**C. Conservation par déshydratation**

**1. Le séchage**

Le séchage est un procédé très ancien de conservation des produits alimentaires. Il est défini comme étant l’opération d’élimination d'une quantité d'eau suffisante d’un produit par évaporation. Il permet de transformer les denrées périssables en produits stabilisés par abaissement de l’activité de l’eau (aw). Le séchage est souvent associé à d'autres procédés comme le salage ou le fumage afin d'augmenter la durée de conservation des aliments. La plupart du temps, ces produits sont stockés à température ambiante, avant d’être réhydratés pour une utilisation dans un procédé industriel ou dans une préparation culinaire.

1.1. Buts et principe du séchage :

Le but du séchage des aliments est de diminuer la proportion « d’eau libre » contenue dans l’aliment. L’eau libre est l’eau disponible pour le développement des microorganismes. Une diminution importante d’eau dans un aliment contribue donc à inhiber la prolifération des microorganismes et inactiver partiellement les enzymes. Comme l’aliment peut perdre jusqu’à 98 % de son eau, la déshydratation a donc l’avantage de réduire le poids et le volume des aliments.

Comme l'eau est éliminée pendant le séchage, les solutés passent de l'intérieur de l'aliment à la surface. L’évaporation de l'eau provoque une concentration des solutés à la surface.

L’utilisation du séchage des aliments a de multiples buts :

- accroître la durée de conservation des aliments;

- stabiliser des co-produits industriels pour l’alimentation animale (farines de viande et de poisson par exemple);

- permet de réduire considérablement le poids et le volume des produits, ce qui facilite leur transport, stockage et manutention.

Remarque : Toute augmentation de la teneur en humidité pendant le stockage, en raison d'un emballage défectueux par exemple, se traduira par une détérioration rapide de cet aliment.

1.2. Modes de séchage

- Séchage par entraînement : Le produit alimentaire, qui est humide, est mis en contact avec un courant d'air plus ou moins chaud et sec.

- Séchage par ébullition : L’ébullition a lieu lorsque la température du produit est élevée par conduction sur une surface chaude, par rayonnement, par de la vapeur d’eau surchauffée ou par immersion dans de l’huile chaude.

1.3. Séchage et énergie

Au cours du séchage, c'est d'abord l'eau libre qui va être évaporée, puis l'eau de plus en plus liée. L’évaporation d’eau liée coûte beaucoup plus d'énergie que l’eau libre. Il est donc nécessaire d'évaluer quel taux d'humidité on veut atteindre pour éviter des dépenses inutiles.

1.4. Application

La viande fumée (saucisson), les fromages (séchage dans une ambiance contrôlée), lait en poudre, les œufs, les crevettes, le poisson, les plats composés, les viandes crues, la viande cuite de bœuf, de veau et de volaille, etc.

1.5. Effet sur les aliments

- Texture : Les modifications de la texture sont provoquées par l'agrégation et la dénaturation des protéines et la perte de capacité de rétention d'eau.

- Saveur et arôme : La chaleur vaporise l'eau et provoque également une perte de composants volatils de l’aliment et par conséquent la plupart des aliments déshydratés ont moins de saveur que les aliments frais. La structure des aliments séchés permet l'accès de l'oxygène, ce qui est une cause importante de l'oxydation des lipides pendant le stockage. Dans le lait séché par exemple, l'oxydation des lipides produit des arômes rances en raison de la formation de produits secondaires, notamment les lactones.

- Valeur nutritive : La valeur biologique et la digestibilité des protéines dans la plupart des aliments ne change pas substantiellement à la suite d'un séchage. Cependant, les protéines du lait sont partiellement dénaturées pendant le séchage, et cela se traduit par une diminution de la solubilité de la poudre de lait et la perte de la capacité de coagulation.

Les vitamines hydrosolubles sont plus stables à la chaleur et à l'oxydation, et les pertes au cours du séchage ne dépassent rarement 5-10%. Les nutriments liposolubles (acides gras essentiels et vitamines A, D, E et K) sont à l'intérieur de la matière sèche de l'aliment. Les vitamines liposolubles sont atteintes par interaction avec les peroxydes produits par l'oxydation des graisses. Les pertes au cours du stockage peuvent être réduites en diminuant la concentration en oxygène et la température de stockage et en évitant le passage de la lumière dans l’aliment.

1.6. Réhydratation

L'eau qui est éliminée d'un aliment pendant le séchage ne peut être remplacée de la même manière lorsque l'aliment est réhydraté ; les changements dans la perméabilité de la membrane cellulaire, la migration de soluté, et la coagulation des protéines cellulaires contribuent à des modifications de texture et des pertes par volatilisation qui sont irréversibles.

**2. Lyophilisation**

La lyophilisation, aussi appelée séchage à froid ou cryo-dessiccation, est un procédé qui consiste à retirer l’eau par sublimation d’un aliment déjà congelé afin de le rendre stable à la température ambiante et de faciliter sa conservation.

Le but principal est le maintien des propriétés nutritives et organoleptiques pendant une longue période, la possibilité de récupération après réhydratation du produit, l’amélioration de la qualité bactériologique du produit traité et la facilité du transport et du stockage.

2.1. Etapes et principe de la lyophilisation

On peut décomposer la lyophilisation en trois étapes principales qui peuvent durer 3 à 4 heures au minimum et peuvent aller jusqu'à 12 heures :

1. Congélation du produit : La première étape consiste à une congélation rapide des aliments (Poisson :-6 à-12°C, bovin :-12 °C, fromage : -24°C) pour que l’eau qu’ils contiennent soit transformée en glace avec la formation de petits cristaux qui disparaissent facilement lors de la sublimation et qui n’altèrent pas les parois cellulaires de l’aliment. Dans les aliments liquides, la congélation lente (Sauces, soupe, jus :≈-40°C) est utilisée pour former un réseau cristallin de la glace, ce qui fournit des canaux pour la circulation de la vapeur d'eau.

2. Sublimation de la glace. La sublimation est un principe physique simple. C’est le passage d’une substance de l’état solide à l’état gazeux directement sans passer par l’état liquide. Lorsque la pression exercée sur une denrée alimentaire est maintenue au-dessous de 610,5 Pa et l'eau de cet aliment est congelée ; si l'aliment est chauffé, les cristaux de glace se subliment directement en vapeur sans fusion. On dessèche donc l’aliment ou le produit surgelé ou congelé (température initiale :-20 à-40°C) en le mettant sous pression (0.1 à 6 hP ou mbar) à une température entre -5 et -8°C : la glace devient de la vapeur et elle est récupérée par des pompes à vide, ce qui permet d’amener une humidité résiduelle de l’aliment à 15%.

3. Séchage final par évaporation (désorption): Cette dernière étape débute lorsque toute la glace est sublimée. La température s’élève spontanément une fois que toute l’eau a été sublimée, mais il est nécessaire de l’augmenter par l’utilisation de micro-ondes par exemple entre 0 et 7 °C tout en gardant la sous pression. L’eau (eau intracellulaire) se déplace hors de l’aliment à travers des canaux formés après sublimation des cristaux de glace, ce qui permet d’amener une humidité résiduelle de l’aliment entre 2 et 8 %.

4. Conditionnement hermétique des produits lyophilisés; sous vide intense imperméable aux gaz, liquides et aux micro-organismes, opaque et résistant. On utilise le fer blanc, l'aluminium, le verre ou des pellicules plastifiées. On peut ajouter aux aliments aussi des substances antioxydantes (vit E, C, ascorbate de sodium). Les produits lyophilisés doivent être conservés à des températures inférieures à 15 °C, la durée de vie va de 3 mois à plusieurs années.

Les enzymes sont presque inactivées par la lyophilisation. La croissance des microorganismes est arrêtée et les spores gardent leur potentiel vital mais sont inactivées. Toute réhumidification de l’aliment lyophilisé lors du stockage entraine une prolifération microbienne et une activation des enzymes.

Quand on dessèche un produit à température ambiante ou élevée (séchage), il y a concentration des matières salines, nocives pour les protéines d'où nécessité d'effectuer cette déshydratation à basse température.

2.2. Aliments lyophilisés

Les principaux produits lyophilisés : les sachets de soupes et de sauces, des yogourts, les plats cuisinés pour le plein air et pour les astronautes, poulet, crevettes, poisson, lait aromatisée, yaourt, fromage frais, etc.

2.3. Durée de conservation et réhydratation

La conservation des aliments lyophilisés peut durer plusieurs années. L’emballage sous vide (non nécessaire sur de courtes périodes) permet de conserver des vitamines (A, C et B) qui se détériorent à l’air ambiant. Les emballages opaques permettent de conserver la vitamine B12 qui est très sensible à la lumière.

La réhydratation des aliments lyophilisés est beaucoup plus facile que pour des aliments séchés. La structure poreuse des aliments qui ont été lyophilisés rend la réhydratation possible avec de l’eau froide ou chaude, et ce, en quelques minutes.

2.4. Avantages de la lyophilisation

- La lyophilisation est une des meilleures méthodes de séchage puisqu’elle conserve la valeur nutritionnelle (perte minimes en vitamines, en acides aminés et en acides gras insaturés) et l’aspect organoleptique de l’aliment qui comprend le goût, l’odeur, la couleur, l’aspect visuel et la consistance de l’aliment.

- La réfrigération n’est pas nécessaire pour conserver les aliments lyophilisés.

- Le poids des aliments est aussi diminué par la lyophilisation. C’est un avantage pour le transport.

- 100% naturel, sans besoin d’ajouter des arômes artificiels, conservateurs ou colorants pendant son stockage.

- Les composés aromatiques volatils ne sont pas entraînés dans la vapeur d'eau produite par sublimation et sont piégés dans la matrice alimentaire (80 à 100%).

2.5. Inconvénients de la lyophilisation

- Ces aliments lyophilisés captent facilement l’humidité de l’air. Il faut souvent utiliser des emballages à atmosphère contrôlée (sous vide).

- On peut traiter les aliments qui sont en gros morceaux, mais ils nécessitent trop d’énergie à produire, donc leur vente est très coûteuse. La lyophilisation est donc limitée aux aliments en poudre ou en très petits morceaux.

- Coût de la lyophilisation: opération très coûteuse, il faut des installations de grande capacité pour obtenir un prix de revient faible. Pratiquement, utilisée surtout pour les produits biologiques de grande valeur et quelques plats cuisinés pour la nourriture des astronautes.

- La structure poreuse permet une réhydratation rapide et complète, mais elle peut permettre à l'oxygène d'entrer et de provoquer l’altération de l’aliment par oxydation des lipides. L’aliment doit être donc conditionné sous vide ou dans une atmosphère modifiée. L’apparition d'odeur rance dite "de foin" (surtout pour les matières grasses des crevettes par exemple), à cause de l’hydrolyse des lipides, est possible lors d’un stockage prolongé.



Djelfa : 1200m=96°C

Everest : 8850m=70°C

**3. Le fumage ou la fumaison :**

Le fumage consiste à soumettre une denrée alimentaire préalablement salée à l’action des composés gazeux qui se dégagent lors de la combustion de bois. Il s’applique principalement aux produits carnés (viandes et poissons).

3.1. Technique du fumage

*3.1.1. Traitements préliminaires du produit*

* Découpe: cela dépend du volume du produit soumis au fumage, les produits trop gros sont découpés.
* Salage: Avant de fumer un aliment, il faut le saler (Composition des sels marins : 85 à 95 % : chlorure de sodium NaCI, 11% : sulfates, 0 à 2 % : chlorure de calcium et de magnésium, moins de 0,2 % de minéraux solubles). Le salage entraine un raffermissement des chairs, empêche la décoloration et confère un certain gout au poisson. Il diminue le taux d'humidité et ralenti le développement microbien. Pendant toute la durée du salage, la température doit être maintenue entre 12 et 15 °C (salage à sec) et 10°C (salage par la saumure). Une température inférieure ne favorisera pas particulièrement la pénétration du sel et une température supérieure est déconseillée pour des raisons hygiéniques. Le sel doit être de bonne qualité et très peu chargés en impuretés. Les principales impuretés rencontrées dans le sel sont les sels de calcium et de magnésium. Ces impuretés diminuent la perméabilité des membranes cellulaires et la progression du sel est donc bloquée. Plus un poisson est gros et plus sa peau est épaisse, plus le sel a de difficultés à pénétrer. La présence de graisse ralentit la vitesse de pénétration du sel et limite la teneur finale en sel du muscle.
	+ Le salage à sec : dépôt directe du sel sur l'aliment (cela permet d'exsuder l'eau des aliments ce qui donne une texture plus ferme). Le salage à sec est préalable pour un fumage à froid des poissons maigres.
	+ La saumure: immersion du produit dans une solution d'eau concentrée en sel à 16 %, 20 % ou 25 % (avec, ou non, des épices et des condiments). Le salage par la saumure est préalable pour un fumage à chaud des poissons gras.
* Trempage ou rinçage et égouttage : Les aliments destinés au fumage ne doivent pas être très salées ; il faut les dessaler en les rinçant à l’eau pour les produits salés à sec ou les mettant à tremper de une à six heures dans de l'eau tiède selon l'épaisseur du morceau pour les produits salés par la saumure. Le dessalage a aussi pour but de favoriser le fumage et de le rendre très clair. Il faut traverser une extrémité du morceau à fumer par une ficelle assez forte permettant de l'accrocher ; laisser égoutter les pièces au moins six heures, enfin les installer dans le lieu où elles seront fumées.
* Séchage : Il s'effectue uniquement avant le fumage à froid. Le séchage a pour but de réduire la teneur en eau pour limiter les réactions de dégradation du produit (bactériologiques, chimiques et biochimiques) afin de favoriser la conservation du produit ayant préalablement subi un salage. Un bon séchage se réalise à une température comprise entre 22 et 26° C et avec une hygrométrie de 60 %.
	+ 1. *Fumage :*

Le poisson légèrement salé, séché est soumis un certain temps à l'action de la fumée provenant de la combustion du bois par pyrolyse de ces constituants (cellulose, hémicellulose et lignine). La fumée est constituée d'une suspension de particules solides et liquides en milieu gazeux; les substances contenues dans ces phases sont les mêmes, mais en concentration différente. La phase liquide représente environ 90 % de la fumée; les substances chimiques les plus volatiles, et qui sont absorbées par le poisson, se trouvent principalement dans cette phase. Elles se dissolvent dans l'eau superficielle du poisson. La fumée se compose d’alcools, d’oxydes d'azote, des hydrocarbures aromatiques polycycliques, des composés phénoliques, des furanes, des composés carbonylés, des acides carboxyliques aliphatiques, des composés de goudron, des glucides, de pyrocatéchol, de pyrogallols, d’acides organiques, des bases, ainsi que des benzopyrènes. Certains composés sont cancérigènes, principalement les 3-4 benzopyrène (3-4 B). D'autres hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPA) contenus dans la fumée sont également dangereux.

Pendant la phase du fumage, le poisson continue à se déshydrater en même temps qu'il s'imprègne des composés volatils de la fumée. La conservation étant assurée principalement par les opérations précédentes (salage et surtout séchage). Tous les poissons fumés doivent être conservés réfrigérés à + 2° C et/ou emballés sous vide pour prolonger leur durée de vie.

Les sciures utilisées sont de préférence des sciures de bois durs, tels le hêtre, le chêne, le noyer, l'orme, le bouleau, dont la fumée est riche en créosote. La température joue un rôle important dans le fumage. Il s’opère soit à froid (20°), soit à une température moyenne (25 à 40°), soit à chaud (60 à 80°). Les produits fumés à froid peuvent être réfrigérés, ce qui leur donne une durée de vie d'environ 7 jours.

Le type de fumoir que l’on rencontre le plus souvent est simple : c’est un appareil en tôle ou en briques comprenant deux parties principales :

* La chambre de fumage, hermétique et pourvue de barres de suspension qui permettent d’accrocher les produits à fumer
* Le foyer, situé à la base, est équipé d’un tiroir ou d’un bac pour vider et renouveler la sciure.

3.2. Principe :

*3.2.1. Le salage*

Dans le cas du salage au sel sec, la pénétration du sel est rapide: la saumure concentrée qui se forme en surface extrait l'eau du poisson, puis se substitue à l'eau de constitution dans les cellules, la concentration n'étant pas modifiée en raison de l'excès de sel. Le taux d'humidité du poisson salé au sel sec est plus faible que celui du poisson salé en saumure. Le risque de contamination et de développement microbien est plus important dans le cas de salage en saumure. Cette dernière doit être attentivement contrôlée. Il convient pendant son utilisation, d'éviter toute élévation de température ou modification de pH ainsi que toute manipulation risquant d'entraîner une contamination.

*3.2.2. Le fumage :*

Le fumage complète l'action du salage. Les viandes traitées préalablement par le sel et fumées ensuite acquièrent au maximum la faculté de se conserver. Il est probable que les transformations dues au salage favorisent la pénétration des gaz de la fumée.

Le fumage joue plusieurs rôles :

* il donne une saveur et une coloration caractéristiques, les arômes typiques semblent dus aux phénols, mais les carbonyles et les acides sont à l'origine de différence dans les flaveurs. La fumée développe et stabilise en outre la couleur de la viande. La coloration (rose, brunâtre ou acajou) varie avec les bois utilisés et peut s'expliquer par la couleur des composés carbonyles et phénoliques et la présence des oxydes d'azote dans la fumée.
* il préserve par effet antimicrobien et antioxydant : le fumage permet de conserver l’aliment grâce à l'action combinée de la déshydratation et des antiseptiques contenus dans la fumée. En effet ; de nombreux composés volatils contenus dans la fumée jouent, un rôle antiseptique et antioxydant : aldéhyde formique, acide acétique, dérivés phénolés, créosote, etc. Il faut cependant considérer que son action est insuffisante sur des viandes infectées. Une perte de 10 à 11% d'humidité peut se produire pendant le fumage.
* il modifie la texture du produit.

La fonction principale des acides organiques contenants dans la fumée (formique, acétique, propionique, butyrique et isobutyrique) consiste à coaguler ou à dénaturer les protéines de la viande à la surface du produit, ce qui facilite le détachement de l’emballage collé aux produits fumés.

L'efficacité du fumage dépend de la pénétration des principes actifs de la fumée dans le milieu. Cette pénétration sera d'autant plus profonde que la fumée sera plus humide, les fumées humides sont toujours plus riches en principes aromatiques que les fumées sèches.

3.3. Fumée liquide

La fumée liquide est largement utilisée dans l'industrie d'aujourd'hui et à l'avenir remplaçant probablement en grande partie l'utilisation de la fumée naturelle. Les composés cancérigènes (hydrocarbures) et dangereux ont été éliminés au cours de leur préparation. L’application de la fumée liquide à des produits à base de viande peut être réalisée de plusieurs manières différentes. Elle peut être incorporée directement dans le produit par pulvérisation ou immersion. La fumée liquide peut être aussi atomisé ou vaporisé dans la chambre de cuisson ou de fumage.