

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



Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de
l'Univers

Département de Biologie

**Polycopié pour le Master Qualité des produits et
Sécurité Alimentaire**

Emballage et Conservation

Elaboré par Dr. MEZROUA El Yamine

Année Universitaire : 2019/2020

Avant-propos

Le secteur de la transformation et de la distribution des produits alimentaires est un secteur industriel intéressant dont les matières premières de cette industrie sont majoritairement des produits végétaux ou animaux. C'est une matrice très sensible et périssable, sa conservation est le principal challenge de cette industrie où l'emballage alimentaire a pris une place primordiale.

La nourriture de l'homme est obtenue à partir des plantes et des animaux. Les nutriments contenus dans ces aliments servent non seulement à couvrir les besoins humains mais sont également vitaux pour la croissance et la survie des micro-organismes. Ainsi, si les aliments ne sont pas immédiatement consommés ou conservés après leur production, ils se dégradent facilement. La détérioration microbienne est inhérente aux aliments. Le processus de détérioration commence dès que les aliments sont produits, et si des mesures ne sont pas prises immédiatement pour empêcher la détérioration, ces produits deviendront inacceptables pour la consommation humaine.

Dans ce polycopié destiné aux étudiants de Master 1 Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire, j'ai essayé de présenter d'une façon claire et explicite les différents matériaux de l'emballage alimentaire et expliquer le phénomène de détérioration des aliments qui peut être causée par de nombreux facteurs: activité enzymatique, dommages physiques, produits chimiques, rongeurs, insectes et activités métaboliques des micro-organismes, bactéries, levures et moisissures. Presque toutes les technologies et les méthodes de conservation des aliments ont été également présentées dans ce polycopié pour permettre à nos étudiants de connaître les différentes solutions technologiques mises en place pour maintenir la qualité et la salubrité des aliments.

Le document a été synthétisé à partir des encyclopédies, des livres, des revues et des articles en respectant le programme de la formation, il est aussi enrichi en photos et en schémas explicites des sites web afin de faciliter l'assimilation et la compréhension des données scientifiques.

Sommaire

Avant-propos

Chapitre 1- Les matériaux d'emballage..... 1

Chapitre 2- Les caractéristiques de conservation.....15

Chapitre 3- Les technologies de conservation.....25

Chapitre 4- Les méthodes de conservation en IAA.....44

Références bibliographiques.....53

Chapitre 1 : Les matériaux d'emballage

1.1 Définition de l'emballage

Etymologiquement, le mot " emballage " vient du mot " emballer " qui signifie littéralement " mettre en balle ". Mais l'emballage alimentaire est défini comme l'ensemble des matériaux destinés à protéger la qualité nutritionnelle, organoleptique et fonctionnelle du produit alimentaire tout au long de la chaîne de la commercialisation jusqu'à son consommateur final. Pour l'entreprise, l'emballage alimentaire est considéré comme un outil de garantir la sécurité de la distribution du produit jusqu'au consommateur final dans de bonnes conditions et à un coût acceptable.

L'emballage se distingue du conditionnement c'est-à-dire l'opération qui permet de mettre le produit dans son contenant.

1.2. Types d'emballage

1.2.1 Emballage primaire

Il est en contact direct avec le produit afin de le contenir et de le conserver. Cet emballage doit être compatible avec le produit et le protéger de tout contaminant extérieur pouvant causer une éventuelle dégradation non souhaitée.

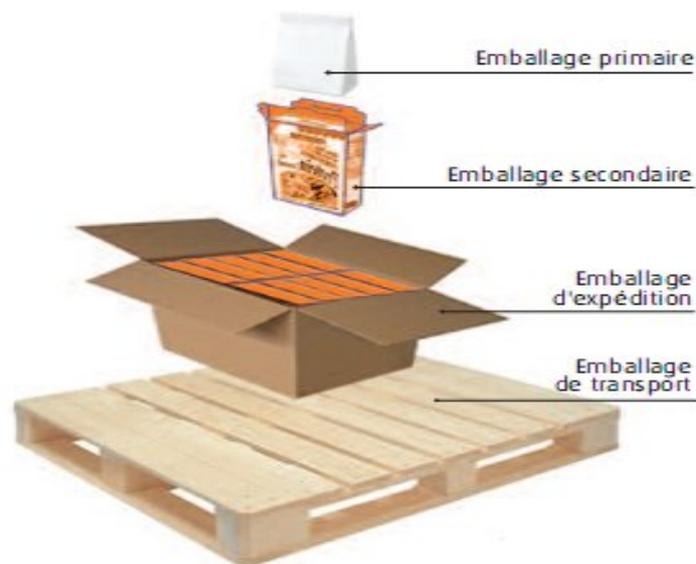


Fig 1. Différents types de l'emballage alimentaire

1.2.2 Emballage secondaire

Il est souvent utilisé pour la protection de l'unité ou pour faciliter l'utilisation du produit. Plusieurs emballages primaires peuvent être contenus dans un emballage secondaire qui correspond donc à l'unité de vente. Il a également pour fonction de communiquer au consommateur l'information sur le produit et, par conséquent, de vendre le produit. On l'appelle aussi « unité de vente ».

1.2.3 Emballage d'expédition

Il regroupe plusieurs emballages secondaires pour la manutention et la protection des contenants durant le transport.

1.2.4 Emballage de transport

Il est souvent fait par des palettes réutilisables en bois ou en plastique qui permettent le transport, le stockage et la manutention de certaines quantités d'unités d'expédition

1.3. Evaluation de l'emballage

Il existe plusieurs critères que nous pouvons utiliser et adopter pour évaluer chaque emballage alimentaire parmi lesquels :

- La visibilité : c'est le pouvoir de capter l'attention des yeux
- L'attraction : le produit suscite l'intérêt du consommateur
- La lisibilité : est-ce qu'on peut facilement lire l'étiquette ?
- La personnalité : l'emballage donne une idée juste et complète du produit, oui ou non.
- La différenciation : le produit permet de se distinguer des produits concurrents, oui ou non.

1.4. Importance de l'emballage dans l'industrie alimentaire

L'emballage est en quelque sorte le dernier " maillon " de la chaîne de fabrication d'un produit alimentaire. Or, il est très souvent et fort injustement négligé.

L'emballage peut jouer un rôle fondamental dans la conservation d'un produit périssable. Il peut constituer d'ailleurs le facteur clé d'un procédé de transformation. En outre, il est le

premier élément avec lequel le consommateur est en contact et il entre pour une large part dans sa décision d'achat. L'emballage représente également la plupart du temps la seule voie de communication entre le fabricant et le consommateur.



Fig 2. Différents types d'emballage alimentaire

1.5. Fonctions de l'emballage

1.5.1 Fonctions techniques

L'emballage doit permettre la conservation du produit et sa distribution. Cela se traduit par les fonctions : contenir, être apte à la mécanisation, protéger, distribuer et informer

-La fonction contenir : c.-à-d protéger l'environnement extérieur et notamment l'utilisateur du contenu. Cette fonction concerne entre autres la limitation des risques liés au contenu par exemple : fuite du produit vers l'environnement et les produits environnants.

Par sa fonction contenir, l'emballage permet aussi de regrouper le produit en une unité manipulable (biscuits, comprimés), regroupement d'unités de vente afin de faciliter la manipulation et le transport

-Aptitude à la mécanisation : c.-à-d l'aptitude au passage sur machine, car un grand nombre d'emballages doivent être fabriqués, mis en forme, remplis et fermés sur des machines de conditionnement à haute cadence.

-La fonction protéger et conserver : La protection s'exerce à la fois contre les contraintes mécanique et climatique du stockage, de la manutention, du transport (chutes, chocs,

vibrations, humidité relative de l'air, chocs thermiques, pluie, rayonnement solaire, etc.), contre les agressions de type physico-chimique venant de l'extérieur (gaz, vapeur d'eau, acides, etc.), contre les éventuelles agressions des insectes et des rongeurs.

L'emballage doit conserver toute son intégrité, préserver les propriétés et les caractéristiques du contenu, protéger le produit vis-à-vis de ses sensibilités tout au long du circuit de distribution, depuis la production ou la fabrication du produit jusqu'à son utilisation ou sa consommation.

-La fonction distribuer : les produits sont emballés par unité ou par groupe, puis regroupés pour constituer des unités de plus en plus grandes, aptes elles-mêmes au transport, à la manutention, au stockage.

- La fonction informer : l'emballage est un vecteur d'informations. Il renseigne sur le contenu (la nature du produit, sa fragilité, la classe de matière dangereuse, etc.), mais aussi sur les conditions de stockage, de manutention des emballages (hauteur limite de stockage, conditions climatiques en température et/ou d'humidité).

1.5.2 Fonctions marketing

L'impact des fonctions commerciales auprès du consommateur est tel qu'elles sont devenues prépondérantes dans la phase de création d'un emballage. La vente en libre service est de plus en plus répandue. Le consommateur se retrouvant seul face au produit qu'il va acquérir et utiliser, son emballage est ainsi devenu un véritable moyen de communication. Les fonctions marketing d'un emballage sont : alerter, attribuer, positionner, apporter un service et informer.

-La fonction alerter : c'est l'impact, l'attraction exercée sur le consommateur. L'observation montre que dans un commerce en libre service, le consommateur ne revient que rarement sur ses pas. Tout produit qui n'aura pas su attirer l'attention n'aura que peu de chance d'être choisi.

-La fonction attribuer : Chaque catégorie de produits appartient à un univers qui se traduit pour le consommateur par des signes qu'il interprète en classant les produits et en les reconnaissant, par exemple l'univers de la lessive, de céréales, de viandes, etc.

-La fonction positionner : c'est l'expression du produit en relation avec la perception psychologique de qualité, de prix, de performance, etc.

-La fonction apporter un service : elle permet de faciliter l'usage du produit, tel que l'usage d'une ouverture facile, d'un système distributeur, la possibilité d'une refermeture, une mise en œuvre simple, etc.

Il ya deux autres fonctions que l'emballage doit assurer :

1.5.3 Sécurité

La sécurité se décline sur trois niveaux : le produit (sécurité bactériologique, sécurité organoleptique), la distribution (identification, solidité, marquage), la consommation ou l'utilisation (faciliter la mise en œuvre).

1.5.4 Protection de l'environnement

Les emballages ont un impact sur l'environnement. La prise en compte de l'environnement dans la conception ou l'amélioration des emballages est aussi appelée écoconception. Il s'agit d'une démarche préventive qui se caractérise par une vision globale avec une approche multicritères de l'environnement qui prend en compte l'ensemble des étapes du cycle de vie de l'emballage.

1.6. Matériaux d'emballage

1.6.1 Matériaux cellulosiques

1.6.1.1 Bois

C'est un matériau naturel et homogène qui présente un grand nombre de qualités : légèreté, bonne résistance mécanique et chimique, isolant thermique, bonne hygroscopicité. Ces propriétés peuvent être modifiées selon les formes mise en œuvre : contreplaqué, aggloméré, déroulé, lamellé-collé. Les principales essences utilisées qui disposent d'un certificat d'aptitude au contact alimentaire, sont le pin, le chêne et le peuplier ainsi que le chêne-liège pour la fabrication des bouchons.



Fig 3. Photos des arbres de peuplier, du pin et de chêne-liège

Le bois brut est présent dans l’emballage de produits alimentaires, au niveau primaire (plateaux pour fruits et légumes), secondaires (boîtes de fromage, caisses de bouteilles de vin) ou tertiaire (palettes).

1.6.1.2 Papiers et cartons

Le papier est un support bon marché, renouvelable et recyclable, donnant une rigidité à l’emballage mais n’ayant pas de propriétés barrières ou de soudabilités. Il devra donc souvent être utilisé sous forme de complexes, en association avec une feuille d’aluminium et un polymère pour la soudure. On trouve également des papiers enduits de chlorure de polyvinylidène (PVDC) offrant une bonne barrière à l’eau et à l’oxygène.

La limite entre les appellations papier et carton dépend du gramme : on parle de carton à partir de 224 g.m⁻². Il existe deux types de carton :

-le **carton ondulé** est obtenu en associant une cannelure (papier ondulé) entre deux feuilles de papier dites de couverture (figure 4). Cette structure a de bonnes propriétés de résistance mécanique et d’isolation thermique sans augmentation marquée de gramme.



Fig 4. Différentes catégories de carton ondulé



Fig 5. Caisse en carton ondulé de catégorie double-double face cannelure

-le carton plat : c'est un assemblage de couche fibreuse. Sa principale qualité réside dans sa capacité à être décoré. Il peut être découpé (pour la mise en forme), prédécoupé (pour les ouvertures faciles), complexé (pour améliorer ses propriétés barrière). Différents types d'emballages sont réalisés en carton plat : des étuis, des tubes, des boîtes, des intercalaires entre les bouteilles, etc.

1.6.1.3 Cellulose moulée

Il s'agit de pâte à papier recyclé mise en forme dans des moules et séchés. Elle est utilisée pour réaliser des boîtes à œufs et des calages. Les matériaux présentent l'avantage d'être biodégradables et recyclables, à un moindre coût que les fibres vierges obtenues à partir du bois. En revanche, leurs propriétés mécaniques sont inférieures à celles des fibres vierges et leur niveau de blancheur est souvent insuffisant.



Fig 6. Plateau des yeux en cellulose moulée

1.6.2 Verre

C'est un produit minéral obtenu par fusion, qui se solidifie sans cristalliser. Sa composition est la suivante : 70 % de silice (agent vitrifiant), 14 % de soude (agent fondant), 10 % de chaux, et d'autres composés potasse (agent stabilisant), des oxydes métalliques pour la couleur.

Les emballages réalisés en verre sont classiquement des bouteilles, flacons, pots, bocaux, verres et gobelets. C'est un matériau utilisé dans nombreux secteurs de l'agroalimentaire (boissons, conserves, confitures, produits laitiers, etc.).

On distingue plusieurs variétés de verres selon leurs capacité à absorber les rayonnements thermiques et à faire barrage aux ultraviolets : le verre blanc pour l'eau, certain jus, les confitures ; le verre champagne (teinte vert-bleu) pour la bière, le vin et l'huile.



Fig 7. Bouteilles de différentes couleurs et bocaux en verre

Le verre présente de nombreuses qualités : imperméabilité aux gaz, vapeurs et liquides (barrière exceptionnelle), bonne inertie chimique (supérieure à celle de tous les autres matériaux d'emballage), facile à laver et à stériliser, inodore et ne transmet pas des goûts, transparent, colorable (protection contre les rayons ultraviolets par exemple), rigide, résistant à des pressions internes élevées (boissons gazeuses), transparent aux micro-ondes, économique et recyclables. Sa faiblesse majeure repose sur le risque de casse.

1.6.3 Métaux

L'utilisation des matériaux métalliques pour l'emballage des denrées alimentaires est justifiée par certaines de leurs propriétés : aptitude à la mise en forme, rigidité, solidité, imperméabilité, opacité vis-à-vis des rayons lumineux, conduction de la chaleur, etc.

Les matériaux métalliques sont essentiellement mis en œuvre dans les emballages des produits appertisés car ils sont particulièrement bien adaptés à la longue conservation (robustesse, imperméabilité). De plus, les emballages métalliques sont recyclables.

1.6.3.1 Acier

- **Fer blanc**

Le principal matériau pour les boîtes à conserve est le fer blanc ; mince feuille d'acier doux revêtu électrolytiquement d'une couche d'étain pur sur ses deux faces.

Le fer blanc est constitué de l'acier, alliage du fer et d'autres matériaux, et une couche d'étain. La composition chimique de l'acier de base influence également les caractéristiques mécaniques de l'emballage.



Fig 8. Boîtes de conserve en fer blanc

L'étamage est réalisé par voie électrolytique, il permet de déposer en continu une quantité précise d'étain sur chaque face du métal qui a été préalablement décapé et dégraissé. Ce dépôt est ensuite refondu pour obtenir un alliage avec le support et l'aspect brillant caractéristique.

Enfin, la surface reçoit un traitement électrochimique de passivation pour parvenir à une couche superficielle contenant des oxydes d'étain, des oxydes de chrome et du chrome métallique. En dernier, il reçoit un très léger huilage facilitant son glissement et sa protection avant vernissage.

- **Fer chromé**

Le fer chromé est un matériau composé d'acier et d'une couche de chrome, l'opération d'addition de ladite couche, est dite « chromage ».

Mise au point au Japon vers 1965, cette famille de revêtement s'est imposée aux USA puis en Europe comme le complément indispensable du fer blanc.

1.6.3.2 Aluminium

C'est un matériau très utilisé dans l'agroalimentaire, il présente des caractéristiques suivantes: légèreté, étanchéité contre les gaz, recyclable, flexible, stable. Cependant, ce matériau présente certains inconvénients : relativement cher, fermeture difficile, fonctions marketing limité (formes limitées).

Plusieurs alliages d'aluminium sont utilisés en emballage ; les pourcentages variables de magnésium, de manganèse ou de chrome leur confèrent des propriétés différentes (résistance mécanique, aptitude à la mise en forme). Les emballages en aluminium peuvent être des boîtes de conserve, de cannettes, des barquettes, du film, etc. ; leur caractère plus malléable (flexible) permet de proposer des ouvertures faciles.



Fig 9. Différentes formes d'emballage alimentaire en aluminium

1.6.3 Vernis de protection des emballages métalliques

Le principal inconvénient des métaux est leur sensibilité à la corrosion. De ce fait, il est d'usage de recouvrir le métal d'une couche de vernis protecteur.

Les revêtements organiques des emballages métalliques possèdent les propriétés physico-chimiques des polymères (insolubilité et inertie chimique en milieu aqueux). Leurs propriétés mécaniques (adhérence, dureté, souplesse) sont extrêmement importantes ; l'adhérence et l'absence de porosité sont les deux facteurs qui conditionnent principalement la qualité protectrice de ces revêtements. Leur épaisseur varie de 5 à 10 μ m.

Plusieurs familles de vernis sont utilisées, en fonction de la nature de l'aliment à conditionner et du type de boîte utilisée (tableau 1).

Tableau 1. Principales familles de revêtements organiques.

| Familles | Utilisation | Souplesse | Adhérence | Résistance à la stérilisation |
|-----------------|---|------------|-----------|-------------------------------|
| Oléorésineux | Fruits et légumes (verniss antisoufre) | Médiocre | Bonne | Moyenne |
| Phénoliques | Fruits, légumes, viandes (verniss barrière) | Médiocre | Médiocre | Très bonne |
| Epoxyphénolique | Domaine très large (fruits, légumes, viandes, etc.) | Bonne | Bonne | Bonne |
| vinylques | Boissons (bière, boissons carbonatées) | Excellente | Bonne | Bonne |
| Epoxyurée | Boissons | Bonne | Bonne | Moyenne |

1.6.4 Plastiques

Il s'agit de matière synthétique constituée essentiellement de macromolécules et susceptible d'être modelée ou moulée en général à chaud ou sous pression.

De point de vue chimique, une matière plastique comprend une phase organique macromoléculaire (polymère ou résine), des charges ou renforts (verre, fibres, etc.) et des adjuvants (plastifiant, stabilisants thermiques, anti-UV, colorants, etc.). D'une manière générale, on considère deux types de résine : les thermoplastiques qui ramollissent au

chauffage et durcissent au refroidissement, ceci pouvant être réalisé plusieurs fois, et les thermodurcissables pour lesquels une seule mise en forme possible. Les plastiques sont issues de l'industrie pétrochimique à l'exception de la cellophane obtenue par traitement chimique de la cellulose.



Fig 10. Différents emballages en plastique

1.6.4.1 Composition

- **Polymères**

Il s'agit d'enchaînements d'un grand nombre de monomères de polychlorure de vinyle (PVC) constitué de monomères de chlorure de vinyle ($\text{CH}_2=\text{CHCl}$) ou le polypropylène (PP) constitué de monomères de propylène.

Toutes les matières plastiques offrent des propriétés d'imperméabilité et d'innocuité souvent satisfaisantes même dans la structure d'emballage monocouche, mais pour les aliments particulièrement sensibles à l'oxydation, à la lumière ou aux pertes d'arômes, on utilise des polymères dits barrières qui sont mis en œuvre en emballages multicouches en association avec des matériaux de structure.

-les polymères de structure sont choisis en fonction de type de conditionnement de produit, ils offrent des caractéristiques très variés comme la résistance à la congélation, à la stérilisation, aux micro-ondes, la praticité pour le consommateur, etc.

-les polymères barrières présentent de très faible perméabilité à l'oxygène, au gaz carbonique et aux arômes.

- **Charges**

Ce sont des substances inertes d'origine minérale ou végétale, ayant le rôle de modifier les propriétés mécaniques, thermiques et électriques et d'améliorer l'état de surface et de réduire les coûts. Ces composés sont dispersés à la matrice polymérique. Il y a des charges sphériques (poudre ou farine) qui améliorent la coulabilité de résine et leur résistance à la compression, des charges fibreuses (cellulose, verre) qui augmentent la résistance à la rupture et la rigidité, et des charges minérales (craie, silice) qui améliore la résistance à la chaleur et à l'humidité et augmente la densité.

- **Adjuvant**

Ce sont en général des composés organiques ou organométalliques capables de modifier les propriétés physiques ou chimiques de polymère, on cite :

-les plastifiants pour améliorer les propriétés mécaniques des plastiques.

-des stabilisants pour empêcher l'altération des matériaux pendant leur mise en œuvre et leur utilisation (anti-UV, antiozonant).

-des lubrifiants pour faciliter le façonnage et réduire le frottement résine/ métal.

-des colorants qui doivent être stable à la lumière. Actuellement, les pigments qui contiennent des métaux lourds sont remplacés par les pigments organiques qui présentent néanmoins une opacité plus faible et moins de résistance aux UV.

1.6.4.2 Mise en œuvre

Il existe plusieurs techniques de mise en œuvre de plastique en raison de leurs caractéristiques mécaniques :

-l'extrusion comprend un chauffage et un malaxage dans un vis sans fin pendant lequel a lieu la polymérisation, ce qui permet d'orienter le polymère en donnant ensuite la forme voulue.

-l'extrusion-gonflage consiste à donner du volume en injectant de l'air en sortie de l'extrudeuse afin de rééquilibrer l'orientation des polymères et d'obtenir une résistance mécanique et des caractéristiques barrières différentes.

-le soufflage de préforme consiste à ne former l'emballage qu'au dernier moment à partir des préformes injectées ou thermoformées. Cette technique permet de minimiser les coûts de

transport de l'emballage mais le fabricant du produit à conditionner nécessite d'une souffleuse.

1.6.5 Biomatériaux

La prise en compte des problèmes de l'environnement dans le choix du consommateur incite au développement des nouveaux matériaux d'emballage renouvelable et biodégradable : les polysides, les protéines, les composés lipidiques et les polyesters. Les films constitués de polysides (cellulose et dérivés, amidon et dérivés, gommes, etc.) ou de protéines (gélatine, zéine, gluten, etc.) présentent généralement de bonnes propriétés mécaniques et optiques mais sont très sensible à l'humidité et ont de mauvaises propriétés barrières à la vapeur d'eau.

Les films à base de lipides (cires, lipides et dérivés) ou de polyester (acide polylactique (PLA)) présentent de bonnes propriétés barrières à la vapeur d'eau mais sont généralement opaques, peu déformables, très fragiles et sensibles au rancissement.

Chapitre 2 : Les caractéristiques de conservation

Dans ce chapitre nous présenterons les différentes caractéristiques de la conservation des aliments d'une façon claire et explicite pour nos étudiants.

2.1. Durée de conservation

Elle se définit comme le temps ou la période durant laquelle le produit garde ses qualités initiales : qualité nutritionnelle, qualité organoleptique, qualité fonctionnelle et sanitaire et maintient son aptitude à la préparation et à la consommation finale. Cette période est généralement déterminée par une date qui est obligatoirement mentionnée sur l'emballage du produit conditionné: la date de production, la date de péremption « état de ce qui ne peut plus être consommé ». L'une des premières choses à vérifier concernant les aliments qui ont été stockés aux dates de péremption ou de péremption imprimées sur l'emballage. Ces dates vous donneront l'indication la plus précise de la durée de conservation d'un aliment. Cependant, lorsqu'un paquet ou une boîte est ouvert, la date de péremption change impérativement.



Fig 11. Produits alimentaires pourris

DLC : date limite de consommation, pour délais ≤ 42 jours.

DLUO : date limite d'utilisation optimale. Elle est utilisée pour des délais de conservation supérieurs à 42 jours (plus longs).

Dans tous les cas, la DLC doit être mentionnée sur l'étiquetage. Elle ne peut excéder 42 jours.

La mention « à consommer avant le ... », désigne que le produit doit être retiré de la vente la veille du jour indiqué.

DLV : date limite de vente, (= DLC – 1 jour)

Quelques exemples de DLC des produits alimentaires :

-Yaourt réfrigéré (0 à 3 °C) : 24 jours.

-Lait stérilisé UHT, à température ambiante : 90 jours.

-Crème fraîche pasteurisée, réfrigérée de même : 30 jours.

-Fromage frais maintenu entre 0 à 3 °C : 21 jours.

-viandes hachées surgelées maintenues à -18 °C : 9 mois.

2.2. Température de transfert du produit

Les propriétés thermiques des aliments sont importantes dans la conception des équipements de stockage et de réfrigération des aliments ainsi que dans l'estimation des temps de traitement pour la réfrigération, la congélation, le chauffage ou le séchage des aliments. Étant donné que les propriétés thermiques des aliments dépendent fortement de la composition chimique et de la température, l'option la plus viable est de prédire ces propriétés thermiques à l'aide de modèles mathématiques qui tiennent compte des effets de la composition chimique et de la température.

Les données sur la composition des aliments sont facilement disponibles dans la littérature. Ces données se composent des fractions massiques des principaux composants alimentaires: eau, protéines, lipides, glucides, fibres et cendres. Les propriétés thermiques des aliments peuvent être prédites en utilisant ces données de composition conjointement avec des modèles mathématiques dépendant de la température des propriétés thermiques des composants alimentaires individuels.

Les propriétés thermiques de ces composants alimentaires ont été étudiées en fonction de la température dans la plage de - 40 à 150 ° C. Étant donné que l'eau est le constituant prédominant dans la plupart des aliments, la teneur en eau des aliments influence considérablement les propriétés thermo-physiques des aliments.

2.3. Condition de stockage du produit

En ce qui concerne la sécurité sanitaire des aliments, le stockage des aliments est un problème majeur. Les aliments qui ne sont pas correctement stockés peuvent se gâter ou être contaminés, ce qui peut alors rendre les gens malades.

Le stockage des aliments se réfère aux aliments qui sont conservés dans le réfrigérateur, le congélateur, le porte-manger. Il existe des règles très spécifiques concernant les températures auxquelles les aliments doivent être stockés, cuits et réchauffés et, s'ils ne sont pas respectés, le risque de tomber malade à la suite d'une contamination augmente.

Les aliments doivent être conservés dans des récipients propres, secs et hygiéniques, si possible étanches à l'air. Cela permettra de conserver les aliments plus longtemps et de réduire le risque de contamination. N'oubliez pas qu'il vaut mieux être prudent en matière de sécurité alimentaire et «en cas de doute, jetez-le».

2.4. Principe de la conservation

Chaque méthode ou technologie de conservation a son propre principe de la conservation des aliments. Généralement, le choix de la méthode se fait sur la base des propriétés physicochimique et microbiologiques des aliments. La durée de conservation est également influencée par le principe des techniques conservatrices, lorsque leur choix est bien fait, la date limite de consommation ou de d'utilisation optimale sera très longue.

On cite ci-dessous quelques principes de conservation :

- La diminution de l'activité de l'eau, tous les microorganismes nécessitent une activité d'eau satisfaisante pour assurer leur métabolisme et développement. Alors, si on diminue la teneur en eau, on peut ralentir ou empêcher la prolifération des germes ;
- La dégradation des microorganismes présents dans la matrice alimentaire, ces germes sont généralement impliqués dans la détérioration de la qualité recherchée chez le consommateur. Ce principe de conservation se base généralement sur l'effet létal de la chaleur ;

-L'inhibition de l'activité de certaines enzymes qui peuvent causer d'éventuelle dégradation et changement de la qualité et ce on les dégrade par la chaleur ou on les met à l'abri de leurs substrat ;

-Ralentissement de la croissance des microorganismes par exemple : la réfrigération ;

-Empêchement de mobilité et la croissance des microorganismes par exemple : la congélation ;

- Empêchement de la croissance des microorganismes en modifiant le milieu « aliment » et on le rend défavorable pour leur développement par exemple : utilisation des acides, du sel, modification de l'atmosphère entourant l'aliment.

2.5. Mécanismes de détérioration des aliments

a. Altération microbienne: c'est la détérioration des aliments due à l'activité et / ou à la présence de micro-organismes que leur développement est aussi influencée par plusieurs facteurs tels que : l'activité de l'eau, l'humidité de l'air, la pression osmotique, pH de milieu « aliment », la teneur en chlorure de sodium et la teneur en oxygène.

L'activité de l'eau (AW) a été très utile dans la conservation des aliments et sur cette base, de nombreux processus pourraient être adaptés avec succès et de nouveaux produits conçus. L'eau a été qualifiée de solvant universel car elle est indispensable à la croissance, au métabolisme et au soutien de nombreuses réactions chimiques se produisant dans les produits alimentaires. L'eau libre dans les fruits ou les légumes est l'eau disponible pour les réactions chimiques, pour soutenir la croissance microbienne et pour servir de milieu de transport pour les composés. À l'état lié, l'eau n'est pas disponible pour participer à ces réactions car elle est liée par des composés solubles dans l'eau tels que le sucre, le sel, les gommages, etc. (liaison osmotique), et par l'effet de surface du substrat (liaison matricielle). Ces effets de liaison à l'eau réduisent la pression de vapeur du substrat alimentaire selon la loi de Raoult. La comparaison de cette pression de vapeur avec celle de l'eau pure (à la même température) donne un rapport appelé activité de l'eau (aw).

La liste des espèces bactériennes impliquées dans la détérioration des aliments est longue et englobe les espèces à Gram-positif et à Gram-négatif. Certains peuvent se développer dans une large gamme de produits et sont responsables de la détérioration de différents aliments, tandis que d'autres sont spécifiques à un produit ou un processus. De plus, dans le monde,

pour un type d'aliment, l'altération bactérienne peut être différente selon les différents processus ou conditions de stockage qui peuvent être utilisés dans les différents pays, par exemple, une basse température pendant le stockage et le transport de viande ou de lait, utilisé principalement dans les pays industrialisés, vise des bactéries psychrotrophes. Ce n'est pas le cas dans certains pays en développement, qui en plus peut avoir un climat chaud et humide.

On cite dans cette partie quelques espèces des microorganismes responsables de la détérioration des aliments :

Les *Pseudomonas putida* et *Pseudomonas fragi*, peuvent être responsables des saveurs et des odeurs de rance causées par leur métabolisme des lipides et des acides gras. Ainsi, plusieurs espèces de *Pseudomonas* et *Bacillus* peuvent produire des protéases qui peuvent dégrader les caséines du lait provoquant l'amertume du fromage et influencer la coagulation du lait.

Des bactéries peuvent produire composés volatils, acides organiques, amines biogènes ou exo-polysaccharides responsables de la dégradation des produit de fruit de mer. La contamination des produit de la pêche se pose d'une contamination initiale par l'environnement (c.-à-d. l'eau de mer) et le microbiote des poissons (peau et tractus gastro-intestinal), puis par contact avec différentes surfaces pendant les étapes de transformation, ou par l'addition de divers ingrédients Les bactéries à Gram négatif appartenant au genre *Shewanella*, en particulier les espèces *Shewanella putrefaciens-like* comprenant *Shewanella putrefaciens* et *Shewanella baltica*, et aussi les différentes espèces de *Pseudomonas*, telles que *Pseudomonas fragi*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida* et *Pseudomonas lundensis* sont notamment capables de produire des composés soufrés comme l'hydrogène sulfure (H_2S) de l'acide aminé soufré L-cystéine et le H_2S est responsable de l'odeur forte, de putride des fruits de mer pourris.

La détérioration de la viande varie selon le type de produit. Comme pour les poissons et les fruits de mer, une contamination précoce se fait au niveau d'abattoir provient du microbiote animal (tractus gastro-intestinal, peau et plume). Par conséquent, cette première la contamination est légèrement différente lorsque la viande provient de différents animaux, par exemple des oiseaux ou des ruminants. Quant aux autres denrées alimentaires, la contamination consécutive résulte d'un contact avec un équipement et un matériel, lors des manipulations tout au long de la chaîne de transformation et de l'ajout de divers ingrédients utilisés dans la transformation de la viande.

La détérioration bactérienne de divers types de saucisses non fermentées a été rapportées, impliquant certaines bactéries lactiques (*Carnobacterium*, *Leuconostoc*, ou *Weissella*), *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas* espèces et *Brochothrix thermosphacta*. Diverses espèces bactériennes peuvent provoquer également une décoloration, en particulier, pour les produits de viande rouge en donnant une couleur verdâtre ou grisâtre inacceptable. Plusieurs *Clostridia* ont été signalés ou suspectés d'être responsables de gonflement d'emballage des produits carnés, y compris *Clostridium algidicarnis*, *Clostridium estertheticum*, *Clostridium gasigenes* et *Clostridium putrefaces* et souches d'entérobactéries psychrotolérantes appartenant aux genres *Enterobacter*, *Serratia*, *Hafnia* et *Rahnella*. Plusieurs bactéries lactiques (*Lactobacillus sakei*, *Lactococcus piscium*, *Carnobacterium divergens* et *Carnobacterium maltaromaticum*) ont également été isolés de paquets de viande de bœuf soufflés. Le CO₂ est généralement le principal gaz produit par les bactéries responsables du gonflement d'emballage, mais plusieurs composés organiques volatils sont parfois associés aussi.

Par ailleurs, dans les légumes, la plupart des bactéries isolées étaient à Gram négatif, mais quelques Gram positifs (deux *Bacillus* et un *Clavibacter*) étaient également présents. Sept genres appartenaient à la famille des *Enterobacteriaceae* et plusieurs espèces de *Pseudomonas* ont également été identifiées, la majorité appartenant à l'espèce *Pseudomonas fluorescens* et aussi *Pseudomonas chlororaphis*, *Pseudomonas corrugata* et *Pseudomonas putida*. *Pectobacterium carotovorum* et *Dickeya zeae* peuvent conduire à une macération des plantes à travers la production d'enzymes extracellulaires telles que la cellulase et la pectate lyase. *Pectobacterium carotovorum* produit également de la polygalacturonase, ce qui altère la paroi cellulaire. *Pseudomonas chlororaphis* produit de la pectinase, qui est à l'origine de l'altération des plantes et les souches de *Burkholderia* produisent une pectate lyase qui peut macérer différents types de plantes. Cela suggère que la pectate lyase est la principale enzyme hydrolytique impliquée dans la détérioration des légumes.

Grâce à leur faible pH (3,8–4,6), les fruits ne sont pas altérés par les bactéries, mais principalement par des levures et des moisissures. Néanmoins, les bactéries d'altération peuvent provoquer des défauts dans certains jus de fruits. *Bacillus coagulans* est l'espèce la plus commune impliquée dans la détérioration des produits à base de tomates. Dans les jus de fruits, *Alicyclobacillus acidoterrestris* est un micro-organisme thermoacidophile sporulé capable de croître à des valeurs de pH comprises entre 2,5 et 6,0. Les spores d'*Alicyclobacillus acidoterrestris* peuvent survivre aux procédures conventionnelles de pasteurisation puis germent, se développent et provoquent la détérioration. La germination de

des spores et la croissance cellulaire végétative subséquente peuvent avoir lieu dans la pomme (pH 2,5), la tomate (pH 4,0), le raisin blanc (pH 2,8), l'orange (pH 3,6) et le jus d'ananas (pH 3,3). La détérioration est caractérisée par des saveurs ou des odeurs désagréables, tandis que le jus peut sembler normal ou avoir un léger sédiment.

b. Altération enzymatique: changements indésirables dus à des réactions catalysées par des enzymes. La détérioration comprend des réactions catalysées par des enzymes. Les réactions enzymatiques impliquées dans la respiration à la surface des tissus peut abaisser la concentration d'oxygène et favoriser indirectement l'oxydation non enzymatique de la myoglobine. Certains tissus musculaires contiennent également l'enzyme réductase de méthyoglobine, qui catalyse la réduction de la méthyoglobine à la myoglobine. Également, la dénaturation non enzymatique et l'agrégation de la myosine provoque principalement une détérioration de la texture stockage congelé de certaines espèces de poissons. Cependant, ces réactions peuvent être accélérées par l'action de l'oxyde de triméthylamine déméthylase, qui forme du formaldéhyde ou par la phospholipase qui forme des acides gras libres.

Tableau 2. Quelques enzymes impliquées dans la détérioration des aliments

| Enzymes | Aliment | Effet |
|--------------------------|---------------------------------|---|
| Lipoprotéine lipase | Lait | Libère les acides gras à chaîne courte des matières grasses du lait conduisant à l'hydrolyse le rancissement. |
| Alcaline protéase | Lait | Comme cette enzyme est stable à la chaleur, elle peut contribuer à la gélification dans les produits traités à ultra hautes températures. |
| Thiaminase | Fruit de la mer | Perte de thiamine dans les produits fermentés. |
| Phospholipase | Poisson | Libère des acides gras dans le produit congelé provoquant une dénaturation de protéines des muscles et détérioration de la texture. |
| Lipoxygénase | Légumineuses | La formation d'hydroperoxydes spécifiques peut conduire au blanchiment des pigments, formation de saveurs offensives, ainsi que changement de texture et perte de nutriments. |
| Peroxydase | Légumes | Décomposition des hydroperoxydes avec génération de radicaux libres, blanchiment des pigments, production des arômes désagréables, etc. |
| Acide ascorbique oxydase | Agrumes | Entraîne une perte d'activité de la vitamine C dans le jus d'orange. |
| Chlorophyllase | Légumes verts | L'élimination de la chaîne latérale du phytol de la chlorophylle semble faire partie du processus de déverdissement pendant la sénescence des plantes. |
| Polyphénol oxydase | Fruit, légumes, fruit de la mer | Brunissement enzymatique. |

c. Altération chimique: changements indésirables dus à des réactions chimiques non enzymatiques entre les composants des aliments (par exemple, brunissement de Maillard) ou entre les aliments et son environnement (par exemple, l'oxydation des lipides). exp. la décoloration de la surface des viandes rouges est causée par une réaction non enzymatique, oxydation de la myoglobine (Fe^{2+}) pour former de la métmyoglobine (Fe^{3+}). Dans le cas d'aliments traités thermiquement ou d'autres aliments transformés où les enzymes ont été détruites ou leur activité a autrement été arrêtée, les réactions non enzymatiques jouent un rôle plus important dans la détérioration des aliments que les réactions catalysées par des enzymes. Les changements non enzymatiques qui se produisent pendant la transformation des aliments et le stockage entraîneront une perte de qualité. Les deux réactions non enzymatiques dans les aliments qui semblent revêtir la plus grande importance sont Brunissement de Maillard et oxydation des lipides. Les réactions chimiques dans les denrées alimentaires sont influencées par plusieurs facteurs tels que le pH, la température, force ionique, concentration de réactifs, présence de catalyseurs, mobilité des réactifs.

Tableau 3. Quelques réactions chimiques impliquées dans la détérioration de la qualité des aliments

| Réactif | Réaction chimique | Effet |
|------------------------------|----------------------|---|
| RCHO-RNH ₂ | Réaction de Maillard | La réaction de Maillard est l'une des réactions les plus importantes dans les aliments affectant la couleur, la saveur, la nutrition et éventuellement la sécurité des aliments. |
| Amylose | Cristallisation | L'alignement des chaînes d'amidon linéaires par liaison hydrogène pour former les précipités insolubles, un processus appelé rétrogradation, est important dans les produits transformés contenant de l'amidon gélatinisé, par exemple, le rassissement du pain. |
| Acide gras, O ₂ | Auto-oxydation | L'auto-oxydation est une réaction radicalaire qui peut être catalysée par des ions métalliques; la vitesse de réaction augmente avec le degré d'insaturation; un effet principal sur la qualité est la formation de mauvais goûts; cependant, tous les indices de qualité, y compris la nutrition, la couleur, la texture et la sécurité peut être influencé dans certaines conditions. |
| Protéines | Dénaturation | La perte de la structure native des protéines peut entraîner une agrégation des protéines et perte de propriétés fonctionnelles avec possibilité d'influencer sur tous les indices de qualité dans certaines conditions. |
| Anthocyanes, SO ₂ | Décoloration | L'addition de SO ₂ à la position 4 des anthocyanes pour former le produit d'addition de bisulfite entraîne une perte de couleur. |

d. Altération physique: changements indésirables dans la structure physique de l'aliment par exemple, cristallisation du sucre dans des conserves, séparation des émulsions, effondrement des gels.

De toute évidence, le type le plus important de détérioration des aliments est la détérioration microbienne, car il peut affecter à la fois la qualité et la sécurité des aliments.

e. Altération par activité physiologique

Après la récolte, les produits végétaux continuent leurs activités physiologiques telles que la respiration, la transpiration, la germination en utilisant leurs réserves en matière alimentaire : eau, sucres simples, amidon, etc. ce qui diminue nettement leur richesse en éléments nutritifs et bioactifs tels que les antioxydants, les vitamines, les huiles essentielles et les polyphénols et dégrade leur qualité organoleptique comme la couleur, la forme, la saveur, la texture, etc.

Chapitre 3 : Les technologies de conservation des aliments

3.1. Technologies de conservation par la chaleur

3.1.1. Blanchiment

C'est un traitement thermique à l'eau chaude ou à la vapeur d'eau, des produits végétaux a pour but de :

-Modifier les structures des tissus végétaux jusqu'à l'assouplissement, réduire le volume apparent, notamment dans le cas des feuilles, de façon à leur permettre de supporter sans dommage les manipulations des remplissages des récipients, c'est le but principal visé pour les légumes feuilles et les haricots verts.

-Eliminer l'air et les gaz intercellulaires occlus dans les tissus qui, si les végétaux n'étaient pas blanchis, seraient libérés par un traitement thermique ultérieur (pasteurisation, stérilisation), provoquant des oxydations en cours de cuisson sur le produit ou sous forme de corrosion sur les boites.

-Effectuer un lavage à chaud pour réduire d'une part la charge bactérienne du produit et éliminer les éventuels résidus chimiques de pesticides de fongicides et d'autre part retirer les mucilages présents à la surface de certains légumes qui parfois sont à l'origine de mauvais goût et d'amertume.

-Détruire les enzymes : c'est l'une des taches essentielles du blanchiment lorsqu'il s'agit de produits destinés à un mode de conservation qui ne fait pas intervenir un traitement thermique important (surgélation, lyophilisation, déshydratation). La présence d'enzymes actifs dans le produit de lesdits procédés provoque à plus ou moins long terme des dénaturations de flaveur, de couleur et de constituants vitaminés.

- Préserver les couleurs des fruits : les anthocyanes hydrosolubles peuvent être détruits par oxydation d'origine enzymatique (polyphénol oxydase). Cette dépigmentation se produit après décongélation. Cette altération est neutralisée si la polyphénol oxydase est dénaturée par un blanchiment de quelques minutes à 100 °C. La dégradation de la chlorophylle est également constatée au cours de l'entreposage lorsqu'il y a absence de blanchiment. Elle est alors la conséquence de la dégradation des chlorophylles en phéophytines par les peroxydes issus de l'oxydation des acides gras, initialisée par lipoxygénase.

3.1.1.1. Procédé du blanchiment

Le procédé de blanchiment le plus anciennement utilisé est le blanchiment à l'eau chaude. Mais le blanchiment à la vapeur a des applications industrielles.

- **Blanchiment à l'eau**

-Blancheur à vis hélicoïdale : c'est le blancheur le plus répandu dans l'industrie de la conserve. La vis hélicoïdale est partiellement ou totalement immergée. Ce blancheur, à simple conception, est robuste (résistant) et moins coûteux à l'achat.

-Blancheur refroidisseur intégré à aspersion d'eau : l'eau est en permanence recyclée et évolue à contre courant du produit. Dans la section de refroidissement, l'eau réchauffée par le produit blanchi est refroidie dans un échangeur dont le secondaire sert à chauffer l'eau de la section préchauffage.

- **Blanchiment à la vapeur**

Pour ce type de blanchiment, il ya aussi 2 procédés, le blanchiment sous tunnel atmosphérique et sous tunnel hydrostatique :

-Blancheur à tunnel atmosphérique : c'est le blancheur le plus simple. Un tapis métallique traverse un tunnel dans sa longueur. Des injecteurs de vapeur situés sous le tapis répandent la vapeur. Des rideaux sont souvent placés aux 2 extrémités pour empêcher les déperditions de vapeur trop importantes.

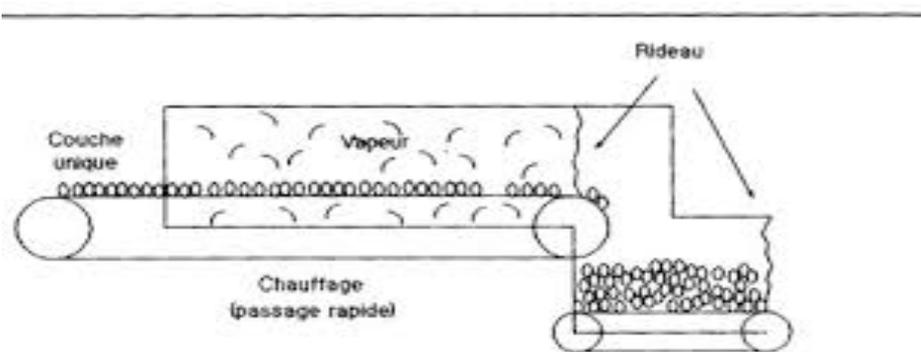


Fig 12. Schéma d'un blancheur à la vapeur

- **Blancheur à tunnel hydrostatique** : dans cet appareil, la vapeur étant bien enfermée et recyclée, les gradients de températures sont presque inexistantes et l'homogénéité du traitement est bonne.

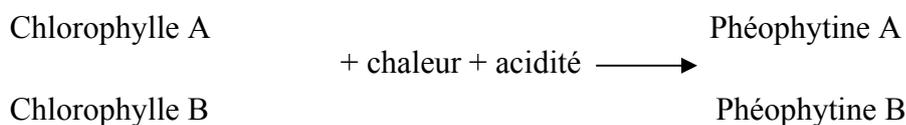
3.1.1.2. Conséquence du blanchiment

-**Pertes d'éléments par dissolution** : le blanchiment se traduit la plupart du temps par la dissolution et l'élimination d'un certain nombre de composés plus ou moins solubles ou plus moins thermosensibles. Ces pertes sont difficiles à chiffrer car elles dépendent : le fluide de blanchiment, sa température, la pression osmotique de fluide, la surface de contact entre l'eau et le produit et la durée de traitement.

-**Pertes par thermolabilité** : telles que la perte de l'acide ascorbique (vitamine C) en présence d'oxygène. Ces pertes sont relativement importantes. Elles sont moindres lorsque l'on diminue le temps et que l'on augmente la température du traitement.

-**Modification de la couleur** : très remarquée pour les légumes verts, cette modification est attribuée à une redistribution des composés chlorophylliens au sein des cellules, suite à l'éclatement des chloroplastes sous l'action du traitement thermique.

La diminution de la teneur en chlorophylle n'est pas la conséquence d'une dissolution mais d'une dégradation de la chlorophylle en phéophytine. Cette dégradation se traduit généralement par un jaunissement de l'extrait chlorophyllien, c'est le cas des légumes verts lors de la cuisson. En revanche, les pertes en B carotène ne sont pas très importantes au moment du blanchiment. De plus, ce traitement préserve le B carotène au cours du stockage des oxydations enzymatiques.



-**Pertes en arôme** : les arômes sont souvent diminués par le blanchiment mais préservés par celui-ci au cours du stockage. Pour certains végétaux, ce sont les enzymes qui développent les arômes, dans ce cas, il faut éviter de les détruire, c'est le cas des oignons.

3.1.2. Pasteurisation

C'est opération qui consiste à porter la température d'un produit aux environs de 72 à 75 °C pendant un temps court, de l'ordre de 15 secondes, suffisant pour détruire les micro-

organismes pathogènes qui provoquent des maladies pour l'être humain, et la majorité des autres germes. Cette action doit être suivie d'un refroidissement rapide.

Pour les produits à DLC courte, on va souvent au delà de 75 °C, sans toutefois dépasser 85 °C seuil de problèmes chimiques pour les produits dits frais. Mais on peut atteindre 92 °C pendant 6 secondes pour la repasteurisation à l'arrivée de lait transféré d'une unité de production à une autre dans la fabrication de yaourts, par exemple.

Alors, la pasteurisation vise l'élimination des risques majeurs de contamination bactérienne. En fait, elle perçue par le consommateur comme une préservation de courte durée. En pratique, la DLC n'est pas valable que dans le cas de maintenir le produit traité :

-sous emballage à l'abri de l'air pour éviter la recontamination externe et ;

-à température de 3 à 4 °C en général, pour éviter la recontamination interne, par le développement des micro-organismes non totalement détruits (les formes sporulées).

La pasteurisation est spécifique grâce à son mode de conservation-préservation qui est dans sa pratique spécifique à chaque produits, et qu'il résulte d'un compromis entre la température et sa durée d'application.

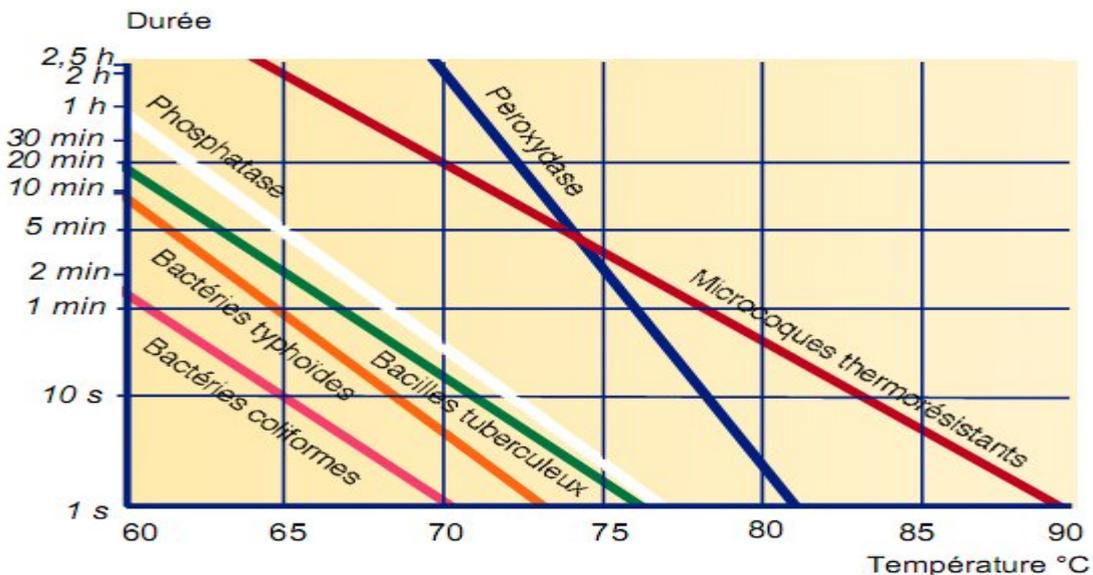


Fig 13. Courbes d'effet létal selon la température et la durée de destruction des certaines enzymes et micro-organismes

Cette technique de conservation a pas mal des applications dans le secteur IAA, on cite principalement :

- le lait et ses dérivés (produits frais)
- les boissons comme les bières, cidres, jus de fruits, etc.
- les légumes et fruits dits de cinquième gamme pasteurisés
- les ovoproduits
- les semi-conserves : jambon, filets de poisson en boîtes.

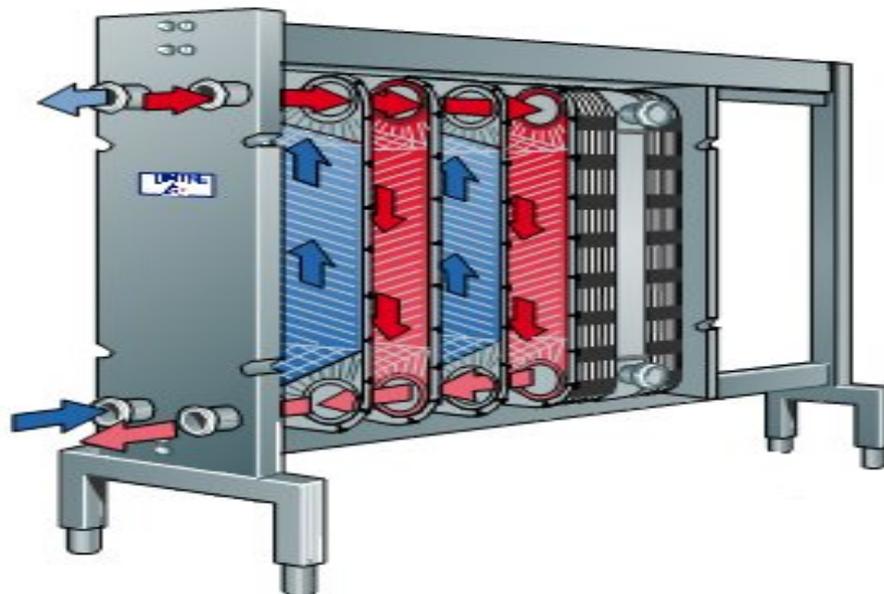


Fig 14. Echange thermique dans un pasteurisateur à plaques.

3.1.3. Stérilisation

La définition de la stérilité reste le résultat de la destruction totale de tout organisme vivant. Mais dans le domaine des IAA , cela est pratiquement impossible sauf à dégrader le produit. Dans ce cas là, il faut donc fixer les limites et définir une DLC. La stérilisation présente certains avantages pour le consommateur tels que :

- la préservation est plus grande car la stérilisation confère une protection plus grande, nécessaire pour les malades à défense immunitaire faible par exemple

-la protection est suffisante pour une conservation autonome

-la stérilisation est une pasteurisation plus poussée, qui détruit aussi les spores bactérienne.

Dans l'industrie laitière, la stérilisation ne permet jamais la destruction totale de tout organisme vivant, vise à une conservation de longue durée, à température ambiante des régions tempérées : DLC de 90 jours pour les laits UHT et 150 jours pour les laits stérilisés : ces laits doivent rester stables dans ces conditions.

-Le lait stérilisé est produit dans un récipient clos et hermétique, en bouteilles de verre à 115 °C pendant 20 mn, ou en boîtes métalliques pendant 5 mn à 125 °C.

-le lait UHT : le procédé continu à Ultra Haute Température se déroule à 135/150 °C pendant 2 à 3 secondes.

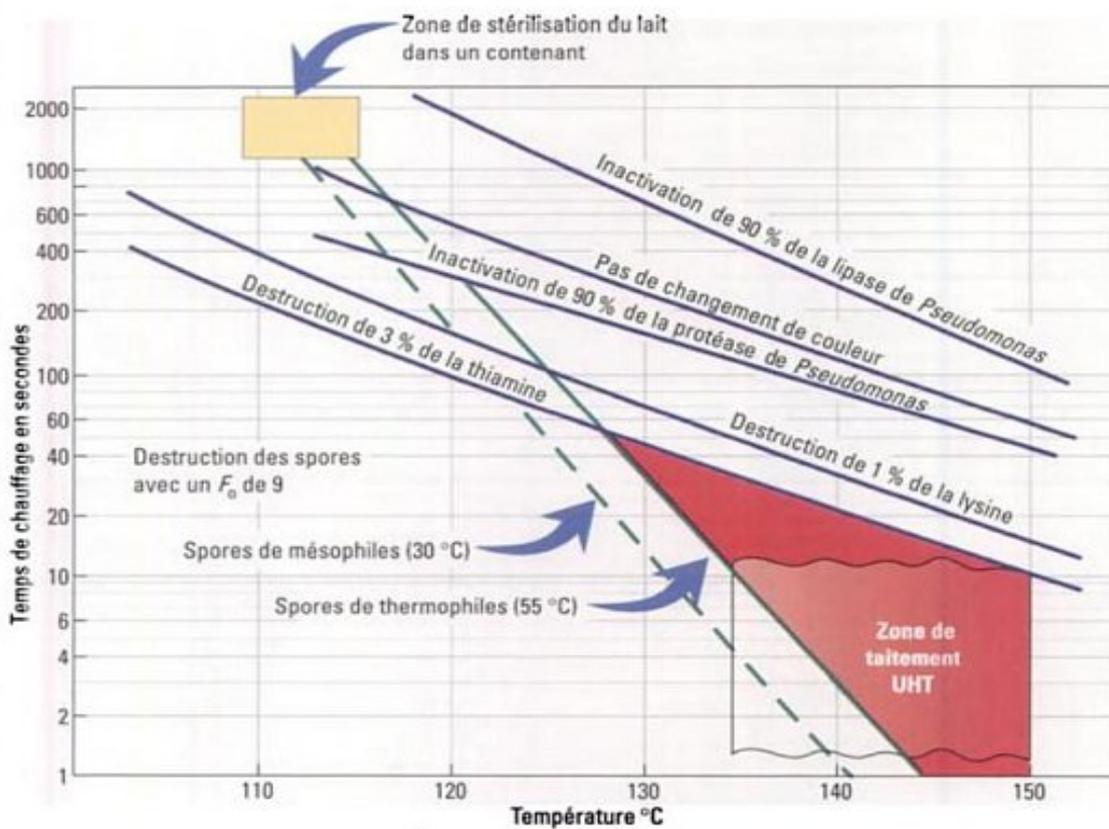


Fig 15. Courbes létales de la stérilisation

3.1.4. Appertisation

C'est une stérilisation à l'abri de l'air dans un contenant étanche. Il s'agit de :

- remplir le récipient du produit à conserver qui doit être propre et sain
- le fermer soigneusement et hermétiquement
- le stériliser en respectant la couple (température, temps)
- et enfin, le refroidir rapidement.

Les produits à appertiser doivent répondre aux certaines exigences :

- Les légumes et les fruits sont sélectionnés à l'avance par contrats avec les producteurs. Ces contrats précisent :
 - les choix des variétés, et les traitements antiparasitaires
 - les dates d'ensemencement et de récolte
 - les critères de qualité et de réception-contrôles à l'entrée en conserverie.
 - La qualité des viandes et poissons est prescrite également. Les viandes sont contrôlées par les services vétérinaires et les poissons à l'origine par les services de l'autorité de la pêche.
- les produits surgelés ou congelés doivent répondre aux critères de sélection de la matière première, sous réserve de précaution de décongélation.

On peut classer les produits appertisés en deux catégories :

a) Les appertisés de première transformation

On cite par exemple : petits pois, haricots verts, pêches et abricots, thon, etc. Ils sont généralement entourés d'une solution liquide appropriée complétant le remplissage, pour éviter les risques des vides. Ils peuvent être consommés en l'état froid ou chaud, avec le liquide qui contient des matières nutritives, ou incorporés à d'autres produits en cuisine.

b) Les appertisés de seconde transformation

Ce sont des mélanges et préparations précuisinées, de plus en plus variées : légumes mélangés, plats cuisinés et recettes, hors d'œuvre au poisson, sauces complexes et aromatisées etc. Alors, on obtient un plat tout prêt qui se consomme chaud en général.

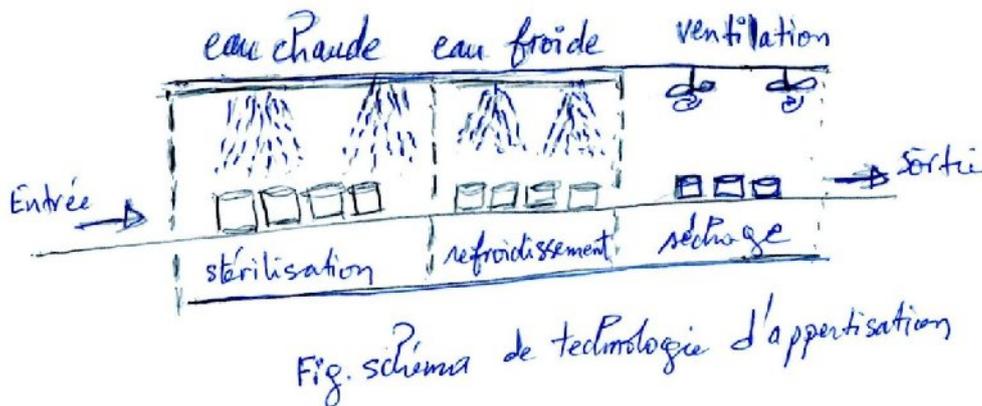


Fig. schéma de technologie d'appertisation

• Procédé d'appertisation

Afin de bien conserver les aliments, l'appertisation des produits alimentaires renferme plusieurs étapes :

- un accueil-réception sous contrôles des matières premières
- une marche en avant des produits préparés sur tapis, rouleaux, transporteurs, entre des opérations totalement mécanisées qui maintient des postes d'observation.
- le remplissage des boites est automatique et très précis, avec le liquide de couverture (jutage), car jusqu'au couvercle doit être éliminé totalement pour des raisons biologique (empêcher le développement des micro-organismes) et pour éviter la corrosion des boites.
- la fermeture totalement automatisée est particulièrement contrôlée. Le sertissage se fait donc à chaud ($\geq 60^{\circ}\text{C}$), sous vide, ou sous jet de vapeur.
- la stérilisation et le refroidissement.

-la qualité de l'eau est contrôlée en permanence : teneur en sel, dureté, car c'est le moyen de la stérilisation et du refroidissement et sa qualité a une influence directe sur les boites de conserves et sur le matériel en général.

Le tableau ci-dessous résume les différents procédés d'appertisation selon le type de l'aliment à conserver.

Tableau 4. Les opérations d'appertisation des différents produits alimentaires

| Opération | Légumes | Fruits | Poissons et produit de la mer | Viandes et recettes |
|-------------------------------|---|---|--|---|
| Réception | Selon les contrats et les cahiers des charges dans tous les cas | | | |
| Préparation et transformation | Lavage Nettoyage Epluchage Parage calibrage | Lavage Equeutage Calibrage (pelage) dénoyautage | Lavage Nettoyage Etêtage Eviscération (décorticage) Découpage ou mise en filets | (Décongélation) Parage Calibrage (saumurage) |
| Prétraitement | blanchiment | / | précuisson | précuisson |
| Mise en boîte | Suivi d'un préchauffage | Opération ayant lieu | Précédé du parage définitif et dimensionnel | Opération ayant lieu |
| Fermeture (sertissage) | Opération ayant lieu dans tous les cas | | | |
| Stérilisation | Opération ayant lieu dans tous les cas | | | |
| Refroidissement | Opération ayant lieu dans tous les cas | | | |

3.2. Technologie de conservation par l'irradiation

3.2.1. Ionisation

C'est une technique de conservation des aliments en les soumettant à un traitement ionisant. Ce dernier intervient sur les cellules vivantes des agresseurs (micro-organismes), par l'action sur l'ADN. Il ya fracture de la membrane cellulaire qui provoque leur mort, c'est l'effet cible, ou rupture de la chaîne de ADN, c'est un effet direct stérilisant.

En phase aqueuse, un effet induit s'ajoute à l'effet direct, liés aux produits de radiolyse de l'eau selon la dose absorbée par le produit.

-plus l'Aw d'un aliment est importante, plus la radiosensibilité de la microflore est grande.

-la radiosensibilité est spécifique de l'espèce microbienne considérée.

Le traitement d'ionisation a des effets sur la qualité chimique et organoleptique des aliments, on cite par exemple :

- modifications des propriétés physiques des protéines : solubilité, viscosité, etc.
- modification de point de fusion et la viscosité des lipides et l'auto-oxydation des acides gras polyinsaturés.
- les vitamines A, E, K, B6, B12, thiamine et acide ascorbique sont très sensibles à l'ionisation.
- modification de texture : ramollissement, flétrissement par dégradation des substances pectiques.
- modification du goût : par dégradation de l'amidon
- modification de couleur : par stimulation du brunissement enzymatique.

La radiosensibilité est dépendante de la dose, de l'Aw de l'aliment et de sa pureté. Elle est réduite par le conditionnement sous vide et l'usage d'une faible quantité d'antioxydant.

Alors, il faut pour chaque produit trouver le bon compromis, par un traitement combiné par exemple et à partir de produit le plus sain possible afin d'utiliser des doses minimales. Ainsi, l'ionisation aux doses réglementées ne laisse pas de traces nuisibles et ne présente aucun danger pour le consommateur.



Fig 17. Symbole des produits irradiés

3.3 Technologies de conservation par le froid

3.3.1 Réfrigération

Elle consiste à entreposer les aliments à une température basse, proche du point de congélation, mais toujours positive par rapport à celui-ci. Généralement, la température de réfrigération se situe aux alentours de 0°C. A ces températures, la vitesse de développement des microorganismes contenus dans les aliments est ralentie.

Dans la figure 6, on remarque l'effet du froid sur la conservation des aliments en limitant les développements des micro-organismes et la production de leurs toxines.

3.3.2 Congélation et surgélation

La congélation est un refroidissement lent provoque la formation d'une quantité moyenne de cristaux de glace de taille relativement importante par rapport à celles des cellules du produit. Leurs arêtes (angles saillant formé par deux faces) peuvent percer et endommager la paroi des cellules peu résistantes, et favoriser une certaine exsudation lors de la décongélation. Au fait, il existe plusieurs structures de cristaux glaces :

Mais dans la surgélation au contraire, on provoque un pré-refroidissement dès la fin du parage ou la préparation du produit fini prêt à surgeler. Puis, le produit est soumis brutalement à une température plus basse que la congélation environ - 40°C, afin que le cœur du produit atteigne très vite la température de - 18°C à maintenir. On constate alors, la formation d'une multitude (poussière) de cristaux de petite taille (figure suivante), à l'intérieur des cellules pour l'eau liée qui ne présentent pas l'inconvénient des gros cristaux.

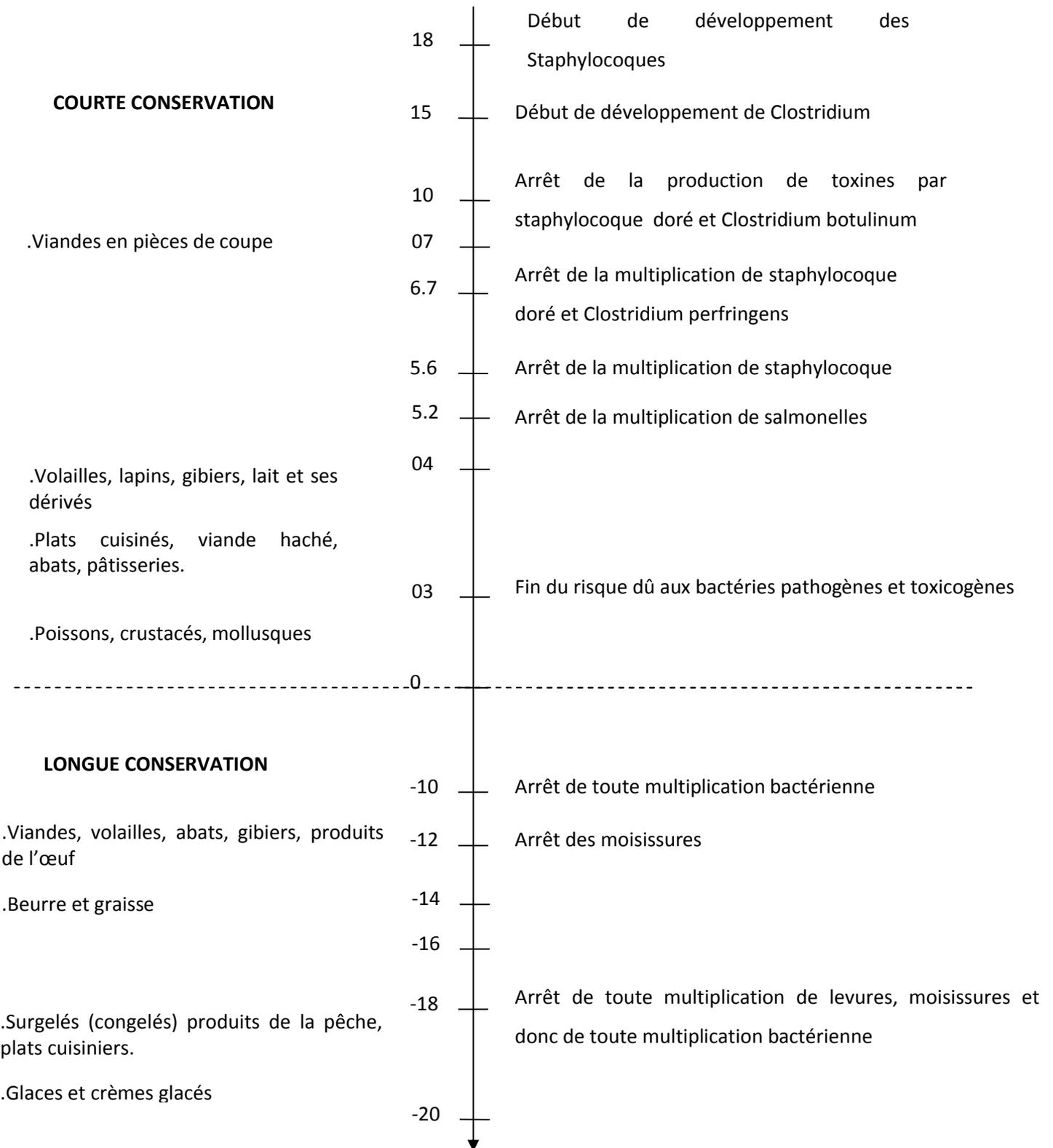


Fig 18. Effet du froid sur le développement des micro-organismes

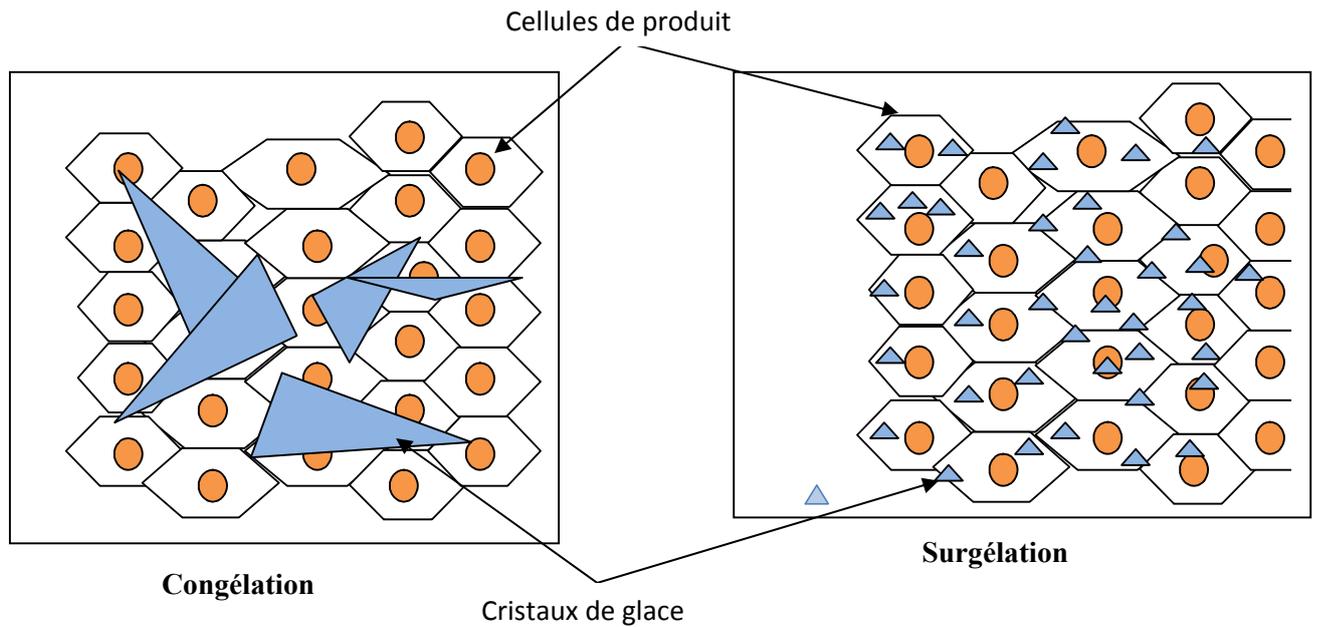


Fig 19. Schéma explicatif montrant l'effet de la technologie de congélation sur la taille des cristaux de glace

La durée de conservation des produits surgelés est très élevée ce qui traduit l'importance de cette technologie dans IAA :

- produits végétaux, fruits et jus, légumes : 30 mois
- produits carnés et volailles (portions) : 15 à 18 mois
- poisson gras : 9 à 10 mois.
- brioches, croissants : 12 mois
- pâtisseries sucrées crues ou cuites : 24 mois
- produits de pomme de terre précuits : 24 mois
- plats cuisinés et recettes cuites : 18 à 24 mois.

3.4 Technologies de conservation par déshydratation

3.4.1 Lyophilisation

La lyophilisation, appelée autrefois cryodessiccation, est une opération de déshydratation à basse température qui consiste à éliminer par sublimation, la majeure partie de l'eau contenue dans un produit. Elle autorise une conservation à long terme grâce à l'abaissement de

l'activité de l'eau du produit. La lyophilisation consiste à l'extraction de l'eau du produit sans attenter à la forme ni à la composition des cellules constitutives, dans un respect particulier et caractéristique à ce procédé, de la matière vivante.

La lyophilisation occupe cependant une place originale au regard des techniques de séchage. Elle permet d'obtenir des produits finaux de haute qualité. La forme et l'aspect des produits sont bien conservés, leur qualité aromatique est bien supérieure à celle des produits séchés. La transition du produit de l'état congelé à l'état déshydraté, en l'absence d'une forte proportion d'eau liquide, réduit les possibilités de développement des réactions d'altération. Un autre avantage technologique majeur de la lyophilisation repose sur la capacité du produit lyophilisé à se réhydrater instantanément.

Le procédé de lyophilisation repose en pratique sur deux opérations chronologiques : la congélation et la déshydratation. La congélation est considérée comme une étape préalable à l'opération de déshydratation, et, bien que capitale pour l'obtention du résultat final. La déshydratation recouvre deux principes physiques : la sublimation de la glace (cristaux formés par congélation) et la désorption finale de la quantité d'eau résiduelle, non congelée. Cette dernière fraction d'eau peut représenter de 10 à 30 % de l'eau initialement présente dans le produit.

La lyophilisation s'effectue en trois phases (figure suivante):

-la congélation rapide à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ du produit qui doit être totalement solide,

-la mise en vide, afin de descendre au dessous de point triple de l'eau.

-le séchage proprement dit ou final :

- La dessiccation primaire de sublimation de la glace qui s'évapore (durant laquelle le produit reste congelé et la température est bien inférieure à 0°C) pour une pression partielle ambiante de vapeur d'eau inférieure à 4,6 mm Hg suivie de :
- La désorption, quand toute la glace s'est sublimée : l'eau liée incongelable s'évapore, et le produit est tiède : on apporte des calories.
- Enfin on casse le vide pour récupérer un produit très fiable, en atmosphère très sèche
- et le conditionner immédiatement dans un emballage étanche à l'air et à la vapeur d'eau

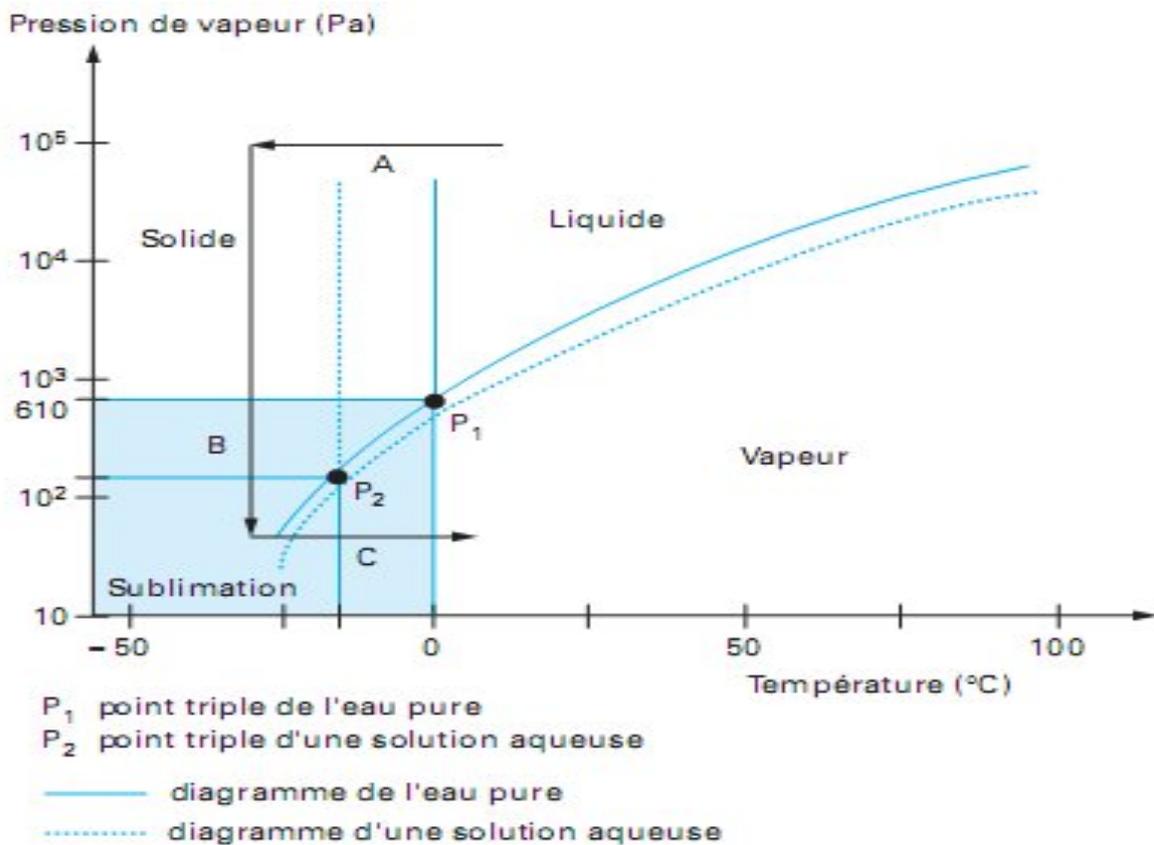


Fig 20. Diagramme d'état de l'eau pure et d'une solution contenant un soluté.

Ce procédé est considéré comme le plus respectueux des qualités originelles des produits qu'on lui confie. En effet, aucun liquide ne permet une migration, la répartition des éléments solubles n'est pas modifiée et il n'y a pas de dégradation à ce niveau. La matière est figée telle qu'elle se présente.

La lyophilisation se traduit par :

- réduction de poids considérable : $\geq 80\%$ et de volume
- grande facilité d'utilisation, avec réhydratation totale, ou partielle.
- production se prêtant bien à une automatisation
- absence de déchets
- stockage à long terme, sous vide ou atmosphère neutre, à température ambiante.

Mais, elle peut présenter quelques problèmes :

- réhydratation encore longue pour certains produits en morceaux
- coûts encore élevés pour les produits issus de techniques élaborées, de haute qualité, de prix de base déjà élevé à l'état primaire d'origine
- la lyophilisation consomme plus d'énergie que celles de la déshydratation et appertisation
- les cycles de déshydratation durent plusieurs heures
- les installations sont généralement importantes et coûteuses.

3.4.2 Atomisation

Cette technique est aussi appelée pulvérisation ou « spray drying ». Les produits qui doivent être pompables, sont pulvérisés en fines gouttelettes, formant un brouillard, dans une enceinte fermée où circule un courant d'air très chaud (200 à 300 °C). L'évaporation de l'eau contenue est immédiate, les particules de poudres se retrouvent au fond du cyclone de l'enceinte cylindroconique. L'air utilisé est extrait, recyclé et/ou rejeté. Un petit cyclone secondaire, à l'aval récupère les fines sur le circuit de sortie de l'air (figure 9). La pulvérisation s'effectue par turbine avec un temps de séjour du produit de 25 à 30 secondes, ou par buse pour un temps ramené de 4 à 6 secondes.

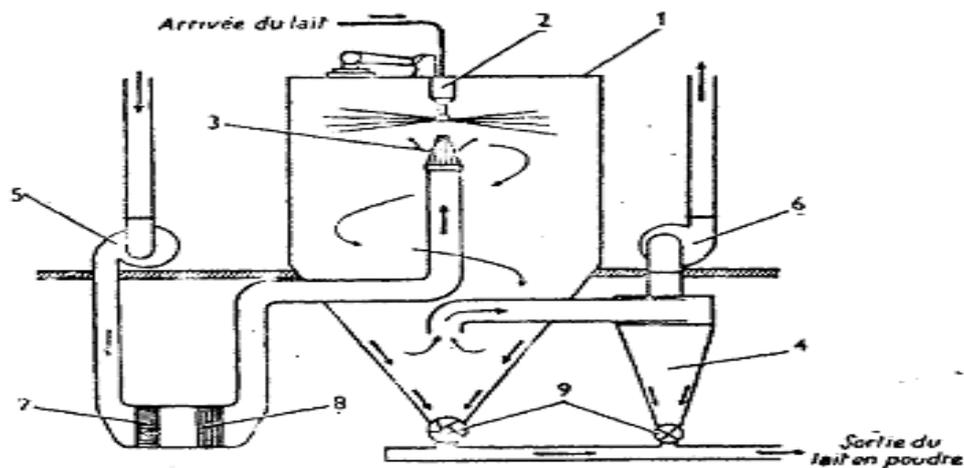


FIG. IN-8. — Schéma d'une installation de séchage du lait par le procédé Spray (Niro). »

- | | |
|---|-----------------------------|
| 1. Tour de séchage. | 5. Ventilateur. |
| 2. Atomiseur. | 6. Aspirateur. |
| 3. Distributeur d'air chaud. | 7. Filtre. |
| 4. Cyclone permettant la récupération de la poudre entraînée par l'air. | 8. Calorifère. |
| | 9. Distributeurs de sortie. |

Fig 21. Schéma d'installation du séchage du lait par atomisation

3.5 Technologies de conservation par des atmosphères modifiées

Elles apportent un allongement de deux à cinq fois la durée de conservation d'un produit alimentaire par rapport à un simple emballage à l'air qui est remplacé par un gaz approprié.

-produits sec (longue conservation)

-produits à humidité intermédiaire : pizza, pâtes fraîches (3 semaines (0 à 3°C))

- produits à forte humidité : poissons avec 50 % de CO₂ : DLC 10 à 13 jours (0 à 3°C)

3.5.1 le vide

Le vide est ce qui reste dans un récipient une fois enlevé tout ce qu'on peut enlever. L'atmosphère résiduelle et ce qu'elle contient : oxygène, vapeur d'eau est très réduite, de l'ordre de 1 pascal.

Le vide empêche l'oxydation du produit. Il gêne les aérobies, mais favorise les anaérobies qui sont contrariés par la présence d'oxygène.

La mise sous vide dans les procédés mixtes permet de passer d'une DLC de 21 jours, à une DLC de 42 jours.



Fig 22. Produit conservé sous vide

3.5.2 Absorbants d'oxygène

Pour certains produits sensibles à l'oxydation, des fabricants insèrent à l'intérieur du conditionnement primaire étanche de certains produits un petit sachet (ou pastille) ayant

pouvoir absorbeur d'oxygène. Ce pouvoir est limité, comme le volume de cette enceinte étanche. Il s'agit de réacteurs chimiques « piège » à oxygène, de nature poreuse ou granuleuse. Il existe aussi dans l'emballage de certains produits secs, des absorbeurs d'humidité de nature et pouvoir similaire.

3.5.3 Atmosphère active

C'est usage de gaz ou mélange de gaz exerçant une action chimique, positive pour la DLC, sur les produits qu'ils entourent. Parmi les gaz les plus utilisés, on cite :

- **Azote (N₂)** : il est inerte, mais qui peut avoir un rôle indirect bactériostatique ou fongistatique en absence d'oxygène. L'azote est inodore et peu soluble.
- **Dioxyde de carbone (CO₂)** : il est reconnu comme agent bactériostatique et fongistatique en l'absence d'oxygène. Il est efficace à partir d'une teneur supérieur à 20 % dans atmosphère.
- **Oxygène (O₂)** : généralement, il est proscrit pour les phénomènes d'oxydation et de croissance microbienne qu'il provoque et autorise. Mais on peut citer 3 cas de son utilisation pour les produits frais :
 - le conditionnement de morceaux de viande pour maintenir la couleur rouge appréciée par transparence du film d'emballage pour le maintien de l'oxymyoglobine.
 - le conditionnement des poissons frais, pour éviter la croissance des germes anaérobies stricts
 - il est très important dans les produits de 4^{ème} gamme (salades en sacs transparents à 4 °C) pour éviter ou bien limiter la fermentation liée à l'humidité élevée de ces produits.

3.6 Conservation par l'utilisation des conservateurs

A l'échelle des IAA, il ya pas mal de conservateurs utilisés pour le but de maintenir le produit et de garder sa qualité initiale recherchée. On peut les classer en 2 catégories :

- **Agent conservateur minéraux**

-les chlorures : comme NaCl est l'exemple type.

-les nitrates et les nitrites : NaNO₃, KNO₃, NaNO₂, KNO₂, ils fixent en outre la couleur et contribuent à la flaveurs des jambons et divers charcuteries.

-l'anhydride sulfureux (SO₂) et les sulfites, sels de l'acide sulfureux.

- **Agent conservateur organique**

-les acides saturés et leurs dérivés : acide acétique et acide propionique

-les acides insaturés tels l'acide sorbique, utilisé dans les émulsions grasses (margarine et beurre), confiserie, vin, produits à base de volailles. Il peut remplacer les nitrites pour inhiber le développement de Clostridium.

-les acides benzoïques, pour la conserve des œufs de poisson (caviar), jus de fruits.

-acide citrique, ascorbique, tartrique, lactique, etc. ces agents ont des effets variables, mais connus sur les bactéries, les levures et les moisissures.

Chapitre 4 : Les méthodes de conservation

4.1 Séchage libre

L'usage du soleil est le plus ancien et le moins coûteux parmi les procédés de conservation alimentaire. On peut classer les produits séchés au soleil en 2 classes :

- **Origine végétale**

-légumes : carottes, tomates, piments, carottes... débarrassés de la terre par grattage sans altérer la peau, séchés puis stockés dans du sable sec, dans une cave ou un local sec et assez obscur, à une température quasi constante ≤ 10 °C.

-champignons : séchés sur plateaux ou enfilés sur un fil dans un grenier sec et aéré, après un parage suffisant, puis conservés plusieurs années en bocaux de verre ou boîtes métalliques (à l'abri de l'air, de la lumière)

-fruits à noyaux : abricots, prunes dénoyautées séchées au soleil entre 2 grilles fines plusieurs heures par jours, pendant quelques jours en retournant les demi-coques.

-céréales, légumes secs : exposition au soleil en petites quantités avant l'ensachage.

- **Origine animale**

-viandes : sont séchées au soleil, après découpe, protégées des prédateurs.

-poissons des pays à fort ensoleillement, ils sont séchés sous deux formes : séchés entiers ou étêtés et éviscérés. Le séchage dure quelques jours. La teneur en protéines du poisson sec est élevée : 30 à 60 %.

4.2 Salage-séchage

C'est une méthode connue et pratiquée depuis des siècles. Le salage se définit comme l'action d'imprégner de sel une denrée périssable : viande, poisson,... pour en favoriser la conservation.

-à partir 5%, il inhibe la plupart des bactéries anaérobies et les pseudomonas, et ralentit la croissance des aérobies.

-à 10 %, il inhibe la croissance de nombreux germes, ce qui constitue son pouvoir conservateur.

On distingue deux techniques de salage :

-salage au sec

C'est l'entourage du produit par du sel fin épuré et séché et le stockage se fait entre 12 et 15 °C. Il est plus rapide que le salage en saumure et utilisé pour les filets de gros poissons : morue, saumon, thon... disposés sur des chariots à grilles légèrement inclinées. Un rinçage uniforme, léger et rapide, par douchage de préférence, est réalisé pour éviter la cristallisation de sel à la surface des filets.



Fig 23. Salage des poissons

-salage en saumure (saumurage)

Il se fait par immersion en solution aqueuse claire et les temps d'immersion sont variables, selon la concentration en sel, l'épaisseur des produits et la température du bain. Le rinçage s'effectue de même par trempage. La saumure doit être renouvelée souvent, notamment dès l'apparition d'odeurs.

4.3 Fumage (fumaison)

C'est l'action de soumettre les viandes et les poissons, préalablement salés, à l'action de la fumée de bois et des végétaux pour assurer et améliorer leur conservation et leur aromatisation, par les composants de la fumée. Il a une action aseptique.

La fumée issue d'une combustion lente de divers essences de bois, durs, tendres, sarments de vigne, des arbustes et plantes aromatiques et leur humidification accentue le pouvoir de sapidité (saveur acide).

Au siècle dernier le fumoir était une cheminée de gros diamètre, assez courte et auto-combustion.

Aujourd'hui les fonctions production et utilisation de la fumée sont séparées et, chacune, bien maîtrisée : générateur de fumée, cellule de fumage. On distingue :

-le fumage dit à froid : température de fumée $< 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (20 à 28°C) est assez long, et utilisé pour les produits sensibles à la chaleur, poissons notamment : de 2 à 12 heures et le produit reste cru.



Fig 24. Un modèle de fumoir

-le fumage dit à chaud : on atteint, par palier successifs 30 – 35°C puis 50 – 55 °C, jusqu'à 75 – 80 °C. On tente de cuire le produit en le fumant. Les produits concernés sont les saucissons, les poulets, la truite, le maquereau.

La conservation des produits fumés est liée à la teneur en sel et à la perte en eau :

- Fumage à froid : 4 semaines à 2 °C et emballé sous vide.
- Fumage à chaud : 8 à 10 jours dans les mêmes conditions
- DLC 18 semaines à 10 °C pour les filets de hareng fumés sous l'action du sel et du fumage en air sec.

4.4. Confisage

4.4.1 Confisage aux corps gras

Les confits (d'oie, de canard, de dinde) concernent la viande salée et cuite dans la graisse puis recouverte de graisse d'oie ou de canard, dans des récipients étanches : métal à couvercle serti et des bocaux.

Les cassoulets sont faits d'un ragoût de haricots blancs secs, avec viande de porc ou de mouton. On peut remplacer partiellement cette partie carnée par celle des confits. Mais la majorité des cassoulets n'est pas faite avec du confit.



Fig 25. Confit du canard à la matière grasse

4.4.2 Confisage au sirop de sucre

Le confisage concerne étymologiquement l'utilisation du sucre pour la conservation des fruits. C'est une méthode très utilisée même à l'époque. Dans l'antiquité, les chinois préparaient des clémentines confites.

Il s'agit d'une diffusion du sucre à l'intérieur du fruit, où il remplace l'eau contenue (85 % en poids), par un phénomène d'osmose à travers ses membranes cellulaires. Il réduit donc l'activité d'eau (A_w). Comme toute substance en solution aqueuse, il élève la température d'ébullition au delà de 100 °C, et abaisse celle de congélation au dessous de 0 °C.

L'état de maturité, la structure membranaire du fruit et la composition précise du sirop de sucre jouent un grand rôle pour chaque type de fruit car le problème majeur du confisage réside dans la maîtrise de la cristallisation du sucre.



Fig 26. Cerises confites

Au cours de confisage, les fruits sont soigneusement sélectionnés, lavés, triés et parés, puis ébouillantés et refroidis. La mise au sucre se fait en plusieurs étapes, dans des bains de sirop de plus en plus concentrés pour arriver à la bonne saturation des produits. Puis, ils sont glacés pour l'aspect, et enfin, ils sont égouttés et refroidis.

4.5 Marinade

Il s'agit d'un mélange liquide aromatique (vin, vinaigre épicé, sel, etc.) dans lequel on fait mariner en immersion, des viandes (de boucherie, gibiers, volailles), et poissons ainsi que des condiments.

Le marinage est une immersion dans une solution acide et salée pour son pouvoir de réduction de l'activité bactérienne. Le pH est réduit en dessous de seuil de 4.5 par acidification. L'action de solutions salées, à une concentration entre 3 et 5 % ralentit la croissance des bactéries résiduelles. Elle l'inhibe au-delà de 5 %, mais cette concentration n'est pas acceptable pour tous les produits, comme les marinades en particulier.



Fig 27. Concombres marinés

C'est pour cela, on pratique une élimination complète des germes pathogènes particulièrement, par une pasteurisation ou une légère cuisson avant conditionnement en milieu acide. Puis, les produits sont maintenus à froid (3 °C) jusqu'à leur consommation.

L'application de marinage des produits alimentaires a pour but de :

- prolonger la durée de conservation des aliments en général non cuits de quelques semaines à quelques mois (1 à 3 mois) au frais (4 °C).
- attendrir la chair des viandes et poissons avant leur préparation ou leur consommation.
- améliorer ou ajouter la qualité aromatique aux produits.

4.6 Fermentation

La fermentation est un des moyens de conservation des aliments les plus anciens. Les fermentations alimentaires sont des transformations biochimiques réalisées par des micro-organismes qui, par leurs activités dans le produit alimentaire initial, créent un environnement physico-chimique défavorable aux micro-organismes pathogènes ou pouvant causer des altérations de se développer. Certains ferments sont capables d'éliminer des toxines fongiques qui ont pu être produites pendant le stockage de l'aliment.

Industriellement, Les principales fermentations réalisées utilisent soit les bactéries lactiques, qui produisent de l'acide lactique (fromage, saucisson, pain, vin, choucroute, olives, etc.), soit des levures qui produisent de l'éthanol et du dioxyde de carbone (fromage, pain, bière, vin, etc.). Il existe aussi d'autres fermentations alimentaires comme celles réalisées :

- par *Acetobacter aceti* qui produit de l'acide acétique et permet d'obtenir le vinaigre ;
- *Propionibacterium sp.* qui interviennent dans la fabrication des fromages à pâte pressée cuite.

- **Fermentation lactique**

La fermentation lactique concerne une part importante des produits alimentaires. On peut citer pour les produits animaux les laits fermentés et le fromage, les saucissons, pour les produits végétaux le vin, le pain au levain, les bières. Cette fermentation met en jeu des bactéries lactiques qui sont de plus en plus souvent des bactéries lactiques sélectionnées. Ce sont des bactéries qui réagissent positivement à la coloration de Gram. Elles sont anaérobies mais aérotolérantes. Elles produisent principalement de l'acide lactique à partir des sucres des aliments.

Les bactéries lactiques sont capables de produire de l'acide lactique et en conséquence de diminuer le pH des aliments que les bactéries lactiques contribuent à leur conservation. La plupart du temps le pH des produits fermentés descend à des valeurs inférieures à 5. À ces valeurs de pH la plupart des micro-organismes pathogènes sont incapables de se développer. Néanmoins, certains micro-organismes comme les levures ou les moisissures peuvent encore se développer après une fermentation lactique. Ceci est utilisé dans la fabrication des fromages affinés. Au contraire, dans beaucoup de produits laitiers frais (yaourts, fromages blancs, etc.), l'apparition de tels germes est un défaut de présentation gênant. La chute de pH contribue à abaisser le potentiel redox qui est un facteur qui diminuera la possibilité de développement de contaminants.



Fig 28. Produits de fermentation lactique et alcoolique

L'élimination de substrats facilement oxydables, sur lesquels pourraient se développer des micro-organismes pathogènes est un autre facteur qui protège les produits ayant subi une telle fermentation. De plus, la recherche scientifique a permis de mettre en évidence d'autres mécanismes contribuant à la conservation des aliments ayant subi une fermentation lactique.

Les bactéries lactiques produisent en particulier de l'eau oxygénée (H_2O_2). Celle-ci contribue, surtout dans les produits laitiers contenant le système lactoperoxydase, à prévenir le développement de flores indésirables.

Beaucoup d'espèces de bactéries lactiques sont capables de produire des bactériocines. Ce sont des petites protéines qui possèdent des propriétés antibiotiques contre un nombre limité

d'espèces. On peut citer la nisine produite par certaines souches de *Lactococcus lactis* ou celles, plus récemment isolées, de *Lactobacillus helveticus*.

Enfin, un dernier facteur contribue à la conservation de l'aliment fermenté, c'est l'occupation du produit par des dizaines de millions de germes par gramme. Cette population, en dehors de son effet sur le milieu, agit sans doute en limitant la croissance d'autres bactéries.

- **La fermentation alcoolique**

Cette fermentation est surtout utilisée pour la production de vins, bières, cidres et le pain. Dans le moût de raisin ou de pomme et dans le brassin le pH est déjà très bas. Dans le moût de raisin par exemple, du fait de la présence de l'acide tartrique et dans une moindre mesure de l'acide malique, le pH est compris entre 3,0 et 3,5. Il est de 5,2 dans un brassin classique. Ces conditions n'autorisent que quelques types de bactéries à se développer.

Références bibliographiques

A. Paine F., Y. Paine H., 1992. A Handbook of food packaging. Blacki Academic & Professional. 368 pages.

Becker B.R., Fricke B.A., 2003. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. Second Edition. Academic Press. 6000 pages.

Berk Z., 2013. Food Process Engineering and Technology. Second Edition. Académic Press. 720 pages.

Coles R., McDowell D., J.Kirwan M., 2003. Food packaging technology. CRC Press. 340 pages.

Dousset X, Jaffrès E, and Zagorec M, 2015. Spoilage : bacterial spoilage. In :Encyclopedia of Food and Health. Academic Press. 4006 pages.

Foucaud-Scheunemann C., 2008. La conservation des aliments, les techniques. Mission communication. INRA.

Gontard N., 1999. L'emballage des produits alimentaires : Pourquoi emballer et comment?. *Bulletin du Réseau TPA n°16.*

Gordon L.R., 2016. Food Packaging: Principles and Practice. Third edition. CRC Press . 687 pages.

Haard N.F., 2003. spoilage:chemical and enzymatic spoilage in: Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. Second Edition. Academic Press. 6000 pages.

Jeantet R., Croguennec T., Schuck P., Brule G., 2006. Sciences des aliments. Tome 2 : Technologies des produits alimentaires. Edition Tec & Doc Lavoisier. 456 pages.

Kadoya T., 1990. Food packaging. Academic press. 415 pages.

Kim Y.T., Min B., Kim K.W., 2014.General Characteristics of Packaging Materials for Food System. In : Innovations in food packaging. Second edition. Académic Press. 624 pages.

Kleniewski A., 2012. Emballages métalliques. Techniques de l'ingénieur. 17 pages.

Lapointe-Vignola C., 2002. Science et technologie du lait. Presses inter Polytechnique. 600 pages.

-Marcel H., 2002. Fonction emballage. Techniques de l'ingénieur. Doc AG 6000. P:1-14.

-Marin M. et René F., 2000. Lyophilisation. Opérations unitaires du génie industriel alimentaire. Agroalimentaire. Procédés chimie -bio-agro. Techniques de l'ingénieur. Doc f 3240. P:1-9.

Marin M., René F., 1998. Lyophilisation. Techniques de l'ingénieur. 09 pages.

Mathlouthi M., 1999. Food packaging and preservation. An Aspen publication. 269 pages.

Requena J., 2012. Choix de l'emballage. Techniques de l'ingénieur. 19 pages.

Roux J.L., 1994. Conserver les aliments. Comparaison des méthodes et des technologies. Edition TEC & DOC. Paris. 705 pages.

Souccar T., 1998. Emballage alimentaires et santé. L'aliment santé - Axis Industries. 118 pages.

-Spinnler H.E., 1998. Technologies de transformation des produits agroalimentaires. Techniques de l'ingénieur. Doc f 1170. P:1-14.

Site d'internet pour figures:

-<http://www.fao.org>

-fr.123rf.com/photo_74100942_groupe-pourri-de-tomate-sur-fond-de-bois-ancien-mise-au-point-sélective-et-douce.html

- <https://fr.food-of-dream.com/publication/65308/>

-<http://christaliefolie.canalblog.com/archives/2011/06/25/21335256.html>

-<https://picclick.fr/generateur-de-fum%C3%A9-pour-fumoir-%C3%A0-Froid-sciure-352691545106.html>

-http://www.made-in-algeria.com/data/art_print.php?pc1=lqmWrKM

-<https://www.ramyfood.com/fr/catalogue-produits>

-<http://bois9.over-blog.com/2017/06/grands-crus-de-l-ouest-algerie.html>

<https://www.fne13.fr/2016/09/28/soiree-tri-et-recyclage-des-emballages-en-verre-comprendre-et-agir/>

<https://www.foie-gras-bellevue.com/confit-de-canard-du-sud-ouest-12-cuisses.html>

<https://génie-alimentaire.com/spip.php?article15>

<https://www.naturellementvotre.org/accueil/les-aliments-irradiés-une-pratique-dissimul>

<http://www.belotea.com/fr/conservation-iberique-pata-negra>

<http://www.ecoemballages.fr/actualite/comment-recycler-plus-de-petits-emballages-en-aluminium>