



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université Mohammed Seddik Benyahia-Jijel



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Microbiologie appliquée
et Sciences alimentaires

كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم : ميكروبولوجيا تطبيقية وعلوم التغذية

Technologie de conservation

Polycopié de cours

Master 1 Agroalimentaire et Contrôle de qualité

Code du cours selon le canevas de formation

Préparé par Dr. Bouchefra Amina
Maitre de conférences -B-

2022/2023

Ref.....

Table des matières

Chapitre1 : Techniques de conservation des aliments par la chaleur.....	1
1.Pasteurisation.....	1
1.1. Définition.....	1
1.2. But de la pasteurisation des aliments.....	1
1.2.1. Détruire les agents pathogènes et réduire le nombre de bactéries.....	1
1.2.2. Inactiver les enzymes	2
1.2.3. Prolonger la durée de conservation des aliments.....	2
1.3. Conditions de la pasteurisation.....	2
1.4. Types de pasteurisation.....	3
1.4.1. Pasteurisation discontinue.....	3
1.4.2. Pasteurisation continue.....	3
2. Stérilisation.....	3
2.1. Définition.....	3
2.2. Types de la stérilisation.....	4
2.2.1. Appertisation.....	4
2.2.2. Stérilisation séparée du contenant et du contenu.....	4
3. Blanchiment.....	4
3.1. Définition.....	4
3.2. Rôle du blanchiment.....	5
3.3. Contrôle du blanchiment.....	5
Chapitre 2 : Techniques de conservation des aliments par le froid.....	7
1.Réfrigération.....	7
2.Congélation.....	8
2.1. Cinétique de la congélation.....	8
2.1.1. Congélation rapide ou surgélation.....	9
2.1.2. Congélation lente.....	9
2.2. Techniques de congélation.....	9
2.2.1. Congélateurs à tunnels.....	9
2.2.2. Congélateurs à plaques.....	10
2.2.3. Congélateurs cryogéniques.....	10
Chapitre 3 : Techniques de conservation par séparation et élimination de l'eau.....	11
1.Séchage.....	11
1.1. Définition.....	11
1.2. Méthodes de séchage.....	11
1.2.1. Séchage au soleil.....	11
1.2.2. Séchage par atomisation.....	12
1.2.3. Séchage à l'air chaud.....	12
1.2.4. Séchage par rayonnement.....	12
2. Lyophilisation.....	13
2.1. Définition.....	13
2.2. Principe.....	13
2.3. Processus de lyophilisation.....	13
2.4. Avantages de la lyophilisation.....	14

3. Concentration.....	14
3.1. Méthodes de concentration.....	14
3.1.1. Évaporateur flash.....	14
3.1.2. Évaporateur sous vide.....	14
3.1.3. Ultrafiltration.....	15
4. Salage.....	15
5. Sucrage.....	15
6. Fumage ou fumaison.....	16

Chapitre 4 : Techniques de conservation des aliments par les additifs alimentaires.....18

1. Définition des additifs alimentaires.....	18
2. Classifications des additifs alimentaires.....	18
2.1. Additifs alimentaires « directs ».....	18
2.2. Additifs alimentaires « indirects ».....	19
3. Principales fonctions des additifs alimentaires.....	19
3.1. Donnez aux aliments une texture lisse et homogène.....	19
3.2. Améliorer ou préserver la valeur nutritive.....	19
3.3. Maintenir la salubrité des aliments.....	19
3.4. Contrôlez l'équilibre acido-basique des aliments.....	19
3.5. Donnez de la couleur et rehaussez la saveur.....	20
4. Approbation des additifs.....	20

Chapitre 5 : Fermentation des aliments.....24

1. Définition.....	24
2. Fermentation comme méthode de conservation des aliments.....	24
3. Avantage des aliments fermentés.....	24
4. Microorganismes utilisés dans les fermentations alimentaires.....	25
4.1. Bactéries lactiques.....	25
4.1.1. Métabolisme fermentaire.....	25
4.2. Bactéries acétiques.....	26
4.3. Levures.....	26
4.4. Moisissures.....	27

Chapitre 6 : Conservation des aliments par les radiations ionisantes.....28

1. Processus d'irradiation des aliments.....	28
2. Sources des rayonnements ionisants.....	28
3. Mode d'action des rayonnements ionisants.....	28
4. Dose d'irradiation.....	28
5. Application de l'irradiation ionisante.....	29
6. Avantages de l'ionisation.....	29
6.1. Minimiser les pertes alimentaires.....	29
6.2. Améliorer la santé publique.....	30
6.3. Augmenter les économies d'énergie.....	30
7. Effets de l'irradiation par ionisation sur les micro-organismes et les composants alimentaires.....	30
7.1. Effets sur les micro-organismes.....	30
7.2. Effets sur les composants alimentaires.....	31
7.2.1. Effet sur les protéines.....	31
7.2.2. Effets sur les glucides.....	31

7.2.3. Effet sur les lipides.....	31
7.2.4. Effet sur les vitamines.....	31
7.2.5. Effets sur les enzymes.....	31
8. Aspects réglementaires et questions de sécurité.....	31
Chapitre 7 : Emballages alimentaires.....	33
1. Rôle de l'emballage alimentaire.....	33
1.1. Contenir le produit alimentaire.....	33
1.2. Prolonger la durée de vie du produit alimentaire (conservation).....	33
1.3. Présentation et communication de l'information aux consommateurs (marketing).....	33
1.4. Protection du produit pendant la distribution et le transport.....	33
1.5 Fournir un historique des conditions de stockage.....	33
2. Caractéristiques de l'emballage.....	34
3. Types de matériaux d'emballage.....	34
4. Étiquetage alimentaire.....	34
Références.....	37

Chapitre1 : Techniques de conservation des aliments par la chaleur

Les méthodes de traitement thermique peuvent être divisées en deux catégories, en fonction du barème de la température appliquée : traitement thermique modéré ou sévère. Les objectifs, les avantages et les inconvénients de ces deux types de traitement thermique sont différents. En fonction des objectifs, un transformateur alimentaire peut choisir d'utiliser une forme modérée ou sévère du traitement thermique pour conserver un produit alimentaire. Le tableau 1 donne un aperçu des principaux objectifs, avantages et inconvénients de ces deux types de traitement.

Tableau1 : principaux objectifs, avantages et inconvénients des traitements thermiques modérés et sévères des aliments (Vaclavik et al., 2008).

	Traitements thermiques modérés	Traitements thermiques sévères
Objectifs	Tuer les agents pathogènes. Réduire le nombre de bactéries (l'aliment est non stérile). Inactiver les enzymes.	Tuer toutes les bactéries. L'aliment est stérile.
Avantages	Induire de faible changement sur la flaveur, la texture et la qualité nutritionnelle.	Conservation des aliments à longue terme.
Inconvénients	Une courte durée de conservation des aliments. Une autre méthode de conservation doit être utilisée comme la réfrigération et la congélation.	Les aliments sont trop cuits. Des changements majeurs dans la texture, la flaveur et la qualité nutritionnelle.
Exemples	Pasteurisation, blanchiment	Stérilisation

1. Pasteurisation

1.1. Définition : La pasteurisation est un traitement thermique modéré des aliments comme le lait, l'œuf liquide et les jus de fruits. La technique utilisée consiste à soumettre l'aliment à une température inférieure à 100°C pendant un temps donné, puis à le refroidir brusquement. Les aliments ainsi pasteurisés doivent être maintenus à une température de 4°C afin de ralentir le développement des germes encore présents.

1.2. But de la pasteurisation des aliments

1.2.1. Détruire les agents pathogènes et réduire le nombre de bactéries : les agents pathogènes sont des microorganismes qui provoquent des maladies d'origine alimentaire, soit directement (infection d'origine alimentaire), soit en libérant des substances toxiques (intoxications d'origine alimentaire), soit par le biais d'une infection médiée par une toxine. Tous les agents pathogènes doivent être détruits pour que l'aliment puisse être consommé ou bu sans danger ; cependant, un produit pasteurisé n'est pas stérile, le nombre de bactéries dans un produit pasteurisé est simplement réduit. Exemple, le blanc d'œuf ou l'œuf entier sont chauffés à (60-62 °C)

pendant 3.5-4.0 min pour empêcher la croissance de *Salmonella*. Les jus de fruits sont également pasteurisés, l'objectif principal étant de réduire le nombre de bactéries et d'inactiver les enzymes, car les jus de fruits ne contiennent normalement pas de microorganismes pathogènes.

1.2.2. Inactiver les enzymes : le traitement thermique modéré impliqué dans la pasteurisation est généralement suffisant pour dénaturer et inactiver les enzymes. Par exemple, le lait contient les enzymes de la phosphatase et les lipases, qui sont dénaturées pendant la pasteurisation. Pour s'assurer que le lait a été correctement pasteurisé, on peut effectuer un test colorimétrique à la phosphatase : l'absence de couleur bleue indique que la phosphatase a été inactivée et que le lait a été correctement pasteurisé.

1.2.3. Prolonger la durée de conservation des aliments : afin d'augmenter la durée de conservation d'un produit pasteurisé, il est nécessaire de le réfrigérer pour retarder la croissance bactérienne. Par exemple, le lait est pasteurisé pour garantir qu'il peut être bu sans danger. Si le lait pasteurisé est conservé à température ambiante, les bactéries se développent et produisent de l'acide lactique, ainsi le lait devient aigre.

1.3. Conditions de la pasteurisation

La sévérité du traitement thermique et la prolongation de la durée de conservation sont déterminées principalement par le pH de l'aliment. Dans les aliments peu acides (pH 4,5), l'objectif principal est la destruction des bactéries pathogènes, tandis qu'en dessous de pH 4,5, la destruction des microorganismes d'altération ou l'inactivation des enzymes sont généralement plus importantes. Le tableau 2 présente les différentes conditions de pasteurisation des aliments en fonction du pH.

Tableau 2 : Conditions de pasteurisation des aliments en fonction du pH (Rahman, 2007).

Aliments	Objectifs principales	Objectifs spécifiques	Conditions minimales de traitements
pH <4.5 Jus de fruits	Inactivation des enzymes (pectine estérase et polygalacturonase) (levures, moisissures).	Destruction des microorganismes d'altération	65°C pendant 30min 77 °C pendant 1min 88°C pendant 5s
pH >4.5 Lait	Destruction des pathogènes (<i>Brucella abortus</i> , <i>Mycobacterium tuberculosis</i> , <i>Coxiella burnetti</i>)	Destruction des microorganismes d'altération et des enzymes	63°C pendant 30min 71.5°C pendant 15s
	Destruction des pathogènes (<i>Salmonella seftenberg</i>)	Destruction des microorganismes d'altération	64°C pendant 2.5min : 64°C pendant 3.5min;
	Destruction des microorganismes d'altération	Destruction des pathogènes	65°C pendant 30min; 80°C pendant 15s

1.4. Types de pasteurisation

1.4.1. Pasteurisation discontinue : c'est l'une des premières méthodes utilisées pour le traitement du lait. Elle comporte le traitement en discontinu de faibles volumes de lait à une température spécifique pendant une longue période.

1.4.2. Pasteurisation continue : les aliments tels que le lait sont soumis à une température de 71.7°C pendant environ 15 s ou plus en passant par différents échangeurs de chaleur comme : les échangeurs de chaleur à plaques, les échangeurs de chaleur tubulaires, et les échangeurs de chaleur à surface raclée. Les échangeurs sont choisis en fonction de la viscosité de l'aliment. Le milieu de chauffage est généralement de la vapeur ou de l'eau.

2. Stérilisation

2.1. Définition : la stérilisation par la chaleur consiste à exposer les aliments à une température, généralement supérieure à 100°C, pendant une durée suffisante pour inhiber les enzymes et détruire la totalité des microorganismes, y compris les bactéries sporulantes.

La stérilisation d'un aliment ne suffit pas, à elle seule, pour sa conservation à long terme. Une contamination ultérieure de l'aliment par les microorganismes environnementaux pourrait survenir. Pour en remédier, on procède à la stérilisation du contenant (récipient) et du contenu (le produit alimentaire) ; le récipient doit être étanche à l'eau et aux microorganismes pour ne pas avoir une recontamination ultérieure à la stérilisation.

2.2. Types de la stérilisation

La stérilisation de l'aliment et de son contenant peut être réalisée de deux façons : La première consiste à une stérilisation simultanée du contenant et du contenu (appertisation), alors que la deuxième consiste à une stérilisation séparée du contenant et du contenu suivie d'un conditionnement aseptique.

2.2.1. Appertisation : Stérilisation simultanée du contenant et du contenu

L'appertisation est un procédé de conservation qui consiste à stériliser par la chaleur des denrées périssables dans des contenants (boîtes métalliques, bocaux, etc.) hermétiquement fermés. Sa découverte remonte aux années 1790. Nicolas Appert était le premier qui a mis au point ce procédé de stérilisation par la chaleur dans un récipient hermétiquement clos. L'appertisation est largement utilisée aujourd'hui pour la conservation à long terme des denrées alimentaires d'origine animale ou végétale. La durée de conservation des aliments appertisés est de plusieurs mois à quelques années.

2.2.2. Stérilisation séparée du contenant et du contenu

Dans ce cas, le produit alimentaire (le contenu) est stérilisé, par traitement thermique, avant d'être renfermé dans son contenant. Ce dernier est aussi stérilisé, soit par la chaleur, soit par d'autres procédés (par ultra-violet par exemple), mais avant de contenir le produit. Ensuite, le contenu stérilisé est fermé hermétiquement dans son emballage (contenant), aussi stérilisé. L'opération de conditionnement se déroule dans une enceinte qui empêche la contamination du produit par les microorganismes de l'environnement : C'est le conditionnement aseptique. Cette technique est utilisée généralement pour la conservation des produits liquides (lait, jus, etc.) dans des emballages qui ne peuvent supporter l'appertisation comme les sachets en plastique et les cartons type Tetra-brik. Lorsque la stérilisation du produit est réalisée à haute température (135°C à 150°C) pendant une courte durée (15 s à 1 s), on parle de stérilisation UHT (Ultra Haute Température). Cette technique a l'avantage de préserver la qualité organoleptique et nutritionnelle du produit stérilisé. Cependant, elle ne peut être utilisée que dans le cas des produits liquides comme le lait.

3. Blanchiment

3.1. Définition : le blanchiment est un traitement thermique de quelques minutes à 70 °C à 100 °C destiné à détruire les enzymes susceptibles d'altérer les légumes ou les fruits avant leur traitement ultérieur (surgélation,

séchage, etc.). En réalité la destruction des enzymes n'est qu'un objectif parmi bien d'autres et le rôle du blanchiment qui constitue un prétraitement avant séchage, lyophilisation, appertisation ou surgélation, est multiple.

3.2. Rôle du blanchiment

Avant séchage ou lyophilisation, le blanchiment est utilisé comme un prétraitement pour la destruction des enzymes responsables d'altérations organoleptiques telles que des modifications de saveurs et/ou de couleur. Le traitement permet aussi la réduction de la charge microbienne et facilite la réhydratation.

Avant appertisation, le blanchiment n'est pas destiné à détruire les enzymes du moment où les barèmes appliqués suffisent largement à leur destruction. Dans ce cas, le blanchiment a d'autres rôles :

1. Élimination des gaz occlus dans les tissus avant emboîtement, faute de quoi leur présence entraîne une surpression interne, avec risque de bombage ou de flochage des boîtes.

2. Remplissage à chaud : on prend généralement la précaution de remplir les boîtes de jus chaud de manière à ce que le sertissage (ou capsulage) ait lieu sous atmosphère de vapeur et que l'air soit ainsi chassé. Le blanchiment permet d'emboîter les légumes chauds et d'empêcher un refroidissement du jus au contact de légumes qui seraient froids.

3. Élimination de faux goûts : les choux-fleurs non blanchis conservent un goût âcre intolérable.

4. Élimination de troubles : le blanchiment permet d'éliminer les troubles tels que ceux apportés par extraction d'amidon. Avant surgélation, le blanchiment permet, outre la destruction des enzymes, l'élimination des gaz occlus dans les tissus et limiter par conséquence les phénomènes d'oxydation.

3.3. Contrôle du blanchiment

L'efficacité du blanchiment peut être contrôlée en testant l'inactivation ou la présence de deux enzymes largement répandues dans les végétaux : la catalase et la peroxydase. La catalase est une enzyme oxydative qui donne lieu à la formation d'oxygène à partir du peroxyde d'hydrogène :



L'activité de la catalase est mise en évidence en broyant le produit blanchi et on le mélangeant à des carbonates de calcium et du peroxyde d'hydrogène : un dégagement gazeux (O_2) indique une activité catalasique. La peroxydase est une enzyme qui catalyse l'oxydation par le peroxyde d'hydrogène de divers substrats :



L'activité de la peroxydase est révélée par l'apparition d'une teinte brun-noir lorsqu'on place du guaïacol et du peroxyde d'hydrogène au contact du produit blanchi. La peroxydase est réputée la plus thermorésistante ; l'efficacité du blanchiment peut être alors contrôlée en se basant uniquement sur le test d'inactivation ou de présence de cette enzyme.

Chapitre2 : Techniques de conservation des aliments par le froid

La croissance microbienne est significativement affectée par la température. Les basses températures peuvent réduire les réactions enzymatiques et chimique ainsi que la croissance des microorganismes dans les aliments.

La conservation des aliments par le froid offre plusieurs avantages pour les aliments tels que :

- Moins de périssabilité des aliments due à la réduction de la respiration.
- Moins de flétrissement et de perte d'eau par les aliments.
- Minimiser la maturation des fruits et des légumes en raison de l'action réduite de l'éthylène.
- Réduction des réactions de brunissement enzymatiques ce qui entraîne moins de changements de couleur
- Plus de rétention des nutriments.

On distingue trois procédés qui utilisent cette technique, **la réfrigération, la congélation et la surgélation**.

1. Réfrigération

La **réfrigération** 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.

La réfrigération est utilisée pour la conservation des aliments périssables à court et moyen terme. La durée de conservation va de quelques jours à plusieurs semaines suivant le produit, la température, l'humidité relative et le type de conditionnement. Le tableau 1 illustre des exemples sur la durée de conservation de certains aliments par la réfrigération.

Tableau1 : Exemple de la durée de conservation de certains aliments par la réfrigération (Rahman and Velez-Ruiz ,2007).

Produit	Température de réfrigération recommandée (°C)	Humidité relative recommandée (%)	Durée de stockage
Pommes	-1 à 5	90	3 à 8 mois
Abricots	0	90	1 à 2 semaines
Melon	5 à 7	90 à 95	7 à 10 jours
Haricots verts	0 à 10	85 à 90	5 jours à 6 semaines

Des règles fondamentales doivent être respectées dans l'application du froid : la réfrigération doit être faite le plus tôt possible après collecte, elle doit s'appliquer à des aliments initialement sains et être continue tout au long de la filière de distribution (ne jamais rompre la chaîne du froid).

2. Congélation

La **congélation** consiste à entreposer les aliments à des températures inférieures au point de congélation, généralement -18°C. Elle est utilisée pour la conservation des aliments à long terme (4 à 24 mois).

Pendant la congélation, l'activité métabolique de la plupart des germes pathogènes et d'altération est inhibée. Cependant, les réactions d'altération chimique ne sont pas arrêtées complètement. Les plus importantes de ces réactions sont l'oxydation enzymatique des lipides, l'hydrolyse des glucides et la lipolyse.

Pour en remédier, les industriels procèdent généralement à un blanchiment des produits (cas des légumes surgelées) avant leur congélation.

2.1. Cinétique de la congélation

La cinétique de la congélation est caractérisée par trois phases (Figure 1). Pendant la première phase, la vitesse du produit diminue rapidement puis se stabilise pendant un certain temps, qui correspond à la deuxième phase, à un niveau équivalent à celui de la formation de la glace. Ensuite, la température reprend sa descente jusqu'à atteindre la température finale désirée ; c'est la troisième phase.

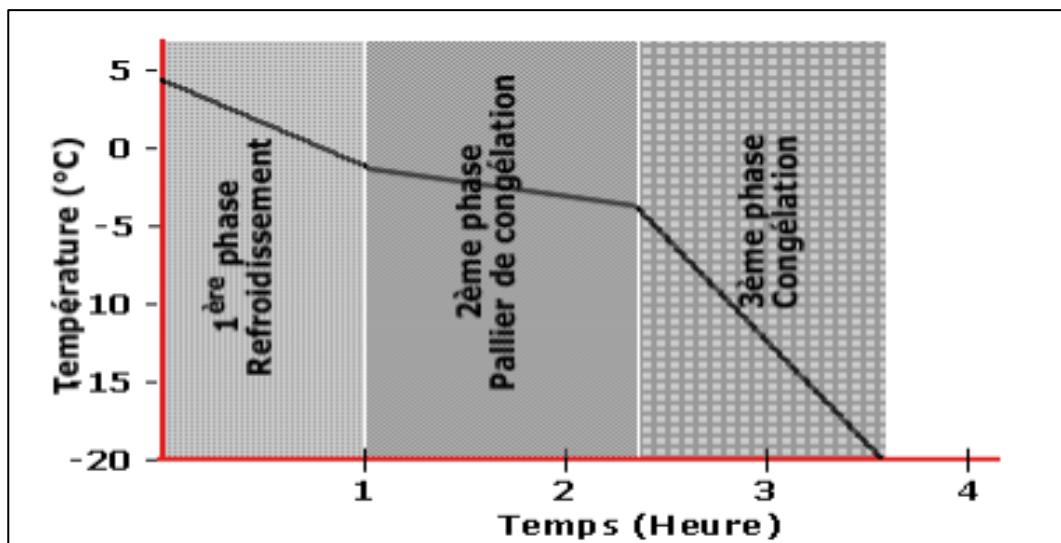


Figure1 : Évolution de la température à cœur de l'aliment pendant la congélation (Rahman and Velez-Ruiz ,2007).

Selon la vitesse de congélation des aliments, on distingue :

1. Congélation rapide ou surgélation : au cours de laquelle les denrées sont stabilisées par abaissement rapide de la température jusqu'à -18°C à cœur. Cette technique permet la formation de nombreux et petits cristaux de glace qui ne détériorent pas l'aliment. Seul un faible exsudat se produit lors de la décongélation.

2. Congélation lente : qui s'applique à des produits qui, par leur aspect ou leur mode de récolte, ne peuvent satisfaire à certaines exigences, par exemple vitesse de congélation à laquelle sont soumis les produits surgelés. Le refroidissement de l'aliment s'effectue lentement ce qui entraîne la formation de cristaux de glace de taille relativement importante par rapport à celle des cellules du produit. Les aiguilles tranchantes des cristaux de glace peuvent percer et déchirer la paroi des cellules peu résistantes et favoriser une certaine exsudation lors de la décongélation.

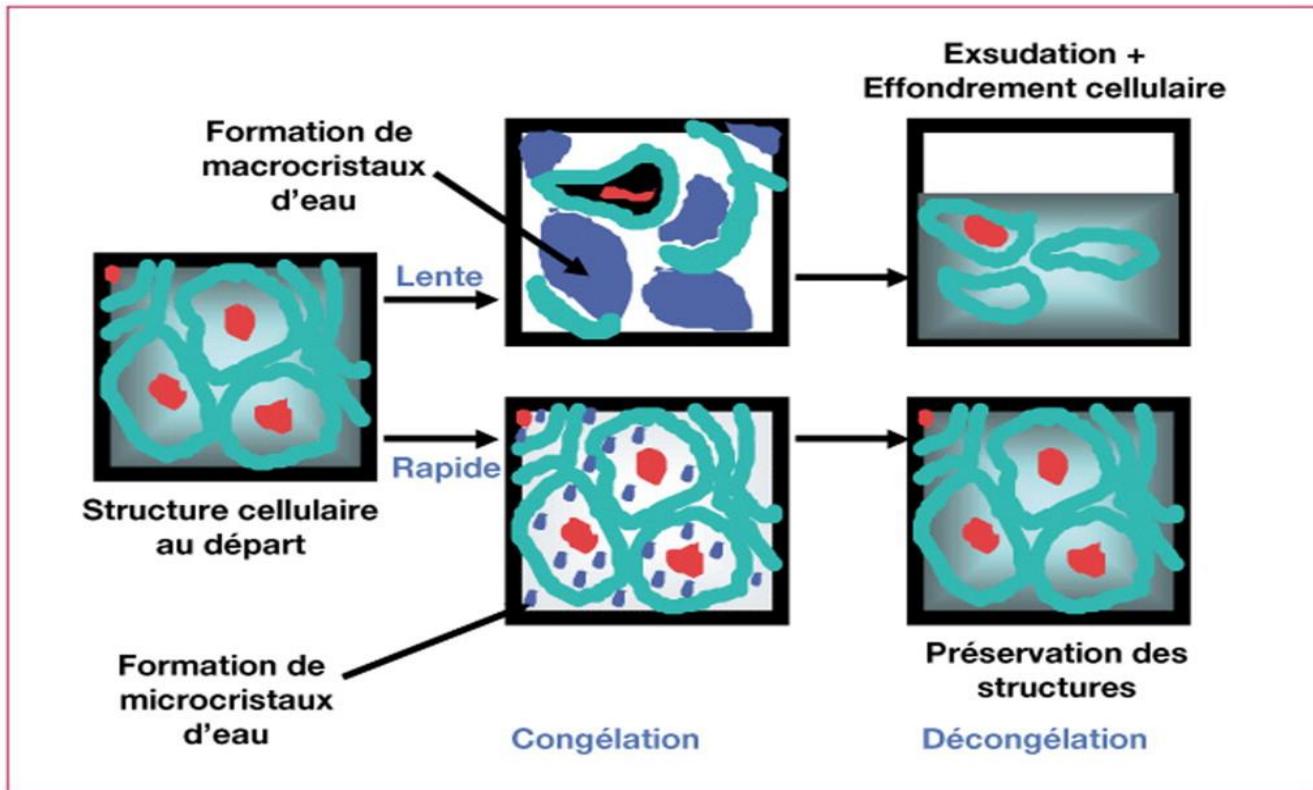


Figure 2 : Représentation schématique de la formation de microcristaux et des macrocristaux pendant la congélation (Rahman and Velez-Ruiz , 2007).

2.2. Techniques de congélation

La congélation des produits alimentaires utilise plusieurs techniques. Parmi ces techniques on distingue les congélateurs à tunnels, les congélateurs à plaques et les systèmes de congélation directe (congélation cryogénique).

2.2.1. Congélateurs à tunnels : utilisent l'air pulsé comme fluide frigorifique intermédiaire. Celui-ci est refroidi à travers l'évaporateur de la machine frigorifique, pulsée sur le produit par un ventilateur, puis recyclé pour être refroidi à nouveau. Ce système existe en continu et en discontinu. L'avantage des tunnels de congélation réside

dans leur souplesse d'utilisation. Ils sont recommandés lorsqu'on est amené à congeler plusieurs types de produits, de forme et de taille différente.

2.2.2. Congélateurs à plaques : le produit est refroidi au contact de la surface des plaques, à l'intérieur desquelles circule le fluide frigorifique. Ce type de congélateurs peut être à plaques horizontales ou verticales selon que les plaques sont disposées horizontalement (sous forme d'étagères) ou verticalement. Leur avantage réside dans leur efficience énergétique. Malheureusement, ils ne peuvent être utilisés que pour des produits de forme géométrique, avant ou après emballage, régulière. De plus, ils ne sont plus aptes pas au fonctionnement continu.

2.2.3. Congélateurs cryogéniques : consiste à mettre le produit directement en contact avec une source de froid, par aspersion d'un liquide comme l'azote liquide ou le CO₂ liquide qui s'évaporent au contact du produit. Dans ce cas, l'apport frigorifique est apporté par la chaleur latente d'évaporation du liquide en contact avec le produit (l'azote liquide s'évapore à -196 °C et le CO₂ liquide s'évapore à -54 °C). Ce système de congélation a l'avantage d'être rapide et ne nécessitant pas une installation frigorifique proprement dite. Toutefois, il est assez coûteux et ne peut être donc utilisé que pour les produits alimentaires à haute valeur marchande.

Chapitre 3 : Techniques de conservation par séparation et élimination de l'eau

La majorité des matières premières alimentaires sont riches en eau qui les rendent sensibles à la croissance des microorganismes. L'activité de l'eau, une propriété thermodynamique, est le rapport entre la pression de vapeur de l'eau dans un système et la pression de vapeur de l'eau pure à la même température. L'activité de l'eau peut être abaissée ou contrôlée par plusieurs méthodes comme l'élimination de l'eau et l'ajout de solutés. Les processus qui peuvent être utilisés pour éliminer l'eau sont le séchage, la concentration et la lyophilisation. Les solutés peuvent être ajoutés aux aliments pour réduire l'activité de l'eau et améliorer les propriétés fonctionnelles et sensorielles des aliments, comme l'ajout du sel aux viandes et poissons et le sucre aux fruits.

1. Séchage

1.1. Définition : Le séchage est un processus d'élimination de l'eau basé sur un transfert thermique (une fourniture de chaleur permet le changement de phase du liquide) et de matière (le liquide imprégnant la solide passe à l'état de vapeur dans une phase gazeuse). La vaporisation pourra s'effectuer par ébullition ou par évaporation.

Le séchage offre une facilité de manipulation, de conditionnement et de transport des produits alimentaires. Le séchage a pour but d'éliminer par vaporisation le liquide qui imprègne un solide et il se pratique dans plusieurs cas:

- Le liquide résiduel est incompatible avec la suite du procédé.
- Le produit humide se conserve mal (hydrolyse possible, modification de l'aspect physique par agglomération des grains).
- Le coût du transport est plus élevé en présence de liquide.
- Le séchage permet outre l'élimination du liquide, la création de modifications de la structure interne du solide soit par exemple l'apparition d'une structure poreuse.

Les méthodes de séchage les plus utilisées sont : le séchage au soleil, le séchage par atomisation, le séchage par rayonnement et le séchage à l'air chaud.

1.2. Méthodes de séchage

1.2.1. Séchage au soleil : le séchage au soleil est pratiqué partout dans le monde où les aliments sont exposés directement au vent et aux rayons du soleil. L'énergie thermique du soleil est utilisée pour sécher les matières alimentaires.

Dans ce processus, la chaleur est transférée aux aliments de deux manières : l'une par convection et l'autre par rayonnement solaire direct. Cela permet d'augmenter la température interne des aliments et entraîne l'évaporation de l'eau. L'eau de surface est généralement évacuée par le flux d'air naturel.

1.2.2. Séchage par atomisation : le procédé de séchage par atomisation est une méthode de déshydratation des aliments utilisée dans l'agroalimentaire. Il consiste à retirer l'eau contenue dans un liquide (lait, jus de fruits ou de légumes...) pour obtenir une poudre par le passage d'un flux d'air chaud. L'eau à l'état liquide va passer à l'état vapeur dans l'air.

Le principe général de pulvérisation est réalisé dans une tour de séchage par atomisation. Lors du procédé, le liquide est pulvérisé en fines gouttelettes dans une enceinte cylindrique verticale. Au contact des courants d'air chaud, l'eau s'évapore du produit initial pour devenir de la poudre alimentaire. La matière obtenue est ensuite filtrée pour retenir la poudre et laisser passer l'air. Ce procédé de séchage est reconnu dans l'industrie agroalimentaire puisqu'il permet d'augmenter la durée de conservation et de diminuer le volume des marchandises. La faible durée de stagnation des produits dans la chambre d'atomisation permet de sécher des produits thermosensibles.

1.2.3. Séchage à l'air chaud : le rayonnement solaire est une grande source de chaleur, mais la quantité de l'énergie disponible est incertaine. Donc pour assurer un approvisionnement continu en air chaud, on peut utiliser de l'électricité ou autres combustibles conventionnels. Lorsque l'air chaud est produit en utilisant une source d'énergie autre que le soleil, on parle de système de séchage par convection à air chaud. Le coût de ce système dépend de la nature du combustible ou de l'énergie utilisée pour chauffer l'air. Le séchage à l'air chaud permet de sécher les fruits, légumes et les céréales. Le séchage à l'air chaud est la méthode de séchage la plus courante à l'heure actuelle. Elle est simple et efficace pour les produits industriels et alimentaires solides et constitue une solution peu coûteuse. Toutefois, ce processus peut déshydrater complètement la surface du produit, ce qui entraîne des fissures ou un résultat hétérogène. Il peut également s'agir d'un processus lent, en fonction du produit et de la température de séchage admissible.

1.2.4. Séchage par rayonnement : ce mode de séchage convient aux produits en plaques ou en films, donc de faible épaisseur. L'apport d'énergie s'effectue par ondes électromagnétiques générées soit par des dispositifs électroniques (micro-ondes) soit par élévation de la température d'un émetteur infrarouge.

En infrarouge le chauffage se manifeste sur des épaisseurs très faibles (500 µm). Avec des micro-ondes on peut sécher à des épaisseurs plus importantes. Le champ électromagnétique véhiculé par ces fréquences excite les molécules d'eau: l'agitation moléculaire qui en résulte provoque des chocs intermoléculaires. Cela entraîne un échauffement du produit et donc la vaporisation des molécules d'eau. Le séchage par micro-ondes présente les avantages d'être propre et facile à réguler. De même son action s'effectue sur le volume du solide ce qui diminue les risques de croûtage en surface.

2. Lyophilisation

Certains produits alimentaires d'origine animale ou végétale doivent être déshydratés pour le stockage et le transport. Le séchage par un procédé classique entraîne la migration des composés solubles de l'intérieur des cellules vers la périphérie des produits en même temps que l'évaporation de l'eau. Cette concentration des composés solubles à la périphérie provoque une redissolution sélective à la réhydratation et donc une dégradation de la qualité des produits. De plus les composés naturels ne supportent parfois aucun apport de chaleur sous peine d'être détruits (vitamines).

2.1. Définition : c'est une méthode de dessiccation sous vide, à basse température, de produits liquides préalablement congelés. La lyophilisation est un procédé coûteux (production des frigories, utilisation du vide) qui est donc réservé à des produits alimentaires ou particulièrement onéreux comme les jus de fruits et le lait.

2.2. Principe

La lyophilisation consiste en l'élimination progressive de l'eau du produit préalablement congelé (phase solide) par passage à la phase vapeur, sans passer par la phase liquide. Ce changement d'état s'appelle la sublimation.

Une installation de lyophilisation doit donc :

- Produire du froid pour congeler l'eau puis la piéger.
- Produire de la chaleur pour la sublimation et la dessiccation secondaire.
- amener cette énergie au produit.
- Faire du vide.

2.3. Processus de lyophilisation : le procédé peut être expliqué comme suit :

-On refroidit la substance à des températures de l'ordre de -10 à -40 °C très rapidement pour obtenir des cristaux de glace de petite taille (la sublimation suivante est alors facilitée).

-On abaisse ensuite la pression en dessous du point triple (entre 100 et 10 pascals) de façon à permettre la sublimation de cristaux: on évite ainsi la formation d'eau liquide intermédiaire.

- La sublimation se poursuit jusqu'au produit sec tant qu'on maintient une pression suffisamment faible au-dessus du produit.

-La récupération de la vapeur d'eau s'effectue soit par condensation sur une paroi refroidie à -40 °C avec formation de glace et élimination de celle-ci par un racloir, soit par action d'un déshydratant (P_2O_5 , $CaCl_2$...). L'aspiration

des vapeurs par la pompe à vide est impossible en raison de l'énorme volume de la vapeur d'eau dégagée sous ces pressions; la pompe à vide n'élimine donc que les incondensables.

2.4. Avantages de la lyophilisation : la lyophilisation est une méthode qui dispose de plusieurs avantages :

- **Poids et place** : une fois lyophilisés, la réduction de poids peut aller de 80 à 90% pour les végétaux et de 60 à 80% pour les viandes et les poissons. Ceci rend donc l'aliment bien plus léger et donc facilement transportable. Ce sont également des produits de dimensions moyennes, ce qui permet de stocker rapidement un nombre conséquent de sachets lyophilisés.
- **Durée de conservation** : l'absence d'oxygène et d'humidité permettent ainsi cette longue conservation du produit lyophilisé. Un plat lyophilisé peut donc se conserver à température ambiante pendant plusieurs années. Le goût et les saveurs ne sont pas modifiés et l'apport nutritionnel est conservé.
- **Valeurs nutritionnelles** : les plats lyophilisés sont peu riches en matières grasses et ont un bon équilibre diététique. De plus la valeur énergétique par gramme est supérieure à celle d'un produit classique, ce qui leur vaut d'être meilleurs pour la santé. Pour cause, la lyophilisation conserve environ 95% des valeurs nutritionnelles. Ainsi, les qualités diététiques et vitaminiques sont maintenues et la structure cellulaire est conservée.
- **Goût et apparence** : une fois réhydraté, le produit retrouve sa forme, ses saveurs et ses arômes. Le goût n'est pas altéré.
- **Préparation** : les produits lyophilisés sont prêts à être réhydratés très vite sans cuisson, par la simple addition d'eau frémissante. Une préparation donc rapide et très simple, plus qu'à déguster!

3. Concentration

Les aliments sont concentrés, principalement pour réduire le poids. Cela rend le transport, l'expédition et la manutention plus faciles et moins coûteuses. De nombreux aliments peuvent être concentrés, y compris les jus de fruits, les purées de légumes, les produits laitiers, les soupes, les sirops de sucre, les confitures et les gelées.

3.1. Méthodes de concentration

3.1.1. Évaporateur flash : dans cet évaporateur la vapeur chauffée à 150 °C est injectée dans les aliments, puis retirés. Cela a pour avantage de réduire le temps de chauffage, mais provoque la perte des composants volatiles de l'aliment.

3.1.2. Évaporateur sous vide : il est utilisé pour concentrer les aliments sensibles à la chaleur, qui serait endommagée par une température élevée. Le fonctionnement sous vide permet d'obtenir une concentration à des températures beaucoup plus basses.

3.1.3. Ultrafiltration : processus coûteux qui fonctionne à basse température, et utilise des membranes perméables pour concentrer les liquides. Ce processus est utilisé pour concentrer des protéines dispersées telles que les protéines le lactosérum, qui ne peuvent être dénaturées par les méthodes de concentration traditionnelles. L'ultrafiltration consiste à pomper le lactosérum sous pression contre une membrane qui retient les protéines, et permet aux molécules plus petites telles que sels et sucres de passer au filtrat.

4. Salage

Le salage ou salaison consiste en l'incorporation de sel, associé à d'autres ingrédients, dans les aliments. Le salage est généralement suivi d'un séchage, d'un fumage ou d'une cuisson.

Le sel commun (NaCl) se définit comme étant une substance friable, soluble, d'un goût piquant, dont on sert pour assaisonner les aliments (sel de cuisine et sel de table). Il peut provenir de plusieurs sources et en dehors de sa propriété révélatrice du goût en assaisonnement, il a des vertus conservatrices.. Le sel absorbe l'eau des aliments et les dessèchent. Ainsi, il fond au contact des aliments et provoque une diminution de l' a_w . Par ailleurs, il joue des rôles multiples:

- Rôle « bactériostatique ».
- Rôle d'agent de sapidité : Le sel apporte un goût salé qui est dû à l'anion Cl, le cation Na⁺ ayant un effet principal sur la capacité à stimuler les récepteurs gustatifs. Le sel forme un complexe avec les protéines de l'aliment qui est stable à froid et une partie sera détruite par la chaleur. Celle qui reste sera responsable du goût salé de l'aliment ;
- Action bénéfique sur les protéines, par augmentation de leur solubilité (protéines musculaires) ;
- Action sur l' a_w : L'activité de l'eau diminue au fur et à mesure que la concentration en chlorure de sodium augmente.

Le salage commence au moment du contact entre l'aliment et le sel, il se termine lorsque la salinité de cet aliment est suffisante pour devenir impropre à la prolifération bactérienne contaminante.

Dans de nombreux pays, on effectue deux types de salage :

- **Salage à sec:** cette méthode est utilisée pour un aliment qui sera encore séché après le salage. Il s'agit de frotter le sel sur toute la surface de l'aliment puis de le faire sécher.
- **Saumurage :** il s'agit de tromper l'aliment dans une eau salée (saumure).

5. Sucrage

Le sucrage ou l'ajout de sucre, notamment le saccharose, est une technique qui est aussi largement utilisée en agroalimentaire. Le sucre est généralement utilisé comme ingrédients pour l'amélioration du goût, la couleur et/ou

la texture de certains produits alimentaires comme les boissons, les sauces (Ketchup) et plusieurs autres préparations. Dans d'autres produits alimentaires, comme le caramel et les sirops de glucose, le sucre est la matière première principale utilisée pour leur préparation.

L'ajout de sucre à des proportions assez suffisante améliore la conservabilité des denrées alimentaires et ce grâce à son effet dépresseur de l' a_w . La conservabilité de certains aliments comme les bonbons et les sirops de glucose est due principalement à la présence de sucres.

Le sucre possède plusieurs propriétés. C'est un exhausteur de goût quand on l'incorpore dans une recette, c'est un colorant quand il est caramélisé mais c'est aussi un conservateur grâce à son pouvoir hygroscopique (élément ayant tendance à absorber l'humidité).

Son pouvoir hygroscopique lui permet de fixer l'eau autour de lui. Chaque molécule de sucre est capable de fixer 6 molécules d'eau. Une fois fixée, l'eau n'est plus libre. Les microbes ne peuvent donc plus l'utiliser pour se développer.

La différence avec le sel est que la conservation par le sucre ne peut se faire qu'à chaud. L'aliment doit perdre une partie de l'eau qu'il contient par évaporation tandis que le sucre, une fois dissous, se lie aux molécules d'eau et les rend ainsi indisponibles aux développements des micro-organismes.

Sur le plan nutritionnel, selon le sucre utilisé, l'altération sera plus ou moins importante (plus de conséquences pour le sucre raffiné). En revanche, le sucre non raffiné apportera davantage d'oligo-éléments et réduira les quantités.

6. Fumage ou fumaison

Le **fumage** ou **fumaison** appartient aussi au groupe des procédés les plus anciens de conservation des viandes et poissons. L'opération consiste à soumettre ce produit à l'action directe ou indirecte de la fumée issue de la combustion de certains végétaux.

Le **fumage** possède plusieurs rôles :

- Prolonger la durée de vie des aliments grâce à la présence de certains composants antioxydantes et antimicrobiens dans la fumée qui inhibent la croissance de nombreux microorganismes (présence des phénols et des acides).
- Améliorer la couleur (dû à la présence des carbonyles et amines), la saveur (phénols)

Le fumage est associé au transfert de chaleur et à la dissipation des composants volatiles à la surface du produit alimentaire. La fumaison peut se pratiquer sous deux formes :

- **Fumage à froid** : la température maximale est de 30°C (86°F). Le produit fumé à froid n'est pas bien cuit ; il est donc sensible à l'altération et doit être conservé au froid. Sa durée de conservation n'est pas plus

longue que celle du produit frais. De plus, le fumage à froid est difficile à maîtriser quand les températures ambiantes sont élevées.

- **Fumage à chaud :** le produit est bien cuit, mais n'est pas séché ; les températures varient entre 65°C et ± 100°C (149-212°F). Le fumage à chaud, au cours duquel les produits sont chauffés sans être séchés, prolonge la durée de conservation des produits crus de deux jours au plus.

Chapitre 4 : Techniques de conservation des aliments par les additifs alimentaires

1. Définition des additifs alimentaires

L'amendement de 1958 sur les additifs alimentaires à la loi sur les médicaments et les cosmétiques de 1938 a défini légalement un additif alimentaire, et le Comité sur la protection des aliments du Conseil national de recherches (NRC) a défini plus simplement et pratiquement un additif comme suit : "Une substance ou un mélange de substances, autres qu'une denrée alimentaire de base, qui sont présentes dans une denrée alimentaire du fait d'un aspect de la production, de la transformation, du stockage ou de l'emballage".

Sont exemptées de la réglementation sur les additifs alimentaires les substances préalablement sanctionnées, jugées sûres avant l'amendement de 1958, telles que le nitrite de sodium et le nitrite de potassium, les substances généralement reconnues comme sûres (GRAS) telles que le sel, le sucre, les épices, les vitamines et le glutamate monosodique.

Au sens le plus large Un additif alimentaire est toute substance ajoutée à un aliment.

2. Classifications des additifs alimentaires

2.1. Additifs alimentaires « directs »

Les additifs alimentaires directs peuvent être artificiels ou naturels. Les additifs alimentaires naturels comprennent : des herbes ou des épices pour ajouter de la saveur aux aliments, le vinaigre pour mariner les aliments et le sel pour conserver les viandes. Les additifs alimentaires « directs » sont souvent ajoutés pendant la transformation pour :

- Ajouter des éléments nutritifs.
- Aidez à transformer ou à préparer les aliments.
- Gardez le produit frais.
- Rendre l'aliment plus attrayant pour le consommateur.

Selon la FDA, « les additifs alimentaires directs sont ceux qui sont ajoutés à un aliment dans un but précis ». Par exemple, la gomme de xanthane utilisée dans les vinaigrettes, le lait au chocolat, les garnitures de boulangerie, les puddings et d'autres aliments pour ajouter de la texture. La plupart des additifs directs sont identifiés sur l'étiquette des ingrédients des aliments.

2.2. Additifs alimentaires « indirects »

Les additifs alimentaires « indirects » sont des substances qui peuvent être présentes dans les aliments pendant ou après leur transformation. Ils n'ont pas été utilisés ou placés dans volontairement dans les aliments. Les additifs alimentaires indirects se trouvent dans les aliments en quantités infimes en raison de son emballage, de son stockage ou de toute autre manipulation. Par exemple, des quantités infimes de substances d'emballage peuvent migrer et se retrouver dans les aliments pendant le stockage. Les fabricants d'emballages alimentaires doivent prouver à la Food and Drug Administration (FDA) que tous les matériaux entrant en contact avec les aliments sont sûrs avant qu'ils ne soient autorisés à être utilisés.

3. Principales fonctions des additifs alimentaires

3.1. Donnez aux aliments une texture lisse et homogène

Les émulsifiants empêchent les produits liquides de se séparer. Les stabilisants et les épaississants offrent une texture uniforme alors que les agents anti-agglomérants permettent aux substances de s'écouler librement.

3.2. Améliorer ou préserver la valeur nutritive

De nombreux aliments et boissons sont fortifiés et enrichis pour fournir des vitamines, des minéraux et d'autres nutriments. Des exemples d'aliments couramment enrichis sont les céréales, la margarine et le lait. Cela aide à compenser les vitamines ou les minéraux qui peuvent être faibles ou manquants dans le régime alimentaire d'une personne.

3.3. Maintenir la salubrité des aliments

Les bactéries et autres germes peuvent causer des maladies d'origine alimentaire. Les conservateurs réduisent la détérioration que ces germes peuvent causer. Certains agents de conservation aident à préserver la saveur des produits de boulangerie en empêchant les graisses et les huiles de se détériorer. Les conservateurs empêchent également les fruits frais de brunir lorsqu'ils sont exposés à l'air.

3. 4. Contrôlez l'équilibre acido-basique des aliments

Certains additifs aident à modifier l'équilibre acido-basique des aliments pour obtenir une certaine saveur ou couleur. Aussi, les agents levants qui libèrent des acides lorsqu'ils sont chauffés réagissent avec le bicarbonate de soude pour permettre aux biscuits et autres produits de boulangerie à lever.

3.5. Donnez de la couleur et rehaussez la saveur

Certains colorants améliorent l'apparence des aliments. De nombreuses épices, ainsi que des saveurs naturelles et artificielles, rehaussent le goût des aliments.

4. Approbation des additifs

Plusieurs additifs alimentaires sont utilisés par les transformateurs du secteur agroalimentaires (tableau 1). Afin d'obtenir l'approbation pour l'utilisation d'un additif, les fabricants doivent faire une demande à la FDA dans laquelle il faut :

- Fournir la preuve de l'innocuité d'un additif pour son utilisation prévu. Généralement en utilisant un laboratoire de toxicologie extérieur pour les tests.
- Fournir des données sur au moins 2 ans concernant des expérimentations d'au moins sur deux animaux, mâles et femelles (généralement des chiens et des rats).

Tableau 1 : Principaux additifs utilisés dans la conservation des aliments (**Rahman,2007**).

Additifs	Fonctions	Exemples d'utilisations	Noms figurants sur l'étiquetage
Conservateurs	Empêcher la détérioration des aliments par des bactéries, des moisissures, des champignons ou des levures(antimicrobiens); ralentir ou prévenir les changements de couleur , de goût ou de texture et retarder le rancissement (antioxydants) ; maintenir la fraîcheur.	Sauces et gelées de fruits, boissons, produits de boulangerie, charcuterie, huiles et margarines, céréales,assaisonnements, snacks, fruits et légumes .	Acide ascorbique, acide citrique, benzoate de sodium, propionate de calcium, érythorbate de sodium, nitrite de sodium, sorbate de calcium, sorbate de potassium, BHA, BHT, EDTA, tocophérols (vitamine E)
Edulcorants	Ajoutez de la douceur avec ou sans les calories supplémentaires.	Boissons, pâtisseries, confiseries, le sucre de table,	Saccharose (sucre), glucose, fructose, sorbitol, mannitol, sirop de maïs à haute teneur en fructose, saccharine, aspartame, sucralose, acésulfame.

Colorants	Compense la perte de couleur due à l'exposition à la lumière, à l'air ,températures extrêmes, l'humidité et les conditions de stockage ; rehausser les couleurs qui se produisent naturellement ; donner de la couleur aux aliments incolores.	De nombreux aliments transformés (bonbons, snacks margarine, fromage, boissons confitures/gelées, gélatines, pudding, et garnitures de tarte.	FD&C bleu n° 1 et 2, FD&C vert n° 3, FD&C rouge n° 3. Vert n° 3, FD&C Rouge n° 3 et 40 et 40, FD&C Yellow Nos. 5 et 6, Orange B, Citrus Red No. 2, extrait d'annatto, bêta-carotène, extrait de peau de raisin, extrait de cochenille ou carmin, oléorésine de paprika, couleur caramel, jus de fruits et de légumes, safran (Remarque : les additifs colorants exemptés de n'ont pas à être déclarés par leur nom sur les étiquettes mais peuvent être déclarés simplement comme colorants ou couleur ajoutée).
Émulsifiants	Permet de mélanger les ingrédients en, empêcher la séparation. Maintenir les produits émulsifiés stables, réduisent le caractère collant, contrôler la cristallisation, maintenir les ingrédients dispersés.	Sauces à salade, beurre de cacahuètes beurre d'arachide, chocolat, margarine.	Lécithine de soja, mono- et diglycérides, jaune d'œuf.
Nutriments	Remplacer les vitamines et les minéraux perdus lors de la transformation(enrichissement), ajoutent des nutriments qui	Farine, pains, céréales, riz, macaroni, margarine, sel, lait, boissons aux fruits, barres	Chlorhydrate de thiamine, riboflavine (vitamine B2), niacine, niacinamide, folate ou

	peuvent manquer dans le régime alimentaire (fortification).	énergétiques, petit-déjeuner instantané et boissons.	acide folique, bêta-carotène, iodure de potassium, fer ou sulfate ferreux ferreux, alphatocophérols, acide ascorbique, vitamine D , acides aminés (l-tryptophane, l-lysine, l-leucine, -méthionine)
Stabilisants et épaississants, liants, texturants	Produire une texture uniforme, améliorer la "sensation en bouche".	Desserts glacés, produits laitiers, gâteaux pudding et gélatine, vinaigrettes, confitures et gelées, sauces.	Gélatine, pectine, gomme de guar, carraghénane, gomme de xanthane, lactosérum.
Acidifiants	Contrôler l'acidité et l'alcalinité, prévenir la détérioration.	Boissons, surgelés, desserts congelés, chocolat, conserves à faible teneur en acide, poudre à lever.	Acide lactique, acide citrique, hydroxyde d'ammonium, carbonate de sodium.
Levure agents de levage	Promouvoir la hausse des produits de boulangerie.	Les pains et autres produits de produits de boulangerie.	Bicarbonate de soude, phosphate monocalcique, carbonate de calcium.
Anti-agglomérants agents antiadhésifs	Gardez les aliments en poudre libres, empêcher l'absorption d'humidité.	Sel, levure chimique, sucre glace.	Silicate de calcium, citrate de fer.
Humectants	Rétention de l'humidité.	Noix de coco râpée, guimauves, bonbons, confiseries	Glycérine, sorbitol.
Agents raffermissants	Maintenir la fermeté	Fruits et légumes transformés.	Chlorure de calcium, lactate de calcium.

Gaz	Servir de propulseur, aérer ou créer de la carbonatation.	Huile de cuisson en spray, crème fouettée, boissons gazeuses.	Dioxide de carbone.
Exhausteurs de goût	Valoriser les flaveurs déjà présente dans les aliments.	Beaucoup d'aliments transformés.	Glutamate monosodique (MSG), protéine de soja hydrolysée, extrait de levure autolysée, guanylate disodique

Chapitre 5 : Fermentation des aliments

1. Définition

La fermentation est un processus au cours duquel des microorganismes modifient les propriétés sensorielles et fonctionnelles d'un aliment pour produire des aliments souhaitables pour le consommateur. Ces changements permettent aussi de prolonger de la durée de conservation des aliments.

2. Fermentation comme méthode de conservation des aliments

La fermentation des aliments utilise une combinaison des trois principes suivants :

- a. Minimiser le niveau de contamination microbienne des aliments.
- b. Inhiber la croissance de la microflore contaminante.
- c. Stopper la croissance des micro-organismes contaminants.

Les microorganismes peuvent améliorer leur propre compétitivité en modifiant l'environnement de sorte qu'il devient inhibiteur ou létal pour d'autres microorganismes tout en stimulant leur propre croissance, et cette sélection est à la base de la conservation par fermentation.

La fermentation des aliments possède un ***double rôle*** :

- 1- Améliorer la sécurité des aliments en diminuant les risques d'agents pathogènes et les toxines atteignant un niveau infectieux ou toxinogène.
- 2- Prolonger la durée de conservation en inhibant la croissance des agents responsables de la détérioration, qui provoque des changements sensoriels rendant l'aliment inacceptable pour le consommateur.

3. Avantage des aliments fermentés

L'acceptabilité d'un aliment par le consommateur repose principalement sur ses propriétés sensorielles. Les propriétés sensorielles recherchées dans les aliments fermentés sont apportées par l'activité biochimique des micro-organismes. Les aliments fermentés ont été développés par de nombreuses civilisations dans le monde pour allonger la durée de vie des aliments récoltés ou abattus en quantité abondante et amélioré les propriétés sensorielles des produits peu attrayants. Cependant, une gamme d'avantages peut être obtenue à partir des fermentations alimentaires, dont certains sont :

- ✓ Assurer la sécurité alimentaire des aliments.
- ✓ Améliorer la santé du consommateur.

- ✓ Ajouter une valeur nutritionnelle par exemple, la production de vitamines ou d'acides aminés essentiels.
- ✓ Améliorer la digestibilité des nutriments.
- ✓ Modifier les propriétés sensorielles.
- ✓ Prolonger la durée de conservation.

4. Microorganismes utilisés dans les fermentations alimentaires

4.1. Bactéries lactiques

Les bactéries lactiques sont utilisées par les humains depuis l'antiquité en raison de leur capacité à produire et à conserver des aliments. Elles ont démontré leur supériorité par rapport aux autres microorganismes comme agent de conservation des denrées alimentaires comme :

- Les légumes fermentés tels que la choucroute, les concombres marinés, les radis, les carottes et les olives.
- Les laits fermentés tels que le yaourt, le kéfir et les fromages.
- Les pains fermentés au levain.
- Les saucisses fermentées.

4.1.1. Métabolisme fermentaire

Les bactéries lactiques sont groupées sur la base du métabolisme des glucides et des produits de fermentation en deux groupes : espèces homofermentaires et hétérofermentaires. Les hexoses sont préférentiellement utilisés par les homofermentaires à travers la voie Embden – Meyerhof–Parnas, alors que les hexoses et les pentoses peuvent être métabolisés par des espèces hétérofermentaires à travers la voie de la phosphokétolase. La voie du pentose phosphate peut-être également présente chez certaines bactéries lactiques homofermentaires. Les genres *Pediococcus*, *Streptococcus* et *Lactococcus* sont homofermentaires et produisent un seul produit de fermentation, l'acide lactique. Les genres *Leuconostoc* et *Lactobacillus* sont hétérofermentaires et produisent l'acide lactique en quantité appréciable avec l'éthanol, l'acétate et le CO₂.

Les principales fonctions métaboliques des bactéries lactiques impliquées dans la conservation des aliments par fermentation sont :

a. Fonction acidifiante : elle constitue la propriété métabolique la plus recherchée des bactéries lactiques utilisées dans les industries alimentaires. Elle se manifeste par la production de l'acide lactique à partir de la fermentation des hydrates de carbone au cours de la croissance bactérienne. Les conséquences, d'ordre physico-chimique et microbiologique, peuvent se résumer ainsi :

- Accumulation d'acide lactique participant à la saveur des aliments fermentés.

- Abaissement progressif du pH des milieux de culture et des matrices alimentaires.
- Limitation du risque de développement de la flore pathogène et d'altération des produits finaux.
- Déstabilisation des micelles de caséine, coagulation des laits et participation à la synérèse. Pour un ferment donné, il est nécessaire de permettre un taux d'acidification élevé et / ou d'atteindre un niveau final d'acidité prédéfini. Le niveau d'acidité dépend des spécifications du produit, qui détermineront le choix des souches.

b. Fonction aromatisante : les bactéries lactiques sont capables de produire de nombreux composés aromatiques (tels que : l' α - acétolactate, l'acétaldéhyde, le diacétyl, l'acétoïne et 2,3-butanediol, l'éthanol, l'acétate, le formiate, etc.) principalement à partir du lactose, du citrate, des acides aminés et des matières grasses. Cette fonctionnalité est particulièrement importante lors de l'élaboration des laits fermentés, des fromages frais, crèmes et beurre, dont l'arôme principal est lié à cette activité microbienne.

c. Fonction texturante : les bactéries lactiques sont utilisées dans de nombreux aliments fermentés, en particulier les produits laitiers fermentés tels que le fromage, et les laits fermentés. Les bactéries lactiques produisent de l'acide lactique, du dioxyde de carbone et du diacétyl / acétoïne qui contribuent à la saveur, à la texture et à prolonger la durée de conservation des aliments fermentés. La capacité des bactéries lactiques à synthétiser des exopolysaccharides (EPS) est importante pour la consistance et la rhéologie des produits laitiers transformés.

4.2. Bactéries acétiques

Les bactéries acétiques constituent un groupe important dans la fermentation alimentaire. L'acide acétique est l'un des plus anciens produits chimiques connus ; il tire son nom du mot latin désignant le vinaigre "acetum". Les bactéries acétiques sont composées de deux genres, *Acetobacter* et *Gluconobacter*. Les bactéries acétiques sont tolérantes aux acides, se développent bien au pH inférieur à 5.0, ce sont des bâtonnets Gram négatifs, mobiles, et sont des aérobies stricts. Ils tirent leur énergie de l'oxydation de l'éthanol en acide acétique selon la réaction suivante :



On les trouve dans la nature où l'éthanol est produit à partir des levures par la fermentation des glucides, comme dans les nectars de plantes et les fruits abîmés. D'autres bonnes sources sont les boissons alcoolisées comme le cidre frais et la bière non pasteurisée. Dans les liquides, ils se développent comme un film à la surface en raison de leur demande en oxygène.

4.3. Levures

Les levures sont largement distribuées dans des habitats naturels riches en nutriments et riches en glucides, tels que les nectars de fruits et les plantes. *Saccharomyces cerevisiae* est la levure la plus fréquemment utilisée dans

la fermentation alimentaire. *Saccharomyces cerevisiae* fermente le glucose pour produire de l'éthanol, du CO₂, de la saveur et de l'arôme selon la réaction suivante :



Levure+glucose → Alcool éthylique et dioxyde de carbone

Les autres produits métaboliques comprennent des quantités mineures d'acétate d'éthyle, d'alcools de fusel (pentanol, isopentanol et isobutanol), des composés soufrés des acides aminés et de nucléotides qui peuvent tous contribuer aux modifications sensorielles.

4.4. Moisissures

Les moisissures sont importantes pour l'industrie alimentaire en particulier dans les fermentations pour le développement de la saveur. Certaines espèces telles que *Aspergillus oryzae* sont utilisés dans les fermentations de graines de soja pour faire du miso et de la sauce soja. *Mucor* et *Rhizopus* sont également utilisés dans certaines fermentations alimentaires traditionnelles. *Rhizopus oligosporus* est considéré comme essentiel dans la production de tempeh à partir de soja. Les moisissures du genre *Penicillium* sont associées à l'affinage et la saveur distinctive des fromages. Par exemple, lors de l'affinage du Roquefort et du fromage bleu, *P. roqueforti* les saveurs distinctives se développent au fur et à mesure que les lipides du lait sont décomposés en méthyl -éthyl -acétone et les protéines sont structurellement dénaturées.

Chapitre 6 : Conservation des aliments par les irradiations ionisantes

1. Processus d'irradiation des aliments

Le processus d'irradiation consiste à exposer les aliments, qu'ils soient préemballés ou en vrac, à un niveau prédéterminé de rayonnement d'ionisation. Dans ce processus, il est important de connaître les sources de rayonnement d'ionisation et la façon dont l'énergie est quantifiée.

2. Sources des rayonnements ionisants

Il existe deux catégories de rayonnements ionisants : les rayonnements électromagnétiques et les rayonnements particulaires. Il s'agit des rayons provenant :

- Des **rayons γ** radionucléides cobalt 60 ou césium 137.
- Des **rayons X** générés par des appareils fonctionnant à un niveau d'énergie égale ou inférieur à 5 MeV.
- Des **électrons** générés par des systèmes fonctionnant à un niveau d'énergie égale ou inférieur à 10 MeV.

3. Mode d'action des rayonnements ionisants

Le rayonnement d'ionisation interagit avec un matériau biologique irradié et ionise les molécules en créant des ions positifs et négatifs par transfert d'énergie dans les électrons. Les effets du rayonnement sur les matériaux biologiques sont directs et indirects :

Dans l'action directe, les événements chimiques se produisent à la suite du dépôt d'énergie par le rayonnement sur la molécule cible, et les effets indirects se produisent à la suite par des radicaux libres formés à partir de la radiolyse de l'eau, tels que le radical hydroxyle OH, l'électron hydraté, l'atome H, le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et l'hydrogène.

4. Dose d'irradiation

La dose de rayonnement (niveau de traitement) est définie comme la quantité d'énergie absorbée par l'aliment par quantité de masse pendant l'exposition. Traditionnellement, la dose de rayonnement ionisant absorbée par un matériau irradié a été mesurée en termes de **rad**, mais elle a récemment été remplacée par le gray (Gy).

$$1\text{Gy} = 100\text{ rad}$$

Un Gy représente 1 J d'énergie absorbée par kilogramme de produit irradié et l'énergie absorbée dépend de la masse, de la densité et de l'épaisseur de l'aliment.

Les doses d'irradiation des aliments sont généralement caractérisées comme étant :

-Faibles (moins de 1 kGy),

-Moyennes (1-10 kGy)

-Élevées (plus de 10 kGy).

Différents niveaux de dose sont nécessaires pour obtenir les résultats souhaités pour les produits. Le niveau d'énergie utilisé pour l'irradiation des aliments, pour atteindre n'importe quel objectif technologique, est normalement extrêmement faible, par exemple 0,1 ou 1,0 kGy, ce qui équivaut à une énergie thermique de 0,024°C ou 0,24°C.

La Commission du Codex Alimentarius a recommandé 10 Gy comme niveau d'énergie ou dose maximale de rayonnement ionisant.

5. Application de l'irradiation ionisante

Les applications potentielles de l'irradiation sont :

- La désinfection à l'aide d'une faible dose de rayonnement de 0,15 à 0,50 kGy, pour les insectes nuisibles à différents stades de développement qui peuvent être présents dans certains aliments comme les céréales.
- La prolongation de la durée de vie par l'inhibition de la germination des pommes de terre, des oignons et de l'ail à 0,2-0,15 kGy.
- Retarder le mûrissement et la sénescence de certains fruits tropicaux comme les bananes, les avocats, les papayes et les mangues à 0,12-0,75 kGy.
- Prolonger le stockage du bœuf, de la volaille et des fruits de mer en détruisant les micro-organismes d'altération.
- Retarder l'altération microbiologique des fruits et des légumes ;
- La pasteurisation des fruits de mer, de la volaille et du bœuf en utilisant une faible dose de 1,0-2,0 kGy.
- La stérilisation de la volaille, des épices et des assaisonnements en utilisant une dose plus élevée de 93,0-20 kGy.
- L'amélioration de la qualité des produits, par exemple la diminution des facteurs de production de gaz dans le soja en utilisant une dose de 7,5 kGy.
- Réduction du besoin en nitrate pendant la production de certains produits carnés.

6. Avantages de l'ionisation

6.1. Minimiser les pertes alimentaires : la désinfestation par irradiation et la prolongation de la durée de conservation peuvent réduire les pertes alimentaires des aliments frais. Une grande partie des pertes post-récolte dues à l'infestation par les insectes peut être contrôlée et minimisée en irradiant les aliments tels que les céréales,

les légumineuses, les tubercules et les fruits. De même, la durée de conservation des tubercules et de certains fruits peut être prolongée par l'inhibition de la germination ou le retardement du mûrissement. Un avantage supplémentaire potentiel de l'application de l'irradiation aux fruits est l'augmentation du rendement en jus pendant le traitement de plusieurs produits.

6.2. Améliorer la santé publique : les produits carnés sont contaminés par des micro-organismes pathogènes ou des parasites. La décontamination de ces aliments frais par irradiation peut améliorer les problèmes de santé publique. Les salmonelles sont une des principales sources de maladies d'origine alimentaire provenant des produits de la volaille. L'utilisation de l'irradiation jusqu'à 3,0 kGy pour décontaminer la volaille, et jusqu'à 1,0 kGy pour contrôler *Trichinella spiralis* dans les carcasses de porc a été approuvée aux États-Unis

6.3. Augmenter les économies d'énergie : l'énergie utilisée pour l'irradiation des aliments est faible par rapport à la mise en conserve, la réfrigération ou la congélation. L'énergie totale utilisée pour le poulet cru découpé réfrigéré est de 17 760 kJ/kg, pour le poulet congelé de 46 600 kJ/kg (3-5 semaines de stockage congelé), et pour la viande de poulet en conserve de 20 180 kJ/kg. En comparaison, le poulet cru découpé réfrigéré et irradié nécessite un total de 17 860 kJ/kg. De plus, l'interdiction des réfrigérants pourrait entraîner une augmentation du coût des aliments réfrigérés. La combinaison de l'irradiation et de la réfrigération présente donc un fort potentiel d'économie d'énergie pendant le traitement des aliments. La réduction des besoins énergétiques peut également contribuer à la réduction globale de la pollution causée par les produits de combustion des combustibles traditionnels.

7. Effets de l'irradiation par ionisation sur les micro-organismes et les composants alimentaires

7.1. Effets sur les micro-organismes

L'irradiation par ionisation affecte les micro-organismes, tels que les bactéries, les levures et les moisissures, en provoquant des lésions dans le matériel génétique de la cellule, l'empêchant ainsi d'effectuer les processus biologiques.

Les principales cibles de l'irradiation sont les acides nucléiques et les lipides membranaires. L'altération des lipides membranaires, en particulier des lipides polyinsaturés, entraîne une perturbation des membranes et des effets délétères sur diverses fonctions membranaires, comme la perméabilité.

L'activité des enzymes membranaires peut être affectée comme effet secondaire de la dégradation des lipides membranaires. Les radiations ionisantes agissent par le biais de changements induits dans la structure de l'ADN des cellules irradiées, ce qui a pour conséquence d'empêcher la réplication.

7.2. Effets sur les composants alimentaires

En plus de la croissance microbienne, les effets de l'irradiation sur d'autres composants nutritionnels doivent être identifiés avant d'utiliser cette technologie.

7.2.1. Effet sur les protéines

De faibles doses d'irradiation peuvent provoquer une coagulation, un dépliage, voire un clivage moléculaire et une scission des acides aminés.

7.2.2. Effets sur les glucides

L'irradiation peut briser les hydrates de carbone de poids moléculaire élevé en unités plus petites, ce qui entraîne une dépolymérisation. Ce processus est responsable du ramollissement des fruits et des légumes par la dégradation des matériaux de la paroi cellulaire, comme la pectine.

7.2.3. Effet sur les lipides

L'irradiation déclenche le processus normal d'autoxydation des graisses qui donne lieu à des saveurs rances.

7.2.4. Effet sur les vitamines

L'ampleur de la destruction des vitamines C, E et K dépend de la dose utilisée. La thiamine est très labile à l'irradiation. Les pertes sont faibles avec une faible dose. L'acide ascorbique en solution est assez labile à l'irradiation mais dans les fruits et légumes il semble assez stable à de faibles doses de traitement.

Les vitamines, en particulier celles qui ont une activité antioxydante, comme A, B12, C, E, K et la thiamine, sont dégradées lorsque l'irradiation est effectuée en présence d'oxygène.

7.2.5. Effets sur les enzymes

Les enzymes présentes dans les aliments doivent être inactivées avant l'irradiation car elles sont beaucoup plus résistantes aux rayonnements que les micro-organismes. Habituellement, l'inactivation des enzymes se fait par voie thermique. En général, on peut dire que l'inactivation complète des enzymes nécessite environ 5 à 10 fois la dose requise pour la destruction des micro-organismes.

8. Aspects réglementaires et questions de sécurité

Un comité d'experts conjoint FAO/AIEA/OMS sur l'irradiation des aliments (IJECFI) ont conclu que l'irradiation des aliments jusqu'à une dose moyenne globale de 10 kGy ne présente aucun danger toxicologique et n'introduit aucun problème nutritionnel ou microbiologique particulier. Plus tard, d'autres organisations telles que Santé

Canada, la FDA, la Commission du *Codex Alimentarius* et le Comité scientifique de l'alimentation humaine de la Commission européenne ont également soutenu cette limite .

En 1993, le Conseil des Affaires Scientifiques de l'Association Médicale Américaine a approuvé l'irradiation des aliments comme un outil sûr et efficace pour augmenter la sécurité alimentaire et réduire l'incidence des maladies d'origine alimentaire, un point de vue exprimé auparavant par le Département de l'Agriculture des Etats-Unis.

Les produits alimentaires irradiés les plus courants à usage commercial sont les épices et les assaisonnements de légumes secs. La récente interdiction de l'utilisation de l'oxyde d'éthylène (réputé cancérogène) dans l'alimentation par l'Union européenne pourrait augmenter la quantité d'épices et de condiments de légumes traités par irradiation.

Les problèmes de sécurité des aliments irradiés peuvent être regroupés comme suit:

- La radioactivité résiduelle.
- La présence de radicaux libres et produits radiolytiques.
- Les propriétés cancérogènes et mutagènes.
- La qualité des nutriments.
- La polyploidie.
- La toxicité.
- La sécurité microbiologique, et la sécurité de l'opérateur pendant le traitement.

Chapitre 7 : Emballages alimentaires

En plus des méthodes directes de la conservation des aliments, comme le séchage et la congélation, d'autres méthodes telles que l'emballage et les outils de gestion de la qualité doivent être mises en œuvre dans le processus pour éviter la contamination ou la recontamination des aliments. Bien que ces mesures ne soient pas des techniques de conservation, elles peuvent jouer un rôle important dans la production d'aliments sûrs de bonne qualité.

1. Rôle de l'emballage alimentaire

1.1. Contenir le produit alimentaire : le premier rôle de l'emballage est de contenir le produit alimentaire. Les liquides, les semi-liquides et les poudres, ainsi que les solides en vrac, ne peuvent être commercialisés sans contenants appropriés.

1.2. Prolonger la durée de vie du produit alimentaire (conservation) : le deuxième rôle de l'emballage est de contrôler les conditions environnementales locales pour améliorer la durée de conservation et la sécurité alimentaire. La durée de conservation du produit est contrôlée par les caractéristiques du produit et les conditions de stockage. Les réactions qui provoquent la détérioration des aliments comprennent les changements enzymatiques, chimiques, physiques et microbiologiques. Les insectes, les parasites et les rongeurs constituent des problèmes supplémentaires.

1.3. Présentation et communication de l'information aux consommateurs (marketing) : le troisième rôle est la présentation et la communication de l'information sur le produit alimentaire aux consommateurs. Les étiquettes des denrées alimentaires sont destinées pour fournir les informations dont les consommateurs ont besoin pour pouvoir prendre les décisions nécessaires concernant leurs achats de nourriture. Il est important de présenter le produit d'une manière attrayante.

1.4. Protection du produit pendant la distribution et le transport : le quatrième rôle consiste à protéger le produit pendant son transport vers le consommateur. L'emballage fait partie du processus de distribution nécessaire pour livrer les marchandises au consommateur et faciliter la manipulation et le transport. L'emballage a également facilité les échanges du commerce international en rendant possible l'exportation et l'importation de produits alimentaires, permettant ainsi aux produits saisonniers d'être plus accessibles hors saison.

1.5 Fournir un historique des conditions de stockage : l'indicateur temps-température (ITT) est efficace pour prévoir les concentrations microbiennes et d'autres paramètres de qualité des aliments pendant le transport et le stockage. Il permet de garantir une manipulation adéquate et fournit une indication sur la qualité des produits sensibles pour lesquels le contrôle de la température est impératif pour l'efficacité et la sécurité. Les ITT sont des

étiquettes qui peuvent être appliquées sur des emballages individuels ou des cartons d'expédition pour indiquer visuellement si un produit a été exposé à des conditions de temps et de température qui nuisent à la qualité du produit. Les ITT pourraient être utilisés dans les aliments réfrigérés pour identifier les abus de température pendant le stockage et la distribution.

2. Caractéristiques de l'emballage

- Toxicité nulle.
- Grande visibilité du produit.
- Fort attrait de marketing.
- Capacité de contrôle de l'humidité et des gaz.
- Performances stables sur une large plage de températures.
- Résistance mécanique adaptée (c'est-à-dire, résistance à la compression, à l'usure et aux caractéristiques de perforation).
- Manipulation facile par les machines et coefficient de friction adapté.
- Caractéristiques de fermeture, telles que l'ouverture, le scellement, le rescellement et le versement.
- Résistance à la migration ou au lessivage de l'emballage.
- Protection contre la perte de saveur et d'odeur.
- Transmission contrôlée des gaz requis ou indésirables.

3. Types de matériaux d'emballage

À partir des peaux, des feuilles et des écorces, d'énormes progrès ont été réalisés dans le développement de matériaux d'emballage diversifiés. En général, les matériaux d'emballage peuvent être regroupés en :

3.1. Matériaux rigides : le bois, le verre, les métaux et les plastiques durs.

3.2. Matériaux flexibles : les films plastiques, les feuilles et le papier.

4. Étiquetage alimentaire

Le producteur de la denrée alimentaire se charge de la rédaction de l'étiquette en se conformant aux prescriptions réglementaires existantes pour permettre aux consommateurs de savoir exactement ce que contient le produit.

L'étiquetage des denrées alimentaires doit comporter les mentions obligatoires suivantes :

4.1. Dénomination de vente : elle permet à l'acheteur de savoir précisément de quel produit il s'agit. Exemples: "chocolat", "pain", "café"...

4.2. Liste et quantité des ingrédients : toute substance, y compris les additifs, utilisée dans la fabrication ou la préparation d'une denrée alimentaire et encore présente dans le produit fini, éventuellement sous une forme

modifiée. Lorsqu'un ingrédient ou une catégorie d'ingrédients est mis en valeur dans l'étiquetage, il faut en préciser la quantité, exprimée en pourcentage.

4.3. *Gaz d'emballage* : la mention "emballé sous atmosphère contrôlée" signifie que, pour allonger la durée de conservation de ce produit, on a remplacé dans l'emballage l'air ambiant par un autre gaz comme l'oxygène, l'azote, le CO₂, l'hélium et l'argon indiqués sous le numéro E938 à E949. Cette adjonction de gaz ne pose pas de problèmes pour la santé.

4.4. *Allergènes* : les consommateurs en particulier ceux souffrant d'allergies ou d'intolérances alimentaires doivent être informés de l'entièreté du contenu des aliments.

4.5. *Quantité nette* : la quantité nette correspond à la quantité vendue, emballage non compris. Cette mention doit être exprimée en unités de volume (litres, millilitres) pour les produits liquides et en unités de masse pour les autres produits (grammes).

4.6. *Date de péremption* : cette date indique jusqu'à quand une denrée alimentaire conserve ses propriétés spécifiques dans des conditions de conservation appropriées. Au besoin, cette date doit être accompagnée de consignes de conservation et de consommation.

- Pour les denrées périssables, on retrouve deux types de mention :

« A consommer de préférence avant le » cette mention indique une date limite d'utilisation optimale (DLUO), passé ce délai le produit n'est pas dangereux mais il n'a pas plus les propriétés spécifiques d'avant (ex : goût, odeur...).

« A consommer jusqu'au » cette mention est une date limite de consommation (DLC), au-delà les aliments périssables ne doivent pas être consommés. Le fabricant ne garantissant plus les qualités sanitaires du produit. Toute vente postérieure à la DLC est interdite.

De manière générale, il est préférable de ne pas utiliser ou consommer des produits dont on n'est pas totalement sûr, afin d'éviter tout risque d'intoxication.

4.7. *Numéro du lot.*

4.8. *Conditions particulières de conservation et d'utilisation* : il faut indiquer des conditions de conservation et d'utilisation lorsque le produit est susceptible de se dégrader s'il n'est pas correctement conservé ou utilisé. Exemples : "Conserver au réfrigérateur", "Conserver au frais et à l'abri de l'humidité"...etc.

4.9. *Nom* : nom ou raison sociale et adresse (ou numéro de téléphone) du fabricant, de l'importateur, du conditionneur ou d'un vendeur établi à l'intérieur de la Communauté. Ces indications doivent permettre à l'acheteur d'introduire une réclamation auprès du fabricant ou d'obtenir des informations plus détaillées sur le produit.

4.10. *Mode d'emploi* : le mode d'emploi doit être indiqué de façon à permettre un usage approprié de la denrée.

4.11. Valeur nutritionnelle : l'étiquetage nutritionnel fournit des informations sur la valeur nutritionnelle ou alimentaire des denrées alimentaires : la valeur énergétique, les protéines, les hydrates de carbone, les matières grasses, les vitamines, les minéraux et oligo-éléments, etc.

4.15. Code-barre : le code barre figure sur l'emballage ou sur l'étiquette, sous la forme d'une série de lignes verticales surmontant des chiffres. Ces chiffres se classent en quatre groupes. Les 2 premiers renseignent le pays d'origine du fabricant ou du distributeur, le deuxième groupe de chiffres correspond à l'entreprise productrice. Les chiffres suivants, déterminés par le producteur lui-même, constituent la référence de l'article. Le dernier chiffre est un numéro de contrôle destiné à prévenir les erreurs.

Références

- Brynjolfsson, A. (1978). Energy and food irradiation. In *Food Preservation by Irradiation*, Vol. II, Proc. Symp., Wageningen, The Netherlands. *Int. Atomic Energy Agency, Vienna*.
- Codex Alimentarius Commission. (1992). Codex Alimentarius, Vol. XIII, *Codex Maximum Limits for Pesticide Residues*, 2.
- Crawford, L. M., & Ruff, E. H. (1996). A review of the safety of cold pasteurization through irradiation. *Food Control*, 7(2), 87-97.
- Driscoll, R. H., & Paterson, J. L. (1999). Packaging and food preservation. *FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY-NEW YORK-MARCEL DEKKER-*, 687-734.
- Gänzle, M., & Gobbetti, M. (2013). Physiology and biochemistry of lactic acid bacteria. *Handbook on sourdough biotechnology*, 183-216.
- Gould, G. W. (Ed.). (1995). *New methods of food preservation*. Springer Science & Business Media.
- Joardder, M. U., & Masud, M. H. (2019). *Food preservation in developing countries: challenges and solutions* (pp. 27-55). Berlin: Springer.
- Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. (1981). Wholesomeness of irradiated foods. *Report of a joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee*.
- Kilcast, D. (1995). Food irradiation: Current problems and future potential. *International biodeterioration & biodegradation*, 36(3-4), 279-296.
- Mitchell, G. E. (1994). Irradiation preservation of meats. *Food Australia: official journal of CAFTA and AIFST*.
- Moy, J. H. (1993). *Food irradiation-lessons and prospects for world food preservation and trade* (p. 86). IPB Press, Bogor.
- Prokopov, T., & Tanchev, S. (2007). Methods of food preservation. In *Food safety: A practical and case study approach* (pp. 3-25). Springer US.
- Rahman, M. S. (Ed.). (2007). *Handbook of food preservation*. CRC press.
- Rahman, M. S., & Velez-Ruiz, J. F. (2007). Food preservation by freezing. In *Handbook of food preservation* (pp. 653-684). CRC press.
- Smith, J. S., & Pillai, S. (2004). Irradiation and food safety. *Food Technology (Chicago)*, 58(11), 48-55.
- Todaro, C. M., & Vogel, H. C. (Eds.). (2014). *Fermentation and biochemical engineering handbook*. William Andrew.
- Vaclavik, V. A., Christian, E. W., & Campbell, T. (2008). *Essentials of food science* (Vol. 42). New York: Springer.

