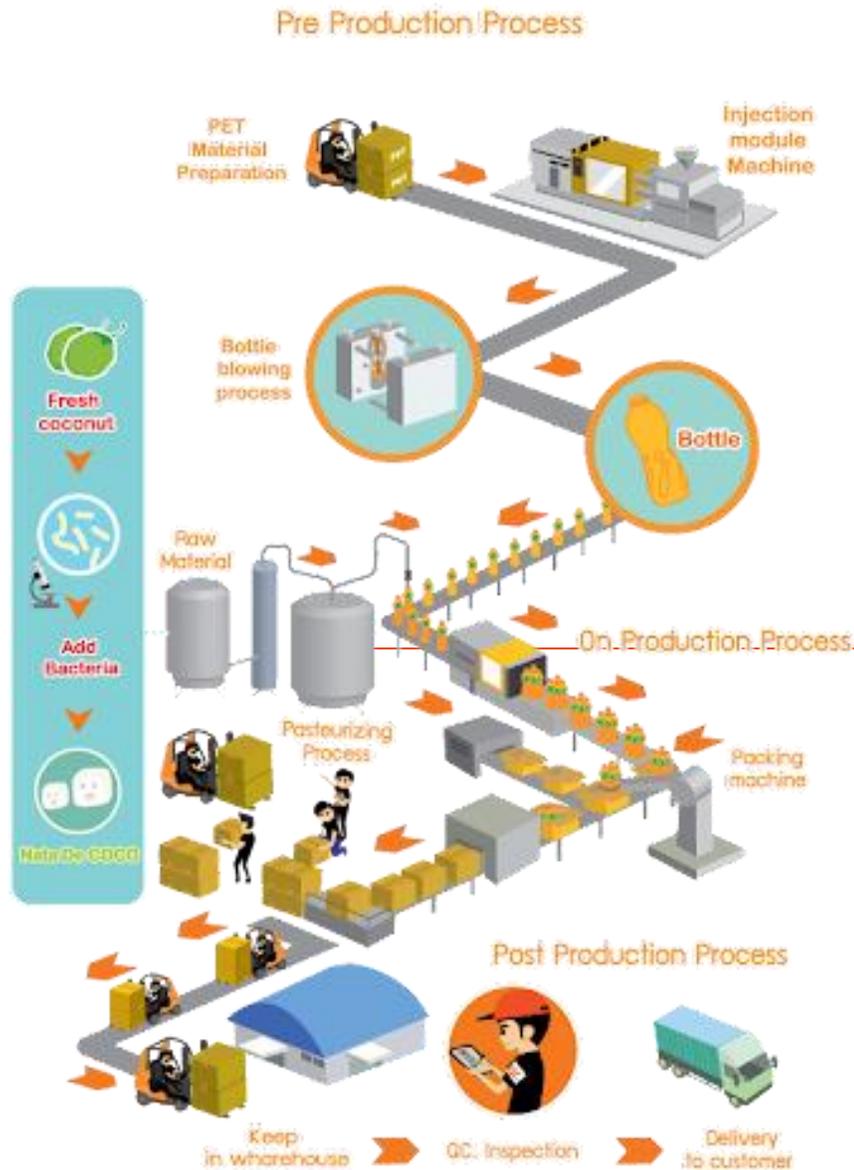


TECHNOLOGIE ALIMENTAIRE

Cours N°7: Les opérations unitaires des processus technologiques

Partie I



Préambule

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

Il y a trois manières d'aborder l'étude des opérations unitaires:

- En les classant en fonction du transfert mis en œuvre (transfert de chaleur par exemple);
- En les étudiant à travers un processus technologique de fabrication d'un produit;
- Ou en les classant en fonction de leur objectif principal (séparation, stabilisation ...).

Préambule

C'est cette dernière opération qui a été choisie pour ce chapitre, qui traitera par ordre:

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

1. LES OPÉRATIONS PRÉLIMINAIRES

Définition

Les **opérations préliminaires** sont des opérations de **préparation de la matière première**. Cette dernière, d'origine agricole ou aquacole, végétale ou animale est de qualité variable. Un des rôles des processus technologiques en industries agroalimentaires est de transformer les matières premières en produit fini 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 d'**agrèage**.

Définition

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, en vue de prévenir les risques d'endommagement des matériels, d'améliorer la machinabilité des matières premières, de minimiser les pertes possibles dues à l'altération de la qualité et de rendre les matières premières consommables.

Enfin, suit une étape de **tri**. Son objectif peut être de trier la matière en fonction d'une grandeur physique et ainsi décider de la destination, ou bien de trier pour éliminer des matières premières qui ne répondent pas au cahier des charges.

Définition

Types de contaminants à éliminer

Les contaminants sont des éléments indésirables rencontrés dans les matières premières alimentaires. On trouve des contaminants d'origine:

- chimique: produits phytosanitaires (pesticides, herbicides), antibiotiques;
- Minérale: cailloux, terre, sable graisses, huiles;
- Végétale: feuilles, tiges, racines, noyaux, graines étrangères;
- Animale: sang, excréments, viscères, peau, poils, plumes, insectes, œufs embryons;
- Métallique: pièces métalliques, limailles issues de machines agricoles....;
- Microbiologique: bactéries, levures, moisissures, virus et toxines.

1.1. Le nettoyage

Parage : Enlèvement des parties non comestibles ou de tout ce qui pourrait nuire à la présentation d'un produit alimentaire. Technique, particulièrement utilisé dans l'industrie des viandes.

a. Principe:

Différents principes sont utilisés en fonction du type de contaminants à éliminer:

- Actions manuelles: parage, pelage
- Découpe automatique: équeutage (cerise), dénoyautage (abricot), écaillage (poisson);
- Abrasion: enlever les contaminants adhérant type terre, plume (volaille), peau (pommes de terre);
- Action thermique: pelage à la flamme (poivrons), échaudage...;
- Élimination de métaux par procédé électromagnétique (petits pois) ou aimantation permanente;
- Dégazage;
- Détection de contaminants par analyse d'image (os, arêtes) ou par différence de densité: épierrage, dépoussiérage par soufflerie (blé);
- Lavage à l'eau: par aspersion: « système douche », ou par immersion: « système baignoire »(betteraves);
- Différence de taille: tamisage pour l'épierrage...

1.1. Le nettoyage

b. Incidences

Positives

Le nettoyage réduit la charge microbienne de la matière première, en améliore les qualités organoleptiques et limite l'usure du matériel (broyeur à pommes, coupe-racines pour les betteraves...)

Négatives

Le nettoyage à l'eau se comporte comme un extracteur, il y a donc diffusion des matières solubles.
Il apporte de l'eau pas toujours souhaitée, donc il y a nécessité d'un égouttage.
En outre, il risque de contaminer le produit par les solutions de lavage (chlore), un rinçage est donc nécessaire.

1.1. Le nettoyage

c. Matériel et applications

Nettoyage humide

- Eau: tunnels, cuves, tambours ...(fruits, légumes, betteraves);
- Vapeur: cuves sous pression, tunnels (légumes, carcasses de viande).

Nettoyage à sec

- Nettoyeur à air:
 - Nettoyeurs plans inclinés (céréales sur machines de récoltes),
 - Cyclones (fines des poudres).
- Séparateurs physiques:
 - Disques perforés, cribles ...(céréales),
 - À friction ou à abrasion (graines oléagineuses, céréales, riz, légumes).
- Séparateurs mécaniques (à lames) (fruits, légumes, poissons, viandes).
- Séparateurs magnétiques:
 - Aimants permanents
 - Électro-aimants,
 - Champs électriques
- Aspirateurs (viscères des animaux)

1.1. Le nettoyage

d. Exemple de matériel de nettoyage:

- Eviscéreuse :

Cette machine a été conçue pour le nettoyage des poissons aussi bien d'eau douce que d'eau salée. Sa caractéristique principale consiste en ce que l'on peut nettoyer des poissons allant de 200 grs à 800 grs, indépendamment de leur forme. Elle est de petite taille et donc peu encombrante. Elle se compose d'une unité qui se fixe à l'établi avec des dispositifs de serrage et d'un groupe aspirateur muni d'un récipient de 65 litres.

Caractéristiques techniques : moteur 100 w, aspirateur 1200 w, courant monophasé, poids 11 Kg



1.1. Le nettoyage

d. Exemple de matériel de nettoyage:

- Eviscéreuse à poisson sans tête:

Ces machines sont conçues pour éviscérer une large variété de poissons selon leurs capacités respectives.

Les espèces traitées sont le Tilapia, le poisson-chat, le loup, maquereau, hareng, saumon... .

- Mode d'utilisation :

Un opérateur dirige vers la machine le poisson étêté côté tête en avant, le ventre vers le bas (photo) entre les deux bandes mobiles qui entraînent le poisson vers la lame qui ouvre le ventre du poisson, puis le positionnent sur le rail qui le conduit vers les roues nettoyantes qui enlèvent les viscères et les reins.



1.1. Le nettoyage

d. Exemple de matériel de nettoyage:

- Éviscéreuse à poisson non étêté:

Cette machine est conçue pour éviscérer le poisson en gardant la tête, et selon les espèces en gardant ou ôtant les branchies.

- Mode d'utilisation :

Un opérateur dirige vers la machine le poisson côté tête en avant, le ventre vers le bas entre les deux bandes mobiles qui entraînent le poisson vers les lames qui ouvrent le ventre et placent ensuite le poisson sur le rail qui transporte le poisson à travers une série de roues qui enlèvent les viscères et les branchies (selon les espèces et la taille du poisson).

Finalement, le poisson passe devant une unité de lavage avant d'être éjecté vers un tapis de sortie.



1.1. Le nettoyage

d. Exemple de matériel de nettoyage:

- **Etêteuse:** Ces machines ont une seule lame produisant une coupure droite à un angle réglable selon les espèces de poisson. Ces machines ont un rendement élevé, une vitesse d'étêtage élevée pour une large variété de poissons, chaque poisson étant positionné automatiquement pour un rendement maximum, quelle que soit la taille du
- **Mode d'utilisation:** Un opérateur place le poisson côté tête en avant, ventre vers le bas sur les plateaux de transport qui avancent vers les lames coupantes. La machine repère automatiquement les branchies ou les nageoires positionnant le poisson dans une position optimum pour une récupération maximum de chair. Après l'étêtage, le corps du poisson est dirigé vers l'unité suivante de traitement, la tête étant rejetée séparément.



1.1. Le nettoyage



d. Exemple de matériel de nettoyage:

- **Peleuse** : Modèle de table très robuste cette peleuse est adaptée aux petites et aux grosses productions.

En matériaux inoxydables, le moteur est intégré dans la machine pour obtenir une machine facile d'utilisation et d'entretien. Les roulements sont également inoxydables avec un lubrifiant constant qui réduit l'entretien au minimum.. la machine est reliée à l'eau pour l'opération de pelage des produits frais.



1.1. Le nettoyage

d. Exemple de matériel de nettoyage:

- Machine à enlever les arêtes (Désarêteuse): avec un contrôle de vitesse et de force d'arrachage. La machine possède un système mécanique qui enlève délicatement les arêtes de presque toutes les espèces de filets de poisson frais ou décongelés. Le manche est en acier inoxydable.
- Cet autre système retire également les arêtes ventrales sans altérer la chair des filets de saumon ou autres espèces.



1.1. Le nettoyage

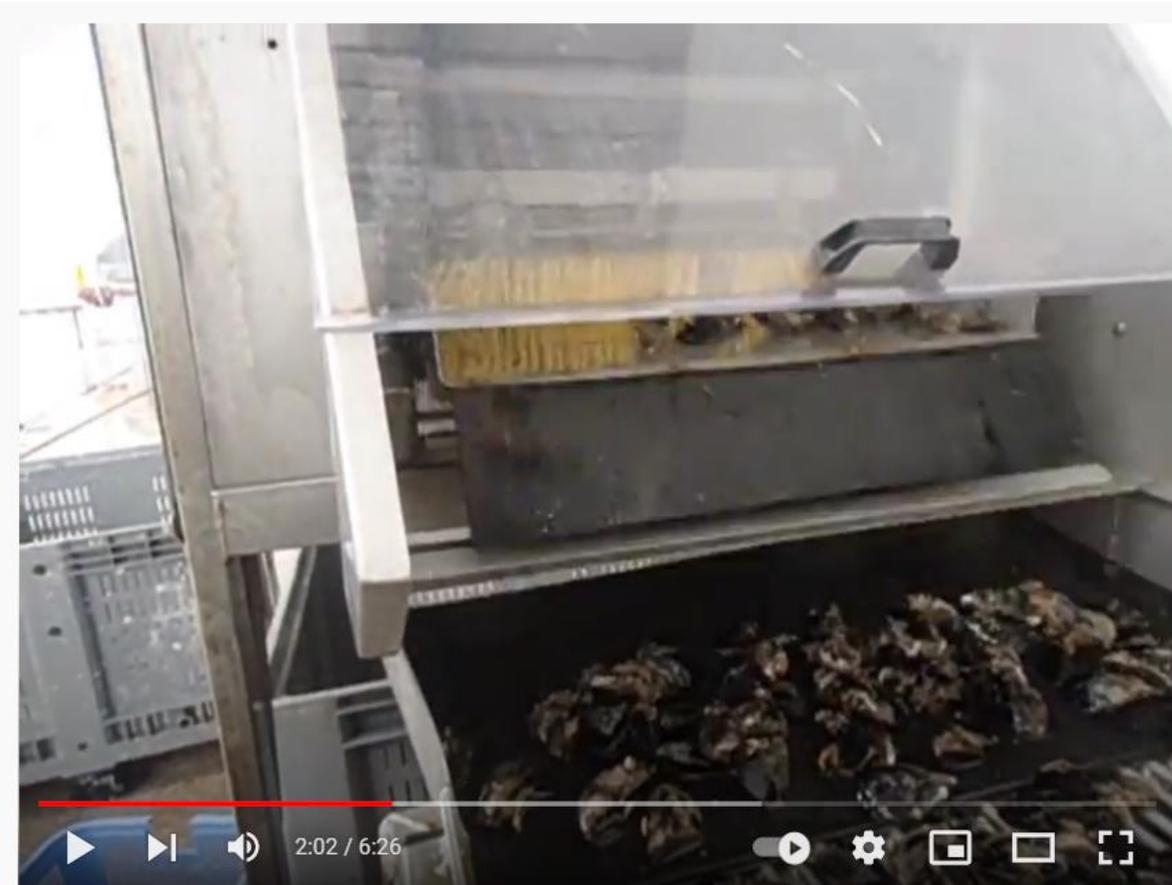
d. Exemple de matériel de nettoyage:

- La laveuse-brosseuse à moules.

Cette machine permet de laver et de broser les moules sortantes des filières et pochons en les débarrassant des organismes épiphytiques et des saletés incrustés sur les coquilles de moules.



Laveuse-brosseuse de la ferme conchylicole de Ain Tagourait (Tipaza)
https://www.youtube.com/watch?v=aUP8chfQAlk&ab_channel=hamzakraha



Aquaculture algerie conchyliculture comment trier les moules كيفية فرز بلح البحر

1 363 vues... 12 2 PARTAGER ENREGISTRER DESCRIPTION ...

1.2. Le tri

a. Principe:

Le tri est une opération manufacturière (qui traite des objets individualisés). Les critères de tri sont des grandeurs physiques : l'aspect (taille, forme, couleur) et le poids. Plusieurs principes sont mis en œuvre :

- Le tri manuel: inspection visuelle (couleur, forme, taille);
- Le tri automatique par analyse d'images (caméras vidéos) (taille, forme, couleur);
- Le tamisage (taille, forme);
- La pesée individuelle.

1.2. Le tri

b. Incidences

Positives

Le tri permet l'obtention de lots homogènes de matières premières pour améliorer la machinabilité. Il permet aussi la mise en conformité avec la réglementation (exemple les moules dont la taille doit être supérieure à 4cm).

Négatives

Le tri nécessite un matériel spécifique à chaque matière première et à chaque critère de sélection, donc il y a peu de polyvalence des installations. Il entraîne des manipulations pouvant provoquer des meurtrissures.

1.2. Le tri

c. Matériel utilisé:

Le tri du poisson est pratiqué dans le domaine des pêches maritimes et de l'aquaculture.

Pour les pêcheurs, le plus souvent, l'objectif est de trier rapidement des grandes quantités de poisson, tri d'espèces et tri de tailles.

Pour les aquaculteurs, le tri automatique doit permettre de réaliser des lots (bandes) homogènes de poissons vivants peu ou pas stressés ou endommagés.

1.2. Le tri

c. Matériel utilisé:



Trieuse manuelle de poisson

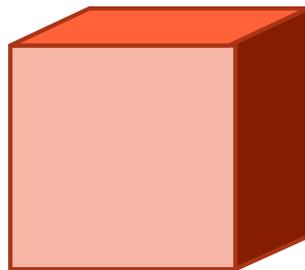


Trieuse automatique de poisson

2. LES OPÉRATIONS DE RÉDUCTION DE TAILLE

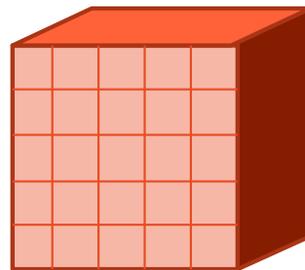
Définition

La réduction de taille revient à décaler la courbe de répartition granulométrique (proportion de la fraction en fonction de la taille) vers la gauche en transformant la matière première en un produit de plus petite taille.



Grain de maïs
(assimilé à un cube de
5mm de côté)

Réduction de taille



Grains de semoule de
maïs (assimilé à un
cube de 1mm de côté)



On constate que l'opération de réduction a permis de multiplier par 5 la surface spécifique.

Volume d'un cube = 125 mm^3
surface totale = $6 \times 25 = 150 \text{ mm}^2$
 $S_{\text{spé}} : 1,2 \text{ m}^{-1}$

Volume des 125 cubes = 125 mm^3
surface totale = $6 \times 125 = 750 \text{ mm}^2$
 $S_{\text{spé}} : 6 \text{ m}^{-1}$

Surface spécifique ($S_{\text{spé}}$) = surface des particules/volume

Définition

On peut classer les opérations de réduction de taille de la façon suivante:

- **Réduction de taille d'un solide :**
 - Avec des trajectoires de rupture non maîtrisées: fragmentation, broyage (par exemple la mouture du blé),
 - Dont on contrôle la géométrie et/ou le poids: fractionnement, découpe (par exemple la découpe d'une tranche de jambon);
- **Réduction de taille d'un liquide:** homogénéisation (par exemple lait/matière grasse).

Définition

Tab. Exemples de cadences de découpe

Produits	Cadences courantes
Poulets	1500 poulets/heure en 9 morceaux
Lapins	750 lapins/heure en 7 morceaux
Salades	600 kg/h de salades découpées en lanières de 35 à 60mm
Pâtisseries	1 tonne/heure soit plusieurs dizaines de milliers de biscuits ou barres par heure
Crèmes glacées	20000 pièces par heure, pour les produits extrudés en portion individuelle
Poisson	3 à 6 filets de poisson/min/personne

2.1. La fragmentation des solides

a. Principe:

La fragmentation des solides est réalisée par les opérations mécaniques qui, selon la nature de la matière et le type d'appareil utilisé, font appel à différents mécanismes:

- l'écrasement;
- La percussion;
- Le cisaillement;
- L'attrition (usure par frottement).

Cette opération met en œuvre un transfert de quantité de mouvement.

2.1. La fragmentation des solides

b. Incidences

Positives

La fragmentation augmente la surface spécifique, donc la surface d'échanges dans le milieu. Elle facilite:

- Les transferts thermiques (par exemple le séchage des épices après broyage);
- Les transferts de matière (par exemple le broyage des pommes avant l'extraction du jus);
- Les traitements, le conditionnement et l'utilisation du produit (par exemple cacao en poudre, café lyophilisé).

Négatives

La fragmentation peut provoquer:

- Un échauffement du produit;
- Une déshydratation partielle du produit;
- Et une dénaturation des protéines thermosensibles, des vitamines ...

2.1. La fragmentation des solides

c. Matériel et application

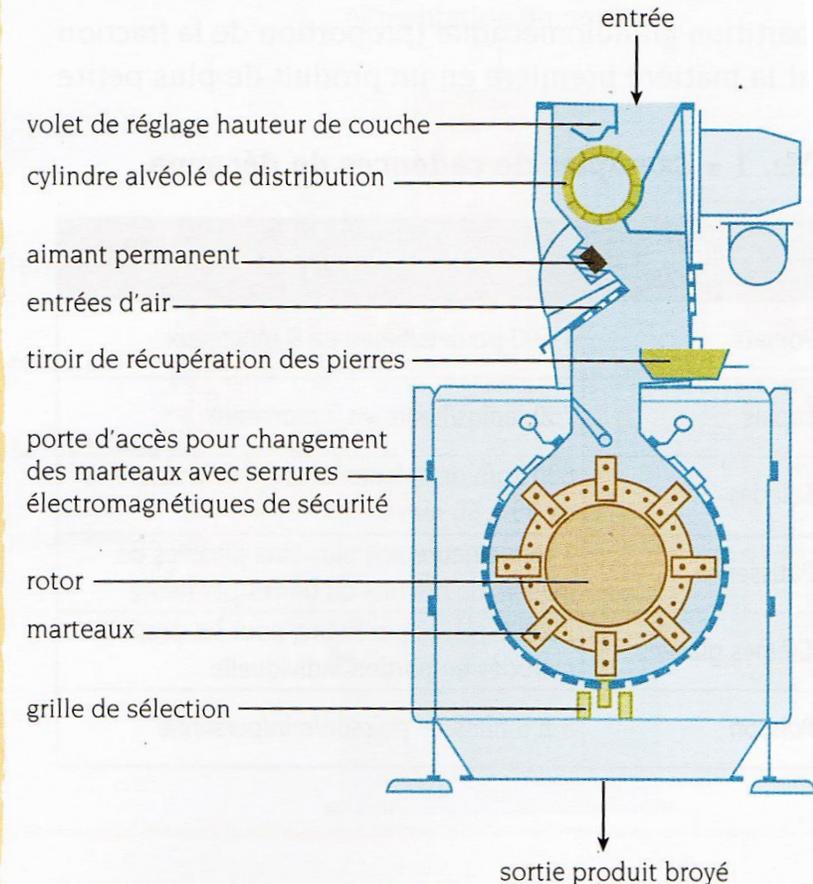
- Hachoirs, malaxeurs (viandes fraîches ou congelés, beurre, margarine);
- Broyeurs colloïdaux (compotes, sauces, soupes, purées, pâtes fines et viande);
- Cutters (sauces, soupes, mousses, fromages fondus);
- Broyeurs de boulets (gousses de vanille, cristaux de lactose);
- Broyeurs à marteaux (céréales);
- Broyeurs à couteaux, à fléaux (épices, fruits secs, viandes congelées);
- Broyeurs à disques (épices gras, graines de moutarde, tourteaux de cacao, sucres);
- Broyeurs) cylindres (menuiserie, huilerie, chocolaterie);
- Aplatisseurs, floconneurs (flocons de céréales, de soja);
- Broyeurs à meules (amidonnerie);
- Broyeurs par attrition (café, céréales).

2.1. La fragmentation des solides

c. Exemple de matériel de fragmentation : le broyeur à marteau (Promill)

Principe de fonctionnement: un rotor équipé de bras munis à leur extrémité de marteaux tourne à grande vitesse dans une chambre cylindrique horizontale, entourée d'une grille dont la taille des perforations est fonction de la taille souhaitée pour le produit fini. Principes mis en œuvre par ordre décroissant d'importance: la percussion, l'abrasion, le cisaillement.

FIG. 3 ■ Le broyeur à marteau (Promill) ■



2.2. Le fractionnement des solides

a. Principe:

Cette opération 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.

Cette opération met en œuvre un transfert de quantité de mouvement.

2.2. Le fractionnement des solides

b. Incidences

Positives

Le fractionnement permet l'obtention de portions de formes ou de poids identiques (rondelles de carottes, escalopes de poulet, cubes de pommes, filets de poissons).

Il facilite le conditionnement (forme standard) et répond à de nouvelles exigences du consommateur (mini-portions, parts individuelles, formes variées).

Négatives

Le fractionnement génère des déchets à recycler (par exemple viande séparée mécaniquement –VSM- pour la fabrication de boulettes).

2.2. Le fractionnement des solides

c. Matériel et application

- Couteaux manuels (découpe anatomique des viandes, parages des fruits et légumes).
- Scies (produits durs: os, produits surgelés).
- Machines automatiques à lames multiples (produits de petites tailles, peu fragiles: cubes de jambon, lanières, rondelles de légumes, frites).
- Fils (produits collants ou fragiles: fromages, beurres).
- Emporte-pièce, guillottes (produits mous: génoise, fromages).
- Ultrasons (produits fragiles: fromages).
- Jets d'eau hyperbares (produits mous ou collants: pâtisseries, œufs).

2.2. Le fractionnement des solides

c. Exemple de matériel de fractionnement: découpe par lame (Urchell)

Coupe en cubes en frites, tranches et lanières, pour légumes fibreux et/ou fruits mous. épaisseur de tranchage de 3,2 à 16mm, coupes transversales de 7,1 à 76 mm, coupes circulaires de 2,4 à 76mm.

Caractéristiques : 4 à 12 bras, 4 à 168 marteaux, 1 500 à 3 000 tours/min.

fractionnement des solides

Principe
Cette opération consiste à diviser une matière solide en morceaux de taille réduite et définie, à l'aide d'un fil tranchant, d'un couteau animé d'un mouvement provoqué par ultrasons ou d'un jet d'eau haute pression.
L'opération met en œuvre un transfert de quantité de mouvement.

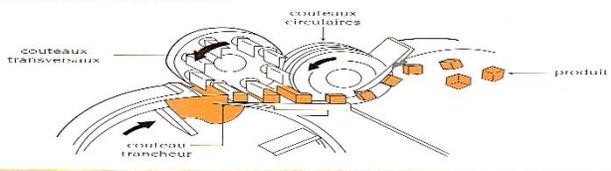
Avantages positifs
Le fractionnement permet l'obtention de portions de formes ou de poids identiques (rondelles de carottes, salopes de poulet, cubes de pommes, filets de poissons), facilite le conditionnement (forme standard) et répond à de nouvelles exigences du consommateur (mini-versions, parts individuelles, formes variées).

Avantages négatifs
Le fractionnement génère des déchets à recycler (par exemple viande séparée mécaniquement - VSM - pour fabrication de boulettes).

Matériels et applications
Couteaux manuels (découpe anatomique des viandes, parage des fruits et légumes).
Cubes (produits durs : os, produits surgelés).
Machines automatiques à lames multiples (produits de petites tailles, peu fragiles : cubes de jambon, anières, rondelles de légumes, frites).
Fils (produits collants ou fragiles : fromages, beurre).
Importe-pièce, guillottes (produits mous : génoise, fromages).
Ultrasons (produits fragiles : fromages, charcuteries).
Jets d'eau hyperbares (produits mous ou collants : pâtisseries, œufs).

Exemple de matériel de fractionnement : découpe par lames (Urchell) (fig. 4)
Cubes, frites, tranches et lanières, pour légumes fibreux et/ou fruits mous. Épaisseur de tranchage 3,2 à 16 mm, coupes transversales de 7,1 à 76 mm, coupes circulaires de 2,4 à 76 mm.

■ Découpe par lames (Urchell) ■



The diagram illustrates the mechanical components of the Urchell slicing machine. It shows a central shaft with several blades: 'couteaux transversaux' (transverse knives) for cutting cubes, 'couteaux circulaires' (circular knives) for circular slices, and a 'couteau trancheur' (slicing knife) for thin slices. The 'produit' (product) is shown being cut into different shapes as it moves through the blades.

103 ■

2.3. L'homogénéisation des liquides

a. Principe:

L'homogénéisation est un traitement physique qui s'applique à un produit liquide ou pâteux (émulsion ou suspension).

Le produit est projeté sous forte pression à travers un clapet spécial, puis percute un anneau de choc.

Suspension: phase dispersée solide et phase dispersante liquide

Emulsion: phase dispersée liquide et phase dispersante liquide.

Matériel et applications:

- Broyeur colloïdale (sauce, mayonnaise, soupe, liquides visqueux)
- Homogénéisateur haute pression à valve ou clapet (lait, mix crème glacée, sauce...)

2.3. L'homogénéisation des liquides

b. Incidences

Positives

L'homogénéisation permet d'éviter la sédimentation ou le crémage (ex: lait entier);

Elle améliore l'homogénéité d'un mélange (crème glacée).

L'homogénéisation augmente l'onctuosité (cas du jus de fruits) et la viscosité de suspensions et des émulsions (ketchup, crème fraîche).

Négatives

L'homogénéisation modifie les qualités organoleptiques du produit: augmentation de la viscosité de la crème par exemple.

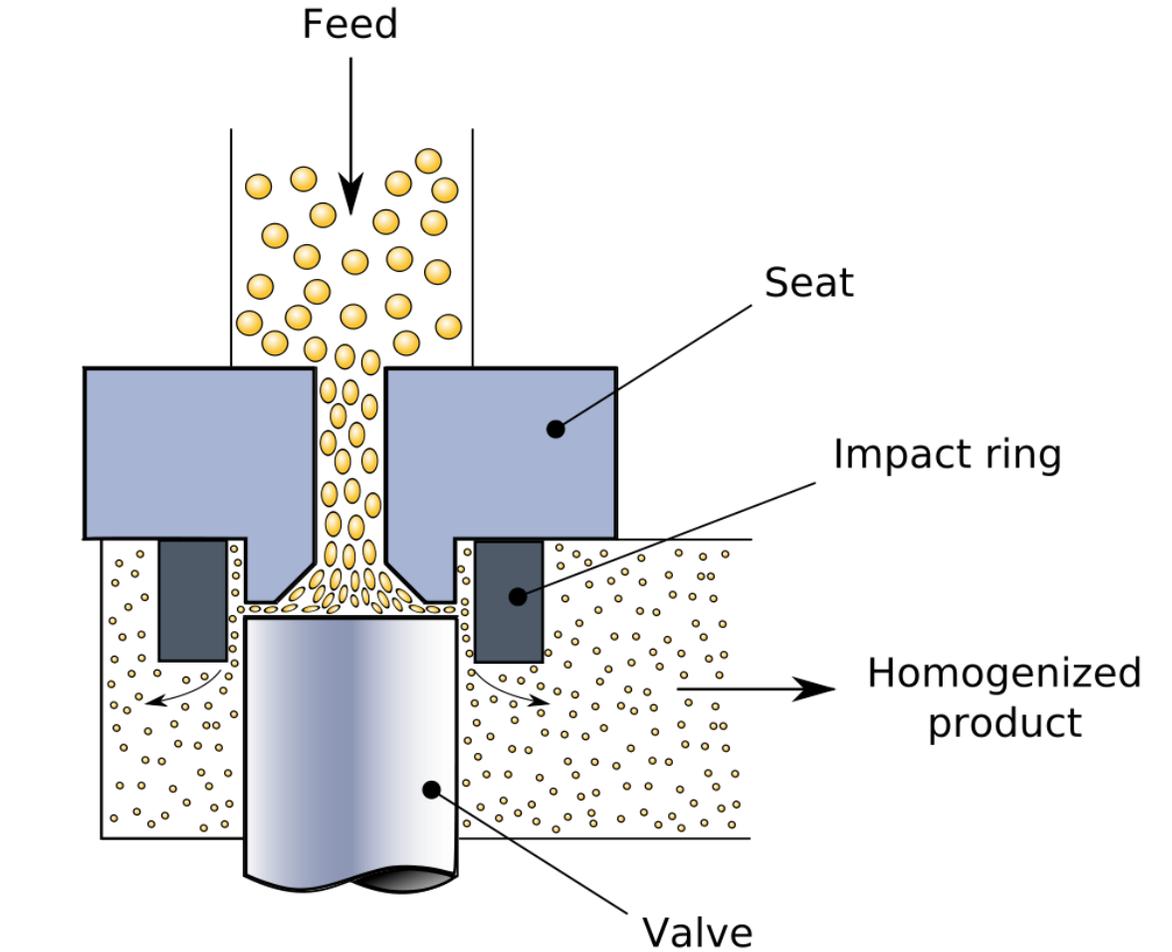
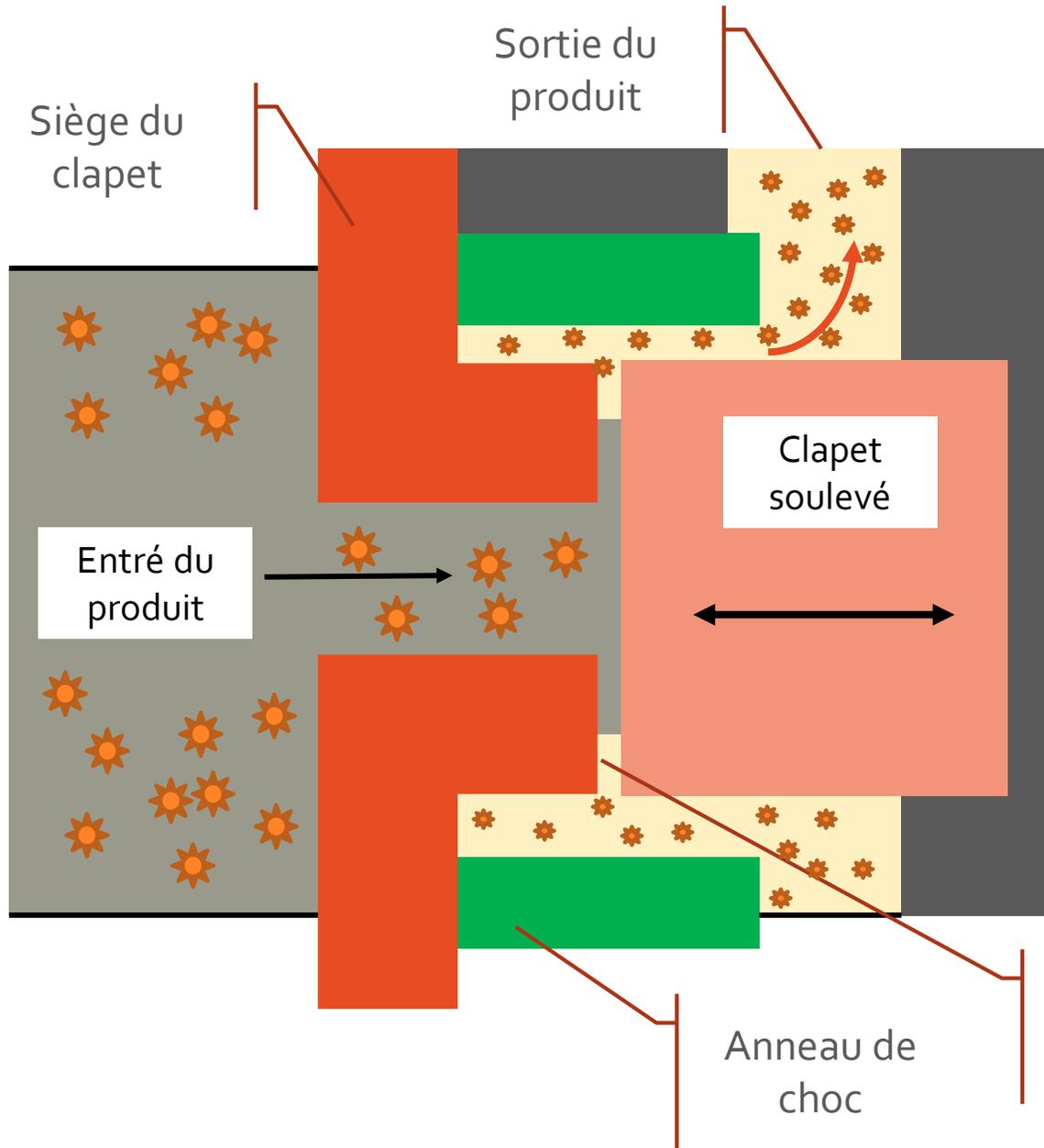
Elle rend les globules gras plus sensibles aux réactions d'oxygénation.

2.3. L'homogénéisation des liquides

c. Exemple de matériel d'homogénéisation: l'homogénéisateur à clapet (GEA)

Principe de fonctionnement:

Le produit à homogénéiser est laminé dans l'étroite lumière qui sépare le siège et le clapet. Il est alors projeté à une vitesse de l'ordre de 100m/s sur l'anneau de choc avant d'être refoulé à l'extérieur. Les débits peuvent atteindre 50000 l/h, et les appareils peuvent être équipés de 1 ou 2 étage. La pression peut être supérieure à 1000 bars et la durée du traitement de l'ordre de 50µsec.



3. LES OPÉRATIONS DE SÉPARATION
