Module : Procédés Agro-alimentaires

Chapitre I Procédés de transformation et de conservation

But : détruire les microorganismes contaminants pour augmenter la durée de vie des aliments
Inconvénients :

Destruction des propriétés organoleptiques et nutritionnelles des produits (destruction de vitamines, modification de texture, apparition de goût de cuits,…)

Technologies pas applicables sur tous les produits

Technologies traditionnelles de conservation des aliments

Traitements thermiques (stérilisation, pasteurisation, congélation,…)

Traitements chimiques (salage, saumurage, fermentation,…)

I.1 Optimisation des procédés thermiques (Traitements par le chaud)

Le traitement des aliments par la chaleur est aujourd'hui la plus importante technique de conservation de longue durée. Il a pour objectif de détruire ou d'inhiber totalement les enzymes et les microorganismes et leurs toxines, dont la présence ou la prolifération pourrait altérer la denrée considérée ou la rendre impropre à l'alimentation humaine. On distingue la pasteurisation lorsque le chauffage est inférieur à 100°C et la stérilisation lorsqu'il est supérieur à 100°C.

- **La cuisson**

On chauffe la viande pour la cuire. Nous éliminons les microorganismes en surface.

C'est un traitement thermique qui permet d'améliorer les qualités de certains produits, et qui permet de rendre consommable un produit par modifications des constituants.

La cuisson entraîne des chengement de goût, d'odeur...

- **Le blanchiment** est un traitement thermique qui consiste à plonger les aliments dans de l'eau chauffée au voisinage de son point d'ébullition ou à les exposer à la vapeur, pendant quelques minutes. Les produits ainsi traités sont généralement des fruits ou des légumes avant la mise en conserve pour réduire la flore microbienne de surface et faciliter la mise en boîte ou avant la congélation pour inactiver les enzymes de l'aliment, préserver la couleur naturelle et faciliter l'ensachage du produit.

- **La pasteurisation** a pour but la destruction des microorganismes pathogènes et d'altération. Ce traitement thermique doit être suivi d'un brusque refroidissement puisque tous les microorganismes ne sont pas éliminés et qu'il est nécessaire de ralentir le développement des germes encore présents. Les aliments pasteurisés sont ainsi habituellement conservés au froid (+4°C). En dehors de la réfrigération, d'autres moyens de conservation peuvent être utilisés parallèlement pour contrer le développement des microorganismes survivants : ajout d'agents chimiques de conservation, emballage sous vide, réduction de l'activité de l'eau (*activity of water* ou Aw),….

  Cette technique concerne, par exemple, le lait et les produits laitiers, les jus de fruits, la bière, le vinaigre, le miel…

  Moins on chauffe, moins on abîme.

  On peut pasteuriser un produit déjà emballé.

- **Appertisation (**La stérilisation) est un procédé de conservation des aliments par traitement thermique supérieur à 100°C. Il permet de détruire toute forme bactérienne, couramment utilisé en industrie.

Pour assurer l'optimisation du processus et une conservation longue du produit, celui-ci nécessite un couple temps-température optimum. De plus la stérilisation faisant appel à la chaleur, il y a des transferts de chaleur qui peuvent se faire soit par rayonnement, convection ou conduction.

- **Le traitement à ultra haute température (UHT)** consiste à chauffer le produit à une température assez élevée, entre 135°C et 150°C, pendant un temps très court, entre 1 à 5 secondes. Ce procédé met en œuvre soit le chauffage indirect dans des échangeurs tubulaires ou à plaques soit le chauffage direct par contact entre le produit et de la vapeur d'eau sous pression. Le produit stérilisé est ensuite refroidi puis conditionné aseptiquement.

Ce procès est utilisé pour la stérilisation des produits liquides (lait, jus de fruits, …) ou de consistance plus épaisse (desserts lactés, crème, jus de tomate, soupes,…).

I.2 Traitements par le froid

Le froid est une technique de conservation des aliments qui arrête ou ralentit l'activité cellulaire, les réactions enzymatiques et le développement des microorganismes. Il prolonge ainsi la durée de vie des produits frais, végétaux et animaux en limitant leur altération. Le froid ne détruit ni les toxines ni les microorganismes éventuellement contenus dans les

aliments. La majorité des microorganismes présents peuvent donc reprendre leur activité dès le retour à une température favorable. On distingue deux procédés qui utilisent cette technique, la réfrigération et la congélation.

- **La réfrigération** consiste à entreposer les aliments à une température basse, proche du point de congélation, mais toujours positive par rapport à celui-ci. Généralement, la température de réfrigération se situe aux alentours de 0°C à +4°C. A ces températures, la vitesse de développement des microorganismes contenus dans les aliments est ralentie. La réfrigération permet donc la conservation des aliments périssables à court ou moyen terme. Des règles fondamentales doivent être respectées dans l'application du froid : la réfrigération doit être faite le plus tôt possible après collecte, elle doit s'appliquer à des aliments initialement sains et être continue tout au long de la filière de distribution.
- **La congélation** maintient la température au cœur de la denrée jusqu'à -18°C. Ce procédé provoque la cristallisation en glace de l'eau contenue dans les aliments. On assiste alors à une diminution importante de l'eau disponible, soit à une baisse de l'activité de l'eau, ce qui ralentit ou stoppe l'activité microbienne et enzymatique. La congélation permet donc la conservation des aliments à plus long terme que la réfrigération. Selon la vitesse de refroidissement des aliments, on distingue :

· ****La congélation rapide ou surgélation** au cours de laquelle les denrées sont stabilisées par abaissement rapide de la température jusqu'à -18°C à cœur. Cette technique permet la formation de nombreux et petits cristaux de glace qui ne détériorent pas l'aliment.

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

I.3 Les techniques de conservation par séparation et élimination d'eau

- **La déshydratation** est une technique physique de conservation des aliments. Elle consiste à éliminer, partiellement ou totalement, l'eau contenue dans l'aliment. Ce procédé présente deux intérêts principaux : l'activité de l'eau du produit ainsi traité atteint des valeurs suffisamment basses pour inhiber le développement des microorganismes et stopper les réactions enzymatiques ; la diminution du poids et du volume est une économie importante pour le conditionnement, le transport et le stockage.

Suivant l'intensité de déshydratation, on distingue :

- ****le séchage** qui consiste à enlever l'excès d'humidité par évaporation de l'eau. On aboutit à des produits alimentaires dits secs, tels que les haricots, saucissons, aulx ;

- ****la lyophilisation**, qui consiste à congeler un aliment puis à le soumettre au vide, l'eau passe ainsi directement de l'état solide à celui de vapeur, c'est la sublimation de la glace. Cette technique qui donne des produits de qualité se réhydratant bien, reste d'un prix de revient élevé. Elle est réservée à certaines applications comme le café soluble, certains potages instantanés et l'alimentation de personnes en conditions extrêmes (astronautes, alpinistes ...) ;

- **Autres techniques de conservation**

****Le fumage** ou fumaison consiste à soumettre une denrée alimentaire à l'action des composés gazeux qui se dégagent lors de la combustion de végétaux. Le fumage joue plusieurs rôles : aromatisation et coloration, préservation par effet antimicrobien et modification de la texture du produit. Il s'applique principalement aux produits carnés pour lesquels le séchage suivi du fumage permet de conserver les viandes et poissons grâce à l'action combinée de la déshydratation et des antiseptiques contenus dans la fumée.

****Le confisage** est une des techniques traditionnelles dont les développements récents ont donné naissance aux procédés dits de « déshydratation osmotique » (DO) ou de « déshydratation-imprégnation par immersion » (DII). La déshydratation osmotique présente un certain nombre d'atouts par rapport aux techniques traditionnelles de séchage. En particulier, l'aliment est traité à plus basse température (entre 5 et 85 °C) et à l'abri de l'oxygène (puisqu'il est immergé), ce qui est particulièrement favorable pour les produits sensibles aux réactions de dégradation oxydative et thermique. De plus, la DO permet de réduire la charge microbienne et ainsi de prolonger la période de conservation des produits.

Chapitre II Généralités sur les procédés de séparation

II.1.séparation de phase

- **II.1.1 La décantation**

C'est un procédé mécanique qui permet de séparer :

1. Soit une phase solide de matières en suspension dans un liquide de masse volumique moindre (solide-liquide)**.**
2. Soit deux phases liquides non miscibles de densité différentes (liquide-liquide) et de polarité différentes.

   On distingue deux types de décantations :

   - ✓ Décantation solide-liquide (sédimentation)
   - ✓ Décantation liquide-liquide

- **II.1.2 La filtration**

  Est un procédé permettant de séparer une phase continue (liquide ou gazeuse) et une phase dispersée (solide ou liquide) initialement mélangées.

Les deux phases en présence peuvent étre :

**gaz-solide

**gaz-liquide

**liquide-solide (suspension)

**liquide-liquide non miscible (émulsion)

II.1.2.1 Les matériaux filtrants

- **Les produits minéraux**

  Substances fibreuses ou poreuses et sont des dérivés de la silice

  ……coton de verre

  …… coton de verre fritté

- **Les produits organiques**

  Substances poreuses et sont des produits à base de cellulose :

  ……papier filtre

  …..pate de cellulose

  …..polymères organiques, membranes filtrantes, disques en polymére de porosité parfaitement définie.

II.1.2.2 Les techniques de filtration

La filtration est un procédé réalisé sous l'influence d'une différence de pression :

a) Selon la manière de réaliser le gradient de pression.
   1- Filtration par gravité : Mélange soumis à la pression atmosphérique.
   2- Filtration par surpression : La suspension arrive sous pression dans le filtre.
   3- Filtration sous pression réduite (sous vide) : On utilise une fiole Kitasator reliée à une pompe à eau ou à pompe à vide.

b) Selon la taille des particules retenues.
   - Filtration clarifiante : $\Phi > 450\ \mu m$
   - Microfiltration : $10 < \Phi < 0.01 \mu m$
   - Ultrafiltration : $0.01 < \Phi < 0.001 \mu m$
   - Osmose inverse : $0.001 < \Phi < 0.0001 \mu m$

II.1.2.3 Applications

- ✓ Industrie agro-alimentaire (stabilisation, clarification, extraction ou concentration de produits)
- ✓ Traitement des eaux (potable….)

II.1.3 La centrifugation

La centrifugation est une opération de séparation mécanique, par action de la force centrifuge, de deux à trois phases entrainées dans un mouvement de rotation.

On peut séparer

- Deux phases liquides
- Une phase solide en suspension dans une phase liquide
- Deux phases liquides contenant une phase solide.

Il existe deux types de centrifugation :

a) Préparative : Exploitation des phénomènes d'enrichissement des zones ou du tube pour la séparation des différents constituants d'un mélange.
b) Analytique : C'est l'observation du déplacement des molécules pour avoir l'information sur la constante de sédimentation, sur les formes et masse moléculaire, taille et composition.

Applications à la centrifugation

Elles s'appliquent aussi bien aux mélanges homogènes qu'aux mélanges hétérogènes

- Centrifugation Préparative : séparation des constituants de mélanges de nature chimique ou biologique.
- Centrifugation analytique : étude de la centrifugation des macromolécules, c'est la détermination des constantes physiques des macromolécules.

-Mesure de la constante de sédimentation.
-Mesure des coefficients de diffusion et de translation.
-Détermination des masses moléculaires.
-Détermination de la forme et des dimensions.
-Détermination des la densité des particules.

II.2.Séparation à l'échelle membranaire

II.2.1 Distillation:

Mélange de composés+Apport d'énergie----2 phases (liquide + vapeur) La vapeur a tendance à s'enrichir en produit le plus volatil

II.2.2 Extraction liquide-liquide:

Mélange de composés (**soluté+diluant**) +Apport d'un autre composé le **solvant --- 2 phases liquides (extrait +raffinat)**. Une des phases a tendance à s'enrichir en produit le plus soluble

L'extraction liquide-liquide met à profit les différences de solubilité d'un composé entre deux phases liquides.

• Pour séparer le produit cible (**le soluté**) d'une phase liquide donnée (**le diluant**), on rajoute au système **un solvant** conduisant alors à la formation **d'une deuxième phase liquide** dans

laquelle le produit cible à séparer est préférentiellement soluble par rapport aux autres constituants du mélange liquide initial à traiter.

• La phase liquide riche en diluant, est appelée le **raffinat**.

• La phase liquide riche en solvant est appelée l'**extrait**

Application

L'extraction est un procédé utilisé dans de nombreuses industries.

- **Industries alimentaires**:

- extraction des lipides, de la caféine, des arômes.

II.2.3 Evaporation

Deux mécanismes peuvent être mis en œuvre pour évaporer l'eau d'un produit:

**l'ébullition

**l'entraînement

- ✓ ***Principes de l'évaporation***

Ebullition

- L'ébullition a lieu lorsque la température du produit est élevée à une valeur telle que la pression de vapeur d'eau de ce produit est égale à la pression totale ambiante.

•La température d'ébullition dépend de la pression totale et de l'activité de l'eau du produit.

•Le gaz en contact avec la surface du produit est de la vapeur d'eau pure.

Entraînement

Lorsqu'un produit humide est placé dans un courant de gaz suffisamment chaud et sec, le gaz apporte au produit une partie au moins de l'énergie nécessaire à la vaporisation: l'eau est évaporée sans ébullition.

•La vapeur d'eau est transférée par conduction et convection du produit dans le milieu ambiant et est ensuite entraînée par le gaz.

•La température de surface du produit reste toujours inférieure ou égale à celle de l'air et donc nettement inférieure à la température d'ébullition de l'eau.

II.3 Le pressage

Il accentue l'évacuation de l'acide cyanhydrique de la pulpe et la multiplication des micro-organismes, ce qui contribue à augmenter la sapidité du produit. Toutefois, cette opération fait perdre à la pulpe environ 2 % d'amidon, 25 % de sels minéraux, 30 '30 de thiamine, 8 % de riboflavine, 36 % de niacine et 76 o/o d'acide ascorbique (Meuser et Smolnik, 1980 ; Muchnik et Vinck, 1984)). Les jus de pressage contiennent donc une importante quantité de matière sèche (5 % à 8 %> dont 80 % à 90 % d'amidon.

Chapitre 3 Génie de la réaction

3.1 Génie de la réaction physico-chimique

3.1.1 La coagulation

La coagulation est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques amenant une suspension stable ou « sol » de particules de très petite taille en solution - les colloïdes - à se séparer en deux phases distinctes. Par exemple, le lait est une émulsion stable constituée de globules de matières grasses en suspension dans une solution aqueuse. L'ajout d'un acide ou d'une enzyme, la présure, va se traduire par la séparation du lait en deux phases : un gel de caséine, le « caillé » et un liquide surnageant, le « petit lait ». Le lait a coagulé.

La floculation est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques menant à l'agrégation de particules stabilisées pour former des flocons ou « flocs ». Ce phénomène est réversible, c'est à dire que l'on peut casser ces agrégats, par exemple en agitant fortement le liquide, pour retrouver la solution de colloïdes initiale.

Coagulation et floculation sont des processus souvent indissociables. En effet, la coagulation, en diminuant les forces de répulsion entre les particules, favorise les collisions et la formation d'agrégats ; et la floculation, en permettant la croissance des agrégats accélère la séparation des phases.

Les applications industrielles de la coagulation et de la floculation sont nombreuses. On a cité la séparation de la caséine du lait qui est l'une des premières étapes de la fabrication de nombreuses spécialités fromagères. Toujours dans l'industrie agroalimentaire, on trouve également des étapes de coagulation ou floculation dans la clarification de boissons.

3.1.2 La gélification thermique :

Un gel est defini par les physiciens comme une dispersion d'un solide dans un liquide36.

Les exemples dans les metiers de l'Alimentation ne manquent pas : blanc d'oeuf, confiture, sauce, sirop,…mais aussi les tissus animaux ou vegetaux (viande, poisson, fruit, legume, …) etant donne leur composition riche en eau. Herve This propose de classer les gels en deux grandes categories :

- **les gels réversibles** (ex : gel a partir de proteines type gelatine, gel a partir de glucides type agar-agar, pectine thermoreversible, …), se distinguant par la capacite de ses composants (ex : les molecules de gelatine dans le cas d'une gelee) de se lier ou de se delier selon la t° en raison de leur type de liaison assure par des forces physiques faibles ;

- **les gels irréversibles** (ex : gel a partir de proteines type proteines du blanc d'oeuf, du poisson ou de la viande, … gel a partir de glucides type alginate, pectine non thermoreversible …), se differenciant des autres gels par la nature de leur liaison chimique, forte.

3.2 L'organisation en réseau.

3.2.1 Définition.

Un réseau est un ensemble organisé d'unités commerciales (UC) liées par des intérêts communs, de nature commerciale, juridique et financière. Les UC d'un réseau partagent une même enseigne, une offre de produits et services similaire.

3.2.2 Les fonctions des réseaux.

Un réseau prend en charge 2 types de fonctions :

- Fonctions communes à toute activité commerciale et réparties entre les UC et la tête du réseau (acheter, stocker, servir, vendre, gérer, communiquer…).
- Fonctions de pilotage du réseau : stratégie d'organisation, de gestion, d'ajustement, de coordination.

- ✓ Les réseaux mixtes

  Certains groupes se développent par l'acquisition de magasins en propre (commerce intégré) mais aussi en s'associant à des indépendants : on parle donc de réseaux mixtes.

  Le principe de la mixité est intéressant car :

- Il permet au groupe de gérer des points de vente stratégiques (par leur taille, leurs lieux d'implantation…)
- Il facilite l'ouverture de points de vente rapidement sans investissement (par le biais de franchisés indépendants par exemple).

3.2.3 Avantages et inconvénients des différentes formes de réseaux.

Avantages

- Contrôle et simulation commerciale des indépendants assurés, car ils imitent les intégrés.
- Dynamisme et simulation commerciale des intégrés, car ils imitent les indépendants.

Inconvénients

- Couts de gestion importants entrainés par la double structure.
- Possibilité de conflits entre indépendants et intégrés.

3.3 .Génie de la réaction biologique

3.3.1 Production de biomasse

Elle a pour but de produire des protéines qui pourront être utilisées en alimentation animale.ƒ

Les microorganismes utilisés (levures, champignons filamenteux) peuvent utiliser comme substrat :

Exemple :

• le lactosérum

• l'amidon ou le glucose.

3.3.2 Production de métabolites

PRODUCTION DE METABOLITES PRIMAIRES ƒun très grand nombre de molécules, métabolites primaires sont produits industriellement par fermentation :

Exemple :

• acides aminés

• acides organiques

• alcools et solvants

• carburants

• lipides

• nucléotides

• polysaccharides

• vitamines

3.3.3 La fermentation

La fermentation est un phénomène naturel, se produisant lors de la décomposition de la matière organique.

I) Les ferments

Différents microorganismes sont retrouvés dans les aliments et sont classés en deux types de flores :

- La **flore utile** : c'est la flore positive, que l'on va chercher à favoriser. Elle va permettre les différents processus de fermentation. Elle peut se trouver naturellement dans l'aliment, ou être ajoutée lors des procédés de fabrication.

- La **flore indésirable** : c'est la flore négative, que l'on cherche à inhiber. Elle aussi se divise en deux catégories :

o La **flore d'altération** : ces microorganismes peuvent se développer et entrainer des changements physiques et chimiques dans l'aliment. Cela conduit à des odeurs et flaveurs désagréables, formation de mucosités, accumulation de gaz, libération de liquide. Il y a alors dégradation de la qualité gustative et/ou esthétique.

o La **flore pathogène** : ces microorganismes peuvent être dangereux pour la consommation humaine, même à faible concentration. En cas d'ingestion, l'aliment peut être source d'intoxication alimentaire.

Traditionnellement, le terme « ferment » se définit comme les « agents microbiens produisant la fermentation d'une substance » . Ils font donc partis de la flore utile.

3.3.4 Bioconversion

Une bioconversion est un processus biologique au cours duquel un substrat organique est converti en un métabolite par des réactions chimiques en un (des) site (s) ponctuel (s)

Les micro-organismes présentent sur les autres organiques vivants plusieurs avantages, dont notamment la possibilité de réaliser les réactions voulues de façon régio-stéréospécifique, ce qui permet de préparer un seuil isomère.

Chapitre 4 Opération de structuration

4.1L’émulsion

Une émulsion est un mélange hétérogène de deux liquides non miscibles, par exemple l’huile et l’eau, dont l’un forme des gouttelettes microscopiques en suspension dans l’autre. Naturellement les deux liquides forment deux phases séparées quand on les verse dans un même récipient. Dans une émulsion, l’une des phases est discontinue, c’est à dire dispersée dans l’autre phase appelée phase' continue. D’un point de vue macroscopique l’émulsion a un aspect homogène alors qu’elle est microscopiquement hétérogène.

Il faut apporter un travail et apporter de l’énergie pour augmenter la surface de contact entre les deux phases.

Cela s’obtient par agitation, mélange. C’est une action mécanique sur les liquides qui permet la dispersion de la phase lipidique (dans le cas de la mayonnaise) dans la phase aqueuse.C’est sous l’action de rotation d’un agitateur que se créent des mouvements qui forcent le mélange à se faire. La technologie a développé des instruments capables de réaliser une émulsion.

La fabrication d’une émulsion est toujours favorisée par l’addition d’un émulsifiant ou d’un tensioactif. Dans la mayonnaise le jaune d’œuf et la moutarde en comportent. L’émulsifiant est un tensioactif qui permet de modifier la tension interfaciale qui existe entre deux phases. Ce sont des molécules amphiphiles qui présentent deux parties de polarité différentes, l’une apolaire et lipophile, l’autre polaire et hydrophile.

Exemple : La mayonnaise est une émulsion d’huile dans l’eau (contenue dans les ingrédients, comme le jaune d’œuf et ses 50% d’eau), c’est à dire à la base un mélange de deux liquides a priori non homogènes mais qui'a subi un travail d’émulsification et donc une transformation qui lui permet de se présenter sous forme de masse onctueuse et homogène agréable à la consommation et utile en cuisine.

Exemple : pour la mayonnaise il y a le batteur électrique à usage domestique ou le moulin colloïdal dans l’industrie agro alimentaire.

4.2 La cuisson-extrusion dans le secteur agroalimentaire

Dans l’industrie agroalimentaire, la cuisson-extrusion est la technique la plus utilisée. En effet, elle donne lieu à une multitude d’applications dans des domaines très variés.

Tableau 1 : exemples d'applications agroalimentaires de la cuisson-extrusion

Secteur agroalimentaire	**Produit**
Alimentation animale	Aliments pour animaux, en général de type granulé… Aliment poisson, crevette
Boulangerie-biscuiterie	Pain plat, Biscuit coextrudé…
Confiserie	Chocolat, Réglisse, Bonbon mou, Chewing-gum…
Préparations de pâte	Quenelle, Pâte à choux…
Produits à base de protéines	Protéine végétale texturée, Viande restructurée…
Produits laitiers	Caséinates, Fromage fondu…
Amidon modifié	Amidon fluidifié, Amidon réticulé…

Cette opération continue consiste à faire subir à des matières premières ou à un mélange de matières premières, hydratées ou non, un traitement mécanique et un traitement thermique simultanés, durant un temps très court. Le premier traitement est un cisaillement combiné à une compression (jusqu'à 300 bar). Le deuxième est soit un chauffage, avec cuisson, soit un refroidissement, soit une combinaison des deux.

4.3 Le foisonnement :

Il faut distinguer :

- l'ajout de gaz (air) par l'action mécanique ;
- de l'ajout de gaz (notamment CO2, N2O) a l'aide d'un siphon à chantilly conduisant au même résultat :

Le foisonnement, correspondant a une augmentation du volume de la préparation, dans ce cas par incorporation de gaz.

La mousse est par conséquent une dispersion de bulles de gaz dans une phase continue liquide ou semi – liquide, stabilisées grâce à l'ajout de molécules tensioactives

Applications : foisonnement de la glace aux œufs par la fixation de micro particules de gaz (de l'air en l'occurrence) dans l'opération de turbinage, foisonnement de la crème liquide par battage, foisonnement d'une pate a bombe, …

- **Le foisonnement par action mécanique**

L’action mécanique cisaille les protéines (rupture des liaisons d’une partie de la structure tertiaire), et participe a leur déroulement progressif en mettant en contact leurs parties hydrophobes avec l’air, a l’intérieur des bulles et leurs parties hydrophiles avec l’eau circulant entre les bulles. Les protéines s’associent alors en une nouvelle configuration (réseau tridimensionnelle), apte à retenir des bulles d’air dans leur masse.

Nouvelles applications : Réalisation de meringues ultra-légères (les cristaux de vent)

Une mousse de blanc d’œuf est constituée de blancs d’œufs (donc majoritairement d’eau et de protéines), et d’air. Pour augmenter le volume d’air incorpore, Herve This propose d’ajouter de l’eau (ou son équivalent : jus, infusion, …).

- **Le foisonnement par ajout direct de gaz :**

L’introduction directe de bulles de gaz dans une préparation souvent liquide produit une mousse par foisonnement.

Application : c’est le cas par exemple de la fabrication de la crème fouettée, de la crème Chantilly a partir de crème et d’un siphon à chantilly.

Chapitre 5 Opérations mécaniques et manufacturières

5.1 Broyage

Le broyage est une opération unitaire visant à fragmenter un matériau pour en réduire la taille afin de lui donner une forme utilisable ou d'en séparer les constituants. À cette fin, le matériau est soumis à des sollicitations mécaniques qui entraînent une augmentation de son énergie libre.

Cette énergie, lors de la fragmentation peut être transformée suivant différents processus en énergie élastique (mettant en jeu les défauts de réseaux qui donnent naissance à la fissuration), en énergie de surface (progression des fissures et génération de fractures), et diverses autres formes d'énergie (avec comme possibles conséquences l'amorphisation superficielle ou massique des solides cristallins, l'agglomération, les transitions polymorphiques, les réactions mécanochimiques).

Le broyage est l'opération qui s'applique à une tranche du domaine d'utilisation, en principe 6 mm à 200 μm. Selon la vitesse et le mode d'application de la contrainte, on parlera de compression (0,1-0,8 m/s), d'abrasion, de cisaillement, d'attrition, de percussion (15-200 m/s). Le but technologique du broyage en alimentation animale est de réduire les composants de la graine (ou d'un ensemble de matières premières) en particules de la granulométrie « désirée » afin de permettre un mélange plus homogène et plus stable et une mise en forme plus aisée.

Le broyage peut s'effectuer par écrasementfriction (meules), compression-cisaillement (broyeur à cylindres) ou par impact (broyeur à marteaux).

5.2 Tamisage

Le tamisage est l'une des plus anciennes méthodes d'analyse granulométrique, et aussi l'une des plus largement utilisées car il est peu coûteux. Son principe de base consiste à diviser un matériau pulvérulent en le faisant passer à travers un (ou plusieurs) tamis dont les caractéristiques sont connues.

- **Tamis vibrant**

Le tamisage s'effectue grâce à des moteurs vibrants implantés sur le coté de la machine.

L'alimentation est assurée par la bride centrale supérieure connectée par manchette souple.

Les agglomérats sont détruits les corps étrangers éliminés.

La maille du tamis est disponible en inox ou en nylon et en différentes tailles pour s'ajuster aux besoins de chaque client et à chaque spécificité du produit.

- **Tamis centrifuge**

Le produit dose à tamiser est inséré et acheminé dans l'enceinte du tamiseur par la vis d'alimentation. Le produit est mis en rotation par les pales rotatives qui les projettent au travers de la grille pour détruire les mottes et les agglomérats. La force centrifuge propulse les particules fines au travers du tamis tandis que les déchets et les gros grains sont déchargés en bout du tamiseur.

Par l'impact de la poudre, la grille de tamisage entre en vibration pour accélérer et éviter les risques de colmatage.

5.3 Ecoulement

Transfert d'un fluide d'un point à un autre.

-Gravité : flux laminaire

-Pompage: flux turbulent

5.4 Transfert

5.4.1Le Transfert de chaleur

Le chauffage est utilisé pour :détruire des germes et donner un produit sain ;prolonger la durée de conservation par la destruction de certaines enzymes ;améliorer l'acceptabilité organoleptique du produit.

Le refroidissement a principalement une fonction de conservation.

5.4.2 Le transfert de matière (ou de masse)

-Le transfert de matière vers ou à partir d'un milieu

-Le transfert d'un composé chimique d'une phase à une autre

-Diffusion : concentration élevée ⟶ concentration faible

-Evaporation : liquide ⟶ gaz

-Intervient principalement dans des techniques de séparationou de séchage…

-Exemples : Absorption, Cristallisation, dislillation, lyophilisation../..

5.5 Découpage

Le découpage est une opération mécanique de réduction des dimensions :

- qui se fait à l'aide d'un outil, souvent dit tranchant ;
- qui permet de diviser les matériaux solides selon une **géométrie précise**, afin d'obtenir des morceaux de taille réduite, ou de séparer des parties différentes.

La découpe des aliments est une opération unitaire très fréquente sur les chaînes de production et de transformation agroalimentaires notamment, lors de la récolte des produits agricoles, le portionnement des produits avant conditionnement.(les usines de salades 4^{e} gamme (c'est-à-dire les salades en sachet) ou pour le préemballage des fromages.)

5.6 Assemblage et mise en forme

Assemblage L'opération d'assemblage se définit comme l'action de réunir tous les ingrédients d'une composition.

Les assemblages doivent être conçus de manière à réduire le plus possible les saillies , les rebords et le recoins .IL doivent dans la mesure du possible, être réalisés par soudure ou collage continu.

5.7 Emballage et conditionnement

5.7.1 CONDITIONNEMENT ET EMBALLAGE

Ces deux termes sont parfois utilisés indifféremment. Ils ne désignent cependant pas exactement la même opération. Il peut donc être utile de rappeler les définitions données notamment par le règlement européen n° 854/2004:

• «Conditionnement»: l'action de placer une denrée alimentaire dans une enveloppe ou dans un contenant en contact direct avec la denrée concernée; cette enveloppe ou ce contenant; et

• «Emballage»: l'action de placer une ou plusieurs denrées alimentaires conditionnées dans un deuxième contenant; le contenant lui-même.

L'emballage ou le conditionnement constitue une étape importante de la transformation qui facilite la manutention lors du transport, du stockage et au niveau de la distribution. Il assure une protection adéquate du produit contre les contaminations extérieures et contre l'humidité

de l’air. Il doit être approprié aux produits à emballer, solide, propre, sec, imperméable, facile à manipuler et empilable.

5.7.2 STOCKAGE DES PRODUITS TRANSFORMÉS

Un stockage adéquat permet de maintenir la qualité marchande et la salubrité du produit pendant toute sa durée de vie. Les points suivants sont à prendre en considération pour le stockage:

• la conception du magasin ou entrepôt;

• l’application des règles d’hygiène; et

• la gestion du stock pour éviter des pertes inutiles tant au plan quantitatif que qualitatif.

Les broyeurs à marteaux

Les tamis vibrants

Les tamis centrifuges