



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MUSTAPHA STAMBOULI DE MASCARA

FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Titre du cours

Procédés agro-alimentaires

Présenté par : Dr. Maaza Lamia

Ce cours est destiné aux étudiants de Parcours 3^{ème}annéeGP

MASCARA

2019

Sommaire

Généralités.....	1
Introduction	1
1.L'industrie agroalimentaire :	1
2. L'objectif de l'industrie :	1
3. Opération unitaire :	1

Chapitre 1 : Procédés de transformation et de conservation

Introduction	3
1.1. Optimisation des procédés thermiques.....	3
1.1.2.Appertisation.	3
1.1.3. Cuisson.....	4
1.1.4.Procédés aseptiques.....	5
1.2. Optimisation des procédés frigorifiques :	5
1.2. 1. Réfrigération.....	5
1.2.2. Surgélation	5
1.2.3. Transport frigorifique	6
1.3. Déshydratation et procédés combinés :	6
1.3.1. Séchage.....	6
1.3.2. Fumage	6
1.3.3. Déshydratation-imprégnation par immersion (DII)	6

Chapitre 2 : Généralités sur les procédés de séparation

2.1. Séparation de phase :	8
2.1. 1. Pressage.....	8
2.1. 2. Décantation.....	9
2.1. 2.1. Décantation (sédimentation)	9
2.1. 2.2. L'ampoule à décanter (liquide-liquide).....	9
2.1. 3. Filtration :	10
2. 1. 3.1. Principe de la filtration	10
2. 1. 3.2. Méthodes de filtration	11
2 1. 3. 2.1. Filtration gravimétrique (filtration par gravité).....	11

2.1.3. 2.2. Filtration sous vide	11
2.1.3.2.3. Filtration sous pression.....	12
2.1.4 Centrifugation.....	13
2.1.4.1 Principe.....	13
2.2. Séparation à l'échelle moléculaire :	13
2.2. 1. Extraction :	13
2.2. 1.1. Introduction	13
2.2.1.2. Définitions	14
2.2.2. Extraction liquide-liquide.....	14
2.2.3. Extraction solide-liquide	15
2.2.4. Extraction par hydro distillation ou entraînement à la vapeur d'eau	15
2.2.5. Distillation.....	16
2.2. 6. Evaporation	16
2.2.7. Procédés membranaires.....	17

Chapitre 3 : Génie de la réaction

3.1. Génie de la réaction physico-chimique	18
3.1.1. Coagulation :	18
3.1.2. Gélification :.....	18
3.2. Génie de la réaction biologique :.....	18
3.2.1. Production de biomasse.....	18
3.2.2. Fermentation.....	19
3.2.3. Bioconversion.....	19

Chapitre 4: Opération de structuration

4 .1. Emulsification	20
4 .1.1. La lécithine :.....	20
4.1.2. Les monoglycérides et diglycérides d'acides gras alimentaires :	20
4.2. Cuisson-extrusion.....	21
4.3. Foisonnement	21

Chapitre 5 : Opérations mécaniques et manufacturières

5.1. Broyage ; Tamisage ; Ecoulement (en particulier des poudres).....	23
5.1.1. Le broyage.....	23
5.1.1.1.Le broyage grossier	23

5.1.1.2.Le broyage fin.	23
5.1.1.3.Le broyage ultrafin.	23
5.1.2.Le tamisage	23
5.1.3.Ecoulement (en particulier des poudres).....	24
5.1.4 Le découpage.....	24
5.1.5.Emballage et conditionnement.	24
Référence.....	26

Généralités

Généralités

Introduction

Avant de commencer ce cours destiné aux étudiants 3^{ème} Génie des procédés dans le système LMD ; il faut bien connaître :

1. Définition de l'industrie agroalimentaire.
2. Le but de l'industrie agroalimentaire.
3. Les opérations unitaires utilisées.

1. L'industrie agroalimentaire :

C'est l'ensemble des activités industriels qui transforment les matières premières les produits agricoles alimentaires issus d'animaux (vache, poule, etc.) et de végétaux (céréales, légume, etc.) en produits finis basé sur des procédés de transformation physique, chimique ou biochimique de la matière première.

On distingue plusieurs grandes familles d'activités dans l'industrie agroalimentaire :

- Industrie de la viande
- Fabrication de produits alimentaires élaborés
- Fabrication des produits a base de céréales
- Fabrication des huiles, de corps gras et de margarines
- Industrie sucrière
- Fabrication de boissons

2. L'objectif de l'industrie :

- Transformation : Fabrique des produits alimentaires comestibles à partir d'ingrédients bruts relativement non comestibles.
- Stabilisation : Conserve les aliments durant les périodes de grande disponibilité pour la consommation hors saison.

L'industrie alimentaire est basée sur 4 principes : de transformer les produits par cuisson, fermentation D'extraire, séparer, purifier les constituants des produits naturels (sucrierie, huilerie, minoterie, beurrerie, etc.) ; d'effectuer des mélanges pour obtenir les goûts et/ou les textures voulues (par exemple, en biscuiterie, charcuterie, etc.).

De stabiliser les produits de l'agriculture et de la pêche (par séchage, traitements thermiques ou frigorifiques, salage, fumage, etc.) ;

3. Opération unitaire :

Toute opération unique de nature physique commune à plusieurs procédés. Chaque opération unitaire est basée sur des propriétés physiques définies.

Généralités

Six opérations unitaires utilisées généralement dans les procédés industriels : Mélange Séparation Transfert de chaleur Transfert de matière Ajustement de la taille Ecoulement Et les réactions? En plus des opérations unitaires «de nature physique», les opérations chimiques et biochimiques sont également importantes dans la transformation de plusieurs aliments...

Il s'agit des : • Réactions enzymatiques et des fermentations • Additions chimiques (conservateurs, arômes, colorants, etc.)

✓ *Le mélange*

Production d'une masse homogène à partir de deux composants ou plus Deux objectifs principaux du mélange sont l'incorporation d'ingrédients et le transfert de chaleur.

✓ *Transfert de chaleurs*

Mouvement d'énergie sous forme de chaleur à partir ou vers un produit.

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.

Chauffage – Pasteurisation, stérilisation – Cuisson (sèche ou humide) — Refroidissement
Congélation, réfrigération.

✓ *Transfert de matière* : 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 à concentration faible — Evaporation : liquide _ gaz Intervient principalement dans des techniques de séparation ou de séchage...

— Exemples : Absorption, Cristallisation, distillation.

✓ *séparation* : Séparation de composants sur la base d'une propriété physique.

-Taille Exemples : Filtration sur membrane, Gel filtration, Tamisage.

-Densité Exemples : Séparation de la crème du lait, Elimination de bactéries des fluides.

-Point d'ébullition. Exemple Distillation.

✓ *L'ajustement de la taille* : Changement de la taille d'un produit ou de l'un de ses composants :

Réduction de la taille du produit : broyage, moulage – Découpage, tranchage.

Augmentation de la taille par agrégation, agglomération ou gélatinisation – Ex. Lait, fromage.

✓ *L'écoulement* : Transfert d'un fluide d'un point à un autre — Gravité — Pompag

Chapitre 1 : Procédés de transformation et de conservation

Introduction

La conservation des aliments vise à préserver leur comestibilité et leurs propriétés gustatives et nutritives. Elle implique notamment d'empêcher la croissance de microorganismes et de retarder l'oxydation des graisses qui provoque le rancissement. Les méthodes courantes de conservation de la nourriture reposent principalement sur un transfert d'énergie ou de masse qui ont pour objectif d'allonger la durée de vie des produits alimentaires (pasteurisation et stérilisation, séchage, déshydratation osmotique, réfrigération et congélation) ou de les transformer par le jeu de réactions biochimiques ou de changement d'état (cuisson, fermentation, obtention d'état cristallisé ou vitreux...).

1.1. Optimisation des procédés thermiques

Le traitement des aliments par la chaleur est aujourd'hui la plus importante technique de Conservation de longue durée à pour but de détruire les microorganismes très efficace.

On distingue plusieurs techniques de conservation des aliments par traitement thermique comme, la pasteurisation, l'appertisation, la cuisson et les procédés aseptiques.

1.1.1. Pasteurisation

Ce terme vient de Louis Pasteur (1822-1895) et désigné un processus de conservation des aliments par un chauffage à des températures inférieurs à 100°C suivi d'un refroidissement brusque (4°C) pour détruire certains microorganismes pathogènes qui 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.

Cette technique concerne, par exemple, le lait et les produits laitiers, les jus de fruits, le vinaigre, le miel (**Tableau 1.1**).

Tableau 1.1: Barèmes de pasteurisation [1].

Denrée	Température et temps nécessaire
Lait	30 minutes à 60°C ou 15 secondes à 72°C
Crèmes/Crèmes dessert	30 minutes à 71°C ou 16 à 20 secondes à 82°C
Jus de pommes	30 minutes à 77°C
Boissons gazeuses à base de jus de fruit	30 minutes à 66°C

1.1.2. Appertisation.

C'est une méthode, inventée par Nicolas Appert en 1790, il enferma des légumes dans des bouteilles étanches qu'il plongea un temps dans l'eau bouillante. Il observa que ses légumes ne changeaient ni d'aspect, ni de goût, et pouvaient se conserver longtemps. Ce procédé révolutionnaire évolua des boîtes en fer blanc aux marmites autoclaves. Cette technique de conservation est appelée «appertisation»

autrement dit stérilisation par la chaleur couplée à un conditionnement étanche. Les paramètres du traitement sont supérieurs à ceux de la pasteurisation et ils varient selon le produit entre dix minutes à 115°C et trente minutes à 121°C (**Tableau 1. 2**).

Deux opérations sont importantes en appertisation :

1-le conditionnement dans des récipients étanches a l'air.

2-le chauffage a températures élevée (110 à 120 °C) pour détruire les micro-organismes et éviter toute contamination bactériologique ultérieure.

Tableau 1.2: Barèmes d'appertisation.

Denrée	Durée (minutes)	Température (°C)
Haricots verts au naturel	2 à 4	121
Petits pois à l'étuvée	10 à 15	121
Sardines à l'huile	2 à 4	121
Corned-beef	6 à 4	121
Champignons	6 à 10	121

1.1.3. Cuisson

La cuisson est l'action de soumettre un aliment à la chaleur en vue d'une consommation (**Tableau 1.3**). Son objectif principal est donc le développement des caractéristiques organoleptiques du produit : Amélioration du goût, de l'odeur, du couleur et de la texture. Selon les barèmes appliqués, Les produits cuits peuvent être conservés au réfrigérateur pendant quelques jours, et au congélateur pendant quelques semaines.

Divers types de cuissons sont possibles :

- Cuissons par contact avec un produit solide ou se solidifiant (viandes œufs etc.)
- Cuisson d'un produit liquide ou pâteux.
- Cuissons par contact avec un liquide : bouilli et friture.
- Cuissons par contact avec un gaz : au four et a la vapeur.
- Cuissons par rayonnement infrarouge : grillades et rôti.

Tableau 1.3 : Températures de cuisson standard recommandées par l'industrie.

Viande hachée	
Boeuf/ veau haché	71°C
Poulet haché/dinde hachée	80°C
Viande de bœuf	
Saignante	60°C

Moyenne	71°C
Bien cuite	77°C
Rôtis ou steaks de boeuf roulés	71°C
Bifteck minute	71°C
Volaille	
Poulet entier farci, dinde entière farcie	82°C
Poulet entier – sans farce	82°C
Dinde entière – sans farce	77°C
Morceaux de poulet ou de dinde	77°C
Farce	
Cuite séparément	74°C
Oufs et plats aux oeufs	
Plats et sauces aux oeufs, crème anglaise	71°C
Restes – réchauffés	74°C

1.1.4. Procédés aseptiques

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. Le produit stérilisé est ensuite refroidi puis conditionné aseptiquement. Ce processus est utilisé pour la stérilisation des produits liquides (lait, jus de fruits, ...) ou de consistance plus épaisse (desserts lactés, crème, jus de tomate, soupes,...)

1.2. Optimisation des procédés frigorifiques :

Le froid est une technique de conservation des aliments à des températures basses 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 [2].

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

1.2. 1. Réfrigération

Elle consiste en l'abaissement de la température d'un aliment à des valeurs légèrement supérieures à son point de congélation qui est entre 0 et 4 °C. Elle permet une conservation de quatre à dix jours.

1.2.2. Surgélation

C'est une technique de refroidissement brutal (-35°C -196°C) puis de congélation à -15°C-18°C. Grâce à ce procédé, l'eau contenue dans les cellules se cristallise finement limitant ainsi la destruction cellulaire. On peut surgeler les légumes, les fruits, certains fromages, les beurres, les œufs, les jus de fruits, les viandes, les produits de pêche, les plats cuisinés, les pâtisseries et autres desserts. La conservation pouvant dépasser deux ans. Il faut que l'emballage de surgelé soit étanche à la vapeur d'eau et au gaz (risque d'oxydation ou de prise d'odeurs).

1.2.3. Transport frigorifique

Il consiste à transporter le produit issu du traitement frigorifique dans des conditions similaires au traitement pour ne pas rompre la chaîne froide.

1.3. Déshydratation et procédés combinés :

La déshydratation est une technique physique de conservation des aliments. Elle consiste à éliminer, partiellement ou totalement, l'eau contenue dans l'aliment pour empêcher le développement de micro-organismes et bloquer l'activité enzymatique.

Dès la plus haute antiquité, des grains, des fruits, des viandes, des poissons ont été séchés au soleil. Plus tard le séchage a été effectué dans des fours. Aujourd'hui, les denrées sont déshydratées par différentes techniques : séchoirs à air chaud, rampe infrarouge, cylindres chauffants, fluidisation (passage de gaz chauds à travers une grille plaque).

Suivant l'intensité de déshydratation, on distingue :

1.3.1. Séchage

Qui consiste à enlever l'excès d'humidité par évaporation de l'eau. On aboutit à des produits alimentaires dits secs [3].

1.3.2. Fumage

Le fumage est l'un des plus anciennes méthodes de conservation utilisées depuis le Paléolithique. Il se fait en complément du salage qui consiste à soumettre une denrée alimentaire à l'action de composés gazeux qui se dégagent lors de la combustion. . Le fumage des viandes ou des poissons

Il est utilisé pour :

- L'aromatisation et la coloration.
- La préservation, conservation par effet antimicrobien et modification de la texture du produit.

1.3.3. Déshydratation-imprégnation par immersion (DII)

Déshydratation-Imprégnation par Immersion (DII), également appelée déshydratation osmotique. En effet, pour les produits alimentaires solides, l'élimination d'eau peut être réalisée par différence de concentration. Cette technique consiste à mettre l'aliment entier ou découpé en morceaux en contact avec une solution fortement concentrée en solutés. Au cours de cette opération, il se produit des transferts de matière croisés et interactifs (**figure 1.1**).

- une sortie d'eau du produit vers la solution,
- une entrée des solutés de la solution vers le produit,
- une fuite des solutés propres du produit vers la solution

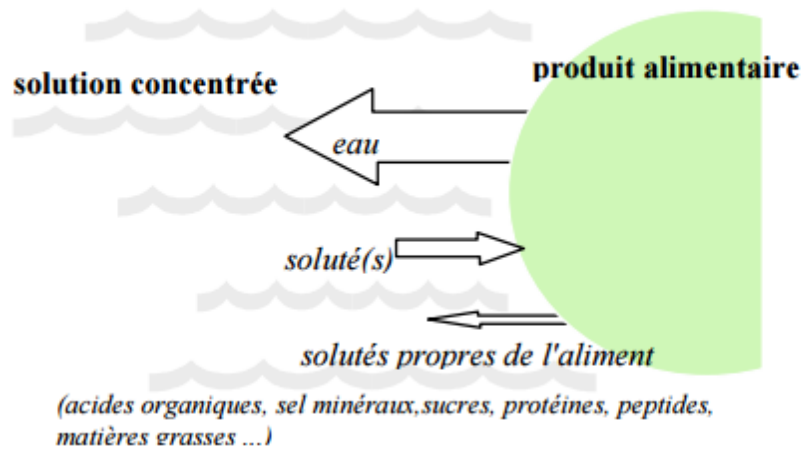


Figure 1.1 : Transferts de matière entre la solution et le produit.

Chapitre 2 : Généralités sur les procédés de séparation

2.1. Séparation de phase :

En chimie, un procédé de séparation est une technique ou une technologie permettant de transformer un mélange des substances en bi ou triphasique qui peuvent être liquide/liquide, solide/solide ou gaz/gaz miscible ou non miscible.

2.1.1. Pressage

Le pressage est le procédé où le liquide, qui se trouve dans les pores d'un solide, est expulsé par compression (on exerce une pression sur une orange pour obtenir le jus, ou à écraser des fleurs pour extraire les arômes). Dans la plupart des équipements, le pressage est réalisé par des forces mécaniques, hydrauliques ou pneumatiques [4].

Dans l'industrie agroalimentaire le pressage est utilisé pour l'extraction de jus de fruits, du sucre, de l'huile, etc. On utilise encore le pressage pour la déshydratation des produits destinés à l'alimentation du bétail.

Le tableau 2.4 représente la production mondiale de certains produits, obtenus par pressage.

Tableau 2.4. Matériaux pressés, production mondiale et produits obtenus. [4]

Matériaux	Production annuelle (10 ⁹ kg/an)	Produits
Canne à sucre	676	Jus sucré
Pulpe de betterave à sucre	242	Aliments pour bétail
Orange	27	Jus d'orange, huile d'écorce
Pamplemousse	1,9	Jus de pamplemousse
Pulpe et écorce de citron	13,1	Aliments pour bétail
Raisins	50,5	Jus de raisin
Pomme	3,8	Jus de pomme
Luzerne	1,9	Protéine de luzerne
Noix de palme (47% huile)	3,6	Huile de palme
Noix de coco séchée (63% huile)	5,0	Huile de noix de coco
Lin (34% huile)	1,8	Huile de lin
Arachide	1,8	Huile d'arachide
Graine de sésame	1,5	Huile de sésame
Germe de maïs	1,8	Huile de maïs
Olive	8,6	Huile d'olive
Cacao	1,7	Beurre de cacao

2.1. 2. Décantation

2.1. 2.1. Décantation (sédimentation)

Elle consiste simplement à laisser reposer un mélange hétérogène en attendant que les constituants se séparent spontanément (**Figure 2. 2**).

Cette décantation s'opère en milieu naturel lorsque l'eau est mélangée à de la terre ou du sable.

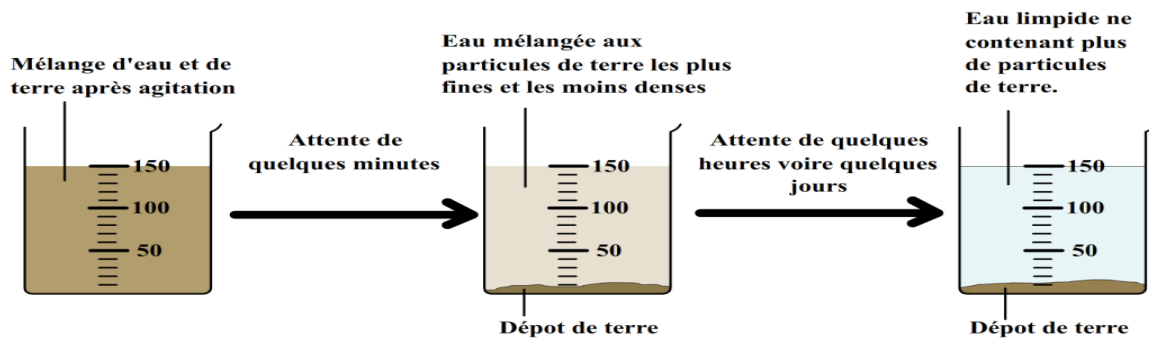


Figure 2.2: la décantation d'un mélange d'eau et de terre (solide-liquide)

Après agitation les particules de terre se dispersent dans l'eau.

On observe ensuite :

- Une couche de terre qui se forme petit à petit au fond du récipient : elle est constituée des particules de terre qui retombent au sous l'effet de leur poids.
- Le liquide qui s'éclaircit progressivement car il comporte de moins en moins de particules. Les moins denses sont plus lentes à se déposer au fond du récipient.
- Au bout d'un temps suffisamment long le liquide finit par redevenir limpide car toutes les particules sont tombées au fond du récipient.

2.1. 2.2. L'ampoule à décanter (liquide-liquide)

La décantation est un processus qui permet de séparer des liquides non miscibles qui n'ont pas la même masse volumique (densité). On laisse reposer les deux liquides dans une ampoule à décanter. Le liquide qui possède la masse volumique la plus grande se déplace alors vers le fond de l'ampoule. Le liquide qui possède la masse volumique la plus petite quant à lui se déplace vers le haut. Lorsque les deux phases sont bien distinctes, on peut séparer les deux liquides. Cette technique peut être utilisée pour séparer, par exemple, un mélange d'eau et d'huile. Comme on le remarque sur l'image ci-dessous, l'huile flotte sur l'eau, car l'huile a une masse volumique plus faible que l'eau. [5]

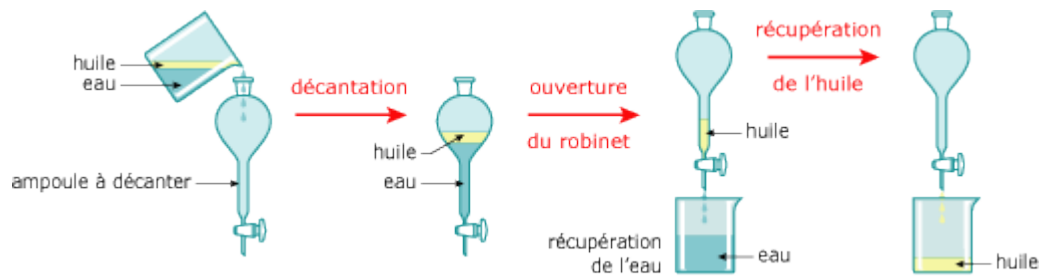


Figure 2. 3: Séparation de l'huile et de l'eau à l'aide d'une ampoule à décanter.

2.1. 3. Filtration :

La filtration est un procédé de séparation permettant de séparer les constituants d'un mélange qui possède une phase liquide et une phase solide au travers d'un milieu poreux. C'est une technique très utilisée que ce soit dans le domaine de l'agro-alimentaire ou de la pharmacie ou par de nombreuses espèces animales, principalement aquatique. L'utilisation d'un filtre permet de retenir les particules du mélange hétérogène qui sont plus grosses que les trous du filtre (porosité). Le liquide ayant subi la filtration se nomme filtrat, et ce que le filtre retient se nomme un résidu (aussi communément appelé "gâteau" ou retentât).

La microfiltration est une séparation de particules de l'ordre de micromètre.

La filtration stérilisante est un cas particulier, les particules étant des microorganismes.

Les applications de la filtration courante résultent de la séparation d'un solide dispersé dans un liquide pour obtenir:

- Un liquide clarifié, débarrassé des particules solides.
- Un solide essoré de l'excès de liquide.

2. 1. 3.1. Principe de la filtration

La filtration est une séparation selon le diamètre des particules solides de différentes tailles, qui sont dispersées dans un liquide. La différence de pression force le liquide à passer à travers le filtre alors que les particules solides restent à la surface.

Deux phénomènes accompagnent souvent la filtration:

- **Le premier phénomène est le colmatage:** La pénétration des particules dans les interstices [petits espaces vides entre les parties du filtre] de la matière filtrante provoque le phénomène du colmatage. Ceci modifie la porosité et ralentie la filtration.
- ✓ **Le deuxième phénomène est l'adsorption:** Il résulte de la charge électrique qui possède la matière filtrante. Ceci induit la rétention de certains produits par le filtre malgré que leurs dimensions permettent leur passage à travers les pores du filtre.

2. 1. 3.2. Méthodes de filtration

La filtration consiste à séparer les constituants d'un mélange liquide -solide par passage à travers un milieu filtrant. Elle est beaucoup plus rapide que la sédimentation. Il existe plusieurs procédés de filtration.

2 1. 3. 2.1. Filtration gravimétrique (filtration par gravité)

Dans cette méthode, l'entonnoir de laboratoire équipé d'un papier filtre est utilisé (**Figure 2. 3**). La différence de pression est créée par la hauteur du liquide sur le filtre.

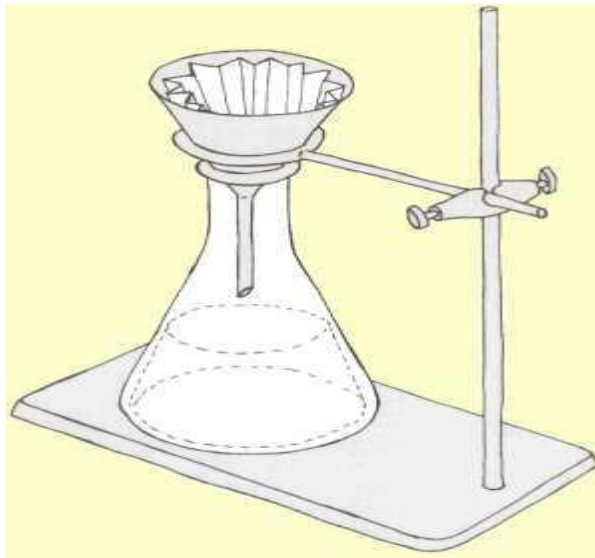


Figure 2.3 : La filtration par gravité.

La filtration gravimétrique présente les inconvénients suivants:

- La filtration est lente.
- La difficulté de récupération de la phase solide isolée, surtout lorsqu'elle est peu abondante.
- La séparation est incomplète: le solide retient une quantité non négligeable de liquide.

2.1.3. 2.2. Filtration sous vide

La vitesse de filtration est augmentée par la création d'une dépression en aval du matériau filtrant (**Figure 2.4**). C'est le mode de filtration utilisé d'une manière courante pour les verres frittés et les membranes filtrantes. Des entonnoirs spéciaux adaptés sur une fiole à succion, dans laquelle on crée une dépression, sont utilisés. L'entonnoir est adapté sur la fiole par l'intermédiaire d'un cône en caoutchouc, qui collera à la fiole et l'entonnoir lorsque la dépression est établie

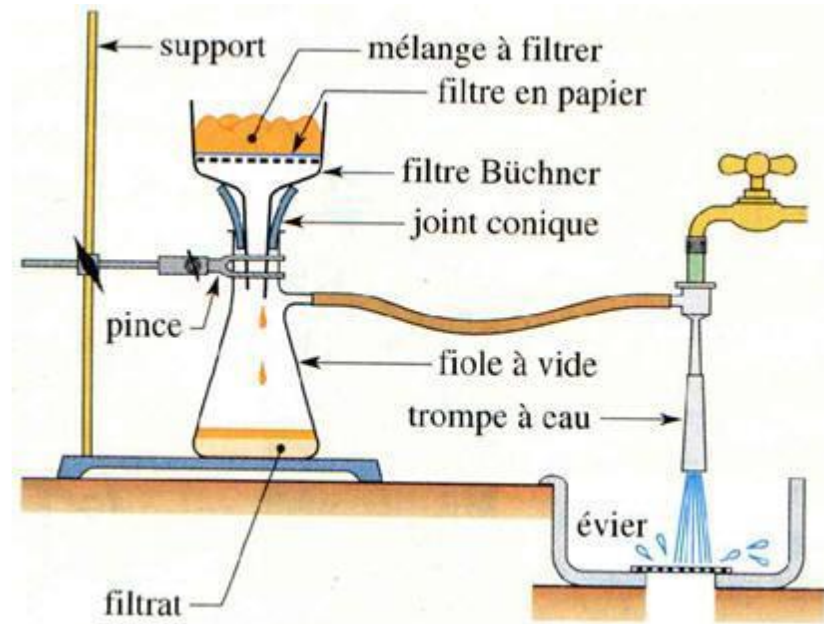


Figure 2.4. La filtration sous vide.

2.1.3.2.3. Filtration sous pression

La vitesse de filtration est augmentée en exerçant une pression sur le liquide à filtrer en amont du matériel filtrant représenté par une membrane filtrante (**Figure 2. 5**). La filtration sous pression évite le moussage et l'évaporation du solvant; elle est d'un emploi fréquent dans l'industrie. Ce système de filtration sous pression avec membranes filtrantes existe également sous forme de cartouches filtrantes (millipore) adaptable sur une seringue pratique pour la filtration des petits volumes de solution à filtrer. Au laboratoire, la microfiltration stérilisante à l'aide du dispositif Swinnex Millipore est une filtration sous pression. Ce dispositif est constitué de deux pièces plastiques, que l'on visse l'une sur l'autre enserrant une membrane filtrante.



Figure 2.5. La filtration sous pression.

2.1.4 Centrifugation

La centrifugation est une technique qui permet la séparation des composés d'un mélange en fonction de leur densité sous l'action d'une force centrifuge. Elle permet de récupérer un précipité (culot) et un surnageant. Le mélange à séparer peut être constitué de deux phases Liquides ou de particules solides en suspension dans un liquide.

La centrifugation utilise des vitesses de rotation grandes (allant de (6 à 10000 tours par minute).

2.1.4.1 Principe

La centrifugation permet de séparer des constituants de taille et de masse très différente Contenus dans un liquide. Les constituants contenus dans un échantillon sont soumis à deux forces:

- ✓ La gravité: C'est la force qui s'exerce du haut vers le bas.
- ✓ La poussée d'Archimède: C'est la force qui s'exerce du bas vers le haut.

Pour une vitesse de rotation donnée, chaque rotor a une force relative de centrifugation en x.g (force de gravité relative ou accélération) qui peut être exprimée en vitesse de rotation en rotations par minute selon la formule mathématique de conversion. Celle-ci est: $g = 1.119 \cdot 10^{-5} \cdot r \cdot N^2$

où g est la force relative de centrifugation, r est le rayon de rotation du rotor (en cm) et N (rotations par minute: rpm) exprime la vitesse de rotation [6] (Figure II. 6).

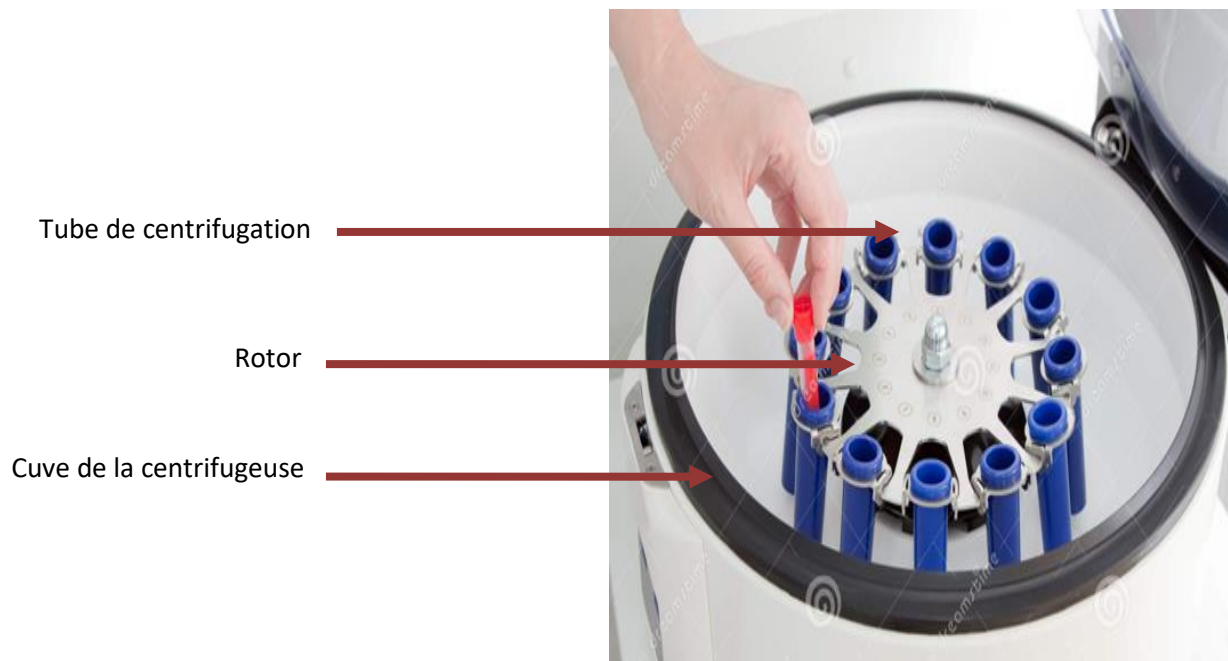


Figure 2.6 : Centrifugeuse.

2.2. Séparation à l'échelle moléculaire :

2.2. 1. Extraction :

2.2. 1.1. Introduction

L'extraction est utilisée pour extraire sélectivement un ou plusieurs composés d'un mélange initial, sur la base de propriétés chimiques ou physiques.

L'homme utilise des colorants, des parfums, des arômes, et des extraits de produits naturels depuis la haute Antiquité, par différentes techniques:

- **L'enfleurage** : est une forme d'extraction utilisée en parfumerie. Il repose sur le pouvoir d'absorption d'une huile essentielle par les corps gras. Par exemple, les fleurs fragiles sont posées sur des cadres enduits de graisse animale très pure et inodore qui absorbe le parfum des fleurs au contact; en fin de séchage, les graisses sont imprégnées de substances odorantes, l'extraction solide – liquide (**La décoction ; L'infusion et La macération**)

L'extraction par solvant (extraction liquide – liquide) et l'entraînement à la vapeur ou l'hydro distillation [7].

2.2.1.2. Définitions

L'extraction consiste à transférer un composé d'une phase à une autre:

- D'une phase liquide à une autre phase liquide.
- D'une phase solide à une phase liquide.

C'est une opération qui consiste à séparer certains composés d'un organisme (animal ou végétal) selon diverses techniques.

2.2.2. Extraction liquide-liquide

L'extraction liquide-liquide est l'une des techniques de préparation d'échantillons les plus anciennes. C'est une opération fondamentale de transfert de matière entre deux phases liquides non miscibles, sans transfert de chaleur. Cette technique permet d'extraire une substance dissoute dans un solvant, à l'aide d'un autre solvant, appelé solvant d'extraction, dans lequel elle est plus soluble. Le solvant initial et le solvant d'extraction ne doivent pas être miscibles (**Figure 2.7**).

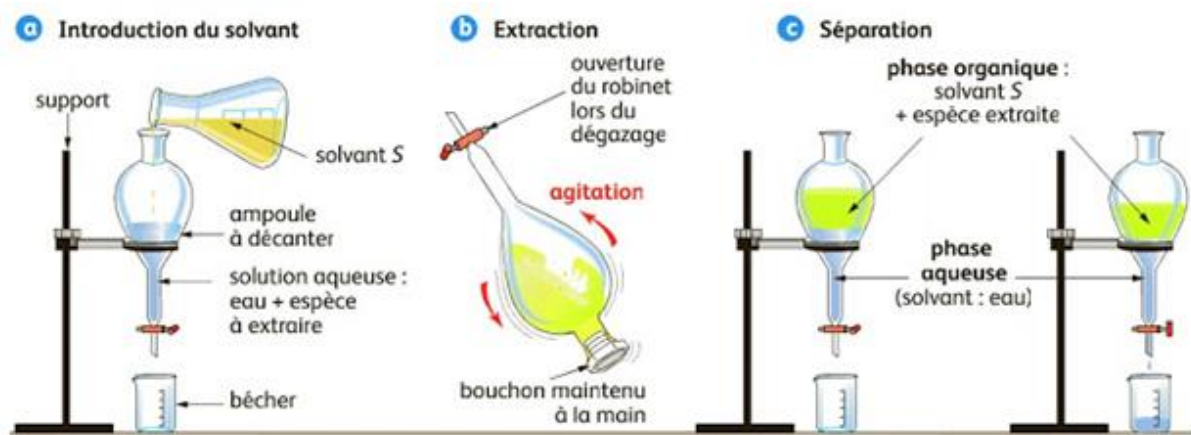


Figure 2.7 : Les étapes de l'extraction liquide - liquide

2.2.3. Extraction solide-liquide

L'extraction solide-liquide est un phénomène lent qui permet d'extraire une substance présente dans un solide pour la faire passer dans un solvant liquide. On peut utiliser des différentes techniques : La macération, l'infusion et la décoction (**Figure 2.8**).

- **La décoction:** Cette méthode est très ancienne. Elle consiste à chauffer la racine ou l'écorce d'une plante avec de l'eau; jusqu'à ce que cette dernière soit bouillante et les constituants se dissolvent.
- **L'infusion:** Elle consiste à verser de l'eau bouillante sur des plantes (les feuilles ou les fleurs) finement broyées puis les laisser tremper pour dissoudre leurs principes actifs.
- **La macération:** Consiste à laisser séjourner à froid un solide dans un liquide pour en extraire les constituants solubles dans ce liquide.)



Figure 2.8 : Différentes techniques d'extraction solide-liquide (décoction, infusion, macération).

2.2.4. Extraction par hydro distillation ou entraînement à la vapeur d'eau

L'hydro-distillation consiste à distiller un composé par entraînement à la vapeur d'eau. C'est une méthode très utilisée pour l'extraction des huiles essentielles (**figure 2.9**), il consiste à porter à ébullition un mélange d'eau et d'un produit naturel puis à condenser les vapeurs par un réfrigérant. On obtient un distillat comportant deux phases :

- une phase aqueuse
- une phase organique, c'est l'huile essentielle.

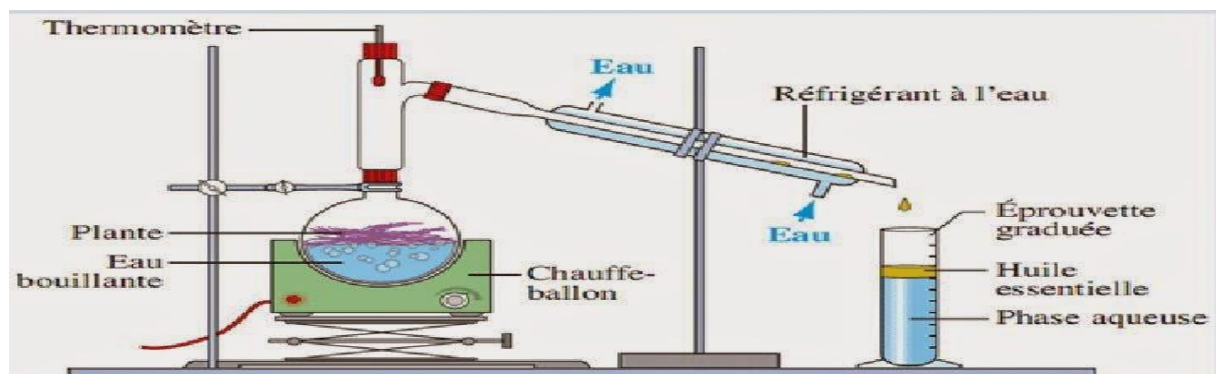


Figure 2.9 : Extraction par hydro distillation ou entraînement à la vapeur d'eau

2.2.5. Distillation

La distillation est une technique de séparation de deux substances liquides miscibles.

En utilisant cette technique, on fait appel à la propriété de point d'ébullition. On chauffe le mélange jusqu'à ce qu'on atteigne le point d'ébullition d'un des constituants. Ce liquide s'évapore alors et les vapeurs sont recueillies et condensées dans un autre récipient. Pendant que le premier liquide s'évapore (distillat), le deuxième n'atteint pas sa température d'évaporation et reste sous forme liquide dans le contenant initial (résidu) (**Figure 2.10**).

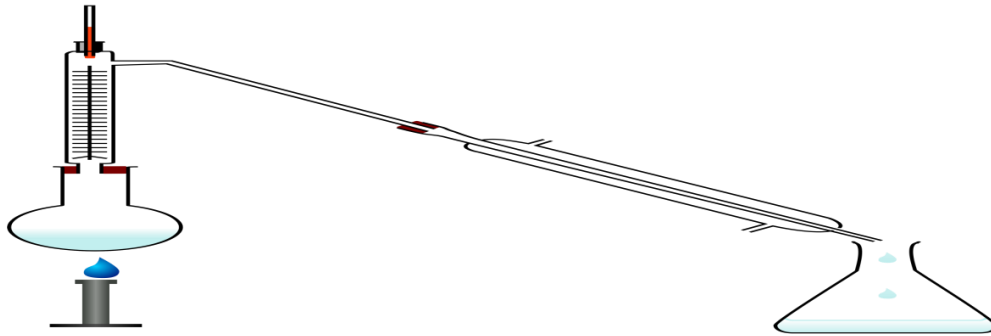


Figure 2.10 : *Distillation*

Le principe des différentes techniques de distillation font appel aux lois qui régissent l'équilibre liquide-vapeur des corps purs et des mélanges.

Il existe plusieurs types de distillation ; parmi eux :

- Distillations sous pression atmosphérique
- Distillations sous pression réduite pour abaisser le point d'ébullition des mélanges (sous une pression de 25 mm de Hg, l'abaissement du point d'ébullition de la plupart des liquides est de l'ordre de 100 à 125°C).

2.2. 6. Evaporation

L'évaporation est un processus par lequel on élimine la partie liquide d'un mélange en le transformant en gaz.

Pour ce faire, on peut laisser le constituant liquide du mélange s'évaporer naturellement à température ambiante, ou on peut accélérer le processus en chauffant le mélange. L'évaporation sert à récupérer la partie solide d'un mélange hétérogène ou encore le soluté solide d'une solution. Elle permet aussi de concentrer le soluté d'une solution dans un plus petit volume de solvant. (**Figure 2.11**)

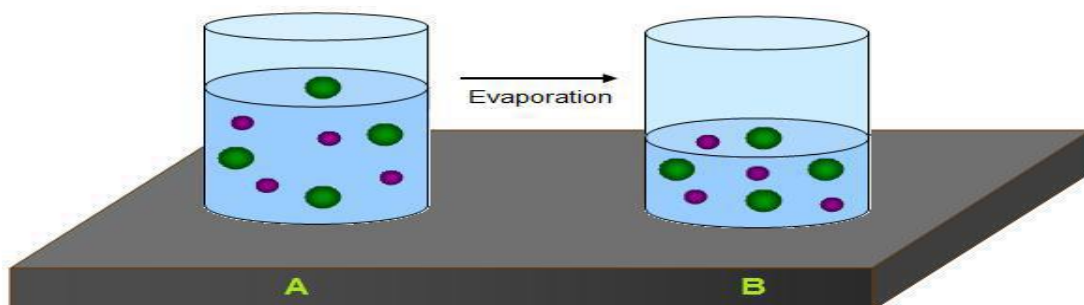


Figure 2.11 : *Evaporation*

2.2.7. Procédés membranaires.

Les méthodes de séparation membranaire sont un procédé de séparation utilisant comme agent séparant une membrane synthétique qui est une couche mince de matière. L'épaisseur d'une membrane peut varier entre 100 nm et jusqu'à un peu plus de 1 cm. Elle permet l'arrêt ou le passage sélectif de certaines substances dissoutes ou non dans un mélange, entre les deux milieux qu'elle sépare. La partie du mélange retenue par la membrane est appelée retentât (ou concentrât) alors que celle qui traverse cette dernière est appelée perméat. La séparation se fait sous l'action d'une force motrice de transfert selon un mécanisme de séparation défini. Les caractéristiques des membranes sont déterminées par deux paramètres : la perméabilité et la sélectivité.

Exemple : l'osmose inverse

Utilise des membranes denses qui laissent passer le solvant (l'eau) et arrêtent tous les sels. Cette technique est utilisée pour :

- Le dessalement des eaux de mer.
- Le dessalement des eaux saumâtres.
- La production d'eau ultra pure.

Chapitre 3 : Génie de la réaction

3.1. Génie de la réaction physico-chimique

3.1.1. Coagulation :

C'est une étape essentielle dans la fabrication des laits fermentés, des fromages et de certains desserts lactés. Elle correspond à une déstabilisation des micelles de caséines. Le produit solide obtenu (caillé) est constitué principalement de caséines devenues insolubles. En fabrication fromagère, la partie liquide (lactosérum) est séparée du caillé. Il existe trois types de coagulation : • coagulation acide, résultat de l'action de bactéries lactiques (coagulation lactique) ou de l'addition d'un acide. • coagulation enzymatique, résultat de l'action d'agents coagulants (contenant des chymosines notamment) • coagulation mixte associant l'emploi de bactéries lactiques et d'agents coagulants.

Chaque coagulant possède ses caractéristiques propres de sensibilité au pH, à la température, aux ions calcium. Si certains peuvent techniquement être utilisés sur tous types de fromages, d'autres sont plus spécialement réservés à certains types de fabrications [8].

3.1.2. Gélification :

Dans l'industrie agroalimentaire, la gélification est le processus de transformer une substance en une forme gélatineuse. Lors de ce processus, les substances liquides se transforment en matières solides à l'aide d'un agent gélifiant [9]. La préparation moderne des confitures, des gelées de fruits, de desserts gélifiés, etc., nécessite l'introduction de hauts polymères appartenant à la famille des hydrocolloïdes glucidiques proviennent de sources naturelles, par exemple : pectine, agar, alginates, carraghéna

Dans le domaine laitier, la gélification peut survenir après un traitement thermique dans des produits suffisamment riches en extrait sec ; bien que dans le cas du lait ordinaire stérilisé à ultra-haute température pendant un temps très court (U.H.T.), un gel puisse apparaître après une longue période de conservation. Divers phénomènes de gélification sont utilisés dans l'alimentation animale, dans l'industrie pharmaceutique et le secteur non alimentaire [10].

- Poudings
- Desserts
- Aliments pour chiens et chats en gelée
- Gels pharmaceutiques
- Gels pour cheveux

3.2. Génie de la réaction biologique :

3.2.1. Production de biomasse.

La biomasse se définit comme l'ensemble des matières organiques d'origine végétale ou animale (viande, lait, herbe) qui peut être transformée en énergie.

Parmi les principaux usages de la biomasse dans l'agriculture et dans l'industrie agro-alimentaire on distingue [11] :

- La biomasse pour les biocarburants : les huiles de tournesol, olives, soja ou palme sont les matières premières de base pour fabriquer du biodiesel. Le bioéthanol est aujourd'hui produit à partir de la fermentation de blé, maïs, betterave ou canne à sucre.
- On usage comme biomatériau, l'utilisation de la biomasse se développe pour produire de la chaleur et/ou de l'électricité comme des résidus de culture et des productions dédiées tels que les grignons d'olives et les margines, peuvent être utilisés comme combustibles.

3.2.2. Fermentation

La fermentation est une technique très ancienne de transformation et de conservation soit animale soit végétale (yaourts, fromage, pain, légumes fermentés....)

C'est un procédé biologique qui manipule des microorganismes présents dans les matières premières leur servant de substrat. En effet, la fermentation se base sur une réaction biochimique qui consiste à libérer de l'énergie à partir d'un substrat organique sous l'action d'enzymes microbiennes et à rejeter des produits ayant un intérêt pour l'alimentation et l'industrie de manière générale. Cette réaction ne fait pas intervenir d'oxygène (O₂), elle se déroule ainsi en l'absence d'air (anaérobiose). Elle permet de conserver des produits alimentaires tout en améliorant leurs qualités nutritionnelles et en augmentant leurs qualités organoleptiques [12].

3.2.3. Bioconversion.

La bioconversion est la transformation de la matière organique résultant de la croissance de microorganismes, et consiste donc en la modification d'une substance organique en une ou plusieurs autres grâce à l'action d'organismes vivants, ou d'un système enzymatique [13].

Chapitre 4: Opération de structuration

4.1. Emulsification

Une émulsion est un mélange intime de deux substances liquides ne se mélangent pas, elles sont théoriquement non miscibles, par exemple, la graisse et l'eau. Grâce aux émulsifiants, la graisse et l'eau, peuvent être finement dispersées l'un et l'autre pour constituer un mélange uniforme sous forme de petites gouttelettes. Le mélange reste stable grâce à un troisième ingrédient appelé émulsifiant.

Les agents émulsifiants utilisés dans l'industrie agro-alimentaire sont : sont les lécithines et les monoglycérides et diglycérides d'acides gras alimentaires [14].

4.1.1. La lécithine :

Dérivé du mot grec "lekithos", le mot lécithine signifie jaune d'œuf. Il s'agit d'un émulsifiant naturel abondant dans le jaune d'œuf. La lécithine peut être d'origine végétale ou animale. De nos jours, elle est principalement extraite des matières grasses, notamment, des graines de soja. Elle est également produite à partir de tournesol de colza ou de graisse animale. Elle est caractérisée par des propriétés qui favorisent l'émulsion, c'est-à-dire, l'homogénéisation de deux substances qui autrement ne se mélangeraient pas. Ainsi, elle permet de rendre miscible un corps gras dans l'eau ou de mélanger l'huile avec de l'eau. Un pôle hydrophile (ayant une affinité pour l'eau) et d'un pôle hydrophobe (ayant une affinité pour l'huile), les molécules de lécithines sont donc amphiphiles. Cette structure chimique permet d'assurer la stabilité des émulsions. Dans l'industrie alimentaire, les lécithines sont utilisées comme agent émulsifiant dans le pain et les produits de la boulangerie ordinaire. Elle permet d'améliorer la souplesse de la farine, l'extensibilité des pâtons, l'élasticité du pain et permet d'augmenter l'onctuosité de la mie. Dans la margarine, la lécithine est un émulsifiant qui empêche l'eau et le gras de se séparer. Elle améliore la texture de la crème glacée. Elle est également utilisée dans le beurre, le bonbon de chocolat. Dans ces différents produits alimentaires, la lécithine favorise un brassage homogène des aliments et empêche la séparation de l'eau et de l'huile. Utilisée dans la cuisine moléculaire, la lécithine permet créer des mousses.

4.1.2. Les monoglycérides et diglycérides d'acides gras alimentaires :

Les monoglycérides et les diglycérides sont des lipides synthétiques, issus du glycérol et d'acides gras naturels. Dérivés des graisses animales (le porc, le bœuf) ou végétales (le soja, le maïs, le colza), ces additifs alimentaires sont des constituants d'huiles et de graisses alimentaires. Ils sont, également, caractérisés par une structure amphiphile et des propriétés émulsifiantes. Ainsi, ils permettent de stabiliser l'émulsion eau/ huile dans la mayonnaise.

Lors de la congélation, l'utilisation des monoglycérides et des diglycérides dans les crèmes glacées favorisent une texture plus crémeuse et la stabilisation de l'émulsion eau/ matières grasses. Dans le pain, ces émulsifiants assouplissent la pâte et rendent la texture plus moelleuse. En pâtisserie et dans la

biscuiterie, Ils sont utilisés dans le chewing-gum, l'enrobage des fruits, les gâteaux moelleux, les desserts laitiers, les viennoiseries industrielles, la confiture industrielle, les corps gras alimentaires (les brioches, les confiseries, les produits à base de cacao).

4.2. Cuisson-extrusion

La cuisson-extrusion se définit comme étant un procédé qui « consiste à faire subir en continu à des matières premières ou à un mélange de matières premières un traitement mécanique et un traitement thermique simultanés, durant un temps très court.

Le procédé de cuisson-extrusion est employé pour produire une large gamme de produits tels que les céréales de petit-déjeuner, les confiseries, les biscuits de type "pain plat", les snacks apéritifs et la farine infantile précuite.

Elle est aussi employée pour la production de fromages fondus ou la fabrication de surimi, la solubilisation de pectines et autres hémicelluloses, les modifications chimiques de biopolymères, la production d'amidons thermoplastiques etc.

c'est un procédé multifonctionnel, il peut mettre en œuvre de nombreuses opérations : l'aliment est d'abord mélangé et homogénéisé grâce à l'apport d'énergie mécanique, il est ensuite cuit grâce à l'énergie thermique apportée afin de modifier certaines de ses liaisons moléculaires et puis finalement, le produit sera extrudé grâce à la force de pression vers l'extérieur à travers la filière.

En effet, au cours de son traitement dans l'extrudeuse l'aliment traité subit certaines modifications (suite aux forces de cisaillement, de pression et aux effets de la chaleur) qui changent considérablement son aspect initial et lui confèrent les qualités organoleptiques et sensorielles souhaitées [15].

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...

4.3. Foisonnement

Il a pour objet de disperser une phase gazeuse qui n'est pas formée in situ sous formes de fines bulles dans une matière liquide ou pâteuse. Un produit foisonne est une dispersion stable d'un gaz dans un milieu continu. Lorsqu'il s'agit d'une émulsion on parlera d'émulsion foisonnée [15].

Exemple

La crème foisonnée est un système à 3 phases : des bulles d'air piégées dans un milieu aqueux contenant des globules de matière grasse et des protéines.

Ce système se stabilise si les surfaces de contact entre air, eau, gras présentent des forces de tension minimales, c'est-à-dire que ces surfaces sont elles-mêmes les plus réduites possibles. Les bulles d'air et globules doivent donc avoir une forme sphérique et un diamètre le plus petit possible.

L'utilisation d'une crème réfrigérée et de récipients froids augmente la stabilité du mélange car cela permet une cristallisation partielle des globules.

Chapitre 5 : Opérations mécaniques et manufacturières

5.1. Broyage ; Tamisage ; Ecoulement (en particulier des poudres)

5.1.1. Le broyage

C'est une opération consistant à diviser un solide, pour augmenter sa surface spécifique (surface développée de la poudre par unité de masse) et donc sa réactivité.

En chimie, en pharmacie et en agroalimentaire, le broyage manuel se fait à l'aide d'un mortier et d'un pilon et le broyage industriel se fait par des machines.

Le broyage est classé en trois grandes familles :

- ✓ Le broyage grossier.
- ✓ Le broyage fin.
- ✓ Le broyage ultrafin.

5.1.1.1. Le broyage grossier

Sont soumis au broyage grossier les solides de grande taille pour obtenir des éléments de dimension de la taille du cm. Ce genre de broyeur opère par découpage. Il en existe : Les Broyeurs à couteaux, qui sont utilisés pour découper la viande congelée par exemple.

Les Râpes, utilisées pour la betterave (industrie sucrière) ou pour la pomme de terre (industrie de l'amidon).

5.1.1.2. Le broyage fin.

Ce type de broyeurs produit des particules de dimension se situant entre 1 cm et 0,1 mm. Ils sont très utilisés en IAA.

5.1.1.3. Le broyage ultrafin.

Ces broyeurs sont utilisés pour de faibles tonnages de produits. Le diamètre moyen des particules est de 100 à 10 µm et peut atteindre 1 µm. Ils sont utilisés pour les épices, les pigments, le sucre etc.

5.1.2. Le tamisage

C'est le passage d'un produit solide ou d'une suspension au tamis pour réaliser la séparation et éventuellement l'analyse granulométrique de certains éléments (**Figure 5.12**).

Granulométrie: détermination des dimensions des grains.

Tamis: instrument à maillage carré servant à effectuer l'analyse granulométrique.

Tamisât : (ou passant): la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

Refus : sur un tamis : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.

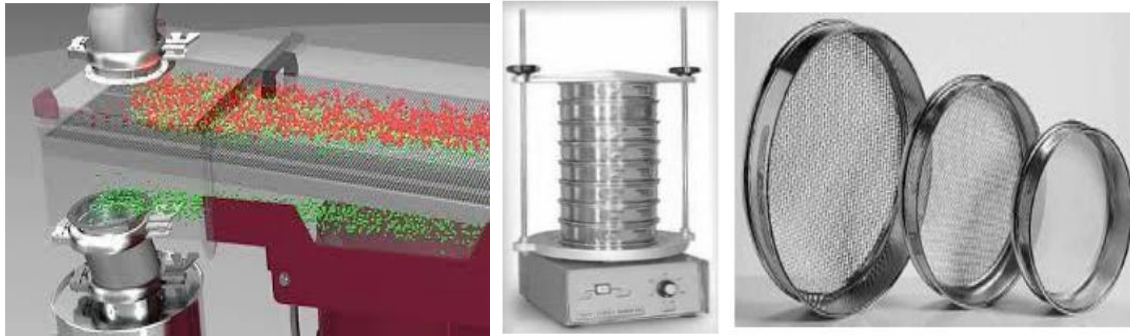


Figure 5.12: *l'analyse granulométrique.*

5.1.3.Écoulement (en particulier des poudres)

Industriellement, lors de nombreuses étapes de procédés, les solides divisés sont manipulés, transportés ou stockés. L'aptitude à l'écoulement des poudres conditionne donc les performances et le bon fonctionnement des procédés et joue un rôle sur la qualité du produit final. Ainsi, une poudre possédant une bonne coulabilité s'écoule sans aide. À l'opposé, une poudre cohésive a une faible coulabilité et un dispositif mécanique doit être prévu pour faciliter sa mise en mouvement (agitation, vibration). Le comportement dynamique des poudres lors de leur écoulement dépend de nombreuses caractéristiques. Il est difficile de l'exprimer par un seul index applicable de manière universelle. La coulabilité, en particulier pour des poudres constituées de particules fines, dépend en grande partie, de l'intensité et de la nature des forces d'interaction...

La coulabilité d'une poudre est son aptitude à s'écouler librement de manière régulière et constante sous forme de particules individuelles.

5.1.4 Le découpage

Le découpage, ou tranchage, est une opération mécanique, à l'aide d'outils tranchants, qui conduit à la réduction dimensionnelle des produits dont on contrôle la géométrie et le poids.

Les produits alimentaires sont de plus en plus souvent présentés aux consommateurs prétranchés afin de faciliter l'utilisation, Différentes techniques permettant le découpage des nombreux produits : produits mous, moelleux, collants, friables ou hétérogènes.

5.1.5.Emballage et conditionnement.

Conditionnement: l'action de placer une denrée alimentaire dans une enveloppe ou dans un contenant en contact direct avec la denrée concernée.

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.

On distingue différents matériaux d'emballage

- Le **papier et le carton**, incluant notamment le carton ondulé et le carton plat (p. ex. : boîtes de céréales), qui peuvent être recyclés, blanchis ou non blanchis (bleached).
 - Le **plastique** (PE, PP, PET... selon la composition des polymères) : contenants de boissons gazeuses, d'eau de source, contenants alimentaires.
 - Le **verre** : transparent et coloré.
 - Le **métal** : boîtes de conserve, canettes métalliques .
 - Les **contenants multicouches et composites**, comme le carton de lait, de jus, de crème glacée en carton paraffiné;
 - Le **bois**, utilisé pour certains emballages de fromage ou certaines boîtes contenant des bouteilles d'alcool.

Référence

- [1] Laurent Bazinet, François Castaigne, « Concepts de génie alimentaire : Procédés associés et applications à la conservation des aliments », Tec & Doc, 2011. tableau
- [2] **APRIA, Agence Pour la Recherche en Industrie Agroalimentaire, Tome I, II, III & IV.**
- [3] <http://www.biolineaires.com/articles/dossier/975-conservation-par-sechage.html>
2ème édition Dunod. Auteurs : Jean-Jacques Binbenet, Albert Duquenoy, Gilles Trystram. 2007.
- [4] **Schwartzberg H.G. (1997).** Expression of fluid from biological solids, *Separation and purification methods*, 26 (1), 1-213.
- [5] <http://www.alloprof.qc.ca/BV/pages/s1049.aspx>
- [6] Audigé CI., Dupont G., Zonzain F. Principes des méthodes d'analyse biochimique. Tome I. Chap. 2: Méthodes de fractionnement: filtration, sédimentation (centrifugation et ultracentrifugation), électrophorèse, chromatographie. Doin Editeurs, Paris, 1995: 7-84.
- [7] Mahuzier G., Hamon M., Ferrier D., Prognon P. Chimie analytique. Méthodes de séparation. Tome 2. 3ème édition. Masson, Paris, 1999: 1-312.
- [8]. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/additifs-et-adjuvants-alimentaires-42426210/agents-coagulants-f4700/>
- [9]. <http://genie-alimentaire.com/spip.php?mot29>
- [10] GLICKSMAN (M.) (1969). - In: Gum Technology in the food Industry. *Acad. Press New York*, 214-235.
- [11] <https://www.fellah-trade.com/fr/filiere-developpement-durable/fiches-techniques/biomasse>
- [12] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-bioprocédés-tiabi/archive-1/fermentations-j6002/production-de-metabolites-j6002niv10005.html>
- [13]. LARRETA-GARDE (V.). – Enzymes en agroalimentaire (Enzymes in food technology). 380 p. 1997, Technique et Documentation Lavoisier.
- [14]. <https://fr.scribd.com/document/193108140/Les-emulsifiants-dans-le-produit-alimentaire>.
- [15]. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/operations-unitaires-du-genie-industriel-alimentaire-42430210/cuisson-extrusion-des-aliments-f3120/>