les produits sanguins sont particulièrement adaptés à la conservation par la technologie de lyophilisation.

Après la lyophilisation, les médicaments peuvent conserver leur volume et leur forme d'origine. Lorsqu'ils sont réhydratés, leur énorme surface de structure poreuse absorbe bien l'eau et rétablit et maintient rapidement leur forme originale, le séchage s'effectue sous vide, il y a très peu d'oxygène dans la chambre de séchage, ce qui permet de protéger facilement les composants des médicaments qui s'oxydent facilement.

d/ Lyophilisation alimentaire

La lyophilisation est utilisée pour conserver les aliments. Les aliments lyophilisés sont complètement déshydratés, ils sont donc légers, faciles à réhydrater, rapidement solubles et peuvent être conservés à température ambiante pendant longtemps. Ce procédé a été popularisé sous la forme de glaces lyophilisées, un exemple de nourriture pour astronautes. Il est également populaire et pratique pour les randonneurs car le poids réduit leur permet de transporter plus de nourriture et de la reconstituer avec l'eau disponible.

Le café instantané est parfois lyophilisé, malgré le coût élevé des lyophilisateurs. Le café est souvent séché par vaporisation dans un flux d'air chaud ou par projection sur des plaques métalliques chaudes. Les fruits lyophilisés sont utilisés dans certaines céréales pour le petit-déjeuner. Les aliments lyophilisés sont considérés comme des aliments de haute qualité, des aliments pratiques et des aliments de loisirs. La technologie est utilisée dans les légumes et les fruits exportés, ou dans les voyages, l'exploration, la navigation (**Hua et al.,2011**).

e/ Lyophilisation de cellules humaines

Si les cellules humaines (telles que les globules rouges, les plaquettes, les cellules du sang de cordon ombilical et autres) ont pu être lyophilisées avec succès, les gens auront alors leurs propres cellules stockées chez eux. Les cellules humaines sont d'abord lyophilisées en poudre, scellées dans des bouteilles en verre, puis stockées à température ambiante pour être conservées plusieurs années ou décennies. En cas d'urgence, les cellules stockées peuvent être réactivées par une simple réhydratation.

La lyophilisation de cellules humaines suscite une grande attention et fait l'objet d'études actives dans le cercle académique international actuel. Si elle réussit, cette technologie aura des applications extrêmement importantes et entraînera un changement significatif dans la médecine clinique.

La lyophilisation des cellules humaines suscite une grande attention et fait l'objet d'études actives dans le cercle académique international actuel. Si elle réussit, cette technologie aura des applications extrêmement importantes et entraînera un changement significatif dans la médecine clinique.

f/ Lyophilisation chimique

Ce procédé de la lyophilisation dans le génie chimique consiste à isoler des substances instables en solution, même si cela n'a pas encore donné lieu à des applications industrielles. Toutefois les ressources de la technique sont encore en hausse du fait qu'il est possible, en milieu non aqueux, de lyophiliser à très basse température, donc peut-être de stabiliser des espèces chimiques très instables.

En synthèse chimique, les produits sont souvent lyophilisés pour les rendre plus stables ou plus faciles à dissoudre dans l'eau pour une utilisation ultérieure. Dans les bioseparations, la lyophilisation peut également être utilisée comme une procédure de purification tardive, car elle peut éliminer efficacement les solvants. En outre, elle est capable de concentrer des substances de faible poids moléculaire qui sont trop petites pour être éliminées par une membrane de filtration.

Chapitre IV.
Les
fruits lyophilisés.

Chapitre IV. Les fruits lyophilisés

IV.1. Introduction

Les fruits sont essentiels à l'alimentation humaine, car ils sont riches en vitamines, minéraux et antioxydants, ils se distinguent par leur goût, leur couleur et leur odeur. Ces propriétés doivent être préservées lors de la transformation agro-industrielle (**Kirmaci *et al.*, 2008**).

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommande 400 grammes de fruits par jour (**Montenegro *et al.*, 2009 ; Orrego *et al.*, 2009 ; Shofian *et al.*, 2011**).

Cependant, le caractère périssable et la disponibilité saisonnière de nombreux fruits signifient qu'ils ne sont pas toujours disponibles pour les consommateurs. Pour lutter contre cela, l'industrie propose souvent des fruits transformés qui ont partiellement ou complètement leurs propriétés physiques, nutritionnelles et nutritionnelles.

IV.2. Définition de fruits

Le fruit est le produit comestible de certains végétaux, de saveur généralement sucrée et issu du développement de l'ovaire à la suite de la fécondation des ovules.

Les fruits représentent un des éléments essentiels pour une alimentation équilibrée et sont connus pour leur rôle dans l'entretien des fonctions vitales de l'organisme humain. La valeur alimentaire, diététique et thérapeutique des fruits est unanimement acceptée.

Ils sont souvent considérés comme des « aliments fonctionnels » grâce au contenu riche en divers micronutriments tels que les composés phénoliques (reconnus notamment pour leur fort pouvoir antioxydant), les minéraux, les vitamines, etc.....

IV.3. Classification des fruits

On peut effectuer le classement botanique suivant :

- les baies : bleuet, mûre, raisin, fraise, framboise, canneberge, etc.
- les fruits à noyau : prune, pruneau, nectarine, pêche, cerise, datte, abricot, etc.
- les fruits à pépins : pomme, poire, etc.

- les agrumes : pamplemousse, orange, citron, lime, etc.
- les fruits tropicaux : banane, ananas, litchi, papaye, goyave, mangue, etc.
- les melons : pastèque, melon, etc. (**Tableau 06**) (**Jean, 2013**).

Tableau 06: Classification des fruits et leur période de production (**Jean, 2013**).

Les types	Fruits	période de production
Agrumes	1 Orange	1 Octobre à mars
	2 Mandarines	2 Décembre à mars
	3 Citrons	3 Toute l'année
Fruits rouges	1 Cassis	1 Juin à août
	2 Fraises	2 Mai à septembre
	3 Framboises	3 Juin à août
	4 Groseilles	4 Juin à septembre
	5 Myrtilles	5 Août, septembre
	6 Mures	6 Juillet septembre
Fruits à noyaux	1 Pêches	1 Juin à septembre
	2 Abricots	2 Juin à août
	3 Prunes	3 Mai à septembre
	4 Brugnons	4 Mai à septembre

Fruits à pépins	1 Raisins	1 Août à novembre
	2 Pommes	2 Juillet à mars
	3 Poires	3 Juin à décembre
	4 Melons	4 Mai à août
	5 Kiwi	5 Novembre, décembre
	6 Pastèques	pour la production française 6 Juillet à octobre
Fruits oléagineux	1 Noisette	1 Octobre à décembre
	2 Noix	2 Octobre, novembre
	3 Amandes	3 Septembre, octobre
	4 Olives	4 Novembre, décembre

IV.4. La production de fruits

Conformément aux données statistiques de l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, en 2018, plus de 868 millions de tonnes de fruits ont été obtenues au niveau mondial.

En tête de la production algérienne de fruits étaient la pomme et l'abricot, avec plus de cinq millions de quintaux et deux millions respectivement. La production de cerises était l'une des plus faibles, atteignant environ 92.000 quintaux.

Selon le type d'agrumes, on peut observer que la production d'oranges s'élevait à plus d'un million de quintaux pendant la saison 2016 / 2017, tandis que la production de citrons était d'environ 800.000 quintaux.

IV.5. La valeur nutritionnelle des fruits

Nous savons tous que les fruits et légumes sont « sains », en fait, ils contiennent de nombreuses vitamines et minéraux, et contiennent également des glucides et des fibres, ainsi que beaucoup d'eau. Certains sont également riches en antioxydants, ce qui peut être bénéfique pour certaines maladies chroniques, telles que les maladies cardiovasculaires. De plus, ils sont généralement faibles en gras et faibles en calories. Pour toutes ces raisons, les fruits et légumes font partie intégrante d'une saine alimentation (**Guy et al., 2002**).

a/ Glucides

Les glucides essentiels pour la consommation humaine. Existents dans les fruits, soit sous forme de « sucres rapides » comme le glucose (raisin et fruits à noyau), le fructose (pomme, poire, fraise), le saccharose (abricot, pêche, pomme, poire, fraise), soit sous forme de « sucres lents » plus complexe comme l'amidon (banane non mûre, châtaigne), ou encore la cellulose qui est contenue dans les membranes cellulaires des fruits (**Lepatre, 2000**).

b/ Vitamines et minéraux

Les fruits fournissent un groupe de vitamines et de minéraux, par exemple, ils comprennent les vitamines A, B6 et C, le potassium, le fer, le magnésium, le cuivre et le calcium. Il est important de manger des fruits frais avec la peau car ils contiennent la plupart des vitamines et des minéraux (**Guy et al., 2002**).

c/ Fibres

Contrairement à ce que la plupart des gens croient, la plupart des fruits sont une excellente source de fibres solubles et insolubles, ce qui stimule considérablement le transit intestinal.

Comme les vitamines et les minéraux, les fibres se trouvent principalement dans la peau des fruits et des légumes, il est donc important de consommer le plus possible cette portion d'aliment (**Tirilly et Bourgeois, 1999**).

d/ Les matières grasses

La plupart des fruits sont faibles en gras (moins de 1 g par portion de 125 ml). Sauf pour les avocats, cela dit, les graisses des avocats sont des acides gras mono insaturés, c'est-à-dire qu'il ne s'agit pas de graisses nocives pour la santé mais au contraire bénéfiques pour la santé cardiovasculaire (**Lepatre, 2000**).

IV.6. Lyophilisation de fruits

Les fruits séchés sont une denrée alimentaire importante, dont la production mondiale s'élève à 1 000 000 de tonnes par an. La production américaine s'élève à 400 000 tonnes par an, rien qu'en Californie, 60 000 tonnes de pêches à noyau libre et 40 000 tonnes d'abricots sont produites séchées chaque année. Les fruits lyophilisés présentent certains avantages importants par rapport à ceux qui sont déshydratés dans l'atmosphère. Les premières études ont montré que les pêches et les abricots lyophilisés ont une stabilité de stockage très supérieure (**Miller et Mark, 1955**).

Le fruit peut être consommé directement et constitue un nouveau produit qui est très différent des fruits déshydratés de manière conventionnelle. Il est constaté que ces fruits, immédiatement après la lyophilisation, étaient de qualité comparable aux produits congelés à partir desquels ils ont été lyophilisés (**Gane, 1950**).

Elle consiste à congeler des fruits puis à les mettre sous vide : ainsi l'eau passe directement de l'état solide à la vapeur (sublimation). Ce processus de conservation est divisé en trois étapes principales : le produit est surgelé à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (doit être complètement solide), combiné à des conditions de vide et de séchage.

Le séchage se déroule en deux étapes:

- ❖ Séchage initial : il s'agit de la sublimation de toute eau congelée ou glace « libre » des aliments évaporés ; le produit reste congelé (température $< 0^{\circ}\text{C}$) pendant cette phase.
- ❖ Séchage secondaire (ou désorption) : lorsque toute la glace est sublimée, il s'agit de l'élimination de l'humidité résiduelle, correspondant à de l'eau non gelée fortement liée. Enfin, après lyophilisation, le vide est rompu avec de l'azote en atmosphère très sèche (récupération d'un produit très fragile) et immédiatement conditionné dans des emballages étanches à l'air et à la vapeur d'eau.

Le lyophilisateur de fruit se compose des éléments suivants:

une chambre de séchage où le produit est disposé sur une série de plateaux parallèles et horizontal, une source de chaleur (plateaux de circulation de fluide, résistances, rayonnement infrarouge ou micro-onde), un piège à glace et une pompe à vide (**Figure 06**) (**Duan et al., 2016**).

IV.7. Les avantages du fruit lyophilisé

Les fruits lyophilisés comme la banane, le durian, l'ananas, le jack fruit, la mangue contiennent des nutriments essentiels comme les vitamines A, C et E, ainsi que des minéraux comme le fer, le zinc, le magnésium et surtout des enzymes qui sont habituellement détruites par la chaleur.

De plus, les fruits lyophilisés peuvent aider à maintenir un taux de glycémie sain, car ils contiennent des glucides à faible indice glycémique, ce qui est un véritable atout si l'index glycémique fait partie de vos préoccupations.

Les fruits lyophilisés sont également pauvres en calories et en graisses (**Shishegarha et Farzaneh, 2020**).

a/ Le goût et les valeurs nutritionnelles

Les fruits lyophilisés ont le même goût et le même aspect que les fruits frais, ainsi, l'arôme, la forme et la saveur sont parfaitement préservés, de plus, ces fruits deviennent très frais après avoir été réhydratés. De plus, la lyophilisation a un impact minimal sur la valeur nutritionnelle du fruit, comme en témoigne, environ 95% de la valeur nutritionnelle est conservée, contrairement à la déshydratation où seulement 60% est conservé en raison de la perte de certaines vitamines et minéraux.

b/ Durée de conservation

L'un des plus grands avantages des fruits lyophilisés est leur durée de conservation, en fait, ils peuvent être consommés jusqu'à des années s'ils sont conservés correctement. En revanche, les fruits secs ne se conservent qu'un an.

c/ D'espace et poids

A la fin du séchage à froid, le fruit devient plus clair, en prenant comme exemple les fruits et légumes lyophilisés, la teneur en eau dépasse 80 %. Par conséquent, la lyophilisation peut réduire considérablement leur poids, cependant, cela peut encore économiser plus d'espace pour le transport ou le stockage des fruits. Dans le commerce, les fruits lyophilisés peuvent facilement être vendus en vrac sous forme emballée sous une forme très pratique à stocker et

qui plait particulièrement aux enfants, aux sportifs et aux voyageurs (**Shishegarha et Farzaneh, 2020**).

d/ Les additifs

Comme la lyophilisation élimine la majeure partie de l'humidité des aliments, il n'est pas nécessaire d'ajouter des additifs pour conserver les aliments pendant de longues périodes. Les collations déshydratées, d'autre part, ont généralement besoin d'une bonne quantité de conservateurs pour les garder frais. Cela fait des fruits lyophilisés une option plus saine.

Les fruits lyophilisés conservent plus de vitamines et d'antioxydants que les fruits secs, les fruits séchés contiennent plus d'eau, ce qui favorise la croissance des bactéries et des moisissures. Pour éviter cela, des conservateurs - des sulfates - leur sont ajoutés, et les fruits lyophilisés bénéficient d'une technologie quasiment sans eau, ils n'ont donc pas besoin de conservateurs

IV.8. Effet des conditions de lyophilisation sur les propriétés physiques sélectionnées des fruits

L'application du processus de séchage entraîne de nombreux changements dans les propriétés physiques, chimiques et nutritionnelles des fruits (**Bhatta et al., 2020**).

La lyophilisation est un processus moins dommageable que le séchage à l'air et le séchage par pulvérisation (**Andrieu et al., 2018**).

Pour cette raison, la lyophilisation est reconnue comme la meilleure méthode de déshydratation des aliments le contrôle de la vitesse de congélation, du niveau de température, de la pression totale du gaz et de la teneur moyenne finale en humidité est nécessaire pour obtenir un produit lyophilisé de qualité adéquate (**Hammami et al., 1999**).

Les plaques chauffantes

Les paramètres du processus de lyophilisation peuvent affecter de manière significative de nombreux attributs de qualité des aliments et autres matériaux soumis à ce type de déshydratation. La température de la plaque chauffante est l'un des paramètres qui joue un rôle important dans la création de la structure du matériau lors de la lyophilisation. Des

changements indésirables dans la structure du matériau peuvent être le résultat d'une température inappropriée appliquée dans le processus (**Duan et al., 2016**).

Un effondrement excessif de la structure peut entraîner une diminution de la vitesse de lyophilisation lors du séchage secondaire, ainsi que la détérioration de nombreuses caractéristiques des produits liées à la texture, la porosité, le volume, la forme, le caractère collant, la capacité de réhydratation et la stabilité.

La sublimation de la glace est la partie la plus longue du processus de séchage, et elle consomme plus d'énergie que pendant l'étape de séchage secondaire.

Le taux de sublimation est généralement plus élevé à des températures plus élevées, mais le matériau séché à des températures excessives peut s'effondrer et perdre la structure des pores créée par le processus de congélation. Afin de contrôler la stabilité du produit, en particulier pendant l'étape de séchage secondaire, la température du produit doit être limitée entre 10 et 35 °C pour les matériaux thermosensibles, et pour les matériaux moins thermosensibles, la température peut être supérieure à 50 °C (**Duan et al., 2016 ; Liapis et al., 2014**).

Des températures plus élevées de lyophilisation au stade secondaire accélèrent le processus de séchage car plus d'énergie est nécessaire pour éliminer l'eau restante dans le matériau (**Wu et al, 2019 ; Nireesha, 2013**).

Cependant, une température trop élevée peut provoquer la fonte de la glace lors de l'étape de sublimation du séchage, entraînant des modifications structurelles telles que le retrait. La sélection d'une température d'étagère appropriée doit être basée sur l'équilibre entre l'apport et la chaleur requise (**Duan et al., 2016 ; Sadikoglu et al., 2006**).

Le type de matériau et sa composition peuvent influencer le retrait du produit lyophilisé. Le rétrécissement du matériau ne diffère pas significativement sous les différentes températures de conservation de 20, 40 et 70 °C pour les pommes lyophilisées (13 %) et les fraises (8 %).

Dans le cas de la poire, une température de conservation élevée (70 °C) a provoqué au maximum un rétrécissement de 12 % dans l'échantillon, mais à des températures plus basses, cela a entraîné une diminution de ce paramètre à environ 6 %. Il a été conclu que la sensibilité au rétrécissement de l'échantillon de poire à des températures élevées de lyophilisation pourrait être liée à la transition vitreuse de la poire (**Martinez-Navarrete et al., 2019**)

. Les propriétés texturales d'un matériau séché sont fortement liées à sa teneur en eau et à son activité hydrique. Bien que ces paramètres soient importants pour une évaluation correcte de nombreuses autres propriétés des aliments lyophilisés, il a été remarqué que de nombreux chercheurs ne mesurent pas et ne contrôlent pas toujours les valeurs de la teneur en eau et de l'activité de l'eau après la lyophilisation. Tableau 07 montre les valeurs d'activité de l'eau et de teneur en eau obtenues pour les matériaux lyophilisés dans différentes conditions opératoires. La teneur en eau de la plupart des produits lyophilisés variait de 0,01 à 0,1 g/g m.s. (Lewicki *et al.*, 2004).

Tableau 07. Activité de l'eau et teneur en humidité de certains produits lyophilisés (Lewicki *et al.*, 2004).

Matériel	Teneur en humidité initiale	Teneur en eau après séchage	Activité de l'eau du produit lyophilisé
Purée d'orange	n/d	<4%	n/d
Fraise	90.8%	<2%	n/d
Pomme	86.3% n/d	<0.5% n/d	n/d 0.14
Poire Fruit du Dragon	84.3% 86.5-87.5%	<0.5% 8.53-9.87%	n/d 0.08–0.16

n/d: non disponible

La chambre de pression

La pression a un fort impact sur le processus de sublimation, en particulier la température de sublimation de la glace. L'élimination de la glace par sublimation crée des pores et des interstices aux caractéristiques différentes. Par conséquent, la porosité, la densité et la teneur en eau finale souhaitées peuvent être obtenues en manipulant les paramètres de lyophilisation. Différentes pressions de fonctionnement ont eu un petit effet sur la force de rupture de la purée d'orange séchée, même si l'effet était statistiquement significatif (Silva-Espinoza *et al.*, 2019 ; Domin *et al.*, 2020).

Le taux de congélation

La congélation des fruits avant le processus de sublimation est également une étape importante dans la création de produits lyophilisés. Le taux de congélation affecte la structure du matériau congelé et séché, des échantillons de pommes ont été congelés à -25 °C avec différentes vitesses de 0,5, 2 et 3 °C/min, puis ils ont été lyophilisés. La congélation lente a réduit le temps de séchage de 8,3 % par rapport à la vitesse de congélation la plus rapide. La lenteur de la congélation a causé des dommages à la paroi cellulaire, ce qui a facilité l'élimination de l'humidité. La diminution de la vitesse de refroidissement a également entraîné une texture plus douce des pommes et une capacité de réhydratation plus élevée (**Antal et al., 2013**).

IV.9. poudre de fruits lyophilisés

Les poudres de fruits ne sont pas des poudres de fruits séchés mais des poudres de fruits cueillis à maturité et lyophilisés, on y retrouve donc dans la poudre de fruit toute la fraîcheur d'un fruit frais, et rien que pour ça, on ne va pas se priver de les utiliser. La maturité des fruits cueillis associée au processus de lyophilisation permet non seulement la conservation mais aussi la concentration des propriétés des fruits.

Du fait de leur composition naturelle, sans additif, ni sucre ajouté, les poudres de fruits sont aussi riches en vitamines et minéraux. Très facile à utiliser, la poudre de fruit alimentaire s'intègre parfaitement à votre quotidien

La solubilité est l'une des évaluations les plus pratiques de la qualité des poudres car elle décrit le comportement des poudres en solution aqueuse. La solubilité la plus élevée a été notée pour les poudres obtenues après lyophilisation.

IV.9.1. Lyophilisation de fraise

La fraise est riche en fibres alimentaires, en vitamine A et en carotène, qui peuvent favoriser la digestion et soulager la cécité nocturne, mais il est facile à corroder et à ramollir (**Cao et al., 2012**).

Ultra-haute pression et traitement ultrasonique, la rougeur et les substances anti-oxydantes des produits séchés ont augmenté, et la combinaison des deux réduit la consommation d'énergie et le temps de séchage (**Zhang et al., 2020**).

L'énergie de consommation de fraises lyophilisées après osmose traitement ne représentait que 25% de celle du lyophilisation (**Prosapio et al., 2017**).

Par rapport à l'air chaud séchage (AD), lyophilisation n'a eu aucune réaction de brunissement, et les paramètres de couleur des fraises séchées étaient plus élevés, ce qui pourrait mieux protéger la surface rouge et la surface intérieure jaune de fraises (**Orak et al., 2012**).

Des fraises fraîches de même taille, de même type et de même maturité ont été choisies, elles sont lavées à l'eau claire puis séchées par égouttage naturel. La température eutectique de la fraise est déterminée comme étant de -15°C , la température de pré congélation de l'étape de congélation est donc contrôlée à -20°C . La vitesse de congélation est d'environ $0,3^{\circ}\text{C}/\text{min}$, ce qui correspond à une congélation lente, il faut 2,5 heures pour abaisser la température de la pièce à -20°C et la maintenir à -20°C pendant 0,5 h à -20°C . La glace à l'intérieur de la fraise commence à se sublimer lors de la mise sous vide de la chambre. Le front de glace progresse de la surface vers le centre de la fraise pendant le processus de séchage par sublimation, la température des parties congelées est maintenue en dessous de -15°C et celle des parties séchées est contrôlée en dessous de 30°C . Pour éliminer l'eau liée à la fraise, la température de séchage est augmentée jusqu'à la limite de 40°C car le Vc dans la fraise se décompose lorsque la température est supérieure à 40°C . Le processus de lyophilisation (~4h) est terminé lorsque le vide est très proche du vide limite. La fraise lyophilisée est emballée dans des boîtes en plastique dur remplies d'azote et stockées à température ambiante. Les fraises lyophilisées à des températures supérieures à -50°C conservent mieux leur couleur que les fraises lyophilisées à des températures supérieures à -50°C (**Hammami et René, 1997**).

IV.9.2. Lyophilisation de Framboise

La framboise est riche en flavonoïdes, vitamines et anthocyanes, qui a un anti tumoral, anti-inflammatoire et antibactérien effets et sont facilement absorbés par le corps (**Zea et al., 2013**).

La micro-onde combinée avec la lyophilisation peut réduire la consommation d'énergie. on traite la framboise avec la méthode de lyophilisation par micro-ondes. Comparé à lyophilisation, il n'y avait pas de différence significative dans la composition nutritive, goût et la qualité du produit, mais le temps de séchage a été raccourci par près de 70%, et la consommation d'énergie a été réduite (**Ozcelik et coll, 2019**).

IV.9.3. Lyophilisation de la mangue

La mangue est un fruit tropical et subtropical important avec saveur riche, saveur unique et riche nutrition. On a montré que la teneur totale des acides ascorbiques et des caroténoïdes dans les échantillons lyophilisés était de 225,38 mg/100 g et 5,17 mg/100 g (**Sogi et al., 2015**).

Comparé à d'autres méthodes de séchage, la lyophilisation pourrait réduire la perte de phénolique et d'acide ascorbique, ont étudié la capacité de réhydratation, totale différence de couleur et teneur en polyphénol des tranches de mangue pendant la lyophilisation. La recherche souligne que le choix des conditions de fonctionnement appropriées pour la lyophilisation coupes de mangue peuvent réduire considérablement le traitement total temps (30 %), réduisant ainsi le coût de l'énergie et l'impact environnemental (**Salazar et al., 2018**).

IV.9.4. Lyophilisation de Myrtille

Le bleuet est riche en anthocyanes, qui peuvent protéger la vue, lutter contre le cancer et améliorer l'immunité de l'organisme, ils jouent également un certain rôle dans la prévention du vieillissement cérébral.

Myrtille lyophilisée à 48 °C et 60 Pa. Ils ont constaté que les bleuets lyophilisés réduit de façon significative les niveaux d'acide ascorbique et n'a montré aucune réduction significative de l'activité antioxydant par rapport à bleuets (**Reyes et al., 2011**).

Le taux de congélation a eu un effet sur l'apparence et l'arôme du bleuet, plus la vitesse de congélation est lente, plus la couleur est foncée, plus le volume du produit lyophilisé est élevé, et plus la volatilité des composés aromatiques (**Thi et al., 2017**).

Par rapport au séchage à l'air chaud, la lyophilisation était évidemment avantageuse dans le maintien de la réhydratation, la qualité sensorielle et les ingrédients actifs des bleuets (**Qing-Qing et al., 2014**).

IV.9.5. Lyophilisation de Mûrier

À l'heure actuelle, les méthodes de traitement traditionnelles telles que le séchage au soleil et le séchage à l'air chaud sont généralement utilisées pour les produits de séchage des mûriers,

mais l'exposition au soleil entraînerait la perte de nutriments des fruits, et les conditions sanitaires sont difficiles à contrôler (**Zhang et Huang, 2011**).

La qualité sensorielle et la couleur des fruits de mûrier séchés étaient bonnes, et la teneur en vitamine C, le phénol total et l'anthocyanine dans les fruits de mûrier étaient plus élevés, l'apparence est intacte, mais la fragilité est faible. Certains aliments peuvent nécessiter un temps de congélation et de séchage final plus long dans lyophilisateurs, Les fruits à forte teneur en sucre comme l'ananas, et les aliments très épais (contenant beaucoup d'eau) prendront plus de temps pour être lyophilisés (**Chen et coll, 2017**).

IV.9.6. Lyophilisation du kiwi

Le kiwi contient de grandes quantités de vitamine C, A, B2 et E, de minéraux (calcium, fer, cuivre, phosphore, magnésium et potassium), de caroténoïdes (bêta-carotène, lutéine et xanthophylle), de composés phénoliques (flavonoïdes et anthocyanines) et de composés antioxydants (**Cassano et al., 2006**).

Le kiwi est transformé pour obtenir du jus, des aliments congelés, du vin, de la confiture, de la marmelade, des conserves et des tranches séchées. Le séchage pourrait être une technique appropriée pour prolonger la durée de conservation du kiwi, qui est sensible à l'altération microbienne et au ramollissement en raison de sa forte teneur en eau. Les jus de fruits, les purées et les poudres sont commercialisés en raison d'une demande accrue d'aliments prêts à consommer. En outre, les produits en poudre, qui ont une longue durée de conservation à température ambiante et une stabilité microbiologique, peuvent réduire les coûts de transport et de stockage (**Jinaong et al., 2008**).

La lyophilisation est un processus important pour la protection des composés sensibles tels que la vitamine C, les composés phénoliques, l'activité biologique, l'apparence, la couleur, la texture, l'arôme et les valeurs nutritionnelles des aliments, ce qui compense les coûts d'exploitation élevés du séchage des aliments (**Zea et al., 2013 ; Wang et al., 2006**).

IV.9.7. Lyophilisation des Prunes

Les prunes sont un excellent remède contre les rhumatismes, la goutte, les maladies des reins, du foie et de la circulation sanguine, ils aident également à protéger le cœur et les vaisseaux sanguins, en abaissant le cholestérol. Ils sont très efficaces dans les problèmes intestinaux et

la constipation, et ce sont des remèdes naturels contre le ralentissement de la fonction intestinale.

CONCLUSION

Conclusion

En conclusion, les fruits lyophilisés sont devenus un choix populaire pour de nombreuses personnes qui veulent une collation saine, savoureuse et pratique. Ces fruits sont créés en éliminant l'humidité du fruit tout en gardant la plupart des nutriments intacts.

Ce processus aide à préserver la saveur, la texture et la valeur nutritive du fruit, ce qui en fait un excellent choix pour ceux qui veulent profiter du goût et des bienfaits pour la santé des fruits frais, même hors saison.

Les fruits lyophilisés sont également très polyvalents et peuvent être utilisés dans une large gamme de recettes, des smoothies et granola aux desserts. Ils sont faciles à ranger, légers et ont une longue durée de vie, ce qui les rend idéaux pour le camping, la randonnée ou les voyages.

Dans l'ensemble, les fruits lyophilisés offrent une option de collation délicieuse et saine qui peut être appréciée à tout moment de la journée. Avec leur commodité, leur polyvalence et leurs avantages nutritionnels, ils constituent un excellent ajout à tout régime.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Andrieu J, Vessot S. A review on experimental determination and optimization of physical quality factors during pharmaceuticals freeze-drying cycles. *Drying Technology*. 2018; 36(2):129-145.

Antal T, Sikolya L, Kerekes B. Assessment of freezing pre-treatments for the freeze dried of apple slices, *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology*. 2013; 17(2):3-14.

Anonyme. La conservation par le froid Académie de Lyon. BAC PRO système électronique numérique. 2000. p.126.

Alexandra L. La conservation des aliments tout enjeu. *Savoir scientifique*. 2000. p.71.

Beattie J, Crozier A, Duthie GG. Potential health benefits of berries. *Current Nutrition & Food Science*. 2005;1(1):71-86.

Bhatta S, Janezic TS, Ratti C. Freeze-drying of plant-based foods. *Foods*. 2020; 9(1):87.

Becila A. Prévention des Altérations et les Contaminations Microbiennes des Aliments. En vue de l'obtention du diplôme de post-graduation spécialisée. Institut de la nutrition, de l'alimentation et des technologies agro alimentaires. Université Mentouri. Constantine; 2009. p.53.

Borges F. Sécurité sanitaire des aliments. Ensaia. Université de Lorraine. Paris. Thèse. 2014. p.6-12.

Boumendjel M. Conservation des denrées alimentaires. Cours multimédia interactif à usage pédagogique. Centre universitaire d'El-taref. 2005. p.71.

Bouza A. Les toxi-infections alimentaires collectives dans l'est algérien. En vue de l'obtention du diplôme de post-graduation spécialisée. Institut de la nutrition, de l'alimentation et des technologies agro alimentaires. Université Mentouri. Constantine; 2009. p.28-35.

Barbosa J, Borges S, Amorim M, Pereira MJ, Oliveira A, Pintado ME, Teixeira P. Comparison of spray drying, freeze drying and convective hot air drying for the production of a probiotic orange powder. *J. Funct. Foods*. 2015; 17:340–351.

Bazinet L , Castaigne F. Concepts de génie alimentaire , opération, procédés associés et applications à la consommation des aliments. Lavoisier, Paris France.2001 .pp94

Bruneton J. "Pharmacognosie: phytochimie, plantes médicinales". Lavoisier. 1999. p.94.

Bhandari B, Zhang M, Schuck P. “Handbook of food powders”. Woodhead Publishing Limited. 2013. p.49.

Bellis M. “Freeze-drying and freeze-dried food”. About Com Inventors. 2008.

Cao X, Bi X, Huang W, Wu J, Hu X & Liao X. Changes of quality of high hydrostatic pressure processed cloudy and clear strawberry juices during storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2012; 16:181–190.

Cassano A, Figoli A, Tagarelli A, Sindona G & Drioli E. Integrated membrane process for the production of highly nutritional kiwifruit juice. *Desalination*. 2006; 189(1-3):21-30.

Chen Q, Li Z, Bi J, Zhou L, Yi J, Wu X. Effect of hybrid drying methods on physicochemical, nutritional and antioxidant properties of dried black mulberry. *LWT*. 2017; 80:178–184.

Corlien H, “La conservation du poisson et de la viande”. Fonction Roumisa, Wageningen Agrodok. 2005. P.6-8-14-15.

Conservation des aliments :toutes les techniques. (s.d.) economie.gouv.fr. Disponible sur <https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/Publications/Vie-pratique/Fiches-pratiques/Conservation-des-aliments?fbclid=IwAR3NSG-zKd1F39UnpIGrft0zzduVpUIv-qAAXdOd1NyESnfK HRW2xmrkTw>.

De Torres C, Diaz M, Hermosin I, Pérez M. Effet de la lyophilisation et de la dessiccation au four sur la composition en volatiles et en composés phénoliques de la peau du raisin transition. *Food Bioproducts Process*. 2010; 91(4):534-538.

Domin M, Dziki D, Klapsia S, Blicharz-Kania A, Biernacka B, Krzykowski A. Influence of the freeze-drying conditions on the physicochemical properties and grinding characteristics of kiwi. *International Journal of Food Engineering*. 2020; 16(1-2):1-12.

Duan X, Liu WC, Ren G Y, Liu LL, Liu YH. Browning behavior of button mushrooms during microwave freeze-drying. *Drying Technologie*. 2016; 34(11):1373–1379.

Dion P. Microbiologie générale, Notes des cours Bio-19934 et Bio-12286. Université Laval. 2000. p.94.

Darinmou. Conseil pour le consommateur. Laboratoire darinmoub. Site darinmoub.com

/conseils [Pdf]. 2000. p.126.

Emilie F. “Connaissance des aliments: Bases alimentaires et notionnelles de la diététique”. Lavoisier. 2005. p.6-8-14.

Fardet A, Souchon D. Structure des aliments et effets nutritionnels, Quae. 2013. pp94

François A, Albert D, ABIDI H. Traitement thermiques d' appertisation: optimisation de la qualité de surface d'un produit conducteur avec un profil à température variable. *13ème Journées Internationales de Thermique.* 2007; 126:1-5.

FAO. (2021). Fruits et légumes: Opportunités et défis pour la durabilité des petites exploitations agricoles.

Genin N, René F. Analyse du Rôle de la Transition Vitreuse dans les procédés de Conservation Agro-alimentaire . *J. l. Food Eng.* 1995; 26:391-408.

Geraldine D. Le sucre dans tous ses états. Décryptage des informations nutritionnelles. Haute école de santé Genève filière nutrition et diététique. Paris. Thèse. 2009. p.126.

Gillespie Z, Pulido O, Vavasour E. Démarches d'évaluation des risques relatifs aux contaminants alimentaires cancérigènes. *INTECH open Access Publisher.* 2011; 1(1):19-39.

Guy A, Patrich V, Jean-claud M. “Technologie de transformation des fruits”. TEC & DOC. 2002. p.498.

Guy L, Elizabeth V. “Microbiologie et toxicologie des aliments: Hygiène et sécurité alimentaires”. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine. 2000. p.71.

Gret. Conserver et transformer le poisson. Groupe de recherche et d'échange technologique. Collection le point sur: Saint-Etienne. p.286.

Hammami C, Rene F, Marin M. Process-quality optimization of the vacuum freeze-drying of apple slices by the response surface method. *International Journal of Food Sciences and Nutrition.* 1999; 34:145–160.

Hua T, Liu B, Zhang H. Freezing-drying of Food. *Freeze-drying of pharmaceutical and food products.* 2010; 5:141-169.

Ingvarsson P T, Yang M, Nielsen H M, Rantanen J, Foged C, 2011. Stabilization of liposomes during drying. *Expert Opin Drug Deliv.* 2011; 8:375–388.

Jiao L, Gao H, Chen H, Fang X. Optimization of vacuum freeze drying technology for mulberry fruits. *Acta Agriculturae Zhejiangensis.* 2015; 27(6):1067–1072.

Jinapong N, Suphantharika M, Jamnong P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering.* 2008; 84:194-205.

Jiang H, Adhikari B. Fruit and vegetable powders. In B. Bhandari, N. Bansal, M. Zhang, & Schuck (Eds). *Handbook of food powders.* Woodhead Publishing Limited. 2013. pp.532–552.

Joffin C, Joffin JC. Microbiologie alimentaire. Edition Dunod. Paris. 2003. p.94.

Jean M. Les techniques de conservation par le froid [Pdf]. 2014. p.3. Disponible sur <http://sen.Arbezcarme.Free.fr/techno/2.15-ED-Cuisson-et-conservation.desaliments/ED113%20La%20conservation%20par%20le%20froid>.

Kitts D D. Bioactive substances in food: identification and potential uses. *Canadian Journal of physiology and Pharmacology.* 1994; 72(4):423-434.

Kirmaci V, Usta H, Menlik T. Une étude expérimentale sur le comportement de lyophilisation des fraises. *Drying Technol.* 2008; 26(1):1570-1576.

Lewicki PP, Jakubczyk E. Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples. *Journal of Food Engineering.* 2004; 64(3):307–314.

Levi G, Karel M. Volumetric shrinkage (collapse) in freeze-dried carbohydrates above their glass transition temperature. *Food Res. Int.* 1995; 28:145– 151.

Lepatre F. Les industries agricoles et alimentaires: Progrès des sciences techniques; Lavoisier, 1988 .

Larousse J. “La conserve appertisée”. Aspects scientifiques et techniques économiques. Lavoisier. 1991. p.2-242-243.

Liapis AI, Bruttini R. Freeze Drying. Mujumdar, Arun S (Ed). *In Handbook of Industrial Drying.* CRC Press: Boca aton, FL, USA. 2014. pp:259–282.

Lyophilisation-Déshydratation à basse température. (n.d.-b). Disponible sur <https://www.espritsante.com/articles/lyophilisation-deshydratation-basse-temperature>.

Lyophilized plums-dried mushrooms.eu. (2020, janvier 21). Disponible sur <https://www.driedmushrooms.eu/product/lyophilized-plums/?fbclid=IwAR1gFs8X0FtKydoQogaTFSwm3R54bCTKYcq2bRWoCtfapfJaerQWQg4P3ek>. Page consultée le 28 /10/2022.

Les aliments riches en lipides |Larousse Cuisine. Disponible sur <https://cuisine.larousse.fr/tendance/les-aliments-riches-en-lipides#:~:text=et%20dans%20les%20fruits%20o%C3%A9agineux,r%C3%B4le%20dans%20le%20syst%C3%A8me%20immunitaire>.

Lorena R. “Microbiologie alimentaire”. Edition de Dunod. Paris. 2003. pp.94.

Louis J. Microbiologie alimentaire. Université Montpellier 2. Sciences et Technologies des industries alimentaires. Paris. Thèse. 2007. p.1-14.

Martinez-Navarrete N, Salvador A, Oliva C, Camacho MM. Influence of biopolymers and freeze-drying shelf temperature on the quality of a mandarin snack. *LWT*. 2019; 99:57-61.

Michalska A, Wojdylo A, Lech K, Lysiak GP, Figiel A. Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying technologies. *Food Chemistry*. 2016; 207:223-232.

Mafart P. “Génie Industriel Alimentaire, Les procédés physiques de consommation. Lavoisier. 1991. P 60-72.

Morgane D. “Les différents moyens de conservation des aliments”. TEC & DOC. 2013. p.126.

Montenegro G, Doak C, Solomons N. Consommation de fruits et légumes des écoliers de Quetzaltenango, Guatemala. Rev. Panam. *Salud Pública*. 2009; 25(2):146-56.

Murielle M. “Nutrition humaine et sécurité alimentaire”. Lavoisier. 2009. p.13.

Machacine A. Apport du procédé de lyophilisation sur la qualité des fraises marocains. *UPB Sci Bull Series D*. 2007; 79(2):1954-2358.

Nireesha G, Divya L, Sowmya C, Venkateshan N, Babu M, Lavakumar V. Lyophilization/freeze drying-An review. *International Journal of Novel Trends in Pharmaceutical Science*. 2013; 3(4):87-98.

Ngo HT, Tojo S, Ban T, Chosa T. Effects of prior freezing conditions on the quality of blueberries in a freeze-drying process. *Transactions of the ASABE*. 2017; 60 (4):1369–1377.

OMSA, l'organisation mondiale de la santé animale est l'organisation intergouvernementale chargée d'améliorer la santé animale et le bien-être animal dans le monde. 2021.

Orak H, Aktas T, Yagar H, Isbilir SS, Ekinici N, Sahin FH. Effects of hot air and freeze drying methods on antioxidant activity, colour and some nutritional characteristics of strawberry tree (*Arbutus unedo* L) fruit. *Food Science and Technology International* . 2012; 18(4):391-402.

Oyebode O, Gordon-Dseagu V, Walker A, Mindell JS. Fruit and vegetable consumption and all-cause, cancer and CVD mortality: analysis of Health Survey for England data. *Journal of Epidemiology and Community Health*. 2014; 68(9):856-862.

Ozcelik M, Heigl A, Kulozik U, Ambros S. Effect of hydrocolloid addition and microwave-assisted freeze drying on the characteristics of foamed raspberry puree. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2019; 56:102-183.

OMS. Sécurité Sanitaire des Aliments. Disponible sur <https://www.woah.org/fr/ce-que-nous-faisons/initiatives-mondiales/securite-sanitaire-des-aliments/#ui-id-5>. Page consultée le 28 /10/2022.

Panisset JC, Dewaili YE, Doucet L, EDUCH. “Contamination des aliments”. TEC & DOC. Paris; 2003. p.372,373,374.

Pierre F. “Aliments et industries alimentaires” : les propriétés de la recherche publique. Edition ENRA. 1998.

Schaffazick SR, Pohlmann AR, Dalla-Costa T, Guterres SS. Freeze-drying polymeric colloidal suspensions: nanocapsules, nanospheres and nanodispersion. A comparative study. *Eur. J. Pharm. Biopharm.* 2003; 56:501–505.

Pole A, Le fumage du poisson?[pdf]. 2010. p.126.

Prosapio V, Norton I, De Marco I. Optimization of freeze-drying using a Life Cycle Assessment approach: Strawberries case study. *Journal of Cleaner Production*. 2017; 168:1171–1179.

Qing-Qing XU, Hang-Jun C, Hai-Yan G, Li-Li S, Hong-Lei MU. Effects of vacuum freeze-drying and hot-air drying on the quality of blueberry fruits. *Food Science* . 2014; 35(5):64-68.

Quebec. Guide des bonnes pratiques d'hygiène et de salubrité alimentaire [Pdf]. 2014. p.126.

Reyes A, Evseev A, Mahn A, Bubnovich V, Bustos R, Scheuermann E. Effect of operating conditions in freeze-drying on the nutritional properties of blueberries. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2011; 62(3):303–306.

Roussary A. Vers une recomposition de la gouvernance de la qualité de l'eau potable en France, de la conformité sanitaire à l'exigence de qualité environnementale. Université Toulouse le Mirail-Toulouse. Thèse. 2010. p.94.

Sadikoglu H, Ozdemir M, Seker M. Freeze-drying of pharmaceutical products: *Research and development needs*. *Drying Technologie*. 2006; 24(7):849-861.

Sagara Y, Kaminishi K, Goto E, Watanabe T, Imayoshi Y, Iwabuchi H. Characteristic evaluation for volatile components of soluble coffee depending on freeze-drying conditions. *Drying Technology*. 2005; 23(9-11):2185-2196.

Salazar NA, Alvarez C, Orrego CE. Optimization of freezing parameters for freeze-drying mango slices. *Drying Technologie*. 2018; 36(2):192–204.

Sette P, Franceschinis L, Schebor C, Salvatori D. Fruit snacks from raspberries: Influence of drying parameters on colour degradation and bioactive potential. *International Journal of Food Science & Technology*. 2017; 52(2):313–328.

Shan ZH. Research on the technology of producing raspberry by vacuum freeze-drying. *The Food Industry*. 2013; 6:94-97.

Silva-Espinoza MA, Ayed C, Foster T, Camacho MDM, Martinez-Navarrete N. The impact of freeze-drying conditions on the physico-chemical properties and bioactive compounds of a freeze-dried orange puree. *Foods*. 2019; 9(1):32.

Simatos D, Blond G, Sauvageo F, Dauvois Ph. La lyophilisation: Principes et applications. Collection de l'ANRT. Paris. 1974.

Snowman JW. Lyophilization: freeze during a downstream process. Thanaset S editor. Lyophilization: dept of Biochemistry, science KKU; pharmaceutical freeze drying a comprehensive course reviewing freeze drying technology. Mumbai; Bio-Pharm. *Technology LTD*. 2006; 44:1-6.

Sogi DS, Siddiq M, Dolan KD. Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of Tommy Atkin mango cubes as affected by drying techniques. *LWT-Food Science and Technology*. 2015; 62(1):564-568.

Skrede G, Jeremiah LE. "Freezing effects on food quality". Marcel Dekker Inc. New York. 1996. p.93.

Tirilly Y, Bourgeois C M. "Technologie des légumes". Lavoisier. 1999. p.19.

Thi NH, Seishu T, Takuya B, Tadashi C. Effects of prior freezing conditions on the quality of blueberries in a freeze-drying process. *Transactions of the ASABE* . 2017; 60(4):1369–1377.

Tang X, Pikal, MJ. Design of freeze-drying processes for pharmaceuticals: practical advice. *Pharm. Res*. 2004; 21:191–200.

De Torres C, Díaz M, Hermosín I, Pérez M. Effet de la lyophilisation et de la dessiccation au four sur la composition en volatiles et en composés phénoliques de la peau du raisin transition. *Food Bioproducts Process*. 2010; 91(4):534-538.

Van Duyn MA, Pivonka E. Overview of the health benefits of fruit and vegetable consumption for the dietetics professional. *Journal of American Dietetic Association*. 2000; 100:1511-1521.

Wang J, Li Y, Chen R, Bao J, Yang G (2007). Comparaison des substances volatiles de la poudre de banane déshydratée par séchage sous vide, lyophilisation et séchage à l'air. *Food Chem*. 2007; 104(4) :1516-1521.

Wang ZL, Finlay WH, Pepler MS, Sweeney LG. Powder formation by atmospheric spray-freeze drying. *Powder Technology*. 2006; 170: 45-52.

Wang X, Ouyang Y, Liu J, Zhu M, Zhao G, Bao W, Hu FB. Fruit and vegetable consumption and mortality from all causes, cardiovascular disease, and cancer: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *BMJ*. 2014; 349:4490.

Wang W. Lyophilization and development of solid protein pharmaceuticals. *Int. J. of Pharmaceutics*,. 2000; 203. pp.1-60.

Wang W, Chen M, Chen G. Issues in freeze drying of aqueous solutions. *Chin. J. Chem. Eng.* 2012; 20:551–559.

Williams NA, Dean T. Vial breakage by frozen mannitol solutions, correlation with thermal characteristics and effect of stereo-isomerism. *J. Paren. Sc. Tech.* 1991; 45:94-100.

Wu X, Zhang M, Bhandari B. A novel infrared freeze drying (IRFD) technology to lower the energy consumption and keep the quality of Cordyceps militaris. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2019; 54:34-42.

Werner J, Bauer, Raphael B, Jurg L. “Science et technologie des aliments”. Presses polytechniques et universitaires romandes. 2010. p.14.

Yolande B. Le séchage des aliments, un procédé de santé [Pdf]. 2001. p.126.

Zea LP, Yusof YA, Aziz MG, Ling CN, Amin NAM. Compressibility and dissolution characteristics of mixed fruit tablets made from guava and pitaya fruit powders. *Powder Technology*. 2013; 247:112-119.

Zhang L, Liao L, Qiao Y, Wang C, Shi D, An K and Hu J. Effects of ultrahigh pressure and ultrasound pretreatments on properties of strawberry chips prepared by vacuum-freeze drying. *Food Chemistry*. 2020; 303:125386.

Zhang Q L, Huang Y. Study on process parameters of mulberry vacuum drying. *Agricultural Products Processing*. 2011; 000(002):57–59.

ANNEXE



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
حاضنة الأعمال عين تموشنت



ملحق نموذج العمل التجاري

Fiche technique du projet ■ البطاقة التقنية للمشروع

<ul style="list-style-type: none">● بلحاج هاجر● بعيليش عبير● بلقلوش شيماء● بوغزه حمدوش هوارية● خلفا علي● بن نبي فريد	الاسم و اللقب Votre prénom et nom Your first and last Name
LYO-FRUIT	الاسم التجاري للمشروع Intitulé de votre projet Title of your Project
عين تموشنت	مقر مزاولة النشاط (الولاية- البلدية) Votre ville ou commune d'activité Your city or municipality of activity

Nature de projet ■ طبيعة المشروع

المنتوج ذو طابع إنتاجي

Vente de marchandises

Sale of goods

نموذج العمل التجاري BMC



المشكلة المراد حلها وتكون مدعمة بالبيانات (إحصائيات إن وجدت)

استهلاك الفاكهة هو موضوع توصيات على المستوى العالمي من قبل منظمة الأغذية والزراعة ومنظمة الصحة العالمية (5 فواكه في اليوم) ، كما ثبت على نطاق واسع أن استهلاك الفاكهة يقلل من مخاطر الأمراض غير المعدية مثل أمراض القلب والأوعية الدموية والسكري. والسمنة والسرطان. أظهرت الدراسات التي أجريت بين سكاننا أن هناك انخفاضا في استهلاك الفاكهة ، ومن الأسباب الرئيسية لهذا الانخفاض عدم توفر هذه المنتجات على مدار العام وارتفاع الأسعار.

1- Value proposition:



التجفيف بالتجميد هو عملية تجفيف باستخدام تقنية التجميد. يتم ذلك عن طريق تعريض الفاكهة إلى درجة حرارة شديدة الانخفاض حيث يتحول الماء فيها إلى صلب (الثلج)، وفي

نفس الوقت يتم تطبيق فراغ جزئي لتبخير الجزء المتجمد من الماء مباشرة من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية دون أن يتحول إلى الحالة السائلة. تسمح هذه العملية بإزالة الماء من المادة بشكل فعال و تقليل محتوى الماء فيها بنسبة كبيرة دون تفاعل كيميائي مع المواد الأخرى في المادة.



1/1- القيمة التي نقدمها للعميل:

- توفير فواكه مجففة عالية الجودة و غنية بالعناصر الغذائية
- الحفاظ على الجودة الحسية (طعم ، رائحة ، إلخ).
- توفر الفاكهة على مدار السنة ، بغض النظر عن الموسم
- أسعار تنافسية مقارنة بالفاكهة الطازجة
- سهولة استخدام وتخزين مسحوق الفواكه المجففة بالتجميد
- مجموعة واسعة من الفاكهة المتاحة لتناسب تفضيلات العملاء
- منتج غير محلي
- يعمل على تطوير المنتج الوطني

1/2- ما هي المشاريع الأخرى التي استهدفت نفس المشكلة والتي جرى تنفيذها؟ شركات عصير الفاكهة المركز:

تعتبر عصائر الفاكهة المركزة حلاً آخر لجعل الفاكهة أكثر سهولة على مدار العام. تقدم هذه الشركات عصائر الفاكهة المركزة التي يمكن تخفيفها بالماء لعمل مشروب فاكهي.

-2

Customer segments:



شرائح العملاء



متاجر البيع بالتجزئة:

يمكن أن تكون متاجر الأطعمة الصحية ومحلات البقالة المتخصصة في المنتجات العضوية و مخازن الأطعمة الصحية شركاء مهمين. يستهدفون عادةً المستهلكين المهتمين بالصحة الذين يبحثون عن بدائل ملائمة لاستهلاك الفاكهة على مدار العام. قد تهتم متاجر البيع بالتجزئة التي تركز على المنتجات المحلية والحرفية أيضًا بمسحوق الفواكه المجفف بالتجميد كخيار منتج فريد وجذاب لعملائها.

عشاق الوجبات الخفيفة الصحية: يمكن أن يكون الأشخاص الذين يبحثون عن بدائل صحية للوجبات الخفيفة التقليدية جزءًا مهمًا. تقدم الفواكه المجففة بالتجميد خيارًا للوجبات الخفيفة المغذية بدون سكر مضاف وهي مناسبة للصحة والوعي بالعافية.

الرياضيون وعشاق اللياقة البدنية:

الأشخاص الذين يمارسون الأنشطة الرياضية أو اللياقة البدنية أو مجرد أسلوب حياة نشط قد يهتمون بالفواكه المجففة بالتجميد نظرًا لراحتهم وإمدادهم بالطاقة. توفر الفواكه المجففة بالتجميد العناصر الغذائية المركزة ويسهل حملها أثناء الأنشطة البدنية.

مرضى السكري:

غالبًا ما يحتاج مرضى السكري إلى التحكم في تناول السكر واختيار الأطعمة ذات المؤشر الجلايسيمي المنخفض. قد يكون منتج مسحوق الفواكه المجففة بالتجميد ، بمحتواه المنخفض من السكر ومؤشر نسبة السكر في الدم ، جذابًا لهؤلاء الأفراد.

شركات خدمات الطعام والمخابز:

قد تهتم المطاعم والمقاهي وبيوت الشاي والمخابز باستخدام مسحوق الفواكه المجففة بالتجميد في وصفاتهم. يتيح لهم ذلك تقديم الأطباق والحلويات المصنوعة من الفاكهة ، حتى عندما يكونون في غير موسمها.

صناعة الحلويات:

يمكن استخدام المسحوق المصنوع من الفواكه المجففة بالتجميد في صنع الحلويات والآيس كريم والكعك لإضافة نكهة وفوائد غذائية أيضًا ، تعتبر الفواكه المجففة خيارًا جيدًا لتزيين المعجنات.

مصنعي الأغذية والمشروبات الطبيعية:

يمكن استخدام مسحوق الفواكه المجففة بالتجميد في تصنيع الأغذية والمشروبات لإضافة النكهة واللون والقيمة الغذائية.

صناعة الأدوية ومستحضرات التجميل: يمكن استخدام المسحوق المصنوع من الفواكه المجففة بالتجميد في صناعة مستحضرات التجميل والعناية بالبشرة ومنتجات العناية بالشعر.

مصنعي الأغذية الصحية:

يمكن استخدام مسحوق الفواكه المجففة بالتجميد في تصنيع الأغذية الصحية لإضافة فوائد غذائية و مذاق طبيعي.

مصانع الأغذية الصحية: يمكن استخدام مسحوق الفواكه المجففة بالتجميد في تصنيع الأغذية الصحية لإضافة فوائد غذائية و مذاق طبيعي.

الصيدليات:

غالبًا ما تكون الصيدليات أماكن يبحث فيها المستهلكون عن منتجات الصحة والعافية. من خلال تقديم مسحوق الفواكه المجففة بالتجميد في الصيدليات ، فإننا نستهدف العملاء الذين يتطلعون إلى تحسين نظامهم الغذائي ودمج العناصر الغذائية الإضافية في روتينهم اليومي. تحتوي بعض الصيدليات أيضًا على أقسام مخصصة للمنتجات الطبيعية أو العضوية أو الخاصة بالحمية ، والتي يمكن أن تكون فرصة إضافية لتقديم مسحوق الفواكه المجفف بالتجميد.

المطارات:

يمكن للمسافرين الذين يترددون على المطارات أن يكونوا شريحة مثيرة للاهتمام لمنتجاتنا. يمكن أن يحد السفر في بعض الأحيان من الوصول إلى خيارات الفاكهة الطازجة ، ويمكن أن يوفر مسحوق الفواكه المجفف بالتجميد حلاً مناسباً ومغذياً لمن هم على الطريق. يمكن أن تكون متاجر الهدايا والمنافذ في المطارات شركاء محتملين في تسويق منتجنا للمسافرين.

شخص مهتم بالبيئة:

في الواقع ، صنع مسحوق الفواكه والخضروات يترك كمية معينة من النفايات الخضراء ؛ فواكه وخضروات على عجل. حالياً ، يتم تحويل جميع نفاياتهم إما إلى سماد من قبل المزارع من أجل تصنيع الأسمدة ، أو بيعها لشركة تحول نفاياتها العضوية إلى دقيق نباتي.

-3



2- العلاقات مع العملاء:

: Customer Relationships

استراتيجيات التسويق والاتصال:

استخدام قنوات التسويق المختلفة مثل وسائل التواصل الاجتماعي أو الإعلانات عبر الإنترنت أو التسويق عبر البريد الإلكتروني أو المدونات أو المقالات الإخبارية لخلق الوعي بمنتجنا وإشراك العملاء المحتملين.

تسليط الضوء على الفوائد الفريدة لمسحوق الفواكه المجفف بالتجميد ، مثل سهولة الاستخدام ، وطول العمر الافتراضي ، والفوائد الغذائية ، وكيف يمكن أن يحل مشكلة الاستهلاك المنخفض للفاكهة.

إنشاء محتوى جذاب وغني بالمعلومات ، مثل الوصفات ، وشهادات العملاء الراضين ، أو نصائح حول دمج مسحوق الفواكه المجففة بالتجميد في نظام غذائي متوازن.

استراتيجيات المبيعات والعروض الترويجية:

تقديم عروض خاصة أو خصومات أو عينات مجانية لجذب العملاء لتجربة مسحوق الفواكه المجففة بالتجميد. يمكن أن يكون هذا فعالاً بشكل خاص عند إطلاق منتجات جديدة أو في المناسبات الخاصة.

إنشاء شراكات مع المقاهي أو متاجر البيع بالتجزئة أو غيرها .

تجربة العملاء الإيجابية:

تقديم معلومات واضحة عن الفوائد الغذائية وأنماط الاستخدام والتعليمات للحصول على أفضل تجربة. سيساعد هذا العملاء على فهم كيفية تحقيق أقصى استفادة من منتجنا.

خدمة ما بعد البيع :

تقديم خدمة عملاء ممتازة من خلال الاستجابة لأسئلة العملاء أو مخاوفهم أو تعليقاتهم.

الاستجابة لطلبات الدعم بسرعة وحل أي مشاكل بطريقة احترافية.

إنشاء وسيلة فعالة للتواصل مع العملاء ، سواء من خلال خدمة العملاء المخصصة ، أو الدعم عبر الإنترنت ، أو القنوات الأخرى المناسبة لعملنا جمع ملاحظات العملاء واستخدامها لتحسين منتجنا وخدمتنا وتجربة العملاء الشاملة باستمرار.

4- Channels :



3- القنوات:

1/4- الآليات والطرق لإعلام بمنتوجنا أو خدمتنا:

موقع الويب والتسويق عبر الإنترنت:

إنشاء موقع ويب جذاب وغني بالمعلومات لعرض شركتنا ومنتجاتنا وفوائدها وقيمنا. تطوير إستراتيجية تسويق عبر الإنترنت تتضمن حملات إعلانية مستهدفة ومنشورات على وسائل التواصل الاجتماعي ومدونات ومقاطع فيديو لزيادة الوعي بمنتجنا.

الشبكات الاجتماعية:

استخدام منصات الوسائط الاجتماعية ذات الصلة بجمهورنا المستهدف ، مثل

، الخ. LinkedIn و Twitter و Instagram و Facebook

تفاعل مع جمهورنا من خلال الرد على التعليقات أو طرح الأسئلة أو إجراء المسابقات أو تقديم خصومات خاصة.

المؤثرون والتعاون:

تحديد المؤثرين في الطعام أو التغذية أو المدونين الذين يتناسبون مع جمهورنا المستهدف.

تعاون معهم للترويج لمنتجاتنا من خلال منصاتهم ولإنشاء محتوى أصيل ومقنع حول مسحوق الفواكه المجففة المجمدة. ترتب شراكات مع علامات تجارية أو شركات تكميلية لزيادة ظهور شركتنا والوصول إلى جماهير جديدة.

الأحداث والتذوق:

المشاركة في المعارض أو معارض الطعام أو الأحداث الأخرى ذات الصلة حيث يمكنك تقديم وتذوق منتجنا للجمهور المهتم. تنظيم عروض المنتج في المتاجر أو المقاهي أو المؤسسات حيث يتوفر مسحوق الفواكه المجففة بالتجميد لزيادة المبيعات والوعي بالعلامة التجارية.

2/4- قنوات التوزيع التي يفضلها العملاء:

محلات البيع بالتجزئة المادية:

غالبًا ما يقدر العملاء القدرة على رؤية المنتجات ولمسها وتقييمها مباشرة قبل شرائها. قد تكون متاجر الأطعمة الصحية أو محلات البقالة المتخصصة أو متاجر الأطعمة العضوية قنوات توزيع مناسبة لمسحوق الفواكه المجفف بالتجميد.

بيع على الخط، على الأنترنت :

أصبحت التجارة الإلكترونية قناة توزيع شائعة توفر الراحة وسهولة الوصول للعملاء. يتيح لنا موقع التجارة الإلكترونية بيع منتجاتنا مباشرة إلى المستهلكين والوصول إلى جمهور جغرافي واسع.





4- الشركات الرئيسية:

Key partners: -5

- الشركاء الرئيسيون الذين يمكن مساعدتنا: 5/1

موردي المواد الخام:

سيكون موردو الفواكه الطازجة ضروريين لتزويدنا بمواد خام عالية الجودة. من المهم بناء شراكات قوية مع موردين موثوقين وموثوقين يمكنهم تزويدنا بفاكهة عالية الجودة.

مصنعي آلات الإنتاج:

قد نحتاج إلى الشراكة مع الشركات المصنعة للآلات المتخصصة في إنتاج مسحوق الفواكه المجفف بالتجميد.

سيوفر لنا هؤلاء الشركاء المعدات اللازمة لتجميد الفواكه وتجفيفها وإنتاج مسحوق الفواكه المجفف بالتجميد.

شركات النقل والخدمات اللوجستية:

لتوزيع منتجنا ، سنحتاج إلى التعاون مع شركات الخدمات اللوجستية والنقل لضمان التسليم الفعال وفي الوقت المناسب لعملائنا وشركائنا.

شركاء التسويق والتوزيع:

يمكن أن يساعدنا التعاون مع شركاء الأعمال ، مثل متاجر البيع بالتجزئة أو المقاهي أو المطاعم أو الصيدليات أو منصات البيع عبر الإنترنت ، في توسيع نطاق وصولنا إلى جمهور أوسع.

عقد اتفاقيات تعاقدية مع هؤلاء الشركاء لتحديد شروط البيع والأسعار والعروض الترويجية وشروط التوزيع.

2/5-الموردين الرئيسيين:

موردي المواد الخام (مديرية الفلاحة):

الموردون الذين يزودوننا بالفواكه الطازجة أو المجففة بالتجميد التي تحتاجها لإنتاج مسحوقك.

و معدات الإنتاج: مورد

سنحتاج إلى آلات ومعدات متخصصة لإنتاج مسحوق الفواكه المجففة المجمدة.

و البرمجيات: موفر

قد نحتاج إلى برامج إدارة الإنتاج أو الخدمات اللوجستية أو المحاسبة لدعم عملنا.



:
Key activities

:



5- الأنشطة الرئيسية

- المراحل الرئيسية: 6/1

اقتناء المواد الخام:

الحصول على فواكه طازجة من بائعين موثوقين.

اختيار فواكه عالية الجودة .

تحضير الفاكهة:

يجب فرز الثمار وغسلها وتحضيرها بعناية قبل معالجتها وتحويلها إلى مسحوق.

إزالة الأجزاء غير المرغوب فيها ، مثل البذور أو السيقان أو أي شوائب.

التجفيف بالتجميد للفواكه:

التجفيف بالتجميد هو خطوة الإنتاج الرئيسية لمسحوق الفواكه المجفف بالتجميد.

تُجمد الثمار على درجة حرارة منخفضة ، ثم توضع في حجرة التجفيف بالتجميد حيث يتم

ازالة الماء ، مما يترك الثمار مجففة.

طحن وغريلة:

بعد التجفيف بالتجميد ، يتم طحن الثمار إلى مسحوق ناعم.

قد تكون خطوة الغريلة ضرورية للحصول على نسيج موحد والقضاء على أي قطع أكبر.

التكليف:

يتم تعبئة مسحوق الفواكه المجففة بالتجميد في عبوات مناسبة ، مثل الأكياس أو الصناديق. إغلاق العبوات بإحكام للحفاظ على نضارة المنتج وجودته.

الوسم:

يجب تمييز كل عبوة بالمعلومات الضرورية ، بما في ذلك قائمة المكونات والمعلومات الغذائية وتواريخ الإنتاج وانتهاء الصلاحية وتعليمات الاستخدام.

التخزين وإدارة المخزون:

يجب تخزين المنتجات النهائية في بيئة مناسبة بعيداً عن الرطوبة والحرارة وأشعة الشمس المباشرة.

إعداد نظام إدارة المخزون لتتبع مستويات المخزون وتواريخ انتهاء الصلاحية وإعادة الطلبات.

2/6- الأنشطة الثانوية:

البحث والتطوير :

البحث والتطوير لتحسين منتجاتنا الحالية ، أو استكشاف نكهات جديدة ، أو تطوير صيغ خاصة ، أو حتى اكتشاف أنواع جديدة من الفواكه المجففة بالتجميد. رقابة جودة :

عمليات مراقبة الجودة لضمان اتساق منتجاتنا وسلامتها وجودتها. إجراء اختبارات منتظمة للتحقق من النقاء ومحتوى المغذيات والخلو من الملوثات.

التسويق والترويج:

تخطيط وتنفيذ الأنشطة التسويقية والترويجية لزيادة الوعي بمنتجاتنا.

الموارد الرئيسية



1/7- الموارد المادية:

المصدر محلي أو أجنبي	Ressources الموارد
أجنبي	-معدات التجفيف بالتجميد
محلي	-المطاحن والغرابيل
محلي	-ماكينات التعبئة والتغليف
محلي	-معدات مراقبة الجودة
محلي	-مركبات النقل
محلي	-معدات السلامة والحماية

2/7- الموارد البشرية:

العدد	صنف المورد البشري
	موظفو التسويق والمبيعات
	الموظفون المسؤولون عن المهام الإدارية والإدارة المالية والمحاسبة
	موظفي خدمة العملاء

3/7- الموارد المالية:

المورد المالي	الاحتياج
الكهرباء والماء	تتطلب آلات التجفيف والتجليد والغرلة والتعبئة الكهرباء لتشغيلها. تختلف متطلبات المياه أيضاً حسب حجم المنشأة وحجم الإنتاج
كراء	مساحة مادية كافية لإيواء معدات الإنتاج ، بما في ذلك غرفة التجفيف بالتجميد ، ومنطقة التكسير والغرلة ، ومنطقة التعبئة والتغليف. يجب أن تفي المرافق بمعايير السلامة والنظافة وجودة الأغذية.

6- مراحل تصنيع مسحوق الفواكه المجففة بالتجميد.

1- تحضير الفاكهة:

اخترنا الفاكهة الطازجة الناضجة للحصول على أفضل النتائج.
غسلنا الفاكهة جيداً لإزالة الأوساخ أو المبيدات الحشرية أو بقايا الشمع.
ازلنا الأجزاء غير المرغوب فيها.
قطّعنا الفاكهة إلى شرائح متساوية الحجم لضمان تجفيفها بشكل متساوٍ.



تجميد الفواكه :

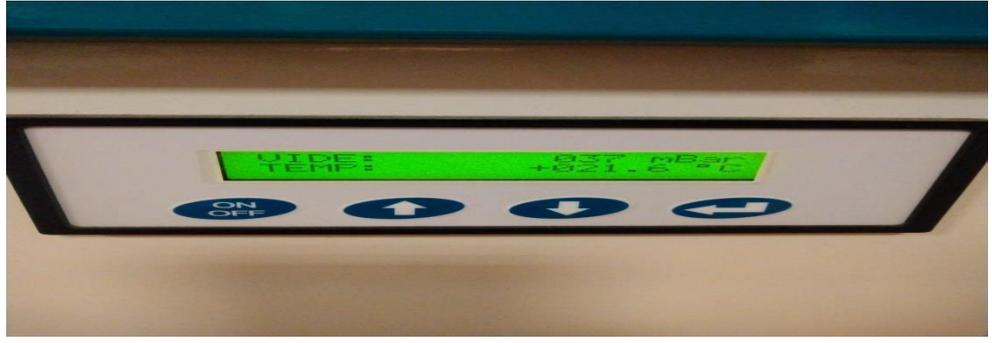
وزعنا قطع الفاكهة حتى لا تلمس بعضها البعض.

"LyoAlfa تركنا الفاكهة لتتجمد لعدة ساعات حتى تتجمد تمامًا في مجفف التجميد المخبري " laboratory freeze dryers."



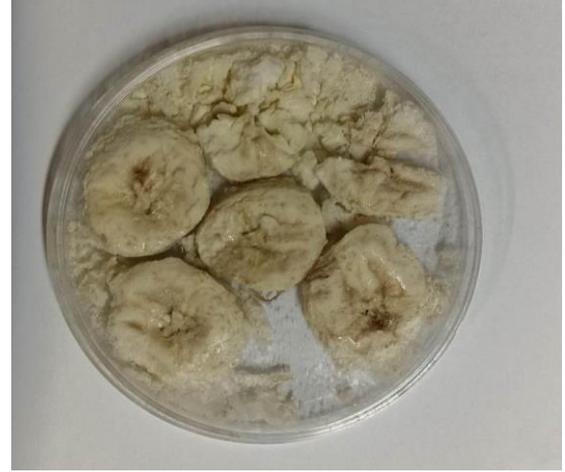
تجفيف:

أثناء التجفيف بالتجميد ، سيتم تسخين الماء الموجود في الثمار ، أي أنه سينتقل مباشرة من الحالة الصلبة (الجليد) إلى الحالة الغازية (البخار) ، متجاوزًا الحالة السائلة. هذا يحافظ على الصفات الغذائية نكهات الفاكهة. تجفيف عند +20 درجة مئوية.



إزالة الفواكه المجففة بالتجميد:

بعد اكتمال عملية التجفيف بالتجميد ، قمنا بإيقاف تشغيل مجفف التجميد.
فتحنا باب مجفف بالتجميد بعناية لتجنب التلوث.
قمنا بإزالة صينية التجفيف التي تحتوي على الفاكهة المجففة بالتجميد وتركناها تبرد إلى
درجة حرارة الغرفة في بيئة نظيفة وجافة.



الطحن :

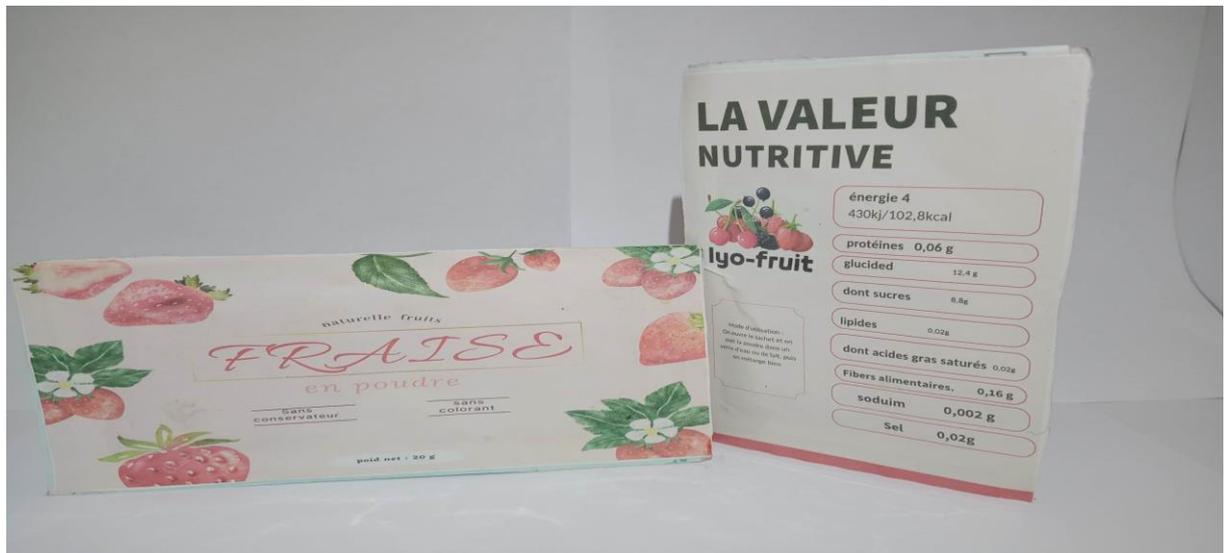
بمجرد أن تبرد ، قمنا بطحنها .



التعبئة والتغليف :



Le Prototype



Produit fini (poudre de fraise lyophilisés)



Emballage

LA VALEUR NUTRITIVE



Mode d'utilisation :
On ouvre le sachet et on met la poudre dans un verre d'eau ou de lait, puis on mélange bien

énergie	4
430kj/102,8kcal	
protéines	0,06 g
glucides	12,4 g
dont sucres	8,8g
lipides	0,02g
dont acides gras saturés	0,02g
Fibers alimentaires.	0,16 g
sodium	0,002 g
Sel	0,02g

Logo