

Chapitre IV : Opérations unitaires des processus technologiques

I. Introduction

Les opérations unitaires des processus technologiques constituent les étapes de transformation d'une matière agricole de qualité variable en un produit de qualité maîtrisée.

II. Classification

Il y a plusieurs manières d'aborder l'étude des opérations unitaires de les classer en fonction de leur objectif principal. Parmi ces opérations, nous avons par ordre :

- les opérations préliminaires ;
- les opérations de réduction de taille ;
- les opérations de séparation ;
- les opérations de mélange et de texturation ;
- les opérations de stabilisation ;
- les opérations de conditionnement.

II.1. Opérations préliminaires

Les opérations préliminaires sont des opérations de préparation de la matière première. Un des rôles des processus technologiques en industries agroalimentaires est de transformer les matières premières en produits finis de qualité maîtrisée.

A la réception des matières premières, celles-ci sont contrôlées afin de vérifier la conformité au cahier des charges : **c'est l'étape de dégréage**. Puis vient **l'étape de nettoyage**. C'est l'étape principale des opérations préliminaires. Elle consiste à débarrasser la matière première des contaminants ou parties considérées comme indésirables.

Plusieurs principes sont utilisés en fonction du type de contaminants à éliminer par exemple :

- actions manuelles : parage, pelage (salade 4^{ème} gamme) ;
- découpe automatique : équeutage (cerise), dénoyautage (abricot), écaillage (poissons) ;
- abrasion (contaminants de type terre, plume, peau) ;
- action thermique (pelage à la flamme (poivron), échaudage (action de passer à l'eau chaude) ;
- dégazage (éliminer les gaz et les mauvaises odeurs dans le lait)
- lavage à l'eau : par aspersion (système douche), ou par immersion (système baignoire) (betteraves),í

Enfin, suit une **étape de tri**. Son objectif peut être de trier la matière première en fonction d'une grandeur physique et ainsi décider de sa destination (par exemple pommes à croquer ou pommes à jus), ou bien de trier pour éliminer des matières premières qui ne répondent pas au cahier des charges (pommes pourries).

Plusieurs principes sont mis en œuvre :

- ✓ le tri manuel (inspection visuelle : couleur, forme, taille) ;
- ✓ le tri automatique par analyse d'images (caméras vidéo : taille, forme, couleur), tamisage (taille, forme) et la pesée individuelle (morceaux de viandes, filets de poissons).

II.2. Opérations de réduction de taille

Consiste à transformer la matière première en un produit de plus petite taille. On peut classer les opérations de réduction de taille de la façon suivante :

II.2.1. Fragmentation des solides

Elle est réalisée par des opérations mécaniques qui, selon la nature de la matière première et le type d'appareil utilisée, font appel à différents mécanismes : l'écrasement, le cisaillement et l'attrition (usure par frottement = abrasion).

II.2.2. Fractionnement des solides

Elle consiste à diviser une matière solide en morceaux de taille réduite et définie, à l'aide d'un outil tranchant, d'un couteau animé d'un mouvement provoqué par ultrasons ou d'un jet d'eau haute pression.

II.2.3. Homogénéisation des liquides

L'homogénéisation est un traitement physique qui s'applique à un produit liquide ou pâteux (émulsion ou suspension). La taille des particules de la phase dispersée atteint 0,1 à 5µm environ pour les émulsions et 0,5 à 3 µm pour les suspensions.

II.3. Opérations de séparation

Les opérations de séparation sont prédominantes en industrie agroalimentaire. La plupart des aliments de base ont subi une étape de séparation lors de leur fabrication : huile à partir des graines végétales, sucre à partir de betteraves,

Dans les processus technologiques, la séparation a deux fonctions principales :

- l'extraction-clarification-fractionnement, dont le rôle est de récupérer une ou plusieurs fractions d'un mélange. Par exemple : l'obtention de lait écrémé et de crème à partir de lait entier ;
- la standardisation (en eau ou en un autre composant) pour répondre à un cahier des charges. Par exemple: standardisation en matière grasse de lait,

La classification choisie pour aborder les opérations de séparation est la suivante :

- Opération de séparation sans changement d'état : extraction (par pression et par solvant), décantation (statique et centrifuge), filtration ;
- Opération avec changement d'état : cristallisation, distillation.

II.3.1. Extraction solide/liquide

Cette opération permet de séparer une phase liquide appelée « extrait » d'une phase solide appelée « résidu ». Deux modes d'extraction sont couramment utilisées :

- extraction par pression : une pression est appliquée au produit et permet une expulsion du jus qu'il contient ;
- extraction par solvant : il s'agit d'extraire les composés solubles de la matière première par diffusion dans un solvant.

II.3.2. Décantation statique et centrifuge

Ce sont des opérations de séparation sans changement d'état qui se manifeste par un déplacement de particules solides ou liquides. On distingue deux types de décantation : la décantation statique et la décantation centrifuge (centrifugation).

Ces techniques ont pour rôle de :

- ✓ clarifier la phase dispersante (clarification d'un jus de fruits brut par centrifugation) ;
- ✓ séparer les constituants d'une émulsion : écrémage du lait ;
- ✓ concentrer la phase dispersée: concentrer une suspension de levure par centrifugation.

II.3.3. Filtration

C'est une opération de séparation qui consiste à séparer une phase dispersée d'une phase continue par passage à travers un milieu filtrant. Deux objectifs peuvent visés : extraction d'un solide (par exemple : récupération d'une levure après fermentation) et purification d'un liquide (par exemple : clarification d'un jus de fruits).

II.3.4. Cristallisation

C'est une opération de séparation avec changement d'état. C'est le changement d'état physique qui donne lieu à la formation d'une phase solide cristallisée, c'est-à-dire ayant une structure géométrique bien définie et régulière.

Ce changement d'état est utilisé dans les applications suivantes :

- purification d'un soluté (cristallisation du saccharose à partir d'un jus sucré extrait de la betterave) ;
- congélation : formation de cristaux de glace dans les produits congelés pour diminuer l_{aw} ;
- modification de la texture (crèmes glacées) ;
- cristallisation non souhaitée (l'huile d'olive au froid).

II.3.5. Distillation

C'est une opération de séparation avec changement d'état. Il s'agit de séparer les constituants d'un mélange selon leur température d'ébullition. Cette opération est donc basée sur la vaporisation partielle d'un mélange liquide.

II.4. Opérations de mélange et de texturation

On distingue :

- le mélange solide/solide
- le mélange solide/liquide
- le mélange liquide/gaz
- le mélange liquide/liquide

Les opérations de mélange et texturation peuvent être complétées par l'emploi de composés qui vont agir sur la stabilité du mélange : des macromolécules d'origine glucidique ou protéique type épaississants (amidon), gélifiants (gélatine, pectine) ou des émulsifiants (lécithines, monoglycérides).

Certaines opérations de mélange agissent sur la texture du produit telle que le foisonnement. Elles sont classées dans les opérations de texturation.

II.5. Opérations de stabilisation

Les opérations traitées ci-après concernent la stabilisation biologique de l'aliment, qui permet d'éviter la prolifération des micro-organismes et l'altération des qualités organoleptiques et nutritionnelles du produit. Le choix d'une opération de stabilisation nécessite une bonne connaissance de l'aliment (composition biochimique) et de ses conditions de stockage (température, durée, etc.).

Les opérations unitaires développées ici sont :

- la stabilisation par élimination d'eau ;
- la stabilisation par la chaleur ;
- la stabilisation par le froid ;
- et la stabilisation par d'autres moyens (chimiques, physiques et biologiques).

II.5.1. Stabilisation par élimination d'eau par voie thermique

L'élimination d'eau est une opération de stabilisation car elle permet de diminuer l'activité de l'eau (a_w). On peut éliminer l'eau par des moyens mécaniques (décantation, centrifugation, ultrafiltration, etc.) ou moyens thermiques (évaporation).

- Par évaporation partielle produits liquides ou pâteux (c'est la concentration)
- Par évaporation totale produits solides (c'est le séchage)

II.5.2. Stabilisation par la chaleur

L'objectif principal de la stabilisation par la chaleur est la destruction partielle ou totale des flores d'altération (flores lactiques, *Bacillus*, etc.) et des flores pathogènes ou toxigènes (*Salmonella*, *Clostridium*, et leurs enzymes).

L'élévation de température a pour effet l'inactivation enzymatique et conduit ainsi à la mort des cellules.

On distingue quatre opérations principales de stabilisation par la chaleur : le blanchiment, la cuisson, la pasteurisation, et la stérilisation, auxquels peuvent s'ajouter la tyndallisation, la thermisation, etc.

II.5.3. Stabilisation par le froid : réfrigération et congélation

On distingue deux procédés de stabilisation par le froid :

- la réfrigération correspond à une stabilisation au froid positif à court terme (quelques jours).

Le froid positif a pour effet de ralentir les réactions enzymatiques et chimiques et par conséquent la multiplication et le métabolisme des micro-organismes.

- la congélation/surgélation correspond à une stabilisation par le froid négatif à long terme (++ mois).

Cette technique combine l'action du froid et la baisse de l'activité de l'eau car une partie de l'eau est cristallisée.

II.5.4. Stabilisation par d'autres moyens

D'autres moyens de stabilisation existent, ils peuvent être :

- chimiques : conservateurs, fumage, salage, sucrage,
- physiques : les rayonnements (ionisation, infra-rouge, micro-ondes), les hautes pressions,
- biologiques : les fermentations.

II.6. Opérations de conditionnement

Les opérations de conditionnement consistent à entourer l'aliment d'un emballage qui possède plusieurs fonctionnements.

Ces fonctions sont remplies par l'emballage grâce à la diversité des matériaux disponibles : papier, verre, métal (acier, aluminium), plastique.

On distingue trois niveaux d'emballage :

- l'emballage primaire qui entoure chaque unité de vente (boîte de conserve) ;
- l'emballage secondaire qui regroupe plusieurs unités de vente (plastique autour de six briques de lait).
- l'emballage tertiaire qui assemble des groupes d'unités de vente (carton, film de palettisation).

Il y a trois procédés de conditionnement spécifiques :

- conditionnement aseptique :
- conditionnement sous vide : priver les micro-organismes de l'O₂
- conditionnement sous atmosphère modifiée :

Modifier la composition de l'environnement gazeux de l'aliment. Les 3 gaz utilisés sont le plus souvent en mélange, soit l'O₂, l'azote et le CO₂.