



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN-MOHAMED BOUDIAF

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DE BIOTECHNOLOGIE

Polycopié Pédagogique

MATIÈRE

**TECHNOLOGIE DES INDUSTRIES
AGRO-ALIMENTAIRES**

NIVEAU

PREMIÈRE ANNÉE DE MASTER

OPTION

**QUALITÉ DES PRODUITS ET SÉCURITÉ
ALIMENTAIRE**

Réalisé par

Mme BESBES Mounia

Matière enseignée pendant les Années Universitaires :

2016/2017

2017/2018

2018/2019

2019/2020



جامعة العلوم والتكنولوجيا محمد بوضياف وهران
كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم البيوتكنولوجيا
رئيس اللجنة العلمية

عبد الدائم كاتب

Présentation de la Matière

L'aliment est un besoin fondamental pour la vie ! L'agriculture, l'élevage et la pêche fournissent à l'homme une variété de produits qui doivent être conservés pour être consommés sur une plus longue période. Le développement des méthodes de conservation a contribué à la production d'aliments au niveau mondial, au point qu'aujourd'hui, on estime que la production alimentaire mondiale est suffisante pour nourrir toute l'humanité.

La transformation et la conservation des produits alimentaires nécessitent des opérations destinées à leur assurer une bonne qualité en les rendant attractifs, comestibles, délicieux et nutritifs pour le consommateur. Le stockage, la distribution et le commerce des aliments nécessitent que ceux-ci aient une durée de vie commerciale relativement longue et soient d'une bonne innocuité pour les consommateurs. La qualité de l'aliment s'apprécie à travers tous ces facteurs. Par conséquent, elle est essentielle aussi bien pour le producteur que pour le consommateur.

Il est alors important de développer des savoir-faire technologiques et des infra-structures adéquats pour satisfaire la demande d'aliments de bonne qualité. Tenant compte du déficit en œuvres universitaires liées à ce thème, j'ai cherché à enrichir notre bibliothèque par cette catégorie de titres. Par la prise en compte de l'accumulation de mes connaissances individuelles en cette matière acquises tout au long des dernières années d'études et d'enseignement, j'ai consenti de mettre entre les mains de nos chers étudiants, ce polycopié qui leur servira de référence dans la préhension de cette matière et des matières similaires dans le cadre d'autres parcours.

*L'Unité d'Enseignement fondamentale de cette matière est intitulée : **TECHNOLOGIE DES INDUSTRIES AGRO-ALIMENTAIRES**. Son programme est axé sur 4 chapitres. Le premier rappelle la technologie de la fabrication des aliments. Le deuxième traite la technologie de la transformation des aliments. Tandis que le 3ème aborde la technologie de la conservation des aliments. Le quatrième quant à lui approche la technologie du conditionnement et de l'emballage.*

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I. TECHNOLOGIE DE LA FABRICATION DES ALIMENTS	
I. Les procédés et les opérations unitaires	2
I.1. Le transfert de matière.....	2
I.1.1. Transfert des matières solides.....	2
I.1.2. Transfert des liquides ou gaz.....	2
I.2. Le transfert de chaleur.....	2
I.3. Le mélange	3
I.3.1. Matière sèche en poudre.....	3
I.3.2. Deux ou plus de deux matières, dont au moins un liquide ou un gaz.....	3
I.4. La séparation.....	4
I.4.1. Séparation mécanique.....	4
I.4.2. Méthode de séparation à l'aide de transfert de chaleur.....	4
I.5. La réduction de taille.....	5
II. Aspect de qualité.....	5
II.1. La qualité physique.....	7
II.1.1. Classification des aliments d'un point de vue physique.....	8
II.2. La qualité organoleptique.....	8
II.2.1. Saveurs/Goût.....	9
II.2.2. Arôme /Odeur.....	10
II.2.3. Les agents aromatisants.....	10
II.2.4. La couleur.....	11
II.2.5. Analyse sensorielle.....	11
III. Les conséquences nutritionnelles des traitements culinaires.....	12
III.1. Incidence des traitements domestiques ou industriels sur les glucides.....	13
III.2. Incidence des traitements domestiques ou industriels sur les protides.....	14

III.3. Incidence des traitements domestiques ou industriels sur les lipides.....	15
III.4. Incidence des traitements domestiques ou industriels sur les minéraux.....	16
III.5. Incidence des traitements domestiques ou industriels sur les vitamines.....	16

IV. Le brunissement.....18

IV.1. Le brunissement non-enzymatique : la réaction de Maillard.....	18
IV.2. Le brunissement enzymatique.....	19

CHAPITRE II. TECHNOLOGIE DE LA TRANSFORMATION DES ALIMENTS

I. Les enzymes en technologie alimentaire.....21

I.1. Les enzymes endogène et production d'aliments.....	22
---	----

II. L'utilisation d'OGM (Organismes Génétiquement Modifiés)..... 24

III. Traitement par adjonction d'additifs.....24

IV. Technologie de transformation de quelques produits alimentaires.....26

IV.1. Les céréales.....	26
IV.1.1. Les opérations de transformation des céréales.....	26
IV.2. La rizerie.....	28
IV.3. Les produits oléagineux.....	29
IV.3.1. Utilisation des huiles végétales.....	29
IV.4. L'huilerie.....	30
IV.5. Les fruits et légumes.....	30
IV.5.1. La conservation /transformation des fruits et légumes.....	31

CHAPITRE III. TECHNOLOGIE DE LA CONSERVATION DES ALIMENTS

I. La détérioration et la conservation.....32

I.1. La détérioration.....	32
I.2. La conservation.....	33
I.2.1. La conservation par la chaleur.....	33
I.2.2. La conservation par le froid.....	36
I.2.3. La conservation à sec.....	37
I.2.4. La conservation par l'addition de produits chimiques.....	39

I.2.4.1. Classification des produits chimiques de conservation.....	39
I.2.4.1.1. Les produits chimiques causant un changement de goût.....	39
I.2.4.1.2. Les produits chimiques ne causant pas de changement de goût.....	40

CHPITRE IV. TECHNOLOGIE DU CONDITIONNEMENT ET DE L'EMBALLAGE

I. Le conditionnement.....	41
I.1. Le conditionnement sous vide.....	41
I.2. Le conditionnement sous Atmosphère modifiée.....	42
II. L'emballage.....	44
II.1. Fonctions de l'emballage.....	45
II.1.1. Fonctions techniques de l'emballage.....	46
II.1.2. Fonctions communications de l'emballage.....	47
II.2. Classification des emballages.....	48
II.2.1. Emballages primaires.....	48
II.2.2. Emballages secondaires.....	48
II.2.3. Emballages tertiaires.....	48
II.3. Les différents matériaux d'emballages.....	49

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

INTRODUCTION

La science alimentaire se définit comme une combinaison des sciences fondamentales et des sciences appliquées s'occupant des diverses étapes comprises entre la production primaire des aliments végétaux et animaux et la consommation des produits finis (**Werner *et al.*, 2010**).

Le début du développement de la science alimentaire était stimulé par la nécessité de conserver les aliments. En 1810, **Nicolas Appert** a décrit la conservation des aliments dans des bocaux en verre à l'aide de la chaleur. Beaucoup plus tard en 1860, c'était **Louis Pasteur** qui a découvert un nombre d'espèces de micro-organismes et leur importance par rapport à la détérioration et la fermentation des aliments. Le développement de nouveaux produits industriels a commencé par **Mège Mouriés** en 1869 avec l'invention de la margarine comme substitut économique du beurre. L'étude des micro-organismes a été facilité par l'invention de la coloration de Gram par le Prof. **Gram** (1884) et le développement des techniques stériles par **Robert Koch** (**Dupin, 1992**).

Les préoccupations liées à l'alimentation ne sont plus seulement d'ordre quantitatif, elles sont également d'ordre qualitatif. En quelques décennies, l'agriculture et les acteurs de la chaîne de l'alimentation se sont modernisés et structurés en réseaux de processus plus ou moins complexes. Par ailleurs, l'aliment a vu son statut progressivement changer d'un produit source de nutriments à un produit plaisir, santé...L'aliment est devenu un produit poly-sensoriel et culturel dont l'origine est plus ou moins liée à un territoire selon les processus mis en œuvre au sein de la chaîne de l'alimentation. Pour accompagner ces mutations, les outils et techniques à disposition des acteurs de l'alimentation ont évolué (**Branger *et al.*, 2007**).

Ce polycopié aborde les bases théoriques, les principes, les applications pratiques des opérations unitaires de transformation alimentaire, les méthodes d'optimisation et de conservation, de conditionnement et de l'emballage. Il aborde également les questions liées à certaines technologies comme celles des céréales, des fruits et légumes, etc.

Ce polycopié est une source essentielle de connaissance et d'exercices destinés aux étudiants de master qui sont en rapport avec les thèmes de l'alimentation de la transformation et de l'innovation alimentaire au niveau des universités spécialité qualité des produits et sécurité alimentaire et à toutes autres personnes s'intéressant au domaine de l'alimentation.

I. Les procédés et les opérations unitaires

Les traitements de transformation (les opérations unitaires) des matières premières visent à obtenir des produits désirables et d'augmenter la durée de conservation. L'ensemble des traitements dans l'usine constitue le schéma de fabrication ou le diagramme technologique (flow sheet). On peut diviser les opérations unitaires en quelques groupes fondamentaux (**Bimbinet, 2007**).

- ✓ Le transfert de matières
- ✓ Le transfert de chaleur
- ✓ Le mélange de matières
- ✓ La séparation de matières
- ✓ La réduction de la taille des matières
- ✓ L'agrandissement de la taille des matières.
- ✓ L'emballage

I.1. Le transfert de matière : le transfert (ou le transport) de matière est d'une grande importance dans les procédés, la distribution, etc. ce transport constitue la connexion entre les opérations unitaires. Selon leurs propriétés, on utilise différents appareils pour le transfert des solides, des liquides ou des gaz (**Bruinsma *et al.*, 1985 ; Fellows, 1988**).

I.1.1. Transfert des matières solides : le transport des matières solides peut être effectué par charge (d'une façon discontinue) ou d'une façon continue (un courant de matière sans interruption) (**Bimbinet, 2007 ; Werner *et al.*, 2010**).

Pour le transport discontinu on utilise : Des chariots, des élévateurs, des palans, etc. Pour le transport continu, on utilise par exemple : le ruban roulant, les transporteurs à chaîne, les transporteurs à vis, les élévateurs, le transport pneumatique, le transport hydraulique

I.1.2. Transfert des liquides ou gaz : en raison de leur nature, les liquides et les gaz sont transportés par le courant à travers des tuyaux, des rigoles, des cuves,...les courants sont créés par des pompes, soit de façon mécanique, soit par des gradients de pression (**Fellows, 1988 ; Werner *et al.*, 2010**).

I.2. Le transfert de chaleur : le transfert ou transport de chaleur est très important pour le chauffage (transfert de chaleur à l'intérieur du produit), le refroidissement (transfert de chaleur du produit vers l'environnement) mais aussi pendant le stockage (quand on désire

maintenir une température constante dans un produit inerte, il faut éviter le transfert de chaleur (**Leniger et Beverloo, 1975**).

Pour le chauffage, le moyen le plus utilisé est la vapeur d'eau saturée et le transfert de chaleur s'effectue toujours des zones de température élevée aux zones de température basse, on distingue trois différents mécanismes de transfert :

- ✓ **la conduction** (surtout dans les matières solides)
- ✓ **la convection** (dans les liquides et les gaz)
- ✓ **la radiation** (ondes électromagnétiques, surtout à travers les gaz).

I.3. Le mélange

I.3.1. Matière sèche en poudre : on rencontre les poudres rarement dans l'industrie alimentaire, sauf quelques exemples comme le lait en poudre, les farines, le mélange de thé, le potage sec ou les concentrés de vitamines. En principe, il existe deux types de mélangeurs (**Bimbinet, 2007**).

-**Les mélangeurs à rotation** ; dans lesquels les poudres sont mélangées par le mouvement du vaisseau

-**Les mélangeurs stationnaires** avec vis rotative ; dans ce cas le vaisseau est stationnaire et les poudres sont mélangées par la vis.

I.3.2. Deux ou plus de deux matières, dont au moins un liquide ou un gaz

Cette situation est très répandue et donc très importante. L'opération de mélanger peut avoir divers buts :

- ✓ Moyen pour divers traitements : dissoudre, extraire, distiller, sécher.
- ✓ Améliorer le transfert de chaleur.
- ✓ Accélérer les réactions chimiques.
- ✓ Préparation d'émulsions, pâtes....

Le mélange de diverses matières peut être réalisé par **agitateur** ; et on distingue plusieurs types d'appareils qui sont souvent assez spécifiques pour certains produits par exemple les **pétrisseurs** pour les pâtes de boulangeries.

Remarque : l'opération de mélanger se combine souvent avec le transport et/ou la réduction de la taille de matière.

I.4. La séparation : comme le mélange, la séparation est une opération très importante dans les procédés de transformation et de conservation alimentaire (**Mafart et Beliard, 1992**).

I.4.1. Séparation mécanique

- **Tamissage :** séparation solide-solide selon la grandeur des particules, grandeur minimale 50 µm
- **Sédimentation :** séparation des particules solides-solides selon la grandeur des particules ou selon le poids spécifique.
- **Filtration :** séparation solide-liquide à l'aide d'un milieu de filtration poreux.
- **Centrifugation :** on utilise la centrifugation pour accélérer par exemple la filtration et la sédimentation.
- **Pressage (séparation liquide-solide) :** quand on a beaucoup de solide et peu de liquide, la pression peut être avantageuse. Par exemple on utilise la pression pour l'extraction des jus de pommes et d'autres fruits.

I.4.2. Méthode de séparation à l'aide de transfert de chaleur

- **Evaporation et concentration :** séparation solide dissout du solvant liquide, par exemple, pour la fabrication du lait concentré et la purée de tomates.
- **Séchage (séparation solide-liquide) :** le but du séchage est d'obtenir la matière solide pour avoir une plus longue durée de conservation et des produits qui sont plus faciles à emballer avec un transport bon marché.
- **Cristallisation (séparation solide-liquide par retrait de chaleur) :** rarement appliqué dans l'industrie alimentaire, sauf la sucrerie.
- **Distillation (séparation liquide-liquide) :** on l'applique pour la purification des substances volatiles comme les arômes.
- **Condensation (séparation gaz-gaz) :** comme la distillation, on l'applique pour la purification des substances volatiles.
- **Extraction (séparation d'une matière bien soluble d'une matière peu soluble à l'aide d'un solvant) :** c'est une opération appliquée pour la préparation de l'extrait de café, pour l'extraction d'huile d'arachide ou de palme et pour l'extraction de sucre à partir des cannes.

I.5. La réduction de taille : la plupart des aliments et des ingrédients alimentaires sont hétérogènes et contiennent des particules de tailles diverses. La réduction de taille des matières est pratiquée pour de nombreuses raisons, par exemple :

- Les dimensions de la matière ne conviennent pas à la consommation
- Pour obtenir un produit homogène, on le réduit en petits morceaux ou en pâte ou en émulsion
- Pour mieux mélanger avec d'autres ingrédients
- Pour mieux faire l'extraction, etc.

En fait, **moudre** c'est réduire le produit entier sans séparation de certaines parties.

II. Aspect de qualité

La qualité des aliments est de toute évidence très importante, mais en même temps c'est une notion qui est un peu vague. Une définition très générale est la suivante : la qualité des aliments peut être définie comme étant la recherche de la satisfaction du désir du consommateur (**Ishikawa, 2007**).

L'évaluation de la qualité implique des facteurs aussi bien objectifs que subjectifs, et ces facteurs sont parfois cachés, c'est-à-dire invisibles pour le consommateur. **Les facteurs subjectifs** sont en effet les propriétés organoleptiques, c'est-à-dire les propriétés perceptibles avec les organes des sens. Ce sont notamment la couleur (perceptible avec les yeux), le goût (la langue), l'arôme (le nez et la langue), l'apparence (les yeux et les mains), l'ouïe (les oreilles). Aussi subjectifs sont des facteurs psychologique déterminés par la culture et les habitudes. L'appréciation de la manière de produire et finalement le coût. Ces facteurs sont subjectifs parce que chaque homme peut les évaluer de manière différente (**Multon et al., 1994**)

Les facteurs objectifs sont des choses comme la détérioration, la salubrité (parfois cachée pour le consommateur), la stabilité et la valeur nutritionnelle (cachée pour le consommateur). Ils sont objectifs parce qu'on peut mesurer ces facteurs avec des instruments. On ne peut pas complètement séparer les facteurs subjectifs et les facteurs objectifs. Par exemple, une détérioration chimique comme l'oxydation peut avoir des conséquences sur le goût et l'arôme.

- ✓ **La détérioration** peut être de nature chimique : par exemple, l'oxydation, la réaction de Maillard ; de nature biochimique : par l'action des enzymes ; de nature physique :

par exemple, la séparation, la sédimentation (des phases dispersées) ; de nature microbiologique : par l'action des micro-organismes (bactéries, levures, moisissures).

- ✓ **La salubrité** est déterminée par la présence dans l'aliment d'agents toxiques, de micro-organismes pathogènes, d'allergènes, de contaminants chimiques.

La valeur nutritionnelle est déterminée par la teneur en calories (énergie), la teneur en protéines/acides aminés indispensables, la teneur en acides gras indispensables, la teneur en vitamines, la teneur en sels minéraux, la teneur en oligo-éléments, la digestibilité et biodisponibilité.

- ✓ **La stabilité** est l'aptitude du produit à ne pas s'altérer trop rapidement. Les conditions d'entreposage doivent être prises en compte. En effet on peut dire que la détérioration est la perte de la qualité.

Le but de la technologie alimentaire est de produire des aliments de bonne qualité (**Figure 01**). En ce qui concerne la production, cette qualité est déterminée par deux facteurs, la qualité du **plan** de fabrication, et la qualité de **la fabrication** elle-même. Le plan de fabrication est aussi dépendant de la chaîne de production des aliments (**Treillon et Lecomte, 1998**).

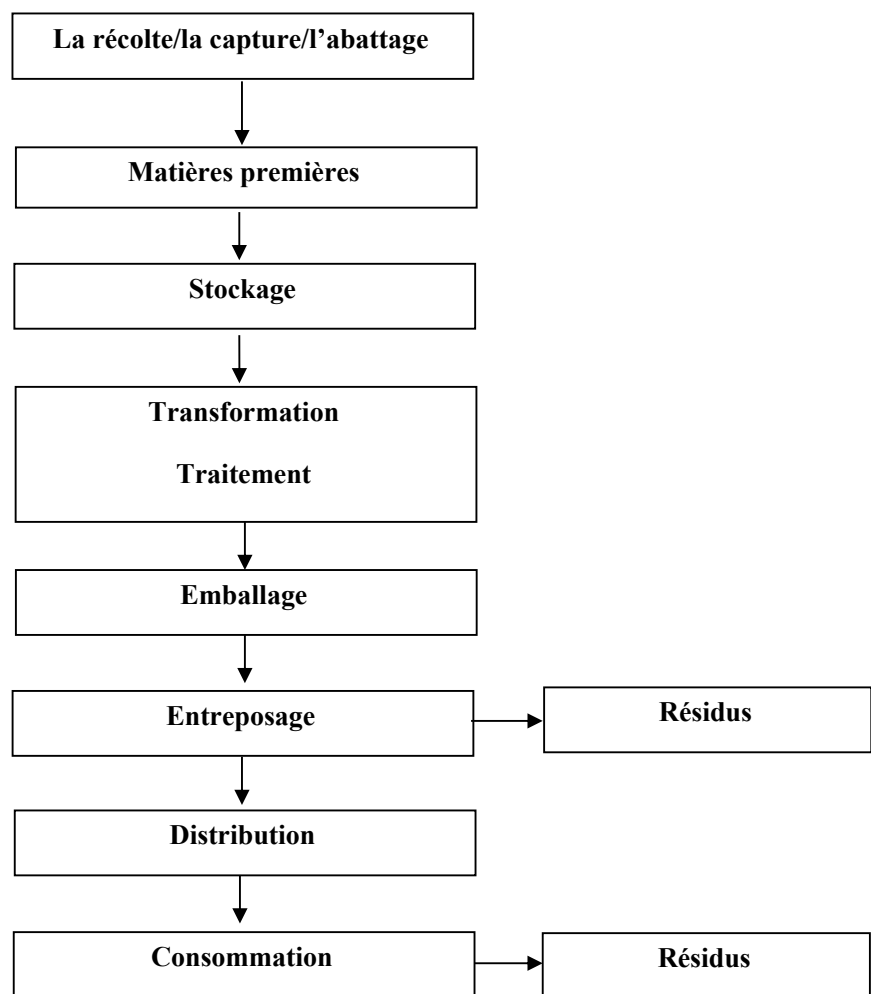


Figure 01. La chaîne de production des aliments

Chaque maillon de la chaîne alimentaire est important pour la qualité, notamment :

- la qualité des matières premières
- La qualité de la fabrication
- La qualité de la distribution et du stockage
- La qualité de la gestion d'entreprise

II.1. La qualité physique : la texture :

Le mot texture désigne ce que nous percevons, la texture est extrêmement importante parce qu'elle détermine souvent l'acceptation ou le refus d'un aliment par le consommateur.

Quelques exemples de mesures physiques utilisées pour l'évaluation de la texture sont :

La viscosité et la plasticité qui déterminent la vitesse d'écoulement, l'élasticité, la dureté, la résistance, la charge nécessaire pour extraire un liquide (par exemple un jus de fruits), l'adhésivité (se manifeste de diverses manières, par exemple par l'adhésion au matériel de préparation, par la cohésion des poudres, en collant à l'emballage, aux doigts et à certaines parties de la bouche).

II.1.1. Classification des aliments d'un point de vue physique : Si l'on classe les aliments d'après leur texture on peut distinguer (Bernard et Carlier, 1992) :

- **Les solutions :** ont une viscosité plus ou moins élevée, exemples : le coca, le jus de pomme. Quand elles sont très concentrées, elles forment une structure vitreuse (bonbons de sucre, bonbons acidulés)
- **Les suspensions :** ce sont des solutions contenant des particules insolubles (fragments de cellules végétales, grains d'amidon). Quelques exemples sont le jus d'orange.
- **Les pâtes :** sont semblables aux suspensions à la différence que dans les pâtes les particules se touchent et forment un réseau. Des exemples caractéristiques sont la purée de tomate, le pâté de foie, le beurre d'arachide.
- **Les émulsions :** sont soit des globules gras dispersés dans une phase aqueuse (huile/eau), soit des globules d'eau dispersés dans l'huile (eau/huile). Il y'a beaucoup d'aliments qui sont en effet des émulsions. Des exemples sont le lait et la mayonnaise (huile/eau), la margarine et le beurre (eau/huile).
- **Les mousses et écumes :** elles sont constituées de bulles représentant un grand volume d'air ou d'autres gaz, entourées de minces film liquides. Quelques exemples sont la crème glacée, les œufs à la neige, la mousse de chocolat, la mie de pain qui est formée par des bulles entourées par de minces film solides (gluten, amidon).
- **Les gels :** constitués de réseaux de macromolécules dans une phase aqueuse. Quelques exemples sont les confitures, la gélatine.
- **Les gels de particules :** qui forment un réseau. Des exemples sont le yaourt, l'œuf cuit, la viande

II.2. La qualité organoleptique :

Les perceptions gustatives et olfactives sont l'aboutissement de processus psychophysiologiques très complexes. Elles sont influencées par les autres perceptions sensorielles (la vision, le toucher), par la température et par diverses motivations

psychosociologiques en partie responsables du caractère agréable ou désagréable des perceptions (**Ishikawa, 2007**).

La saveur et l'arôme des aliments résultent de la stimulation simultanée de récepteurs situés dans la bouche et dans la cavité nasale, par un très grand nombre de constituants des aliments.

La nature et la structure de ces constituants, les quantités présentes dans les aliments, l'intensité et la nature des perceptions sensorielles qu'ils provoquent, seuls ou en association, font l'objet de nombreuses recherches dont le but final est l'amélioration de la flaveur (saveur+arôme (parfum)) des aliments. Cette amélioration peut être obtenue principalement par quatre voies :

- ✓ le choix de la sélection des matières premières
- ✓ Le choix des procédés technologiques de transformation

- ✓ L'addition aux aliments de substances aromatisantes naturelles ou synthétiques
- ✓ La formation, au sein même des aliments, de quantités accrues de molécules aromatisantes.

II.2.1. Saveurs/Goût

Les récepteurs du goût sont surtout localisés dans les bourgeons des papilles gustatives de la langue ; chaque bourgeon est constitué de plusieurs cellules et s'ouvre par un pore à la surface de la langue ; il est innervé par un nerf sensible non seulement aux saveurs mais aussi à d'autres stimuli comme la température, la pression (**Figure 02**). Aucun bourgeon n'est spécifique d'une seule saveur, mais répond généralement à plusieurs saveurs avec une prédominance pour l'une d'entre elles. Il existe quatre saveurs dites de base **amère, acide, salée et sucrée**, toutes hydrosolubles car pour pénétrer dans les pores des bourgeons gustatifs, elles doivent être dissoutes dans les jus alimentaires ou dans la salive (**Dupin, 1992 ; Ishikawa, 2007**).

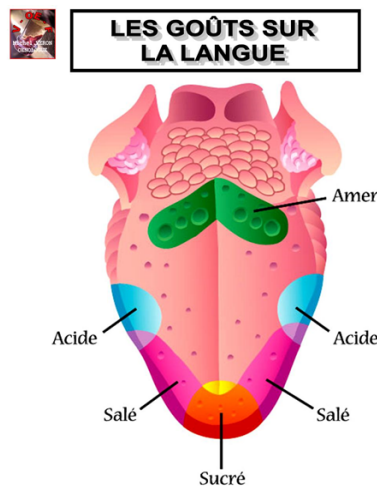


Figure 02. Localisation des récepteurs du goût et de la langue

II.2.2. Arôme /Odeur

Lors de la prise d'aliments, les substances volatiles libérées dans la bouche parviennent à la muqueuse olfactive en passant par la cavité buccale. Il existe environ 17000 substances olfactives différentes et environ 150 autres que personnes ne peut distinguer. Il y'a environ 100 mots disponibles pour désigner les différentes substances olfactives (**Richard et Multon, 1992**).

II.2.3. Les agents aromatisants

On peut dire que l'acceptation des aliments par le consommateur est surtout déterminée par le gout et l'arôme. C'est pourquoi on utilise parfois des agents aromatisants dans l'industrie alimentaire. Ces agents sont employés pour donner, renforcer ou modifier un arôme, ou encore pour masquer un arôme indésirable (**Richard, 1992**). On utilise pour cela :

*des épices et des herbes aromatiques en poudre par exemple.

*des huiles essentielles, qui présentent l'avantage d'être assez concentrées et d'avoir cependant un arôme analogue à celui de la plante d'origine ; mais elles sont sujette à l'oxydation et cela peut poser un problème.

*des extraits de fruits (cerise, fraise, pêche) obtenus par extraction. Ces extraits sont très peu concentrés en substances aromatisantes ; des extraits de vanille, obtenu de la même manière, ont de bonnes propriétés masquantes.

II.2.4. La couleur

La couleur joue un rôle important dans l'évaluation de la qualité d'un aliment. C'est une des premières impressions d'un aliment. En effet la couleur est souvent liée à la maturité, à la présence d'impuretés, à la mise en oeuvre appropriée ou défectueuse d'un traitement technologique, à de mauvaises conditions d'entreposage. A un début de détérioration par les micro-organismes (**Dupin, 1992**).

II.2.5. Analyse sensorielle

Pour juger et contrôler la qualité organoleptique des produits alimentaires, on fait appel à des critères et à des méthodes d'évaluation de divers types :

- *le jury de dégustation, c'est-à-dire l'exploitation systématique, dans des conditions statistiquement valables, des réactions de groupes représentatifs de consommateurs ou de personnes spécialement entraînées, auxquels on demande de se prononcer sur les caractères organoleptiques (**Ishikawa, 2007**) ;

- *les échantillons représentatifs, préparés et présentés de manière normalisée

- * des questions spécifiques

- * l'isolement des membres de jury

- *la possibilité de cracher les échantillons et de rincer la bouche

- *l'utilisation de codes

Il existe deux types de tests de dégustation :

- les techniques de comparaison : déceler l'existence d'une différence significative ramenant à l'analyse de variance

- les technique descriptives du profil : classement quantitatif et semi-quantitatif des caractéristiques du produit par ordre chronologique de perception : d'abord les odeurs, puis les saveurs et les arômes et enfin l'arrière gout

III. Les conséquences nutritionnelles des traitements culinaires

- **Généralités**

La qualité nutritionnelle est l'aptitude de l'aliment à bien nourrir. Cette notion comprend deux aspects :

- ✓ **Un aspect quantitatif** : c'est l'énergie stockée sous forme chimique, apportée par l'aliment à la machine physiologique.
- ✓ **Un aspect qualitatif** : c'est la recherche de l'équilibre nutritionnel de l'aliment au regard des besoins du consommateur, ou d'un enrichissement en un élément particulier (vitamine, fer...), ou encore d'une composition spéciale répondant à certaines pathologies, telles que les aliments sans sel, les produits diététiques.

Dans la plupart des cas, les traitements technologiques appliqués aux produits alimentaires se traduisent par des effets favorables sur la qualité, qu'il s'agisse de la valeur alimentaire ou de la qualité hygiénique. Les modifications favorables s'observant au niveau des qualités organoleptique et plus particulièrement au niveau des arômes, du goût, mais aussi de la couleur et de la texture. Certains de ces traitements permettent de détruire des micro-organismes dangereux, d'inactiver certains composés toxiques ou encore d'inhiber des enzymes capables de provoquer des réactions défavorables, en particulier sur la couleur ou le goût (**Dupin, 1992**).

Malheureusement, il n'est pas rare que certains de ces traitements industriels affectent d'une façon plus ou moins importante, la qualité initiale du produit. L'étude de ces modifications peut être envisagée soit en fonction du type d'aliment, soit en fonction des grandes catégories de nutriments qui entrent dans la composition de nos aliments, soit en fonction du type de traitement appliqué.

Beaucoup d'opérations unitaires, en particulier celle qui ne font pas intervenir la chaleur, ont peu ou pas d'effet sur la qualité nutritionnelle des aliments : ces opérations incluent **le mélange, le lavage, le triage, la lyophilisation et la pasteurisation**. Les opérations qui séparent intentionnellement les composants des aliments altèrent la qualité nutritionnelle de chaque fraction comparée à la matière première. Une séparation non désirée des nutriments hydrosolubles (minéraux, vitamines hydrosolubles et sucre) se produit aussi au cours de certaines opérations (**Multon, 1993**).

Le traitement par la chaleur est la cause majeure des changements de propriétés nutritionnelles des aliments avec comme conséquences :

- L'amélioration de la digestibilité
- La destruction des facteurs antinutritionnels
- Ou à l'opposé la destruction des vitamines thermolabiles ou la réduction de la valeur biologique des protéines, ou l'activation de l'oxydation de la valeur biologique des protéines, ou l'activation de l'oxydation des lipides.

L'oxydation est la seconde cause importante des changements nutritionnels dans les aliments. Ceci a lieu lorsque l'aliment est exposé à l'air, ou comme résultat de l'action de la chaleur ou des enzymes oxydatives.

L'importance des pertes de nutriments durant la transformation dépend de la valeur nutritionnelle d'un aliment dans le régime alimentaire. Certains aliments constituent une importante source de nutriments pour un grand nombre de la population les pertes en ces nutriments sont alors plus significatives dans ces aliments que dans ceux qui sont consommés en petites quantités ou ceux qui ont une faible concentration en ces nutriments (**Gerbouin-rerolle, 1993**).

III.1. Incidence des traitements domestiques ou industriels sur les glucides

Les glucides sont des composants abondants et souvent majoritaires de bon nombre de produits alimentaires. Ils sont essentiellement représentés par des polymères comme les amidons ou la cellulose, des dimères comme le saccharose ou le lactose, et par des monomères comme le glucose ou le fructose. Dans leur grande majorité, les traitements culinaires domestiques ou industriels ne se traduisent pas par des modifications importantes de leur disponibilité. Le traitement de l'amidon par la chaleur en milieu humide conduit à une gélatinisation qui correspond à une absorption d'eau, une augmentation de volume des granules d'amidon et une augmentation de la viscosité de la solution. C'est en raison de cette propriété que les amidons sont utilisés comme agents épaississants des sauces. Du point de vue nutritionnel, la gélatinisation des amidons se traduit généralement par une augmentation de leur digestibilité (**Dupin, 1992**)

Le saccharose subit peu de modifications au cours des différents traitements sauf dans le cas de sa caramélisation. Le chauffage du saccharose en milieu acide, comme c'est le cas dans la cuisson des confitures de fruits, conduit à son hydrolyse en sucres simples, ce qui ne modifie

pas sa valeur nutritionnelle. Les sucres simples, glucose et fructose, sont présents dans de nombreux produits de panification, de biscuiterie, de confiserie ou à base de fruits. Ces sucres réducteurs chauffés en présence d'acides aminés peuvent donner des **réactions de Maillard (brunissement non enzymatique)** qui rendent ceux-ci inutilisables pour l'organisme. Les réactions de Maillard peuvent se produire au cours de l'entreposage de céréales sèches si celui-ci d'effectue à des températures élevées ; mais elles sont surtout importantes dans les traitements de cuisson (**Werner *et al.*, 2010**)

L'élimination mécanique des celluloses et autres composants de fibres alimentaires (hémicelluloses et lignines) des produits végétaux (céréales, tubercules, fruits et légumes) peut se traduire par une augmentation de la digestibilité des autres nutriments et plus particulièrement des protéines, mais n'oublions pas que ces polymères jouent un rôle physiologique important en favorisant le transit intestinal. De même l'élimination d'une partie de fibres des enveloppes des graines de céréales (polissage du riz, décorticage du maïs) se fait au prix d'une perte en vitamines. Le choix d'un rendement d'extraction sera donc compromis entre une teneur élevée en vitamines et une faible disponibilité de ces mêmes vitamines et aussi des minéraux du fait de la présence de fibres. La cuisson permet de ramollir les fibres et facilite donc leur ingestion, mais elle ne permet pas leur solubilisation, ni leur hydrolyse au cours de la digestion.

III.2. Incidences des traitements domestiques ou industriels sur les protides

Beaucoup de traitements ont des effets favorables sur la valeur nutritionnelle des protéines. Cependant des modifications défavorables apparaissent parfois. Dans la majorité des cas, elles se traduisent par une diminution des teneurs en acides aminés indispensables ou par la formation de substances anti-nutritionnelles ou toxiques.

La cuisson d'aliments riches en protéines conduit à leur dénaturation, c'est-à-dire à des modifications de la forme des molécules protéiques (la structure secondaire et tertiaire des protéines), qui n'affectent pas la chaîne d'acides aminés elle-même (la structure primaire). Cette dénaturation conduit à l'arrêt de l'activité biologique de la protéine et améliore sa valeur nutritionnelle de plusieurs façons. D'abord on peut citer l'augmentation de la digestibilité du collagène (viande à cuisson longue) et de l'ovalbumine (blanc d'œuf). Ensuite, l'inactivation des protéines anti-nutritionnelles de certaines légumineuses (soja, arachide, haricots..) : les phytohémagglutinines. En dernier, l'inactivation d'une autre catégorie de protéines, les

enzymes, qui ont de nombreux effets défavorables sur les nutriments (lipases, protéases....) **(Dupin, 1992).**

Le chauffage d'un aliment protéique en présence de sucres réducteurs comme le glucose, le lactose ou le fructose conduit au brunissement de cet aliment par les réactions dites de Maillard. Leurs conséquences nutritionnelles sont nombreuses : perte de disponibilité de la lysine, apparition de composés antinutritionnels, mais des substances antioxydantes sont également formées.

Ces réactions sont d'autant plus fortes que la température est élevée et se produisent surtout dans les aliments semi-humides. Elles provoquent aussi des modifications de goût et de couleur appréciées et même recherchées pour un grand nombre de produits (biscuits, viande rôtie). Les traitements thermiques à température élevée (entre 100 et 200°C) comme la stérilisation ou la cuisson au four ou sur le feu provoquent la destruction des acides aminés, d'où une baisse de la valeur nutritionnelle de la protéine **(Cheftel *et al.*, 1985).**

III.3. Incidence des traitements domestiques ou industriels sur les lipides

Les lipides peuvent subir au cours des traitements technologiques, des préparations culinaires ou de l'entreposage, de nombreuses modifications qui affectent leur valeur nutritionnelle. Pour l'essentiel, ces modifications se produisent sur les doubles liaisons d'acides gras insaturés et provoquent ainsi des pertes d'acides gras insaturés et provoquent ainsi des pertes d'acides gras indispensables **(Dupin, 1992, Werner *et al.*, 2010).**

Les principaux phénomènes qui affectent la valeur nutritionnelle des lipides sont **l'oxydation, l'hydrolyse** (ou lipolyse) et la **décomposition par la chaleur.**

L'oxydation des lipides, c'est-à-dire le rancissement, est un phénomène qui se produit spontanément quand le lipide est au contact de l'air. Le rancissement est rapide et important pour les lipides riches en acides gras insaturés. Il se produit au cours du stockage à température ambiante ou en réfrigération et même sur les produits congelés. L'oxydation peut être limitée en protégeant le produit d'un contact avec l'air. La principale conséquence de l'oxydation est l'apparition d'une odeur et d'un goût rances qui peuvent rendre l'aliment inconsommable. Il se produit une légère perte de valeur nutritionnelle. L'addition d'agents antioxydants est souvent utilisée pour limiter les risques de rancissement.

Notons enfin que le chauffage accélère les processus d'oxydation donnant aussi des composés nocifs ; ce sont des peroxydes (**Dupin, 1992**).

L'hydrolyse des lipides est possible et le chauffage à température élevée (170-200°C) des matières grasses peut conduire à une hydrolyse. C'est notamment un problème dans le cas des fritures du fait d'apport d'eau par l'aliment à frire.

Pour éviter ces phénomènes d'hydrolyse et d'oxydation, il convient d'abord de n'utiliser en friture que des huiles très stables à la chaleur (comme l'huile d'arachide), de ne pas dépasser 180°C, de limiter le temps de chauffe et surtout le nombre de réutilisations de l'huile de friture. Sinon, on risque d'éliminer les acides gras essentiels et une accumulation des composés toxiques dans l'huile de friture.

III.4. Incidence des traitements domestiques ou industriels sur les minéraux

Des pertes en éléments et sels minéraux sont susceptibles de se produire dans nos aliments d'une part par élimination mécanique des certaines parties de l'aliment (parage des fruits, blutage des céréales), et d'autre part au cours de traitements dans l'eau (blanchiment et cuisson dans l'eau), les sels minéraux solubles diffusant alors de l'aliment vers la phase aqueuse (**Dupin, 1992**).

III.5. Incidence des traitements domestiques ou industriels sur les vitamines

L'étude du comportement des vitamines au cours de la préparation des aliments est un sujet fort complexe. D'une part les treize vitamines ont des sensibilités bien spécifiques aux différentes conditions ou agents susceptibles de les détruire. D'autre part, les technologies sont nombreuses et variées.

Dans la pratique, ce qui importe est de pouvoir estimer les teneurs en vitamines présentes dans l'aliment au moment de sa consommation. Le fait de l'exprimer en pourcentage de couverture des apports quotidiens conseillés (AC) renseigne sur l'intérêt nutritionnel de l'aliment en l'une ou l'autre des vitamines. C'est ainsi qu'il est moins grave de détruire la vitamine C présente dans le lait (1 à 2 % des AC dans 100 ml) que celle du jus d'agrumes (plus de 40% des AC dans 100 ml). De même, il importe de préserver la vitamine E des huiles végétales car elles en sont une des principales sources.

En ce qui concerne la responsabilité respective des traitements ménagers ou industriels dans les pertes en vitamines, il est fréquent qu'ils se substituent les uns aux autres. Ainsi dans le

cas des légumes, l'épluchage, le lavage et le blanchiment industriel remplacent le stockage, l'épluchage et le lavage à la maison.

Les vitamines ne constituent pas un ensemble de corps ayant une parenté chimique ; elles sont très différentes les unes des autres et chacune à sa constitution propre, bien définie, son activité spécifique, ses sources très variées. Elles ont cependant en commun le fait d'être actives en très petites quantités (**Dupin, 1992**).

Suivant leurs propriétés et les conditions de leur conservation, on peut classer les vitamines en deux grands groupes, selon leur solubilité :

*les vitamines solubles dans l'eau ou hydrosolubles : le groupe des vitamines B, et la vitamine C ;

*Les vitamines solubles dans les lipides ou liposolubles : les vitamines A, D, E, K

Cette distinction est utile, car elle permet en pratique :

-de ne pas commettre trop de confusions sur les aliments où se trouvent les vitamines. Ainsi, les vitamines liposolubles ne peuvent se trouver que dans un aliment gras ceci ne voulant pas dire que tous les aliments gras renferment toutes ces vitamines ;

-de mieux comprendre tout ce qui touche à la conservation des vitamines ; en effet, les vitamines hydrosolubles passent dans l'eau dès que l'aliment est en contact d'une importante quantité d'eau (trempage, cuisson,..) ;

-D'être attentifs à certains risques de surdosage, en ce qui concerne les vitamines liposolubles.

La stabilité des vitamines dans les aliments dépend de leur sensibilité respective aux différents facteurs physiques ou chimiques auxquels ils sont soumis pendant le traitement, le stockage ou la préparation de ces aliments. Les plus importants sont la température, l'oxygène, la lumière, l'humidité et le pH.

➤ **Les sensibilités particulières de chaque vitamine à ces différents agents sont les suivants**

- La vitamine A (Rétinol), le béta-carotène (provitamine A) et la vitamine D (calciférol) sont sensibles à l'oxydation, laquelle dépend naturellement de la présence d'oxygène et d'agents oxydants. Elle est catalysée par les traces de métaux et accentuée par la lumière et la chaleur. Les pH proches de la neutralité sont les plus favorables à la

stabilité de ces vitamines. La présence de matière grasse non oxydée joue pour elles un effet protecteur.

- La vitamine E sous forme d'acétate de tocophérol est assez stable. Par contre, les tocophérols libres sont sensibles à l'oxydation, la lumière et la chaleur, particulièrement aux pH basiques.
- La vitamine K₁ est sensible à la lumière, aux oxydants et aux bases.
- La vitamine C est particulièrement sensible à l'oxydation et par conséquent, aux catalyseurs d'oxydation (métaux), à la chaleur et à la lumière. Cette sensibilité est accentuée par l'humidité et par les pH basiques et acides forts. Les conditions les plus favorables sont les pH légèrement acides (pH 3-5), d'où l'intérêt de l'assaisonnement acide des crudités (vinaigres, ou mieux jus de citron, naturellement riche en vitamine C). La présence d'agents réducteurs (sulfites...) limite la dégradation de la vitamine C. la teneur résiduelle dans les aliments est souvent fonction de la durée de stockage.
- La vitamine B₁ craint particulièrement la chaleur et les milieux basiques, la lumière et l'humidité sont également facteur de dégradation.
- La vitamine B₂ est très sensible à la lumière et aux rayons ultra-violet. Les milieux basiques et les agents réducteurs lui sont aussi défavorables. Dans les autres conditions, elle est relativement stable.
- L'acide folique est sensible aux agents oxydants et réducteurs ; à un degré moindre, il craint la lumière, les acides et les bases.

IV. Le brunissement

IV.1. Le brunissement non-enzymatique : la réaction de Maillard

Généralité : c'est un ensemble très complexe de réactions aboutissant, dans divers aliments, à la formation de pigments bruns ou noirs, à des modifications, favorables ou indésirables, de l'odeur et de la saveur et à la perte de la valeur nutritionnelle, la réaction a été décrite par **Louis Maillard en 1912**.

Le brunissement non-enzymatique se manifeste lors des traitements technologiques ou de l'entreposage, de divers aliments voici quelques exemples : **Croute de pain, biscuits, lait stérilisé, viande cuite, rôties, pommes de terre frites (Dupin, 1992 ; Werner *et al.*, 2010).**

La réaction de Maillard est une réaction entre une fonction carbonyle (aldéhydes, cétones, sucres réducteurs) et une fonction amine (acide aminés, résidus de lysine dans les protéines).

Conséquences et prévention de la réaction de Maillard : En résumé on peut dire que la réaction de **Maillard** affecte plusieurs aspects de la qualité des aliments, notamment :

- La couleur
- L'odeur, l'arôme, la saveur, le goût
- La perte de la valeur nutritionnelle due principalement à son impact sur les protéines (diminution de lysine disponible, de la digestibilité et de la solubilité).
- Cependant elle forme des composés qui ont des propriétés antioxydantes.

Les moyens de prévenir le brunissement non enzymatique : sont relativement peu nombreux. Outre l'élimination des substrats, l'abaissement du pH, la surveillance de la température et de l'humidité, l'addition d'agents inhibiteurs est un moyen efficace de prévenir la réaction de **Maillard**. Le seul inhibiteur efficace du **brunissement non enzymatique** est jusqu'à présent, l'anhydride sulfureux, utilisé sous forme de gaz (SO₂) ou de sel (NaHSO₃).

- **L'anhydride sulfureux est utilisé dans :**
 - ✓ Les fruits déshydratés
 - ✓ Les pulpes pour confiture
 - ✓ Les jus concentrés
 - ✓ La purée déshydratée de la pomme de terre
 - ✓ Les tranches de pomme de terre déshydratées

IV.2. Le brunissement enzymatique

Définition : on appelle **brunissement enzymatique** la transformation enzymatique dans ses premières étapes, de composés phénoliques en polymères colorés, le plus souvent bruns ou noirs.

Le brunissement enzymatique s'observe chez les fruits et légumes. Il pose un problème de couleur, en particulier lorsque les tissus sont malades ou endommagés (par traitement) ; dans les tissus intacts il n'y a pas de brunissement enzymatique, car les enzymes et leurs substrats sont séparés (compartiments distincts) (**Werner *et al.*, 2010**).

Le brunissement enzymatique est indésirable dans certains aliments comme les pommes, les poires, les abricots, les pêches, les bananes, les avocats, les pommes de terre, les champignons, **le brunissement enzymatique** est désirable dans d'autres aliments tels que les dattes, le thé et le cacao.

Prévention du brunissement enzymatique : il existe de nombreux moyens pour empêcher le brunissement enzymatique, mais pour des raisons de coût, de toxicité, de réglementation ou d'effets secondaires défavorables à la qualité, seuls certains d'entre eux sont utilisés en pratique, et sont mentionnés ci-après :

- Inactivation des enzymes par la chaleur (blanchiment, pasteurisation)
- Immersion des fruits dans l'eau salée ou sucrée : limite l'accès de l'oxygène
- Abaissement du pH (acide citrique)
- Enlèvement de l'oxygène

Chapitre II TECHNOLOGIE DE LA TRANSFORMATION DES ALIMENTS

Les procédés biotechnologiques de transformation des aliments mettent en œuvre des micro-organismes vivants dont l'activité métabolique permet les transformations désirées (traditionnellement dites **fermentation**) ou des enzymes capables d'accélérer les transformations biochimiques (**Gerbouin-Rerolle, 1993**).

Fermentation alimentaire : la fabrication de fromage, yaourt et autres laitages fermentés est connue de puis très longtemps. En fait les micro-organismes améliorent ou détériorent la qualité des aliments bien avant que l'on ne découvre leurs existences. Plus tard l'Homme a exploité et accru l'action fermentative des micro-organismes. Aujourd'hui l'activité microbienne est assez bien connue. Les aliments fermentés constituent un secteur très important de l'industrie alimentaire (**Werner *et al.*, 2010**).

En générale, les différents micro-organismes utilisés en industrie alimentaires sont :

- ✓ **Les bactéries** dans les yaourts
- ✓ **Les champignons, les moisissures** (fromage et sauce de soja)
- ✓ **La levure** (le pain)

La transformation peut être de nature :

- **Physique** comme : la mouture
- **Biologique** comme l'utilisation des micro-organismes (fermentation) ou les enzymes, ou les Organismes Génétiquement Modifiés (OGM)
- **Transformation** par adjonction d'additifs

I. Les enzymes en technologie alimentaire

Les enzymes ont un double rôle en technologie alimentaire, d'une part, elles sont les catalyseurs de la cellules vivantes, accélérant les nombreuses réactions métaboliques des matières végétales et animales, elles sont présentes dans la matière première dont elle influence la saveur, la texture, la couleur, ainsi que les propriétés de conservation, d'autre part, les enzymes sont utilisées comme auxiliaires techniques pour accroître la qualité des produits, telle que les propriétés organoleptiques, ainsi que les paramètres physico-chimiques comme la viscosité, la texture, la solubilité ou encore l'aptitude à la conservation des produits alimentaires (**Dupin, 1992**).

Chapitre II TECHNOLOGIE DE LA TRANSFORMATION DES ALIMENTS

Il n'est pas nécessaire de chercher loin pour trouver un bon exemple d'enzymes : il suffit de manger quelque chose, une enzyme est déjà active, lorsque nous mâchons, l'**alpha-amylase** présente dans la salive. Lorsque les aliments atteignent notre estomac, le suc gastrique entre à son tour en action, il contient de **la pepsine** qui hydrolyse les molécules protéiques, les aliments partiellement digérés sont ensuite envoyés vers le duodénum où le suc pancréatique neutralise cette acidité et met en œuvre d'autres enzymes qui digèrent les hydrates de carbone et les protéines. **Les lipases** attaquent les graisses également à ce niveau. Les nutriments libérés par ces enzymes peuvent ensuite être absorbés au niveau de l'intestin grêle (Dupin, 1992).

▪ Un peu d'histoire

Les produits laitiers constituaient une importante part de l'alimentation des anciennes civilisations. Le fromage est préparé par coagulation du lait par l'action de divers enzymes. Dans le temps ancien, un extrait protéolytique de Figuier (un arbre fruitier, au feuillage tout à fait original) appelé **la Ficine**, étant largement utilisé dans ce but, de même que **la présure** extraite de la paroi de la quatrième poche de l'estomac du veau par exemple.

L'attendrissement de la viande est un autre procédé faisant appel à des enzymes, le jus de papaye attendrit même les morceaux de viande les plus dur, la substance active est une enzyme nommée **papaïne** encore utilisée de nos jours (Werner *et al.*, 2010).

I.1. Les enzymes endogènes et production d'aliments

Les enzymes **endogènes** sont celles qui existent dans les matières premières, par opposition aux enzymes **exogènes ou techniques**, sont ajoutées durant le traitement des aliments. La plupart des matières premières alimentaires contiennent beaucoup d'enzymes endogènes différents. De bonnes connaissances du comportement des enzymes endogènes durant les étapes de transport, de stockage et de transformation des matières premières est nécessaire pour influencer favorablement la qualité des produits alimentaires et permet particulièrement d'éviter l'usage d'additifs ou d'agents conservateurs. L'action des enzymes peut être **souhaitée** (formation d'arômes, de couleurs) ou **indésirable** (développement du mauvais goût, perte de texture...) (Tableau I).

Chapitre II TECHNOLOGIE DE LA TRANSFORMATION DES ALIMENTS

Tableau I. Exemples d'effet connus d'enzymes endogènes dans les produits alimentaires

Enzymes	sources	Effets souhaités	Effets indésirables
Alliinase	oignon	Goût typique	amertume
Polyphénol-oxydase	Banane, pomme	Arôme, couleur	brunissement
lipoxygénase	céréales	/	Faux gout
glycosidases	Fruits, cacao	arome	/

Tableau II. Exemples d'utilisation des enzymes en Technologie Alimentaire

Domaine	Enzymes	Application
Lait	Présure	Caillage du lait
	Lactase	Hydrolyse du lactose
	Lipase	Aromatisation du fromage
	catalase	conservation
Boulangerie	Protéase	Texture de pate
	Pentosanase	Blanchiment de la farine
viandes	protéase	Modification de la texture

Tableau III. Utilisation d'enzymes dans l'industrie de boissons

Enzymes	Type de produit	Action
Esterase	Jus de pomme	Développement d'arôme
Invertase	Cacao, confiserie	Développement de flaveur
Lipoxygénase	Jus de pomme, thé	Développement d'arôme
Peroxydase	Thé	Couleur et flaveur

Tableau IV. Utilisation des enzymes comme agents conservateur

Enzymes	Actions	Domaine d'application
Chitinases	Inhibition de la croissance des moisissures	Dessert, boissons, produits laitiers
Lysozyme	Inhibition de la croissance des bactéries	Fromage

II. L'utilisation d'OGM (Organismes Génétiquement Modifiés)

Un **OGM** (ou **Organisme génétiquement modifié**) est un organisme vivant (animal ou végétal) dont le patrimoine génétique a été modifié par l'Homme, de par des techniques de génie génétique.

La transgénèse : Pour modifier génétiquement un organisme, il faut avoir accès à son **ADN**. Car c'est dans son ADN que l'on va trouver les **gènes** qui contiennent les informations sur les caractères des organismes vivants (la couleur des yeux, des cheveux, etc..). La technique employée pour obtenir des OGM se nomme la **transgénèse**. Cela consiste à **introduire** un gène étranger (que l'on nomme **transgène**) dans le génome d'un organisme (**Branger et al., 2007**).

Un peu d'histoire

La culture transgénique s'est développée depuis les années 1980. Ce sont les Etats-Unis qui ont mis sur le marché le premier organisme génétiquement modifié. Il s'agissait d'une tomate, la tomate **Flavr Savr**, le but étant de **ralentir l'amollissement des tomates, qu'elles restent fermes plus longtemps**.

Les OGM sont utilisés dans **l'agriculture**, pour leur **résistance à certains parasites, champignons, maladies** mais également pour leur **résistance aux pesticides**. Les OGM actuellement disponibles permettent ainsi d'avoir des champs de maïs et de coton **résistants aux insectes**, ce qui permet de réduire les dégâts causés par ces derniers, ou encore d'avoir des plantations de soja **résistantes aux herbicides**, permettant d'éliminer les mauvaises herbes (**Dupin, 1992 ; Bringer et al., 2007**).

III. Traitement par adjonction d'additifs

Les additifs sont des substances ajoutées aux denrées alimentaires dans un but technologique (par exemple : agents de conservation, antioxydants) ou organoleptique (par exemple : arômes pour le goût, colorants pour l'aspect visuel). Certains additifs allient fonction technologique et but organoleptique (ex : épaississants et émulsifiants pour l'aspect et la texture) (**Multon, 1992 ; Richard, 1992**).

Chapitre II TECHNOLOGIE DE LA TRANSFORMATION DES ALIMENTS

➤ **Agents de conservation :**

Les agents de conservation ou conservateurs sont des substances chimiques destinées à retarder ou empêcher la prolifération des micro-organismes dans les denrées alimentaires. Les conservateurs les plus courants sont : l'acide benzoïque, l'acide sorbique, l'acide propionique.

➤ **Les antioxydants :** sont des substances chimiques destinées à combattre les altérations des matières grasses et denrées alimentaires grasse. Les principaux antioxydants sont :

- ✓ Antioxydants artificiels comme : polyphénol, l'anhydride sulfureux et les sulfites
- ✓ Antioxydants naturels comme : acide ascorbique, tocophérol

Les antioxydants sont utilisés principalement dans les huiles et les graisses, les produits à tartiner, les articles de biscuiteries et les jus de fruits contre l'oxydation.

➤ **Les colorants :**

- ✓ Colorants naturels : ex : la bétanine colorant hydrosoluble rouge extrait de la betterave rouge
- ✓ Colorants artificiels : les colorants artificiels autorisés sont tous hydrosolubles

Les colorants sont utilisés dans les articles de biscuiterie, pâtisserie, confiserie, sirop, limonade...

➤ **Les arômes :** préparations concentrées, isolées des matières végétales ou animales, utilisées pour conférer une saveur (saveur+odeur) aux denrées alimentaires :

- ✓ Arôme naturel ex : la vanille

Les arômes sont utilisés dans le domaine de confiseries, biscuiteries, dessert, glaces, boissons.....

➤ **Emulsifiants :** se sont des substances organiques qui facilitent l'homogénéisation de plusieurs constituants en formant des émulsions stables. Les émulsifiants sont largement utilisés dans la fabrication des chocolats, margarines, sauces...

➤ **Agents épaississants :** des substances organiques qui ont la propriété de former avec les denrées alimentaires des solutions visqueuses.

- ✓ Epaississant d'origine végétal terrestre comme : cellulose, pectine
- ✓ Epaississant marins : gélose

IV. Technologie de transformation de quelques produits alimentaires

IV.1. Les céréales

Les céréales occupent une place de choix dans l'alimentation humaine. Les principales céréales cultivées dans le monde sont :

Le blé tendre (*Triticum aestivum*)

Le blé dur (*Triticum durum*)

Le riz (*Oryza sativa*)

Le mil (*Panicum L.*) et le sorgho (*sorghum*) ; Le maïs (*Zea mays*).

Dans la sous région ouest-africaine, les céréales locales les plus consommées sont : le maïs, le riz, le mil et le sorgho. Les produits issus de leur transformation constituent l'un des éléments les plus importants du régime alimentaire des populations de l'Afrique Occidentale. Ces céréales et particulièrement le maïs, le mil et le sorgho y sont consommées sous forme de bouillie (koko, akloi, akloyonu), de pâte (tô, owo, makumè, kafa, akassa), de couscous (yèkè-yèkè, ciéré), de boisson (chakpalo, tchoukoutou ou burkutu, dolo) ou de galettes qui constituent les plats coutumiers de ces régions. Toutes ces préparations traditionnelles sont à base de farine, de semoules plus ou moins grossières obtenues généralement après décorticage et mouture des grains (**Baudet et al., 2011, Miller et al., 2000**)

Ces produits céréaliers apportent dans la ration alimentaire l'énergie nécessaire et certaines protéines. Ils sont cependant déficients en lysine et en vitamines A, C, D. De plus, ils ont une faible teneur en calcium, en fer et en zinc (**Boudreau, 1993**).

IV.1.1. Les opérations de transformation des céréales

Les opérations de transformation des céréales sont regroupées en 2 grandes étapes qui sont : la première transformation et la deuxième transformation (**Godon, 1993**).

✓ *La première transformation*

Elle est précédée d'un certain nombre d'opérations préliminaires.

Chapitre II TECHNOLOGIE DE LA TRANSFORMATION DES ALIMENTS

✓ *Les opérations préliminaires*

Il s'agit généralement du nettoyage et du triage

- ▶ **Le nettoyage** : Il a pour but d'éliminer les corps étrangers (graviers, débris végétaux...) mélangés aux bons grains. Les principaux matériels de nettoyage des grains de céréales sont les tarares et les nettoyeurs/séparateurs. Ces machines sont constituées de grilles superposées animées d'un mouvement alternatif de translation (secousses) et traversées par un courant d'air.
- ▶ **Le triage** : c'est une opération qui permet de calibrer les grains selon leurs dimensions (longueur, largeur, épaisseur), leur densité, leur forme, leur couleur, leur état de surface etc. Il est réalisé avec des appareils appelés trieurs ou calibreurs.

La première transformation proprement dite : Cette transformation dont le point de départ est le grain entier comprend les opérations de décortilage et de mouture (**Godon, 1998**).

- ▶ **Le décortilage** : Il consiste à enlever le péricarpe du grain, riche en fibres indigestes. Selon la structure du grain et la force du décortilage, tout ou une partie du germe peut être éliminé.
- ▶ **La mouture et le broyage** : Les opérations de mouture et broyage conduisent à la préparation des semoules ou de farines avec ou sans issues (enveloppes et sons). C'est sous cette forme que les céréales sont converties pour servir de base aux plats traditionnels ou nouveaux. Lorsque l'on réalise une semoule grossière, on parle généralement de broyage alors que pour la fabrication de farine fine, on parlera de mouture.

La seconde transformation

La seconde transformation met en œuvre des farines et des semoules pour fabriquer des aliments prêts à consommer ou des produits de cuisson et de préparation rapides (**Boudreau, 1993**).

Les opérations de seconde transformation

- ▶ **La cuisson** : pour les céréales, elle se traduit d'abord par des modifications (importantes et favorables) de leurs qualités organoleptiques (saveur, couleur...). Les réactions chimiques qui se produisent au cours de leur cuisson sont nombreuses et complexes. Il apparaît souvent des composés aromatiques et la texture de certains composants comme les protéines, l'amidon ou encore les fibres est profondément modifiée.
- ▶ **Le maltage** : Il consiste à faire germer le grain jusqu'à l'apparition d'une pousse. En général le grain est trempé pendant 16 à 24 h, ce qui lui permet d'absorber suffisamment d'humidité pour germer et pour que les pousses apparaissent.

IV.2. La rizerie

Le produit obtenu par le riziculteur n'est pas directement utilisable pour la consommation humaine; le grain est revêtu de ses enveloppes (ou balles) serties l'une contre l'autre, constituant le paddy. Le grain de riz doit être extrait par décorticage des balles qui l'enveloppent hermétiquement et que le battage n'a pu séparer; par cette opération on obtient du riz décortiqué et un sous produit, les balles. En outre, un certain pourcentage des grains de paddy est brisé et des particules légères sont détachées lors du décorticage ; les petites brisures et les particules très fines de balles et de grains constituent le son (auquel sont mélangés en grand nombre des germes détachés lors du décorticage). Commercialement, le riz décortiqué, tel qu'il sort du décortiqueur est appelé riz cargo. Le riz cargo renferme toujours une petite quantité de paddy qui a échappé au décorticage. Après décorticage, le riz décortiqué est soumis au blanchiment, qui a pour but d'enlever de la surface du grain de riz décortiqué, de l'extérieur vers l'intérieur, les différentes couches du péricarpe et la couche à aleurone. On obtient ainsi le riz blanc et un sous produit pulvérulent, les issues. Au cours des opérations de blanchiment, des grains se fragmentent en proportion plus ou moins élevée, produisant des brisures de divers calibres. Enfin, le riz blanchi peut subir un polissage ou même un glaçage, opérations ultérieures destinées à améliorer la présentation du riz (Angladette, 1966).

IV.3. Les produits oléagineux

Les huiles végétales sont produites à partir des graines des plantes que l'on trouve dans différentes régions du monde. Parmi la centaine de types de graines oléagineuses connues, un petit nombre a une signification commerciale. Ce sont : la graine de coton, l'arachide, le tournesol, la noix de coco, la noix de palme, la graine de lin, l'olive, le sésame (**Redhead, 1990**). L'importance majeure des huiles végétales est la nutrition humaine (sous forme d'huile ou de margarine). D'ailleurs, beaucoup de graines ont une teneur élevée en protéines, ce qui permet leur utilisation comme fourrage. Les huiles végétales peuvent aussi être utilisées pour d'autres applications industrielles, comme par exemple, la production de savon, de peinture, de vernis, de plastiques.

IV.3.1. Utilisation des huiles végétales

Les oléagineux sont des plantes dont les graines servent à produire, artisanalement ou industriellement, de l'huile ou des beurres. Ils ont un rôle économique pour les pays en développement. Les produits sont largement exportés et ils forment une source importante de devises et contribuent à l'équilibre alimentaire des populations, du fait de leur richesse en lipides et pour certains, en protéines (**Ucciani, 1996**).

Les huiles primaires sont souvent raffinées. L'objectif du raffinage est de maintenir ou d'améliorer les caractéristiques organoleptiques et la stabilité des corps gras alimentaires.

❖ Quelques opérations de raffinage

•**Démucilagination** : élimination des cires et des mucilages, lavage de l'huile avec de l'eau légèrement acidulée. Cette opération évite les dépôts dans les bouteilles et la formation de mousse lors de la friture.

•**Neutralisation** : élimination des acides gras libres par addition de soude. Les savons issus de cette opération peuvent être éliminés par centrifugation.

•**Décoloration** : elle est faite en utilisant de la terre décolorante. La couleur de l'huile est ainsi améliorée.

Chapitre II TECHNOLOGIE DE LA TRANSFORMATION DES ALIMENTS

•**Désodorisation** : chauffage de l'huile sous grand vide pour éliminer les odeurs indésirables.

IV.4. L'huilerie

L'extraction d'huile, à partir des graines, se fait dans l'huilerie. Bien que les conditions au cours du procédé varient selon les types et selon la qualité des graines, le procédé global se présente comme suit (**Ucciani, 1996**) :

- **Nettoyage** : Les graines sont débarrassées des impuretés métalliques à l'aide d'aimants et sont débarrassées des restes de coques par tamisage ou par séparation pneumatique.
- **Broyage** : un broyage préalable facilite la pénétration de la vapeur pendant le conditionnement. Ce broyage est souvent effectué à l'aide de rouleaux.
- **Conditionnement** : les graines sont traitées à la vapeur afin de faire éclater la plupart des cellules. Parfois, il y a déjà une partie de l'huile qui s'échappe spontanément, "l'huile vierge".
- **Extraction de l'huile** : on connaît deux procédés, l'extraction sous pression et l'extraction par solvant.
- **Raffinage de l'huile** : le raffinage de l'huile comporte la démucilage, la neutralisation, le blanchiment et la désodorisation.

IV.5. Les fruits et légumes

Les fruits et légumes constituent un groupe d'aliments végétaux dont la distinction est essentiellement d'ordre gastronomique. Du point de vue botanique, les fruits sont les structures de la plante qui, au stade de la maturité, contiennent des graines. On estime généralement que les caractères communs aux fruits sont : la richesse en sucre, l'acidité relativement élevée, le parfum prononcé. En outre, ils se consomment à l'état cru. Les légumes quant à eux, recouvrent divers types de structures végétales dont les feuilles (laitues...), les racines (carottes...) les fruits (tomates, ...). Généralement, les légumes sont caractérisés par une faible acidité (**Dupin, 1992**).

Les fruits constituent l'une des plus importantes productions végétales. Les agrumes viennent en tête, suivis par les pommes, les raisins et les ananas. L'importance accordée aux fruits et légumes est surtout liée au rôle prépondérant qu'ils jouent dans la nutrition humaine en tant qu'une des principales sources de micro-nutriments (vitamines et sels minéraux).

Chapitre II TECHNOLOGIE DE LA TRANSFORMATION DES ALIMENTS

Les pays en développement, et notamment l'Afrique, produisent des quantités importantes de fruits et légumes, généralement consommés en frais. Cependant, leur forte teneur en eau les rend sensibles aux actions des agents physico-chimiques et biologiques de dégradation. Ils sont donc très périssables et ne peuvent être conservés à l'état frais que pendant quelques jours au maximum, d'où la nécessité de les mettre sous une forme où ils peuvent se conserver plus longtemps. En Afrique, très peu de techniques de transformation des fruits et légumes à petite échelle sont développées. Toutefois, certains produits comme la tomate et l'oignon sont transformés en purée concentrée au niveau des ménages. Le piment et le gombo sont séchés avant d'être parfois moulus.

IV.5.1. La conservation /transformation des fruits et légumes

Les techniques de conservation et de transformation comportent en général deux groupes d'opérations (Anon, 1985 ; Bhalla, 1990):

- Les opérations de pré-traitement du produit à transformer (nettoyage, lavage).
- Les opérations de traitement (déshydratation, cuisson, séchage...).

Pour une bonne conservation des produits transformés, ces techniques doivent respecter dans leur mise en œuvre les exigences ci-après :

- ✓ Partir des produits sains et intacts.
- ✓ Mettre en œuvre des opérations qui permettent de détruire ou d'inhiber les agents de dégradation.
- ✓ Assurer la propreté hygiénique (stérilité) des matériels de conditionnement.
- ✓ Assurer l'étanchéité des matériels de conditionnement.

Chapitre III TECHNOLOGIE DE LA CONSERVATION DES ALIMENTS

I. La détérioration et la conservation

I.1. La détérioration

Les exigences formulés vis-à-vis de la qualité des aliments sont que :

- la composition et la structure doivent être de bonne qualité, et
- ils ne doivent pas nuire à la santé.

Les facteurs de détérioration risquent indirectement ou directement de conduire à une qualité inadéquate, ou même à des nuisances causées par les aliments, cette détérioration peut se manifester à des niveaux différents, comme suit (**Anon, 1994**) :

- les matières de base (**les ingrédients**) peuvent être insupportables (par exemple, les glands sont amers), ou même nuisibles à la santé (par exemple des champignons toxiques, ou des germes pathogènes présents dans le lait cru).
- de la même façon, les contaminations des matières de base sont insupportables (par exemple, du sable dans la farine) ou même nuisibles (des résidus de pesticides, ou des morceaux de verre).

Par exemple un goût indésirable causé par de mauvais traitements peut être insupportable ; de même l'ajout d'une concentration trop élevée de produits chimiques toxiques, ou l'introduction de germes pathogènes pendant des traitements non hygiéniques peuvent constituer un risque pour la santé (**Dupin, 1992**).

La mauvaise qualité se manifestant pendant le stockage peut causer

***L'inappétence** (une détérioration perceptible avec les sens, par exemple, la putréfaction, la fermentation, l'aigreur, ou la présence des moisissures). Ces aliments mal acceptés ne sont pas nécessairement nuisibles à la santé.

***La nuisance** (la situation la plus dangereuse est une détérioration nuisible qui n'est pas accompagnée d'un mauvais goût ou d'une mauvaise odeur).

Tandis que la qualité et la salubrité des matières premières est d'une grande importance, la technologie alimentaire est orientée de manière à éviter les détériorations pendant les procédés de transformation, la conservation, le stockage et la distribution des aliments.

I.2. La conservation

Le but de la conservation est d'améliorer la durabilité ou de prolonger la période possible de garde. Si on veut pouvoir limiter ou supprimer les mécanismes de dégradation des aliments, on doit donc jouer sur les facteurs qui y contribuent directement ou indirectement, par exemple à travers un développement microbien : la température, le pH, l'activité de l'eau et l'oxygène. De façon empirique, toutes les techniques élaborées par l'homme depuis des millénaires influent sur ces mêmes facteurs en vue de la conservation des aliments (**Mafart, 1991**).

Les méthodes visent en général à éviter la détérioration microbienne qui est la plus importante. On peut tuer tous les micro-organismes ou éviter que les micro-organismes vivants puissent se multiplier.

Tous les micro-organismes sont tués par stérilisation (normalement 15min à 121 °C). Au cours du procédé, on essaie d'éviter que les aliments soient changés. Après une stérilisation il faut protéger l'aliment contre une réinfection. Tous les micro-organismes ne sont pas tués pendant la pasteurisation, mais au moins les germes pathogènes le sont. Souvent, il faut garder l'aliment dans un réfrigérateur après traitement, parce que les spores qui sont aussi capables de détériorer l'aliment, ne sont pas détruites (**Mafart, 1998**).

Une autre méthode est de ne pas tuer tous les micro-organismes, mais de changer l'aliment plus au moins, de façon telle que les germes ne se multiplient plus (**Bactériostatique** : le micro-organisme ne meurt pas, mais il ne se multiplie plus ; **bactéricide** : le micro-organisme est tué) ; parfois, on protège un aliment contre la réinfection.

Il y'a une grande variété de combinaisons des méthodes décrites. Il faut remarquer que la prévention d'une infection microbienne est très remarquée que la prévention d'une infection microbienne est très importante. Souvent des mesures préventives par une pratique hygiénique (désinfection, nettoyage) peuvent être efficaces.

I.2.1. La conservation par la chaleur

Deux types de phénomènes de dégradation des aliments peuvent être résolus par l'action des températures élevées : les réactions enzymatiques et l'action des micro-organismes défavorables comme illustrée au (**Tableau V**)

Chapitre III TECHNOLOGIE DE LA CONSERVATION DES ALIMENTS

Tableau V. Opérations Thermiques

Traitement	Description
Stérilisation	On traite le produit de manière telle que l'on ne peut plus rencontrer des micro-organismes ou de spores vivants.
Pasteurisation	On chauffe le produit à une température inférieure à 100°C. Tous les micro-organismes peu résistants à la chaleur sont tués (au moins les germes pathogènes).
Demi-conserve	L'aliment est partiellement conservé par exemple par une combinaison de pasteurisation et du sel, d'acide ou de produits de conservation. Les demi-conserves doivent être transportées et stockées à des températures inférieures à 10°C.
blanchiment	Un traitement thermique qui permet d'inactiver les enzymes.

De nombreuses enzymes présentes naturellement dans certains produits alimentaires catalysent des réactions entraînant des modifications défavorables de la qualité. Ces réactions commencent très tôt, dès la cueillette par exemple dans le cas des légumes verts. Le **blanchiment** est un traitement thermique préalable pour les aliments ensuite congelés, déshydratés ou pasteurisés. Ce traitement permet d'inactiver les enzymes en soumettant le produit à un bain d'eau chaude ou de vapeur pendant une durée courte (moins de cinq minutes) et à une température modérée (entre 60 et 100 °C) (Mafart, 1991).

- Le **blanchiment** offre parfois un autre intérêt, notamment celui d'améliorer la texture. Ainsi le blanchiment des tomates permet de préserver la couleur rouge et de ramollir les tissus, ce qui facilite les opérations ultérieures (obtention de sauce, de concentré ou de jus) en maintenant la couleur de la tomate fraîche.

Les haricots verts soumis à un blanchiment avant congélation gardent une belle couleur verte et sont rendus plus tendres. Pour les produits qui seront ensuite séchés, le blanchiment a aussi l'avantage d'augmenter la perméabilité des parois cellulaires du végétal et donc de faciliter à la fois le séchage et la réhydratation ultérieure. Enfin l'opération de blanchiment favorise l'élimination de l'air et des autres gaz dans l'aliment et contribue ainsi à réduire les phénomènes d'oxydation, notamment dans les boîtes métalliques (Mafart, 1998).

Chapitre III TECHNOLOGIE DE LA CONSERVATION DES ALIMENTS

- ▶ **La pasteurisation** vise une destruction sélective de la flore microbienne présente dans l'aliment. Elle s'effectue à des températures modérées (**Tableau VI**) et les micro-organismes sporulés ne sont en général pas détruits. De ce fait, on ne fait le choix d'une pasteurisation que dans certains cas ; seulement quand l'aliment offre peu de risques bactériologiques du fait de ses caractéristiques propres (par exemple l'acidité dans les jus de fruits) ou bien si on ne cherche à éliminer que quelques organismes pathogènes (comme *Mycobacterium tuberculosis* dans le lait). Un traitement plus long ou à plus haute température risque de lui faire perdre ses qualités organoleptiques ((Mafart, 1998 ; Werner *et al.*, 2010).

Tableau VI. Quelques barèmes de pasteurisation

Produit	Durée	Température
lait	30 min	62°C
	15 secondes	72°C
Jus de pomme en bouteille	30 min	77°C
Jus de pomme en vrac	30-60 secondes	88°C

- ▶ **La stérilisation** est plus sévère que la pasteurisation en permettant la destruction totale de tous les micro-organismes, y compris les sporulés. La stérilisation fait l'emploi d'une combinaison temps-température plus élevée que la pasteurisation. Une fois stérilisés et sous emballage hermétique, les aliments peuvent se conserver plusieurs mois, voire plusieurs années sans altération s'ils sont exposés à l'abri d'une chaleur excessive. Les barèmes de stérilisation sont fonction des caractéristiques de l'aliment (composition, pH, charge microbienne initiale...) ; ils peuvent varier entre 15 minutes à 121°C et quelques secondes à 140°C. Le principe est comme tout traitement thermique ; plus la température est élevée, plus le temps est court pour arriver au même résultat (Werner *et al.*, 2010).

C'est **Nicolas Appert** qui en 1810 a mis au point un procédé de conservation de jus de fruits par chauffage dans des flacons hermétiquement clos. Puis en 1873, Pasteur a effectué d'autres travaux qui ont donné naissance à la microbiologie alimentaire.

- ▶ **L'appertisation** est un procédé de conservation qui consiste à enfermer un aliment dans un récipient hermétiquement fermé et à le soumettre à un chauffage. De cette façon la destruction des micro-organismes et des enzymes susceptibles d'altérer l'aliment est assurée.

I.2.2. La conservation par le froid

La méthode de conservation par le froid est devenue importante depuis l'invention et l'exploitation de la technique du froid (froid artificiel). On peut utiliser le froid comme moyen de conservation définitive mais aussi pour une conservation temporaire, par exemple pendant le transport. L'effet de conservation par le froid est causé surtout par le freinage du métabolisme des micro-organismes. Les micro-organismes ne sont pas tués c'est pour cette raison que le froid doit être continu. Chaque interruption (augmentation de la température) réactive les micro-organismes ((Mafart, 1991)

Tandis que les micro-organismes psychrophiles survivent encore à -5°C , toute vie microbienne est arrêtée à des températures inférieures à -7°C .

Les autres processus de détérioration (réactions enzymatiques, chimiques, physico-chimiques) ne peuvent pas être arrêtés au dessus de -30°C , mais en pratique, on applique la température de -20°C comme température finale.

Remarque : Quand on congèle les aliments (ou d'autres chose), il faut passer de la zone de 0°C à -5°C le plus rapidement possible, car dans cette zone a lieu la cristallisation de la glace.

Pendant la réfrigération classique, on obtient de gros cristaux de glace qui déchirent les cellules. Après la décongélation du produit, il y a une grande perte de substances solubles qui s'échappent avec le liquide des cellules. Avec la congélation rapide, on essaye d'éliminer ce problème.

La réfrigération comme **la congélation**, est une technique de conservation qui nécessite une excellente qualité de la matière première car elle permet qu'un ralentissement de la vitesse de détérioration. Il importe donc de ne réfrigérer que des aliments en bon état et frais. Il est par ailleurs indispensable de procéder à une réfrigération le plutôt possible après une récolte ou abattage avant que le produit évolue ou se dégrade (Branger *et al.*, 2007, Werner *et al.*, 2010).

Le fait de stocker des aliments en général humides dans une atmosphère réfrigérée peut conduire à un rééquilibrage de l'activité de l'eau. Ce rééquilibrage peut être évité soit en emballant les aliments avec des matériaux hermétiques à l'eau, soit en maintenant l'air à une certaine humidité.

Chapitre III TECHNOLOGIE DE LA CONSERVATION DES ALIMENTS

Le stockage de produits alimentaires différents dans un même entrepôt doit être évité car il conduit parfois à des imprégnations d'odeurs. Le melon, le beurre, le fromage frais par exemple captent très facilement des odeurs d'autres aliments stockés à leur voisinage immédiat. L'hygiène dans les entrepôts est très importante, aussi bien que la construction d'un aménagement intérieur.

I.2.3. La conservation à sec

Sécher est une des méthodes les plus anciennes de conservation. Le but du séchage a toujours été d'obtenir un produit léger et stable, qu'on peut facilement emballer et garder. La technique classique consiste à sécher le produit à l'aide de l'air ambiant préalablement séché par la radiation solaire. Dans certain régions du monde, par exemple au Mali et au Burkina-Faso, cette méthode est très utilisée. Cependant, la plus grande partie de la production des aliments séchés est effectuée par des méthodes artificielles (**Mafart, 1991**).

Dans les méthodes de conservation, on peut comparer le séchage avec l'utilisation du froid ; les micro-organismes ne sont pas tués, seulement les conditions sont modifiées.

Souvent, on améliore la conservation des produits séchés par le fumage ou l'emballage sous un gaz inerte. Ce sont toujours les propriétés caractéristiques de l'aliment qui doivent déterminer les conditions de séchage. Les conditions les plus favorables sont une température basse du produit et des périodes courtes de séchage. De cette manière, les changements chimiques sont freinés le plus fortement possible.

De nombreux facteurs interviennent au cours du séchage, déterminant sa rapidité et la qualité du produit obtenu :

- ✓ la température de l'air
- ✓ le débit de l'air permettant l'évacuation de la vapeur d'eau formée
- ✓ les caractéristiques du produit (composition, texture,...)
- ✓ les dimensions du produit (épaisseur, etc.).

En général, la perte en eau est rapide au début puis se ralentit et si l'opération se prolonge, il n'y a plus d'eau dans l'aliment et donc plus de déshydratation.

Chapitre III TECHNOLOGIE DE LA CONSERVATION DES ALIMENTS

En terme quantitatifs, ce sont les céréales et autres grains et graines (légumineuses, café, cacao...) qui sont les plus concernés car leur conservation et leur stockage ne sont possible qu'après séchage.

A maturité, les divers grains et graines ont un taux d'humidité élevé, 30 à 40%. Après la récolte, les grains, organes végétaux, continuent à respirer et plus ils sont humides plus la respiration est intense et le dégagement de chaleur important. En stockant un grain humide, la température augmente rapidement, des moisissures et des fermentations se développent et les grains se prennent en masse. Les insectes, eux, peuvent se développer sur des grains d'humidité inférieure à 10-11%. La germination n'a lieu qu'au-delà d'une certaine teneur en eau du grain (18-25%). Tous ces phénomènes sont favorisés par des températures relativement élevées (20 à 35°C) et les conditions de la plupart des pays en développement leur sont donc propices (**Mafart, 1998, Werner, 2010**).

De ce fait, la durée de conservation d'un grain est fonction de la température ambiante et de l'humidité du grain. Ainsi à la température de 25°C, le grain de maïs peut être stocké à 22% d'humidité pendant 7 jours au plus ou à 12% d'humidité pendant plusieurs mois. La teneur en eau du grain se maintient en équilibre avec l'humidité relative de l'air dans laquelle il est stocké. Si l'air est humide, le grain se ré-humidifie. A l'inverse, dans une atmosphère très sèche, le grain peut perdre un peu d'eau au cours du stockage (**Branger et al., 2007**).

On peut généralement classer les produits à sécher en plusieurs groupes :

- les substances simples, souvent des matières purifiées telles que des saccharides, de l'amidon, etc. en principe, les techniques de séchage nécessaires sont les plus simples.
- les substances liquides (solutions, suspensions, émulsions, etc.), qui sont souvent séchées par pulvérisation ou par des plaques chauffées.
- la plupart des aliments qui ont gardé leurs propres structures, tels que la viande, le poisson, les légumes blanchis, le café, les fruits, etc. la période de séchage du dernier groupe d'aliments est très longue étant donné l'hétérogénéité du produit et les phénomènes de migration d'humidité du centre du produit vers l'extérieur.

La conservation par lyophilisation ou le séchage par sublimation

Cette technique est utilisée aussi bien pour les matières solides que pour les produits liquides. C'est une méthode de séchage assez différente des autres techniques. Le séchage par

sublimation est une méthode de conservation où l'on retire l'humidité du produit par sublimation des cristaux de glace dans le produit congelé. L'eau passe alors directement de la phase solide (glace) à la phase gazeuse (vapeur d'eau).

Il y a des différences essentielles entre le séchage par sublimation et le séchage classique (où l'eau est évaporée) qui peuvent influencer considérablement l'aspect extérieur, la couleur, l'odeur, la valeur nutritive, les propriétés de réhydratation et la consistance du produit (Mafart, 1998).

▪ Applications

Ce système assez cher ne peut être profitable pour le producteur que pour la conservation des produits dont le séchage ne peut être réalisé de manière aussi satisfaisante par un autre procédé. Quelques exemples de produits qui sont conservés par le séchage par sublimation : l'extrait de café (Nescafé), la viande de poulet, les champignons, le sérum du sang (application médicale) (Branger *et al.*, 2007)

I.2.4. La conservation par l'addition de produits chimiques

Comme nous l'avons vu, toutes les méthodes importantes de conservation causent des changements plus ou moins considérables dans les aliments. Afin de diminuer ces changements, qui sont souvent indésirables, on peut appliquer un traitement de conservation plus léger en combinaison avec l'addition de certains produits chimiques. L'action de ces produits chimiques consiste généralement dans la réduction de la croissance microbienne (Mafart, 1998).

I.2.4.1. Classification des produits chimiques de conservation

Selon leurs modes d'action et les effets qu'ils causent dans les aliments, on peut classer les produits chimiques de conservation comme suit :

I.2.4.1.1. Les produits chimiques causant un changement de goût

Dans ce groupe, on trouve les produits qu'il faut ajouter en grandes quantités afin d'obtenir une action de conservation (qui ne sera d'ailleurs jamais de 10%). Du fait de ces concentrations élevées (acides 1-5 %, sel, sucre) le goût du produit est souvent tellement modifié que l'on ne peut utiliser ces produits de conservation que dans des cas spécifiques. Les produits suivants sont classés selon leur type d'action (Mafart, 1991):

- **diminution de l'activité de l'eau** : On obtient une diminution de l'activité de l'eau par l'addition de quantités appropriées de produits suivants :
 - ▶ du sel (NaCl ou KNO₃), (poisson, viande)
 - ▶ des sucres (sucre de canne, glucose, etc.), (fruits)
- **diminution du pH** : le principe de l'action de conservation consiste dans la réduction de la multiplication des bactéries qui causent la putréfaction. Celles-ci ne peuvent plus survivre à des valeurs de pH inférieures à 4,5. Cependant, il y a encore d'autres micro-organismes qui sont aussi capables de survivre à des valeurs de pH inférieures à 3,0 (un certain nombre de levures et champignons, ensuite les bactéries acido-lactiques). L'effet est causé par les acides non dissociés. La diminution du pH s'effectue par :
 - ▶ l'addition d'acide, surtout l'acide acétique (mise en vinaigre des olives, de la viande), mais aussi l'acide citrique, tartrique, lactique et propionique.
 - ▶ la formation d'acide par des micro-organismes, surtout la formation de l'acide lactique dans les produits fermentés tels que les céréales fermentées, les saucisses dures, le yaourt, le fromage.

I.2.4.1.2. Les produits chimiques ne causant pas de changement de goût

Dans ce groupe, on trouve les produits qui ont une action de freinage du métabolisme des micro-organismes. Les enzymes responsables du métabolisme sont bloquées. Parce que les enzymes exercent leur action à des concentrations basses, les inhibiteurs doivent aussi avoir une grande influence à des basses concentrations (0,001-0,1%). C'est pour cette raison qu'ils ne sont pas capables de changer le goût des aliments. En principe donc, ces produits auront une utilisation universelle (**Mafart, 1991, Mafart, 1998**). Cependant, beaucoup de ces substances de conservation sont nuisibles à la santé humaine. Avant que le produit de conservation soit admis dans les aliments, il faut démontrer :

- l'effet de conservation de ce produit dans l'aliment donné
- L'innocuité du produit pour la santé humaine. Pour cela il faut démontrer à l'aide d'expérience de longue durée (réalisée sur des animaux ou tissus vivants) que les produits ne sont ni d'une toxicité chronique, ni carcinogènes.

I. Le conditionnement

Le mot conditionnement vient du latin « condere » qui signifie stabiliser. Le conditionnement peut être défini comme une technique de présentation d'un produit en adéquation avec les exigences de qualité et de praticité de la distribution et des consommateurs. Le conditionnement des produits alimentaires peut se faire selon le type de produit par **remplissage** (produits liquide), **par comptage** (pain, biscotte, fromage) et par **pesée**. Il peut éventuellement être effectué dans des conditions aseptiques en fonction des traitements de stabilisation. Le conditionnement aseptique peut s'appliquer soit à des produits frais, soit à des produits préalablement pasteurisés ou stériliser, il permet de réduire les contaminations microbiennes ou de limiter le développement microbien et certaines réactions chimiques altérant la qualité sensorielle (**Bimbinet, 2007 ; Werner et al., 2010**).

Le conditionnement sous vide et **le conditionnement sous atmosphère modifiée** sont en plein développement en agroalimentaire car ils sont bien adaptés aux grandes tendances du marché (allongement de la durée de conservation des produits frais, amélioration de la qualité) en outre les progrès réalisés dans le domaine des matériaux d'emballage ont permis d'améliorer leur praticité) (**Werner et al., 2010**).

I.1. Le conditionnement sous vide

Fait son apparition dans les années 1960. L'objectif est de supprimer de l'environnement de l'aliment le principal agent d'altération « l'oxygène » et le remplacé par du gaz carbonique. L'association de ces deux effets (disparition de l'oxygène et l'accumulation du gaz carbonique) est responsable de l'inhibition des micro-organismes aérobies d'altération et des phénomènes d'oxydation.

Exemple : la viande

Quel sont les différentes altérations dans la viande ?

- Odeur (os), verdissement de la viande (perte de fraîcheur)
- Oxydation : La myoglobine (est une protéine qui transporte l'oxygène au niveau des muscle) qui colore la viande devient d'une couleur brune et ou on observe du rancissement au niveau de la graisse (oxydation des acides gras).
- Exsudation : épanchement d'un liquide

Quel est l'objectif du conditionnement sous vide ?

Limiter le développement de bactéries responsables d'altération et retarder dans le temps le phénomène d'oxydation donc la formation d'odeur et de gout anormaux.

Conséquences du conditionnement sous vide sur la viande

Changement de couleur : du faite de l'absence d'O₂ le pigment qui colore la viande (la myoglobine) prend une teinte sombre, c'est un phénomène normal.

Remarque : si le conditionnement est de bonne qualité une fois remise à l'air, la viande prend sa couleur rouge vif en quelque minute car le pigment se réoxygène.

Apparition d'odeur : une viande restée quelques temps sous vide présente, juste à l'ouverture, une odeur acide, un peu piquante très caractéristique, cette odeur est tout à fait normal et disparaît rapidement (odeur forte car le conditionnement sous vide a concentré les arômes).

Le conditionnement sous vide représente néanmoins quelques inconvénients comme le fait de favoriser le développement des micro-organismes anaérobies ou encore dans la viande rouge d'altérer sa couleur.

I.2. Le conditionnement sous Atmosphère modifiée

Ce mode de conditionnement apparait pour la première fois en France au milieu des années 1970. Il a pour objectif d'allonger la durée de vie du produit, de préserver ces qualités organoleptiques et de le présenter de manière plus attractive en limitant les dégradations physiques, enzymatiques, biochimiques et microbiennes (**Bimbinet, 2007**).

❖ **Rôle des gaz** : l'atmosphère sous vide fait appel à trois gaz principaux : **l'azote, le dioxyde de carbone et l'oxygène**. Il est également possible d'utiliser l'hélium, l'argon et le protoxyde d'azote. La proportion de gaz dans l'emballage doit représenter de l'ordre du tiers du volume. Les deux tiers restants étant occupés par le produit.

➤ **L'azote (N₂)**: il est utilisé principalement pour remplacer l'oxygène dans l'emballage afin de réduire les phénomènes d'oxydation des pigments des aromes et de matières grasses. C'est un gaz inerte et inodore et peu soluble dans l'eau ou les graisses. Il est également utiliser pour éviter l'écrasement de l'emballage (paquet de chips par exemple).

Chapitre IV TECHNOLOGIE DU CONDITIONNEMENT ET DE L'EMBALLAGE

- **Le dioxyde de carbone (CO₂)** : le CO₂ à haute concentration a un effet inhibiteur auquel les moisissures et les bactéries de genre *Pseudomonas* et *Achromobacter* sont très sensibles. L'effet inhibiteur du CO₂ augmente lorsque la température diminue en raison de sa meilleure solubilité dans la phase liquide du produit pour cela il est bien recommandé de bien réfrigérer les produits conditionnés sous atmosphère enrichie en CO₂.
- **L'oxygène (O₂)** : il est utilisé dans certaines applications comme le cas de la viande rouge dont la couleur ne peut être maintenue qu'en présence d'O₂, ou encore du poisson et des fruits de mer pour éviter le développement de germes pathogènes anaérobies de type *Clostridium*.

AUTRES GAZ

- **L'hélium (He)** : est un gaz léger on peut l'intégrer dans le mélange gazeux afin de détecter les fuites.
- **L'argon (Ar)** : possède des propriétés physiques intéressantes, il est parfaitement inerte, il est plus dense et plus soluble que l'azote ce qui permet une meilleure efficacité de purge. Par ailleurs il inhibe fortement la respiration des végétaux.
- **Le protoxyde d'azote (N₂O)** : est un gaz utilisé pour le foisonnement des crèmes et des mousses, il possède un pouvoir cicatrisant sur le derme des fruits et de conservation des végétaux

Chapitre IV TECHNOLOGIE DU CONDITIONNEMENT ET DE L'EMBALLAGE

Tableau VII. Principales propriétés de gaz utilisés en alimentaire

	N ₂	CO ₂	O ₂	He	Ar	N ₂ O
Résistance mécanique	×					
Préservation de couleur			×			
Antioxydant	×					
Solubilité		×				
Détection de fuite				×		
Anti-organismes aérobies		×				
Anti-organismes anaérobies			×			
Oxygénation foisonnement			×			×
Efficacité de purge					×	

Réglementation : la Réglementation Européenne impose par la Directive la mention « **conditionné sous atmosphère protectrice** » sur l'étiquetage et définit les gaz de conditionnement comme des additifs et n'autorise que le dioxyde de carbone, l'azote, l'oxygène, l'argon, l'hélium, et le protoxyde d'azote en tant que gaz de conditionnement.

II. L'emballage

Tout au long de la filière, au cours des étapes de transport, de stockage, de commercialisation, les aliments sont le plus souvent protégés par un conditionnement qui les met à l'abri des chocs mécaniques, de la contamination microbienne ambiante, parfois de l'air, de la chaleur, de la lumière...l'emballage donne une présentation valorisante (**Multon, 1998**).

Chapitre IV TECHNOLOGIE DU CONDITIONNEMENT ET DE L'EMBALLAGE

L'emballage est un support d'information et de communication qui peut véhiculer des images

La directive Européenne donne la définition officielle d'un emballage il s'agit de : « **tout produit constitué de matériaux de toute nature, destiné à contenir et à protéger des marchandises données, allant des matières premières aux produits finis, à permettre leur manutention et leur acheminement du producteur au consommateur ou à l'utilisateur et à assurer leur présentation** » (Branger *et al.*, 2007).

II.1. Fonctions de l'emballage

- ✓ Maintien des éléments de l'aliment entre eux
- ✓ Protection, suivant les cas, contre :
 - L'air, l'humidité
 - Les gaz
 - Les solvants
 - Les micro-organismes
 - Les insectes et les rongeurs
 - La lumière (y compris les ultra-violets)
 - Les chocs, l'écrasement...
 - La dégradation du produit (rancissement, oxydation)
- ✓ Mise en valeur du produit :
 - Visibilité
 - Esthétique
 - Information (étiquetage, mode d'emploi, qualité...)
 - Publicité sur le lien de vente.

Les matériaux utilisés pour l'emballage des aliments sont extrêmement divers. Ils sont choisis en fonction du problème à résoudre, de l'aliment lui même et des contraintes locales. Le choix de l'emballage en fonction du produit et de son environnement nécessite la prise en compte de données telles que :

- ▶ les risques d'altération et les conditions de stockage (exigences du point de vue microbologique, organoleptique, chimique, physique, sensibilité à l'oxydation)

Chapitre IV TECHNOLOGIE DU CONDITIONNEMENT ET DE L'EMBALLAGE

- ▶ Les interactions entre le produit et son contenant (passage dans l'aliment de certains composés de matériaux d'emballage, ou passage de composés volatils à travers l'emballage et leur perméabilité (à l'humidité, à l'oxygène).
- ▶ les demandes spécifiques pour le produit et l'emballage (ayant pour cible les consommateurs).

Quelques exemples d'emballages utilisés fréquemment sont les caisses en bois ou les paniers tressés pour les fruits, les jarres en terre pour le stockage des olives, les feuilles de bananier ou de maïs pour envelopper le fromage, les bocaux en verre... tous ces emballages remplissent leur fonction depuis fort longtemps (**Bimbinet, 2007**). Le développement plus récent des boîtes de conserves métalliques. Puis des matières plastiques et des matériaux complexes a permis de nouvelles fonctions : conserves appertisées, briques de lait UHT, boîte de boissons gazeuses...

II.1.1. Fonctions techniques de l'emballage

Elles doivent satisfaire aux exigences de tous les acteurs de la chaîne de distribution du produit depuis l'usine jusqu'au consommateur (**Werner et al., 2010**).

- **Contenant** : la première fonction d'un emballage est qu'il doit être apte à contenir le produit pour lequel il a été choisi. Il est donc important de raisonner son choix en terme de couple produit-emballage
- **Logistique** : la fonction logistique de l'emballage doit répondre aux contraintes du transport, du stockage et de facilité la manutention du produit.
- **Protection** : la principale fonction de l'emballage reste néanmoins celle de conservation et de protection du produit alimentaire associée à une obligation d'innocuité toxicologique. L'emballage est avant tout une barrière entre le produit et le milieu extérieur assurant ainsi la protection du produit, celle-ci peut être d'ordre mécanique, contre les chocs et les contraintes que peut subir le couple emballage-produit.

L'emballage joue un double rôle puisqu'il faut qu'il fasse barrière :

- ✓ **Du milieu extérieur vers le produit** : il constitue une barrière à l'eau pour éviter les moisissures et les altérations de texture, à l'oxygène pour éviter le développement de bactéries aérobies et les phénomènes d'oxydation, aux

substances éventuellement présentes dans l'environnement (fumées, parfums...) susceptibles d'altérer les propriétés organoleptiques de l'aliment.

L'emballage doit assurer aussi une protection contre les transferts d'énergie par rayonnement (lumière) ou (chaleur) qui peuvent se produire du milieu extérieur vers le produit et déclencher ou accélérer des processus chimiques ou microbiologiques d'altération.

Remarque : De nombreux produits sont sensible à la lumière qui développe des réactions photochimiques responsable d'altération de la couleur et de perte de vitamines, pour ces produits le rôle photoprotecteur de l'emballage est nécessaire pour stopper toute entrée de lumière (emballage opaque).

- ✓ **Du produit vers le milieu extérieur :** il constitue une barrière à l'eau pour éviter la déshydratation du produit, aux gaz pour assurer la conservation du produit pour éviter des pertes d'arôme.

L'emballage est également une barrière entre les micro-organismes du milieu extérieur et le produit. Il remplit ainsi un rôle essentiel qui est de maintenir la qualité hygiénique des aliments en empêchant d'une part les contaminations et d'autre part en empêchant ou limitant les transferts de matière (eau, gaz) susceptible de favoriser le développement de germes.

- ✓ **Service :** l'emballage apporte à l'utilisateur des informations sur le produit lui-même ou sur ces conditions de conservation afin de satisfaire les exigences en matière de traçabilité et d'information

II.1.2. Fonctions communications de l'emballage

- ✓ **Marketing :** l'emballage est indissociable du produit qu'il contient, contribue largement à la décision d'achat du consommateur, il doit attirer l'attention, éveiller le désir d'achat.
- ✓ **Information :** L'emballage représente le meilleur support pour les informations concernant le produit. On distingue les informations (mentions) obligatoires et les informations facultatives.
- ✓ **Communication :** l'emballage est à la fois sujet et moyen de communication. Ainsi l'industriel communique sur son produit via l'emballage (publicité).

Chapitre IV TECHNOLOGIE DU CONDITIONNEMENT ET DE L'EMBALLAGE

L'emballage est un excellent média de communication car il est vu et lu par des millions de consommateurs.

II.2. Classification des emballages

Les emballages peuvent être classés en différentes catégories, selon la fonction de l'emballage, le matériel et le contenu (Multon, 1998).

II.2.1. Emballages primaires : sont les emballages les plus familiers pour les consommateurs. Il s'en trouve de toutes dimensions et de tous types. Ces emballages sont utilisés principalement pour la conservation des produits alimentaires (31,8%) et des boissons (44,9%). Par ailleurs, des parts de marché plus restreintes sont occupées par les emballages des produits d'hygiène et de soins corporels (3%) ainsi que par les emballages des produits de nettoyage (2,8%).

II.2.2. Emballages secondaires

Des emballages secondaires sont utilisés pour faciliter le transport, le stockage et la présentation de portions individuelles. Les matériaux sont souvent les mêmes que ceux utilisés pour les emballages primaires. Trois groupes se distinguent : papier-carton, film plastique et sac en plastique

II.2.3. Emballages tertiaires

La catégorie des emballages tertiaires correspond à emballage avec lesquels le consommateur n'a pas de contact direct. Il s'agit le plus souvent d'emballage servant au transport des marchandises

Le choix de l'emballage se fait en fonction des objectifs, mais aussi des disponibilités et du coût. Souvent ce sont des contraintes dans les pays en développement où on ne trouve localement que quelques matériaux. Pour les emballages qui sont en contact direct avec l'aliment, il est indispensable de s'assurer de leur innocuité. Dans le cas des récipients métalliques, l'application d'un vernis intérieur permet d'éviter la corrosion et donc le passage d'étain et de plomb dans l'aliment, surtout quand celui-ci a un pouvoir corrosif (présence de nitrates, de composés soufrés...)

Pour les emballages en plastique il faut veiller à l'absence de monomères comme le chlorure vinyle et éviter le passage dans l'aliment de certains adjuvants de fabrication de la matière

Chapitre IV TECHNOLOGIE DU CONDITIONNEMENT ET DE L'EMBALLAGE

plastique qui pourraient être toxiques. Même dans les pays où une législation stricte régit l'usage des matériaux du conditionnement, certains emballages potentiellement toxiques ou non hygiéniques sont parfois utilisés. Ainsi, des aliments vendus dans les rues de certaines villes sont présentés dans des morceaux de sac de ciment de récupération et il existe en Asie des ateliers de récupération de sacs en plastique ensuite revendus après lavage et séchage.

Dans de nombreux pays, l'industrie plastique offre films, sacs, sachets à très bas prix, alors que les emballages en verre ou en métal sont rares et coûteux. Ceci ne va pas sans poser des problèmes pour l'environnement. La récupération des bouteilles en verre permet dans certains cas de réduire à la fois les coûts et les nuisances (Bimbinet, 2007).

II.3. Les différents matériaux d'emballage

- ❖ **Le verre :** le verre est un matériau minéral à base de silicium, il est utilisé comme emballage alimentaire et présente plusieurs avantages importants. Le verre d'emballage comprend les flacons, les pots, les bocaux....les produits alimentaires emballés dans le verre sont nombreux : liquides (eau, jus, huiles, lait, vinaigres...), conserve (légumes, fruits, viande, paté...), confitures, miel, café soluble, yaourts...

Qualité intrinsèque des emballages en verre :

- 1- Le verre est imperméable aux gaz, vapeur et liquide c'est un matériau à barrière exceptionnelle.
 - 2- Il ne pose pas de problème de compatibilité, il peut être utilisé pour tous les produits alimentaires : liquide, solide et pâteux.
 - 3- Un matériau hygiénique et inerte sur le plan bactériologique, il ne fixe pas et ne favorise pas le développement de bactéries ou micro-organismes à sa surface.
 - 4- Facile à laver, à stériliser et il est transparent ce qui permet de contrôler visuellement le produit
 - 5- Le verre n'a pas d'odeur et ne transmet pas le goût et ne le modifie pas, il est le garant des propriétés organoleptiques des aliments.
- ❖ **Aluminium :** c'est un matériau très utilisé dans l'agro-alimentaire, il présente les caractéristiques suivantes : légèreté, flexible et stable mais quelques inconvénients : relativement cher, fermeture difficile et fonctions marketing limitées (formes limitées)

Chapitre IV TECHNOLOGIE DU CONDITIONNEMENT ET DE L'EMBALLAGE

- ❖ **Plastique** : Les emballages plastiques constituent une bonne part des emballages utilisés dans le domaine agro-alimentaires. L'aspect pratique de cet emballage joue un rôle très important pour le consommateur des produits de grandes consommations.
- ❖ **Matériaux dits « barrière »** : ces matériaux présentent une très faible perméabilité à l'oxygène et au gaz carbonique, mais aussi à des molécules plus lourdes comme les arômes des aliments. La tendance actuelle à l'augmentation de la durée de limite de consommation favorise de plus en plus leur utilisation (**Multon, 1998**).
- ❖ **Les matériaux cellulosiques (bois, papier et carton)** : constituent une part importante dans le secteur de l'emballage surtout pour l'alimentation non liquide. **Le bois** est utilisé pour emballer les fruits secs et frais par exemple (pommes, dattes....) il offre l'avantage d'une manipulation et un transport facile. **Le carton et le papier** sont utilisés pour emballer les fruits et les légumes ils sont plus flexibles et plus légers.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

(A)

ANGLADETTE, A. (1966) Le Riz. Techniques agricoles et productions tropicales. Editions Maisonneuve et Larose. 15, Rue Victor Cousin, Paris V. ISBN 2-7068- 0324.

ANON. (1985) Mémoire Technique sur la transformation des fruits. CEEMAT - SIARC - USTL - France.

ANON. (1985) Mémoire Technique sur la transformation des légumes. CEE- MAT - SIARC - USTL - France.

ANON. (1994) Guide IA. Le guide des ingrédients, équipements et services pour l'industrie agro-alimentaire. Revue de l'Industrie Agroalimentaire. 8 Cité Paradis, 75493 Paris Cedex 10, France; Revue de l'Industrie Agroalimentaire. 230pp.

(B)

Baudet M., Daugareil C., Ferrieres J. (2011). Cardiovascular disease prevention and life hygiene modifications. *Ann Cardiol Angéiol.* 362:590-99.

BERNARD A. & CARLIER H. (1992) Aspects nutritionnels des constituants des aliments. Influence des technologies. Lavoisier.

BHALLA, A.S. (Ed) (1990) Conservation des légumes à petite échelle. Technology Series, Technical Memorandum No.13, World Employment Programme, International Labour Office, Geneva, Switzerland.

Bimbinet Jean Jacques (2007). Génie des procédés alimentaires : des bases aux applications.

BOUDREAU, A.; MENARD, G. [Ed] (1993) Le blé. Éléments fondamentaux et transformation. Sainte Foy, Que. G1K 7P4, Canada; Les Presses de l'Université Laval. xxii + 439pp. ISBN 2-7637-7296-X.

BRANGER Alain., RICHER Marie-Madeleine., ROUSTEL Sébastien (2007). Alimentation et processus technologique.

BRUINSMA, D.H., WITSENBURG, W.W. & WÜRDEMANN, W. (1985). Selection of technology for food processing in developing countries. Pudoc - Wageningen.

(C)

CHEFTEL J.C., CUQ J.L. & LORIENT D. (1985) Protéines alimentaires : biochimie, propriétés fonctionnelles, valeur nutritionnelle, modifications chimiques. Techniques et Documentation, Lavoisier.

(D)

DUPIN H., CUQ J.L., MALEWIAK M.I., LEYNAUD-ROUAUD C. & BERTHIER A.M. 1992. Alimentation et nutrition humaines. ESF Editeur.

(F)

FELLOWS P. (1988). Food Processing Technology. Principle and practice - Ellis Horwood Ltd., Chichester, England.

(G)

GERBOUIN-REROLLE, P. 1993. Transformation des aliments: technologies et valeurs nutritionnelles. L'enfant en milieu tropical N. 203 Revue du Centre International de l'Enfance. Paris.

GERBOUIN-REROLLE, P. 1993. Transformation des aliments: technologies et valeurs nutritionnelles. L'enfant en milieu tropical N. 203 Revue du Centre International de l'Enfance. Paris

GODON, B. [Ed] (1993) Biotransformation des produits céréaliers. F 75008 Paris, France; Techniques & Documentation Lavoisier. xi + 221pp. ISBN 2-85206-687- 4 (Lavoisier) & ISBN 2-7380-0315-X (INRA).

GODON, B.; LOISEL, W. [Ed] (1998) Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. 11 Rue Lavoisier, F 75384 Paris Cedex 08, France; Tec & Doc Lavoisier. xix + 819pp. ISBN 2-7430-0123-2.

(I)

ISHIKAWA Kaoru (2007) La gestion de la qualité : Outils et applications pratiques.

(L)

LENIGER, H.A., BEVERLOO, W.A. (1975) Food Process Engineering. D.Reidel Publishing Company, Dordrecht, Pays-Bas, et Boston, Etats Unies. ISBN 90- 277-0605-0. 552pp.

(M)

MAFART, P. (1991) Génie industriel alimentaire. I. Les procédés physiques de conservation. F 75384 Paris Cedex 08, France; Technique et Documentation Lavoisier. viii + 295pp. ISBN 2-85206-707-2.

MAFART, P. (1998) Génie industriel alimentaire. Les procédés physiques de conservation . 11 Rue Lavoisier, F 75384 Paris Cedex 08, France; Tec & Doc Lavoisier. x + 335pp. ISBN 2-7430-0211-5.

MAFART, P.; BELIARD, E. (1992) Génie industriel alimentaire. II. Techniques séparatives. F 75384 Paris Cedex 08, France; Technique et Documentation Lavoisier. xi + 273pp. ISBN 2-85206-808-7.

Miller HE., Rigelhof F., Marquart L., Prakash A., Kanter M. (2000). Antioxidant content of whole grain breakfast cereals, fruits and vegetables. *J Am Coll Nutr.* 19:312S-319S.

MULTON, J.L. [Ed] (1992) Additifs & auxiliaires de fabrication dans les industries agro-alimentaires. F 75384 Paris Cedex 08, France; Technique et Documentation Lavoisier. Ed. 2, xxxi + 799pp. ISBN 2-85206-606-8.

MULTON, J.L., ARTHAUD J.F. & SOROSTE A. (1994) La qualité des produits alimentaires: politique, incitations, gestion et contrôle. F 75384 Paris Cedex 08, France; Technique et Documentation Lavoisier. Ed. 2, xxx + 754pp. ISBN 2- 85206-840-0.

MULTON, J.L.; BUREAU, G. [Ed] (1998) L'emballage des denrées alimentaires de grande consommation. 2ème édition. F 75384 Paris Cedex 08, France; Technique et Documentation Lavoisier. 1120pp. ISBN 2-7430-0208-5.

MULTON, J.L.[Ed] (1993) Techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agro alimentaires. Volume I. Le contrôle de qualité. F 75384 Paris Cedex 08, France; Lavoisier Tec & Doc. xxiv + 365pp. ISBN 2-85206-597-5 Ed. 2.

(R)

REDHEAD, J. (1990) Utilisation des aliments tropicaux: graines oléagineuses tropicales. FAO, Rome. Etudes Alimentation et Nutrition 47/55 . ISBN 92-5- 202800-5.

RICHARD, H. [Ed] (1992) Épices et aromates. F 75384 Paris Cedex 08, France; Tec & Doc Lavoisier. 339pp. ISBN 2-85206-774-9.

RICHARD, H. [Ed] (1992) *Épices et aromates*. F 75384 Paris Cedex 08, France; Tec & Doc Lavoisier. 339pp. ISBN 2-85206-774-9.

RICHARD, H.; MULTON, J.L. [Ed] (1993) *Les arômes alimentaires*. F 75384 Paris Cedex 08, France; Tec & Doc Lavoisier. 436pp. ISBN 2-85206-613-0.

(T)

TREILLON, R.; LECOMTE, C. (1998) *Gestion industrielle des entreprises alimentaires*. 11, Rue Lavoisier, F 75384 Paris Cedex 08; Lavoisier Tec & Doc. xiv + 466pp. ISBN 2-7430-0122-4.

(U)

UCCIANI, E. (1996) *Nouveau dictionnaire des huiles végétales. Composition en acides gras*. 11 Rue Lavoisier, F 75384 Paris Cedex 08, France; Tec & Doc Lavoisier. viii + 644pp. ISBN 2-7430-0009-0.

(W)

Werner J Bauer, Raphael Badoud et Jurg Loiger (2010). *Sciences et Technologie des aliments principes de chimie des constituants et Technologie des procédés*.