

Procédés Alimentaires

BASES CONCEPTUELLES DU GENIE
DES PROCÉDES ALIMENTAIRES

Plan du cours

I. Opérations unitaires appliquées au génie des procédés

A. Objectifs

B. Industrie des procédés

C. Concept des opérations unitaires

D. Concept des procédés unitaires

E. Maîtrise des opérations et procédés unitaires

II. Les procédés unitaires dans les industries alimentaires

A. Procédés à température ambiante

B. Procédés thermiques par ajout de chaleur

C. Procédés thermiques par soustraction de chaleur

I. Opérations unitaires appliquées au génie des procédés

A. Objectifs

B. Industrie des procédés

C. Concept des opérations unitaires

D. Concept des procédés unitaires

E. Maîtrise des opérations et procédés unitaires

I. Opérations unitaires appliquées au génie des procédés

A. Objectifs

B. Industrie des procédés

C. Concept des opérations unitaires

D. Concept des procédés unitaires

E. Contrôle des opérations et procédés unitaires

A. Objectifs

▪

- 1 . Terminologie et concepts
- 2 . Formulation et fabrication
- 3 . Conception des équipements et leurs fonctions
- 4 . Maîtrise des opérations unitaires
- 5 . Pouvoir analyser divers procédés industriels à l'aide de modèles simples.
- 6 . Pour un produit donné, identifier :
 - Les procédés et opérations unitaires requises;
 - Les équipements intervenant dans la fabrication;
 - Les procédés ou ingrédients utilisés pour en faire un produit sûr;
 - Ses attributs de qualité majeurs et les facteurs les affectant.

I. Opérations unitaires appliquées au génie des procédés

A. Objectifs

B. Industrie des procédés

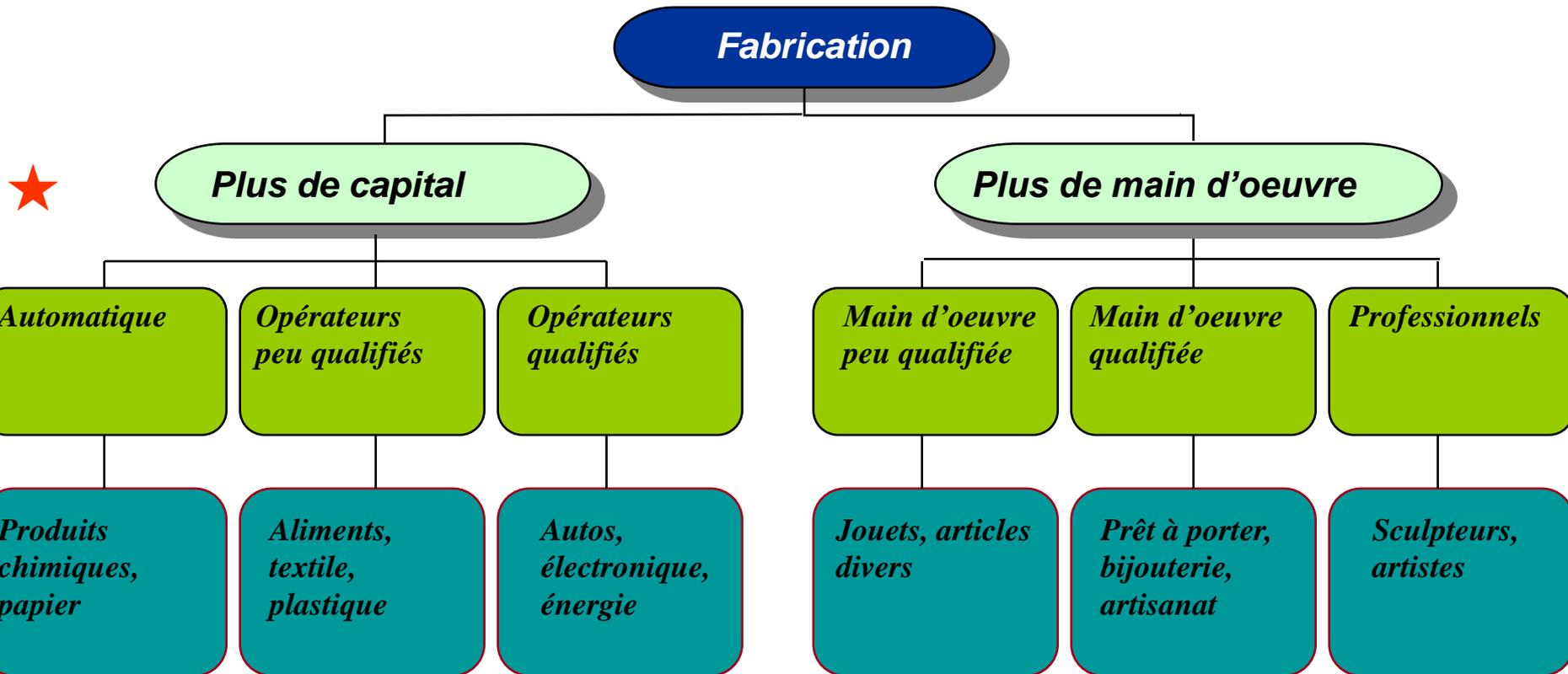
C. Concept des opérations unitaires

D. Concept des procédés unitaires

E. Contrôle des opérations et procédés unitaires

B. Industrie des procédés

Classification des industries

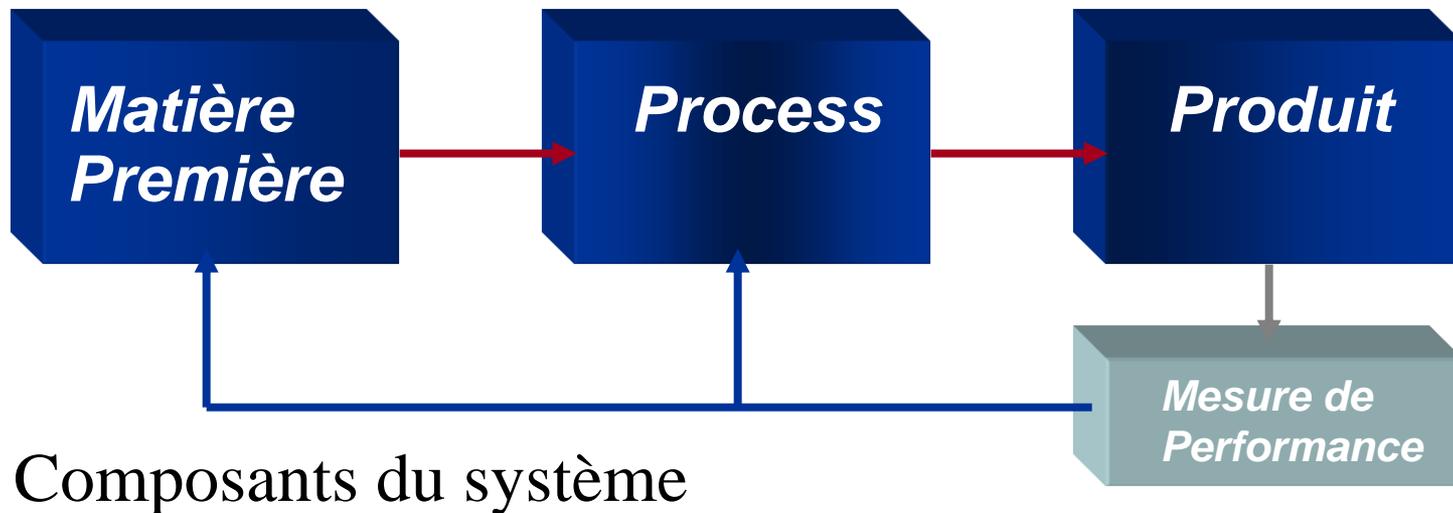


B. Industrie des procédés

Systeme de production

Il s'agit d'un système permettant la conversion de **matières premières** en **produits finis**

Basé sur des procédés de **transformation physique**, **chimique** ou **biochimique** de la matière première



B. Industrie des procédés

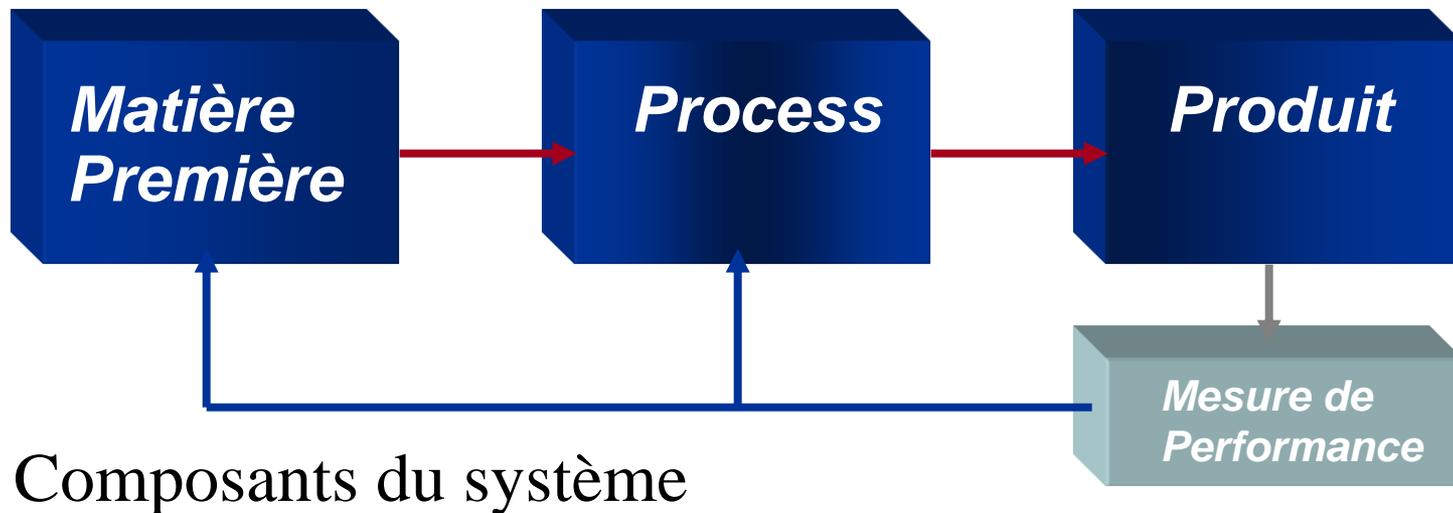
Quelques industries concernées

- Industrie agroalimentaire
- Industries pharmaceutique et biotechnologique
- Industrie chimique
- Industries agrochimique et pétrochimique
- Industrie cosmétique
- Industrie papetière ../..

A. Industrie des procédés

Le génie des procédés

Consiste à étudier, **concevoir** et **mettre en œuvre** de façon optimale les **procédés de transformation** physique, chimique ou biochimique de la matière



A. Industrie des procédés

Le génie des procédés

- Génie des procédés alimentaires

A. Industrie des procédés

Cas de l'industrie alimentaire

Historiquement... l'utilisation du feu

l'usage de la poterie

étapes décisives pour la transformation des aliments.

Ensuite... le séchage

le salage

Cas de l'industrie alimentaire

Objectifs

- **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

Cas de l'industrie alimentaire

Principes

L'industrie alimentaire est basée sur 4 **principes** :

de **transformer** les produits par cuisson, fermentation, etc. ;

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, confisage, etc.) ;

Cas de l'industrie alimentaire

Caractéristiques

Les matières premières des industries alimentaires proviennent :

de l'**agriculture** (productions végétale et animale) pour la plus grande partie ;

de la **pêche** et de la **mer** (algues, sel marin) ;

du **sous-sol**, dans le cas des eaux minérales et du sel gemme ;

de l'**industrie chimique** (certains additifs) : tonnages limités, mais économiquement et fonctionnellement importants.



Cas de l'industrie alimentaire

Caractéristiques

- Les matières biologiques :
- Produits Carnés
 - Produits laitiers
 - Céréales
 - Fruits
 - Légumes
 - Boissons
- Variabilité
 - Fragilité
 - Complexité



Cas de l'industrie alimentaire

Attributs de qualité

Les attributs de qualité pris en compte dans l'industrie alimentaire

Health attributes :

Sensory attributes :

Process attributes :

Convenience attributes :

I. Opérations unitaires appliquées au génie des procédés

A. Objectifs

B. Industrie des procédés

C. Concept des opérations unitaires

D. Concept des procédés unitaires

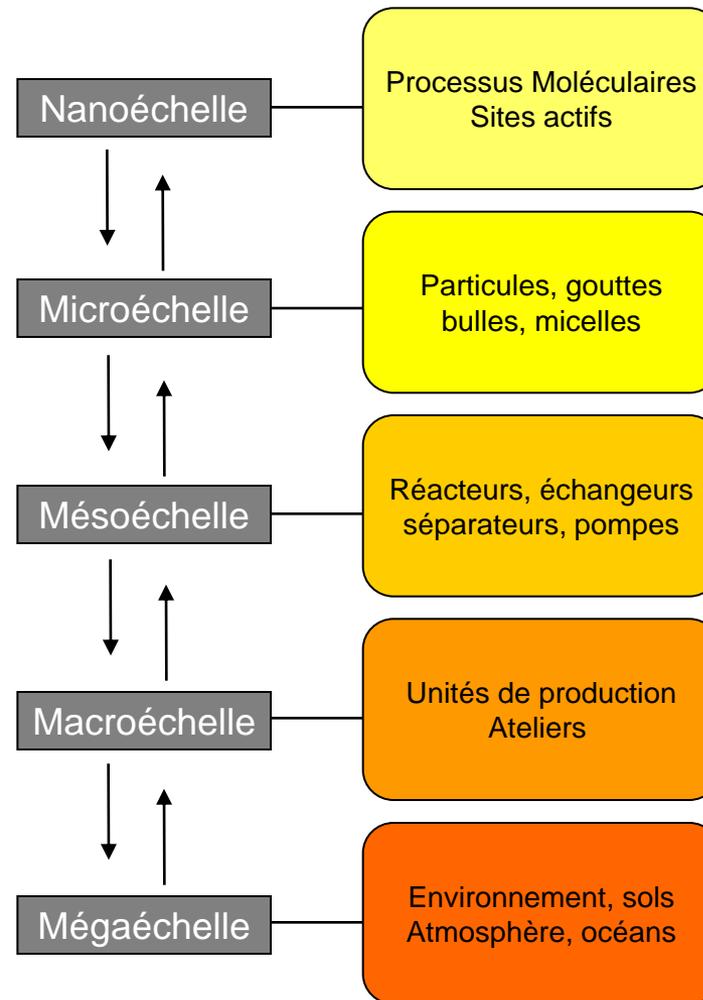
E. Contrôle des opérations et procédés unitaires

C. Concept des opérations unitaires

Bases pour le concept

Subdivision verticale du système de production

Échelles correspondant
aux divers phénomènes
à considérer en génie
des procédés
alimentaires



C. Concept des opérations unitaires

Bases pour le concept

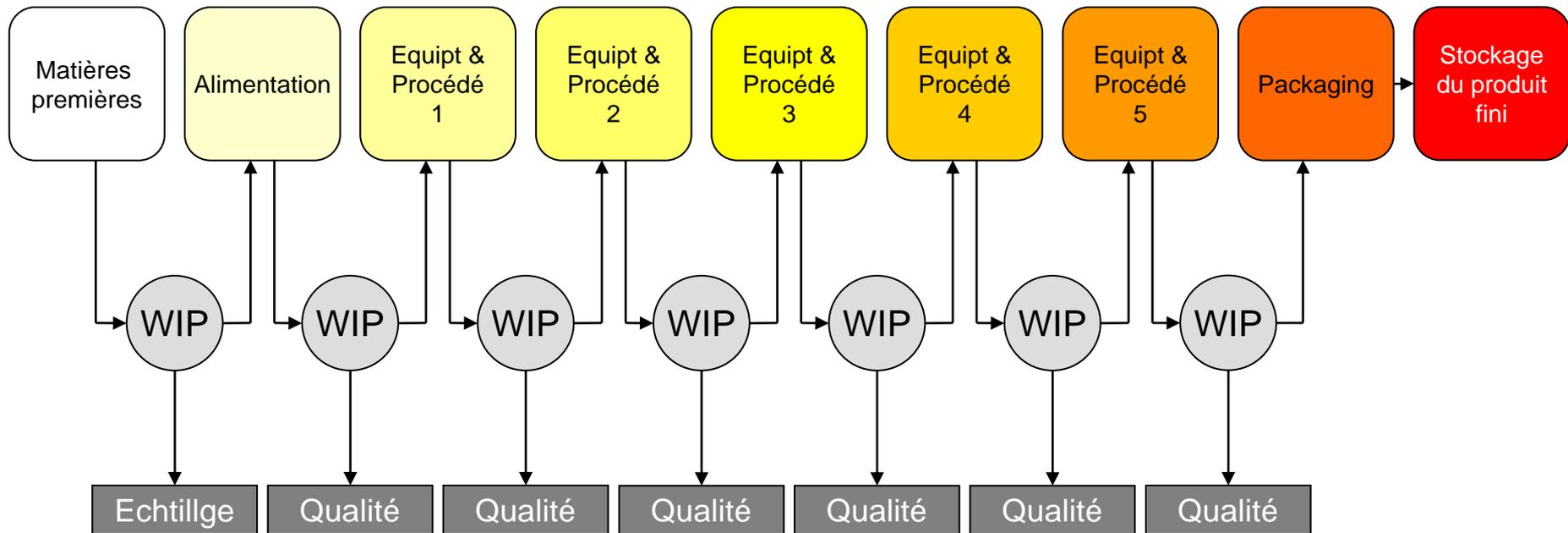
Subdivision horizontale du système de production

- Un système de production regroupe un ensemble d'éléments qui contribuent à compléter un seul processus.
- Il est habituellement formé de petits **sous-systèmes** qui travaillent ensemble pour aboutir aux produits issus du système principal.
- Les sous-systèmes de base d'un processus typique peuvent être représentés par des **blocs** (étapes du processus).
- La conception d'un système de production est basée sur le **choix et l'arrangement des étapes**, ainsi que le **choix, les spécifications et la conception de l'équipement** requis pour exécuter les fonctions de chaque étape.

C. Concept des opérations unitaires

Bases pour la notion d'Opuni

Subdivision horizontale du système de production



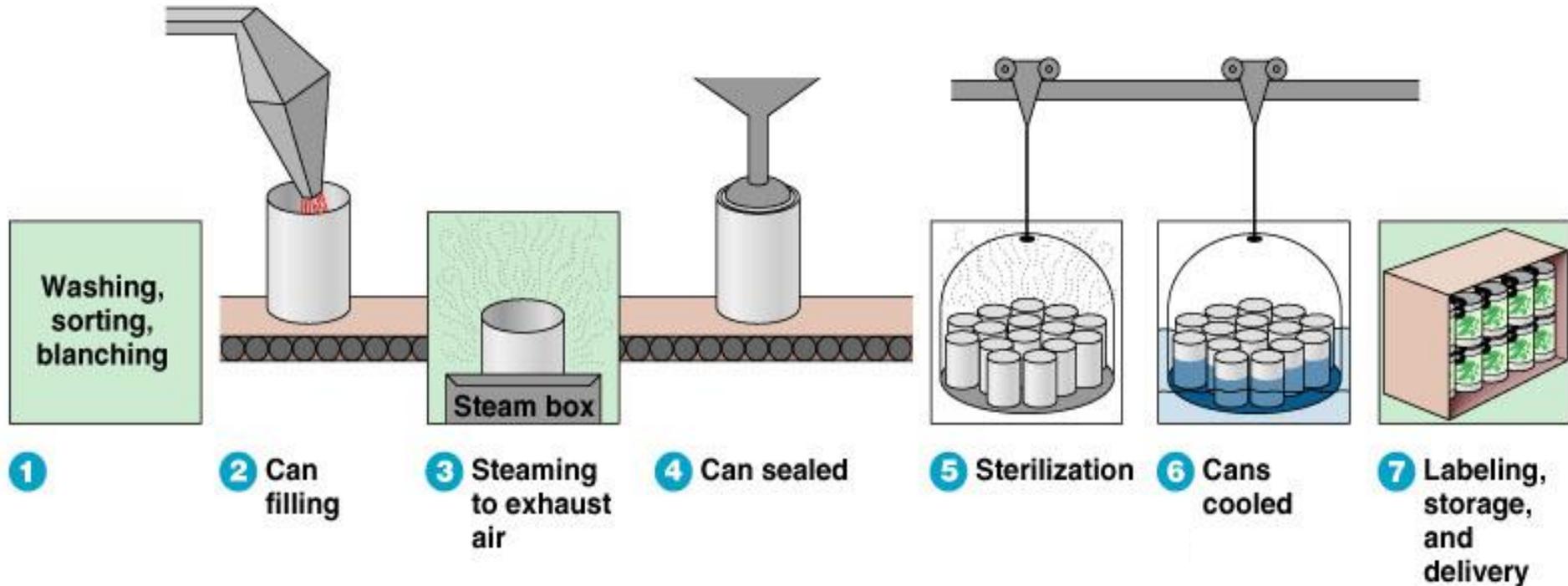
WIP : work-in-process ou intervention de l'opérateur



C. Concept des opérations unitaires

Exemple 1

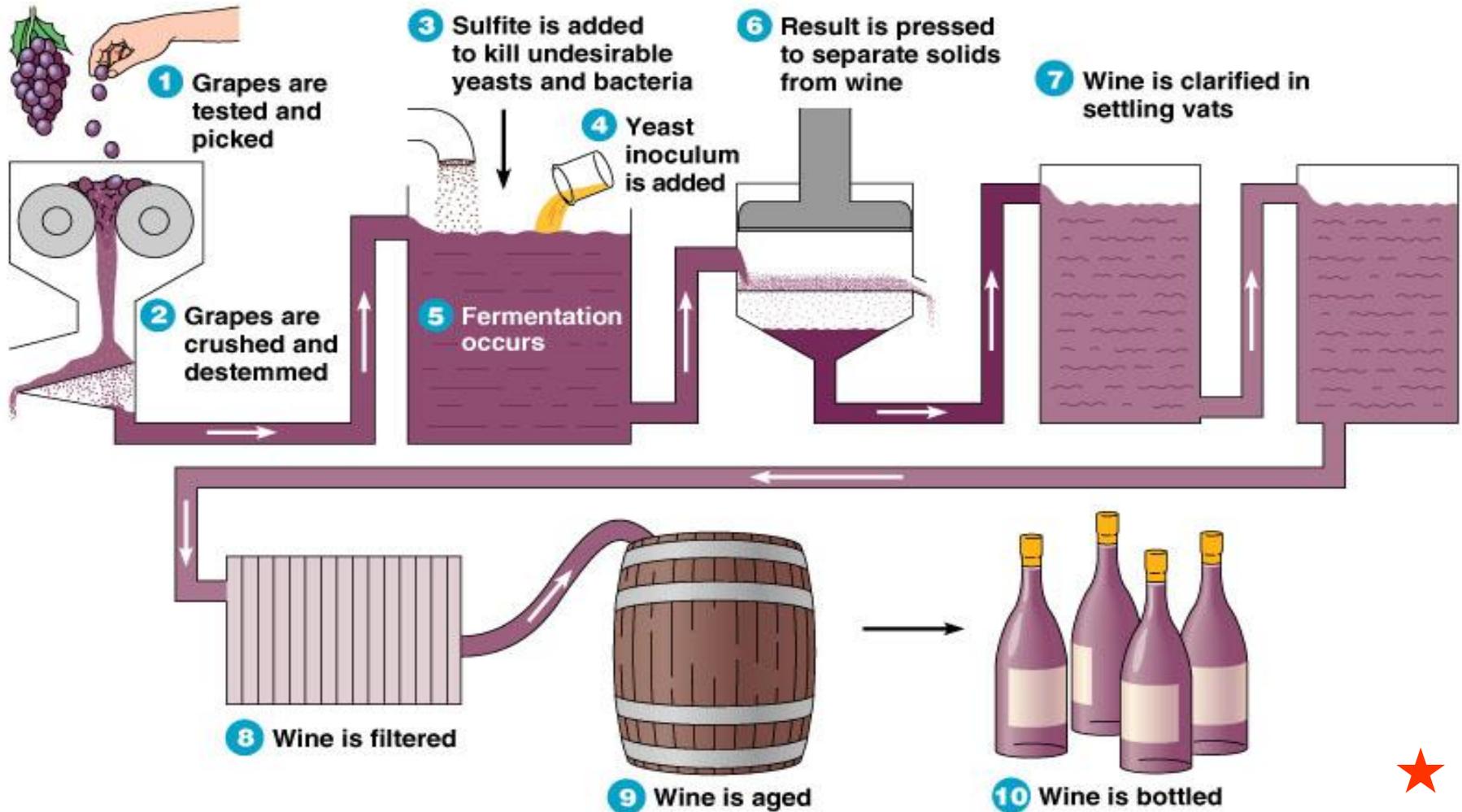
Les conserves



C. Concept des opérations unitaires

Exemple 2

Le vin



C. Concept des opérations unitaires

Définition

Opération unitaire

Toute opération unique de nature physique commune à plusieurs procédés.

Chaque opération unitaire est basée sur des propriétés physiques définies.

C. Concept des opérations unitaires

Les types d'opérations

Six opérations unitaires utilisées généralement dans les procédés industriels :

Mélange

Séparation

Transfert de chaleur

Transfert de matière

Ajustement de la taille

Ecoulement

C. Concept des opérations unitaires

Les types d'opérations

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.)

C. Concept des opérations unitaires

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**

C. Concept des opérations unitaires

Le mélange

Un dispositif d'agitation produit une circulation dans le réservoir, à **vitesse** ou à **taux de cisaillement** contrôlés.

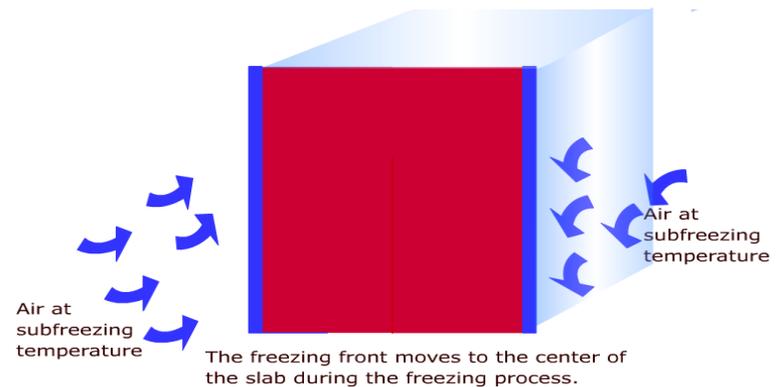
L'efficacité du mélange dépend entre autres de la **conception du mélangeur** et de la **vitesse**.

Différentes configurations de mélangeurs sont employées selon le but recherché../..

C. Concept des opérations unitaires

Le Transfert de chaleur

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



Principe



Gradient de température

C. Concept des opérations unitaires

Le Transfert de chaleur

Les facteurs influençant le transfert de chaleur :

1. Conception de l'échangeur de chaleur
2. Propriétés de transfert de la chaleur du produit
(conductivité thermique)
3. Densité
4. Méthode du transfert thermique
 - a. conduction
 - b. radiation
 - c. convection
5. Viscosité

C. Concept des opérations unitaires

Le 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**.

- Chauffage
 - Pasteurisation, stérilisation
 - Cuisson (sèche ou humide)
- Refroidissement
 - Congélation, réfrigération

C. Concept des opérations unitaires

Le transfert de matière (ou de masse)

- Le transfert de matière vers ou à partir d'une milieu
- Le transfert d'un composé chimique d'une phase à une autre
 - Diffusion : concentration élevée \rightarrow concentration faible
 - Evaporation : liquide \rightarrow gaz

Principe



Gradient de concentration

C. Concept des opérations unitaires

Le transfert de matière (ou de masse)

— Intervient principalement dans des techniques de **séparation** ou de **séchage**...

— Exemples :

Absorption,

Cristallisation, distillation, lyophilisation../..

C. Concept des opérations unitaires

La séparation

Séparation de composants sur la base d'une propriété physique

- Taille
- Densité
- Point d'ébullition../..

C. Concept des opérations unitaires

La séparation

— Densité

Exemples

Séparation de la crème du lait,
Dépôt de solides dans une suspension,
Elimination de bactéries des fluides

— Taille

Exemples

Filtration sur membrane,
Gel filtration
Tamisage

— Point d'ébullition

Exemple

Distillation

C. Concept des opérations unitaires

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
 - Hachage, broyage, moulage
 - Découpage, tranchage
 - Emulsification
- **Augmentation de la taille** par agrégation, agglomération ou gélatinisation
 - Ex. Lait → Caillé → fromage

C. Concept des opérations unitaires

L'écoulement

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

- Gravité
- Pompage../..

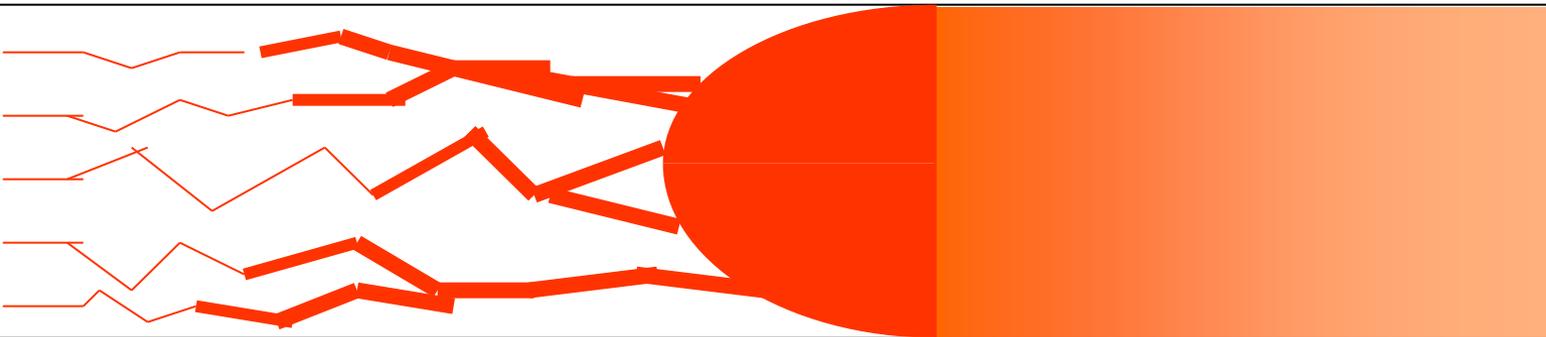
C. Concept des opérations unitaires

L'écoulement

Gravité : flux laminaire



Pompes : flux turbulent



I. Opérations unitaires appliquées au génie des procédés

A. Objectifs

B. Industrie des procédés

C. Concept des opérations unitaires

D. Concept des procédés unitaires

E. Contrôle des opérations et procédés unitaires

D. Concept des procédés unitaires

Définition

Un procédé unitaire

Etape simple, spécifique et identifiable dans la fabrication d'un produit

Tout système de production nécessite une combinaison de procédés unitaires pour transformer la matière première en produit fini.

D. Concept des procédés unitaires

Exemples



*Réception
de la matière première*



Tri, pesée



Cuisson



Mélange et combinaison



Dépôt



assemblage

D. Concept des procédés unitaires

Exemples

Quelques procédés unitaires

- Filtration
- Nettoyage
- Epluchage
- Tranchage
- Râpage
- Concentration
- Séchage
- Enrobage
- Evaporation
- Fumage/salage
- Fermentation
- Chauffage/refrigération
- Mélange
- Tamisage
- Cuisson

D. Concept des procédés unitaires

Principe

- Plusieurs **procédés unitaires** consistent en une **combinaison de plus d'une opération unitaire** et/ou des opérations chimiques ou biochimiques .../...

D. Concept des procédés unitaires

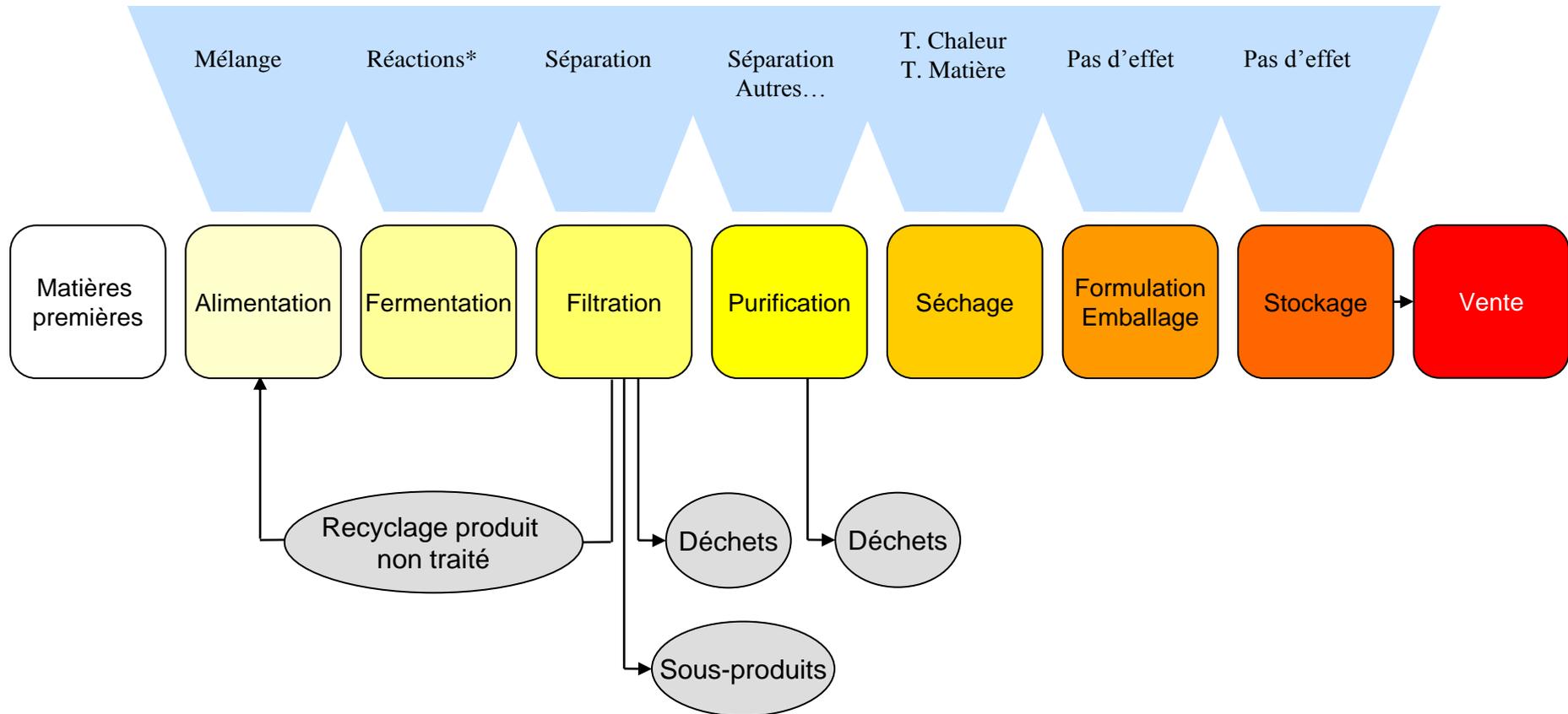
Principe

Procédés unitaires combinant plusieurs opérations unitaires:

- **Filtration**
 - Ecoulement
 - Séparation
- **Evaporation**
 - Transfert de chaleur
 - Transfert de matière
- **Pasteurisation**
 - Ecoulement
 - Transfert de chaleur
- **Caillage en fromagerie**
 - Mélange (enzyme ou bactéries)
 - Transfert de chaleur
 - Réactions enzymatiques ou fermentation
 - Augmentation de taille
 - Transfert de masse
 - Séparation

D. Concept des procédés unitaires

Principe



Production biotechnologique d'un produit donné



Exemples d'opérations et de procédés unitaires des industries alimentaires

Opération unitaire/principe	Procédé unitaire	Exemple de produits
Ajustement de la taille	Hachage, broyage, tranchage, râpage, moulage	Produits solides
	Découpage	Pièces de viandes, poissons, légumes, fruits
Séparation	Démontage	Carcasses de viande
	Plumage, écaillage	Volaille, poissons
	Éboutage	Haricots verts
	Nettoyage, épluchage	Fruits, légumes
	Triage, calibrage	Fruits, légumes
	Tamisage, criblage	Graines
	Déconditionnement	Contenant/contenu
	Décantation, centrifugation, filtration, extraction	Mélanges solides-liquides, liquides-liquides
Mélange	Agitation, malaxage	pâtes, crèmes glacées
Transfert de chaleur	Cuisson	Pain, biscuits, pièces de viandes
	Appertisation	Boîtes de conserves
	Pasteurisation, stérilisation	lait
	Réfrigération, congélation, surgélation	carcasses
	Grillage	Tranches de pain
	Evaporation, séchage, atomisation	Lait en poudre
Ecoulement	Pompage	Aliments liquides
	Pasteurisation	Aliments liquides en échangeur de chaleur
Transfert de matière	Salage, fumage	Jambons, fromages
	Extraction, distillation	Huiles, spiritueux
	Evaporation	Jus concentrés
Réactions	Biologiques et enzymatiques	Charcuterie, pain, fromages, yaourts
Opérations mécaniques	Manutention, pesée, transport, etc	Tout type de produit
Assemblage, conditionnement	Enrobage	Confiserie, barres
	Remplissage des contenants	Produits divers
	Fermeture, sertissage des contenants	Produits divers
	Étiquetage des contenants	Produits divers
	Encartonnage des contenants	Produits divers



D. Concept des procédés unitaires

Ligne de production

Schéma du déroulement du processus de fabrication de la livraison de la matière première à la distribution du produit fini.

→ C'est une séquence de procédés

On parle de diagramme de fabrication ou de flux
“Flow Chart”,

D. Concept des procédés unitaires

Ligne de production

Les ingrédients sont introduits à la ligne à des points appropriés et sont transformés par les machines ou le personnel de façons diverses.

Le produit est alors fini, assemblé et emballé.

Durant ce processus, le produit est traité de telle façon que sa nature et ses propriétés changent en accord avec le but recherché .

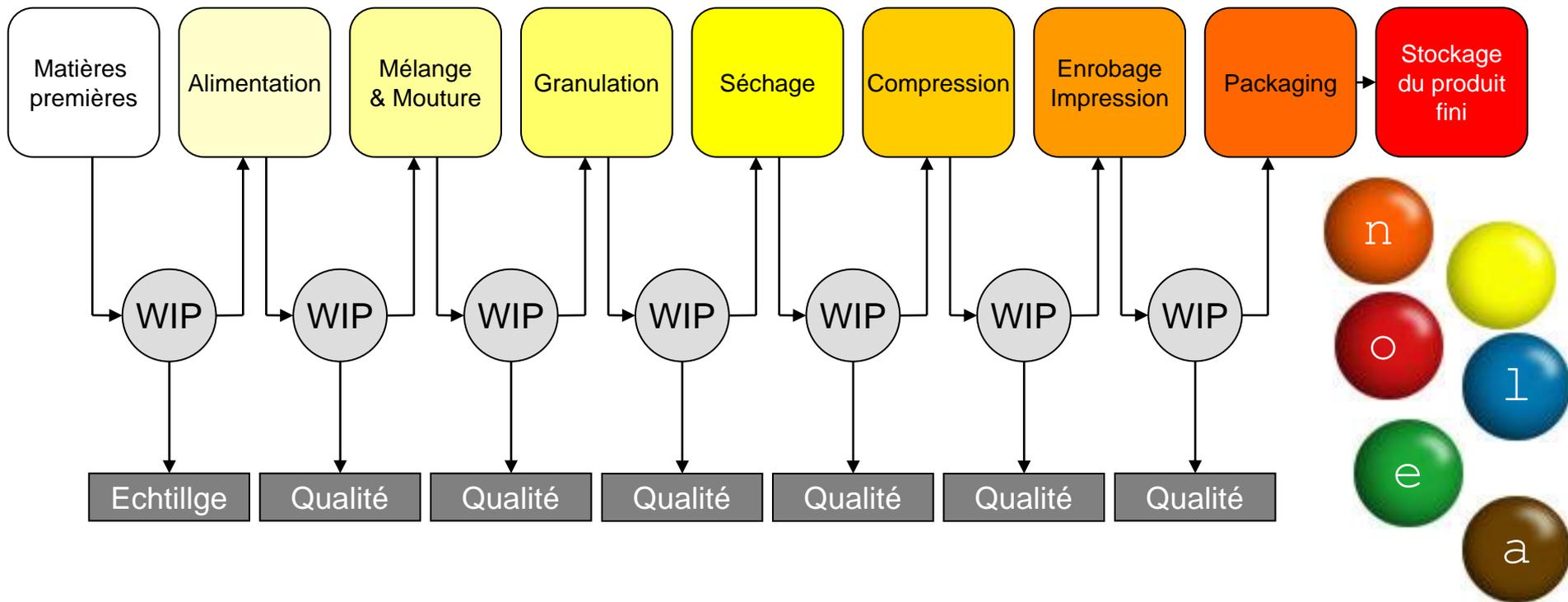
Ces traitements peuvent:

- améliorer sa comestibilité
- créer des composants utiles
- lui donner une forme particulière
- le conserver

Lignes de production

Types de lignes de production

Ligne de production Batch – Flow Chart



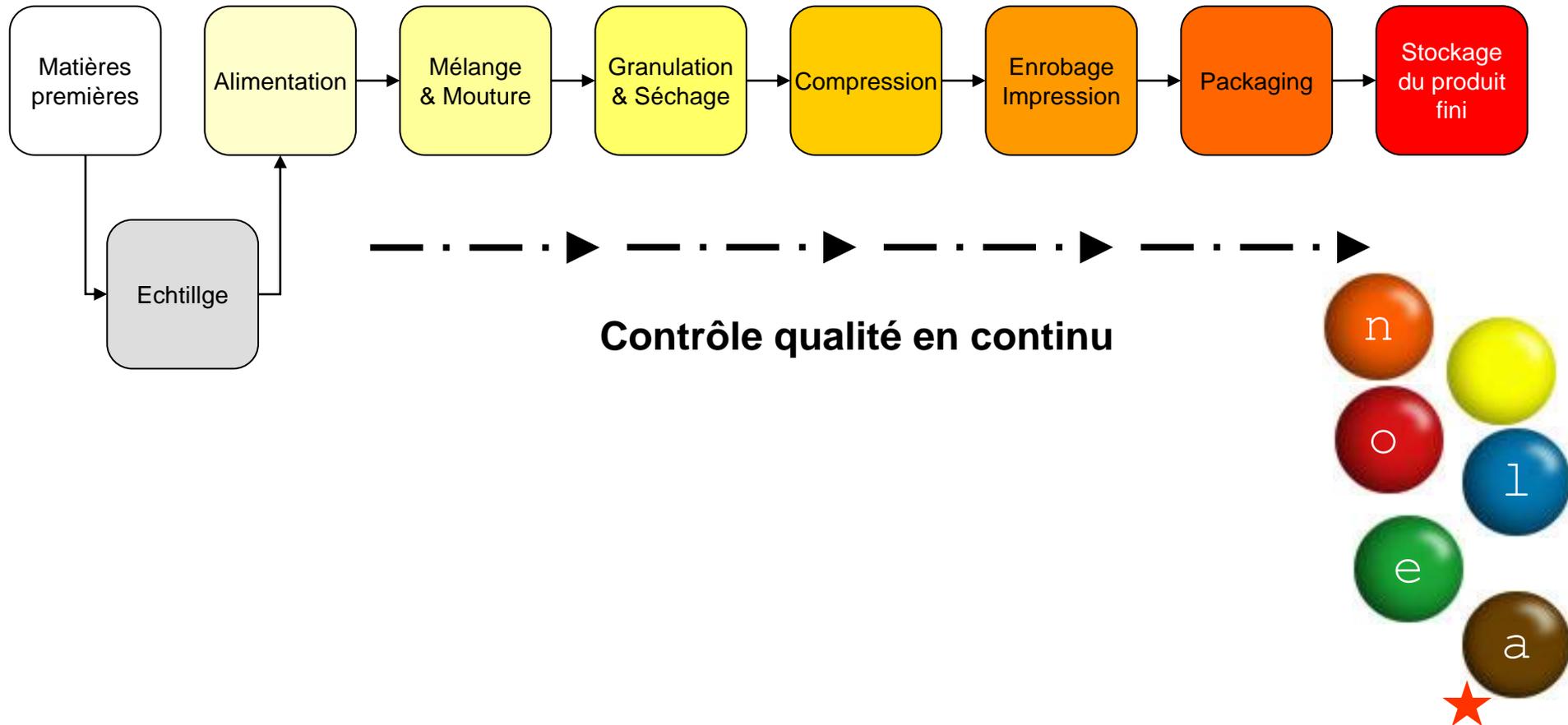
WIP : work-in-process ou intervention de l'opérateur



Lignes de production

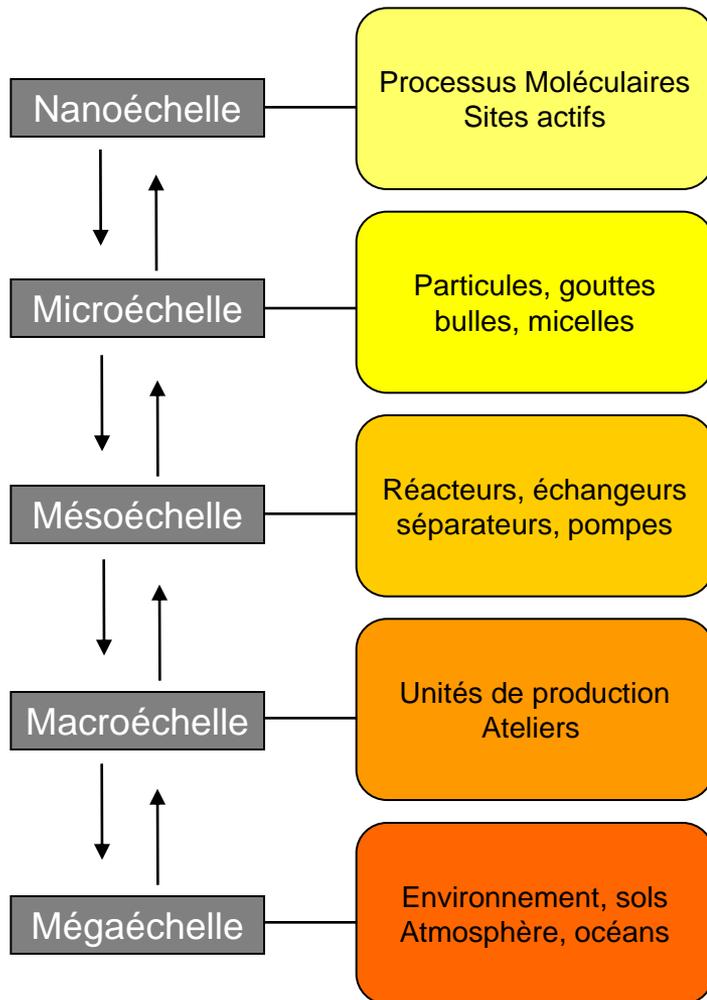
Types de lignes de production

Ligne de production Continue – Flow Chart

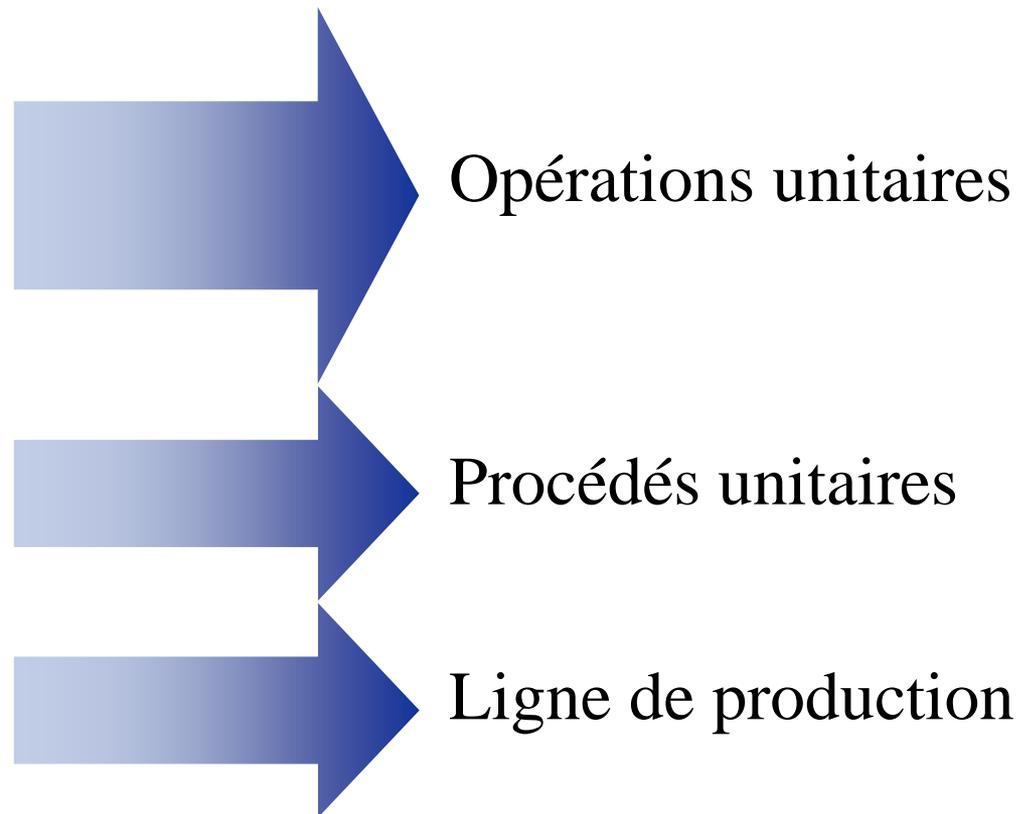


Vue d'ensemble du système de production

Subdivision verticale



- Subdivision horizontale



I. Opérations unitaires appliquées au génie des procédés

A. Objectifs

B. Industrie des procédés

C. Concept des opérations unitaires

D. Concept des procédés unitaires

E. Contrôle des opérations et procédés unitaires

D. Contrôle des opérations et procédés unitaires

Objectifs

- Contrôle “**Maîtrise**” séquentiel du processus (qualité, productivité)
- Optimiser le temps d'utilisation de l'équipement et réduire la durée du cycle

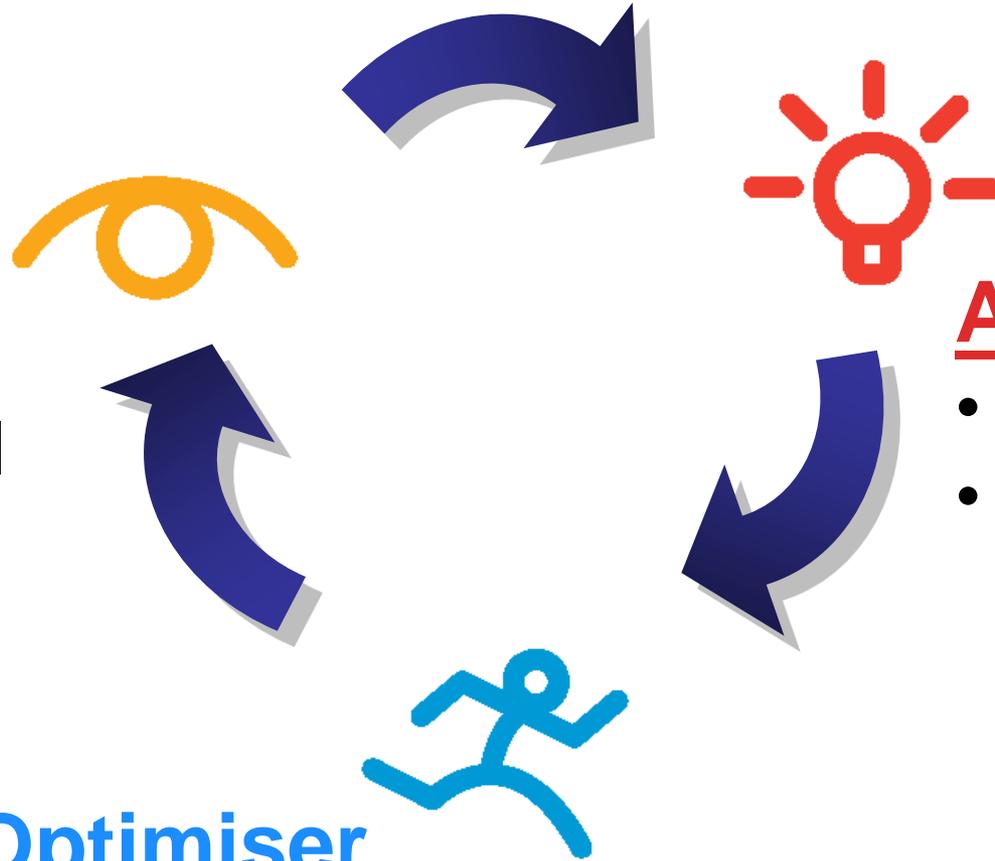
D. Contrôle des opérations et procédés unitaires

Difficultés

- Variété des matières premières/produits
- Complexité physique/chimique du produit
- Changements/ajustements des recettes
- Reworks
- Grande sensibilité aux variations du système
 - Caractéristiques du système variant avec le temps (état instable)
 - Comportement non linéaire
- Changements d'équipements/consommables
- Maintenances programmées ou non
- Imprécisions des modèles
- Capteurs en ligne souvent non disponibles
- Difficulté de mesurer directement plusieurs variables du système
- Variable humaine!! WIP

D. Contrôle des opérations et procédés unitaires

Principe



Visualiser

- Etat actuel
- Contrôle

Analyser

- Problèmes
- Solutions possibles

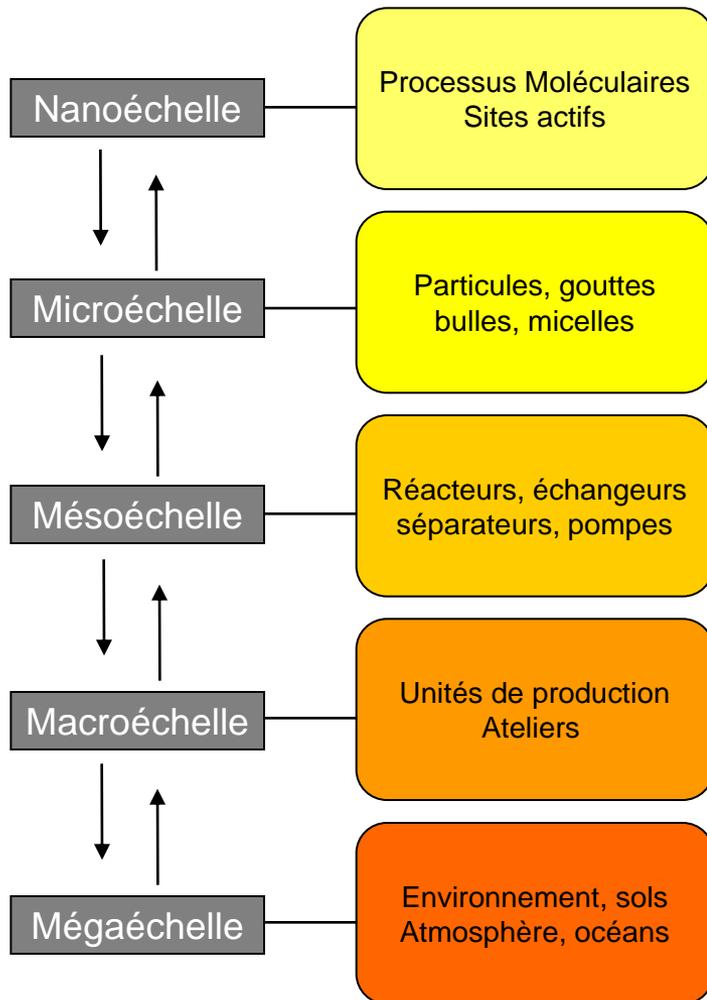
Optimiser

- Généraliser les meilleures pratiques
- Ajuster les procédés & les procédures

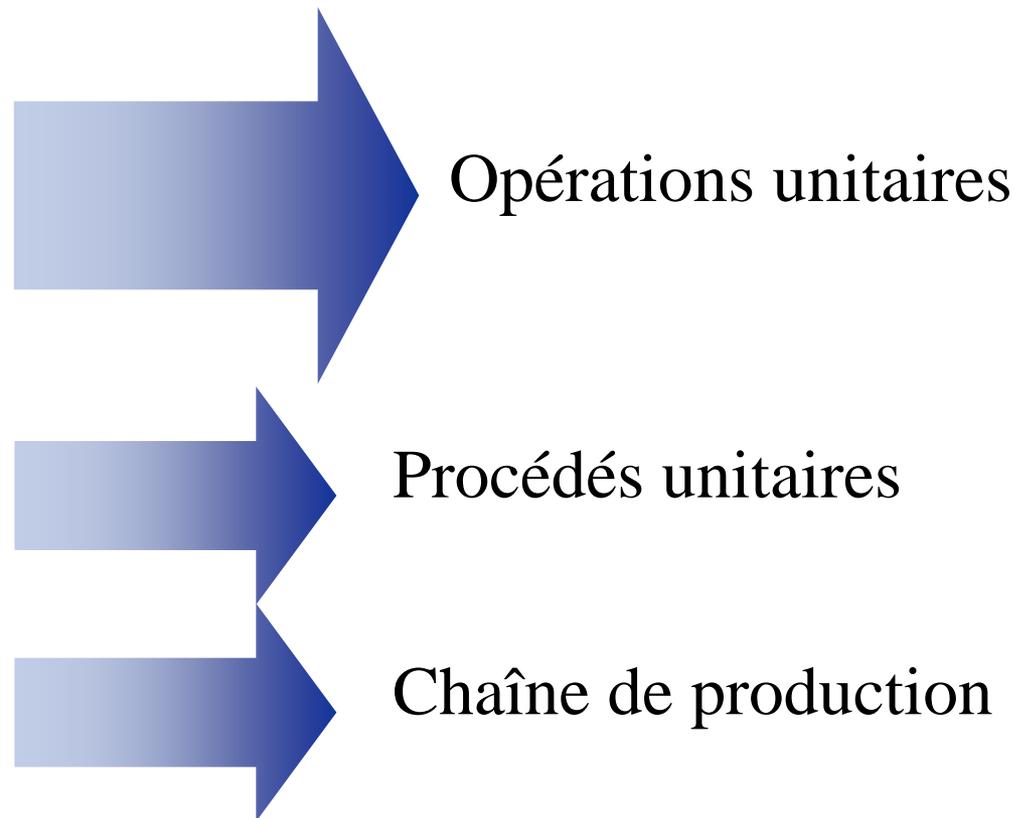
D. Contrôle des opérations et procédés unitaires

Où se situe le contrôle?

Subdivision verticale



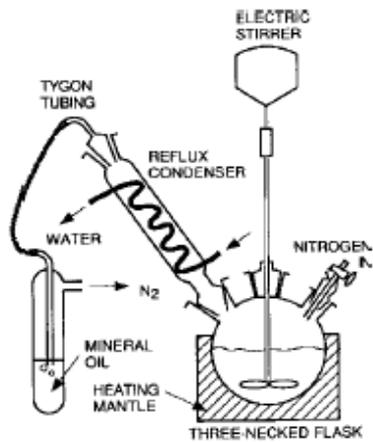
- Subdivision horizontale



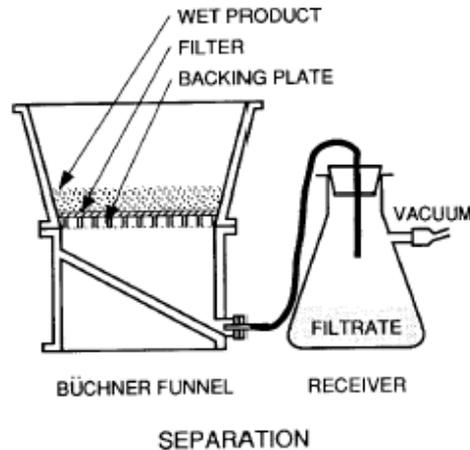
D. Contrôle des opérations et procédés unitaires

Niveau opérations unitaires

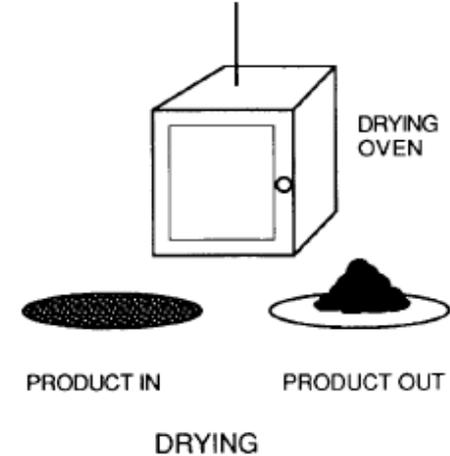
- Etablir des **modèles** pour chaque **opération unitaire**
- Appliquer le modèle à la conception de l'équipement



REACTION



SEPARATION



DRYING

- **Scale-up**

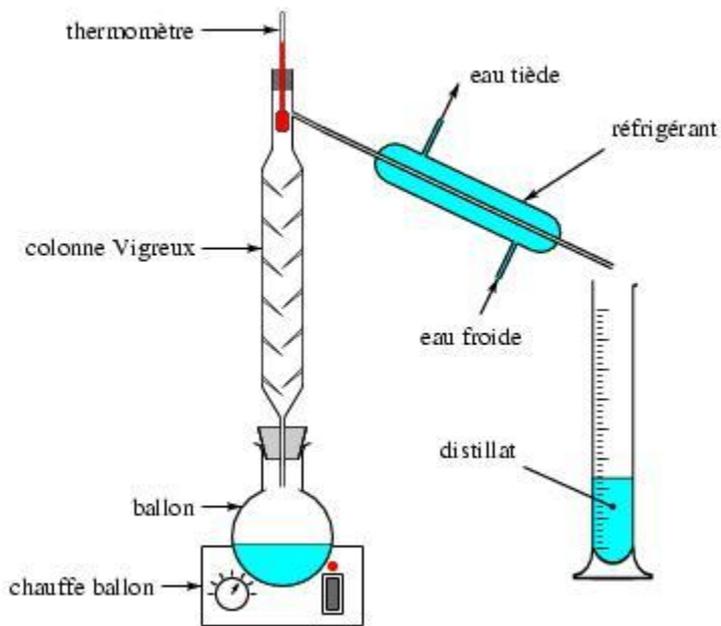
Echelle du laboratoire

Echelle pilote

Grande échelle

D. Contrôle des opérations et procédés unitaires

Le scale-up (développement de procédés)



**Unité de distillation
Echelle du labo**

Développement
de procédés



**Colonne de distillation
Echelle industrielle**



D. Contrôle des opérations et procédés unitaires

Le scale-up (développement de procédés)

La fonction du **développement de procédés** est d'extrapoler une ou plusieurs **O.U.** ou **P.U.** développés au laboratoire à une échelle industrielle, en prenant en compte des **considérations économiques, de sécurité, et environnementales.**

Le scale-up pose des problèmes d'optimisation des procédés et impose un **contrôle du processus de fabrication** en permanence

D. Contrôle des opérations et procédés unitaires

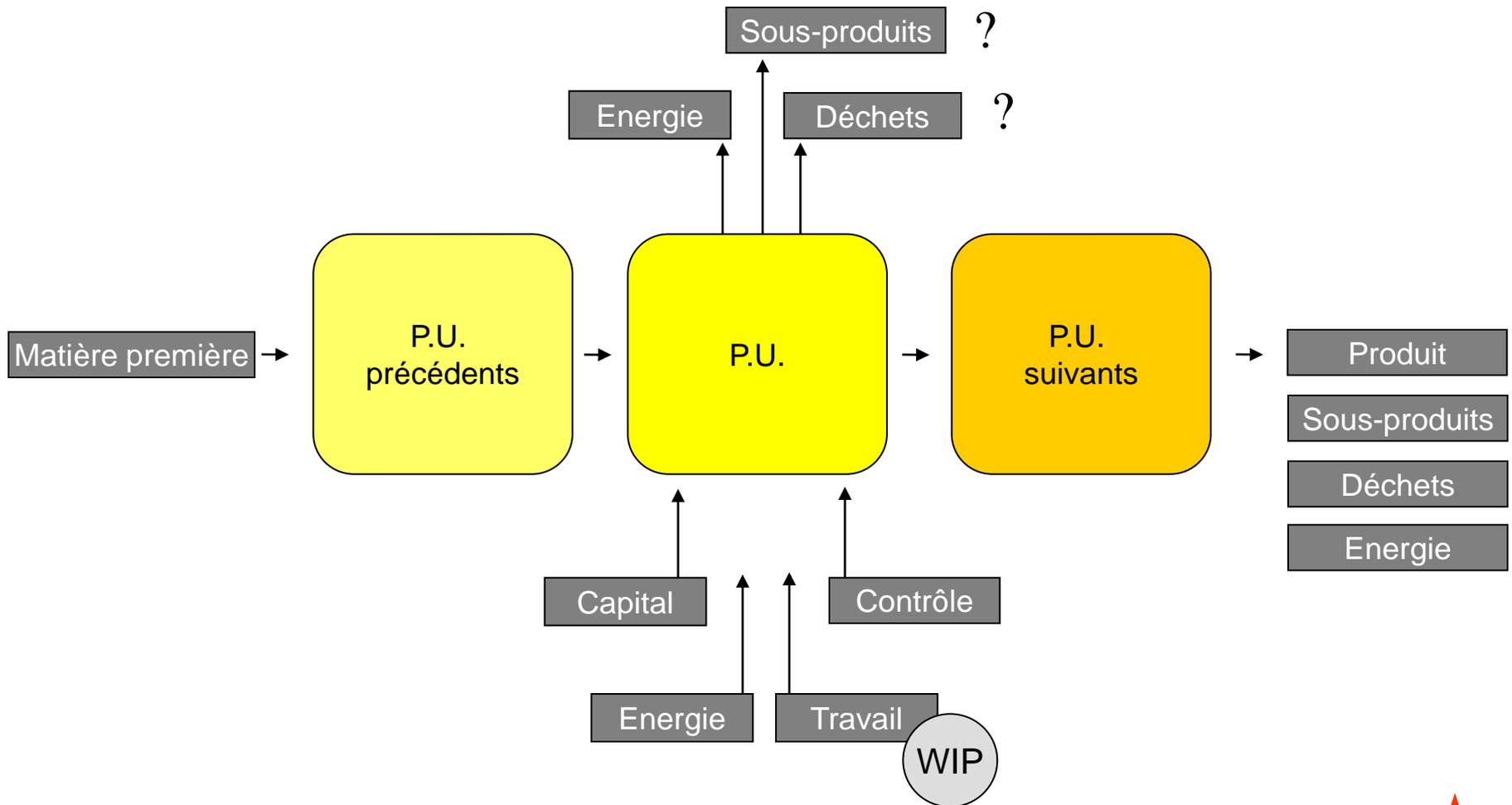
Niveau procédés unitaires

Equilibre de matière : **apport** au système + **génération** dans le système = **consommation** par le système + **production** du système + **accumulation** dans le système.

Equilibre d'énergie : il y a un équilibre énergétique autour de chaque **procédé unitaire** ou **ligne de production** qui détermine l'énergie exigée pour effectuer l'opération ou pour maintenir des conditions opératoires désirées. Tous les types d'énergie doivent être inclus dans un bilan énergétique.

D. Contrôle des opérations et procédés unitaires

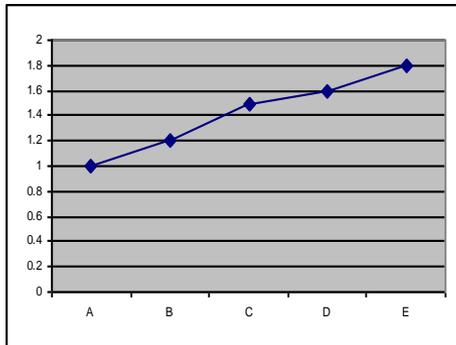
Niveau procédés unitaires



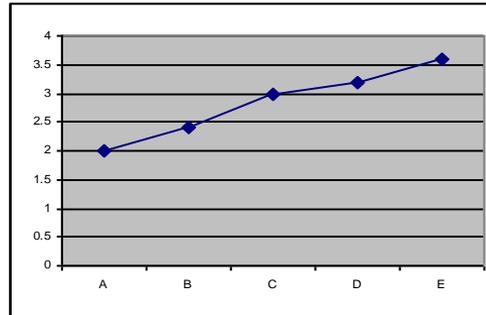
D. Contrôle des opérations et procédés unitaires

Niveau procédés unitaires

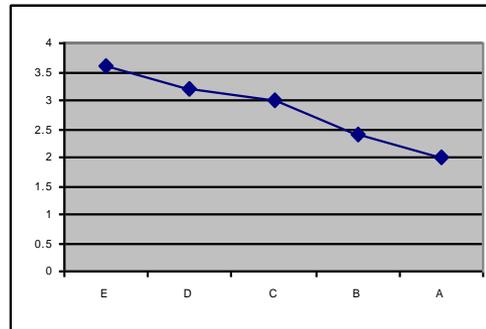
Procédé



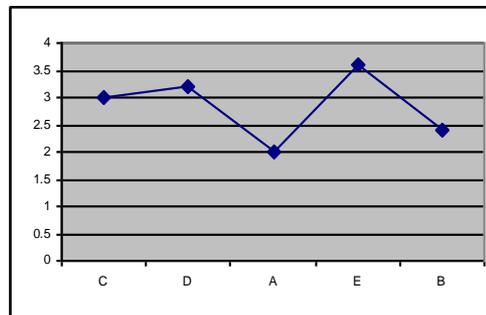
Métrie et
cartes de contrôle



Métrie correcte



Métrie incorrecte

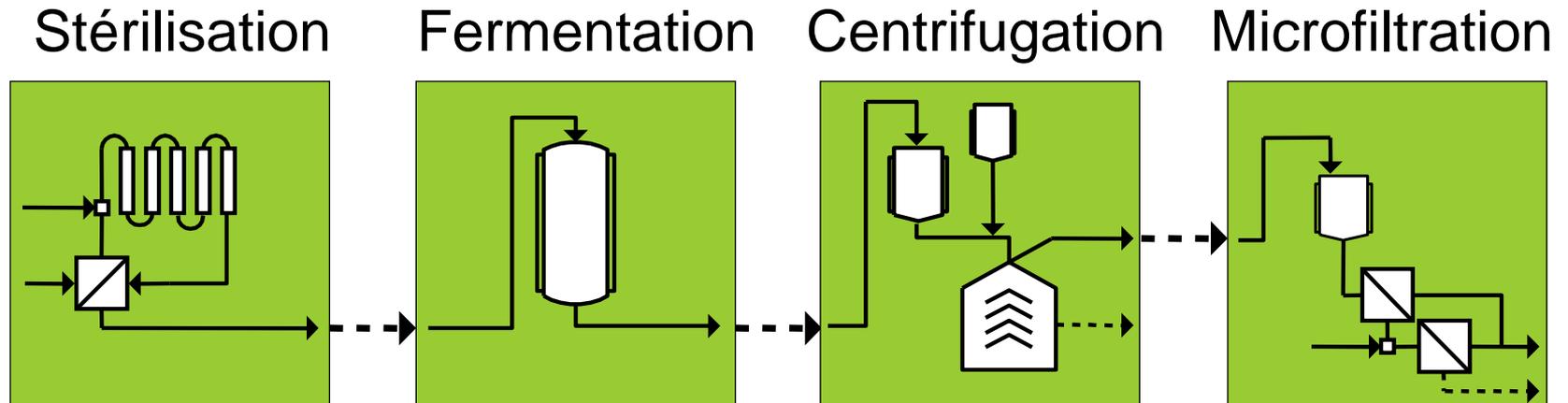


Métrie incorrecte

D. Contrôle des opérations et procédés unitaires

Exemple

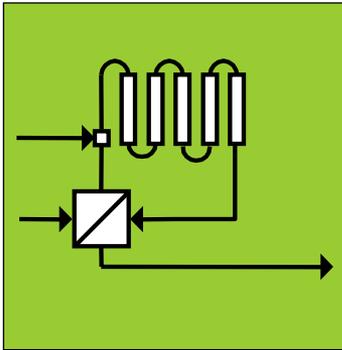
Contrôle des procédés de production industrielle d'une protéine



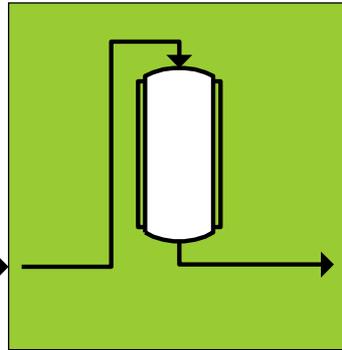
E. Contrôle des opérations et procédés unitaires

Ex. production d'une protéine

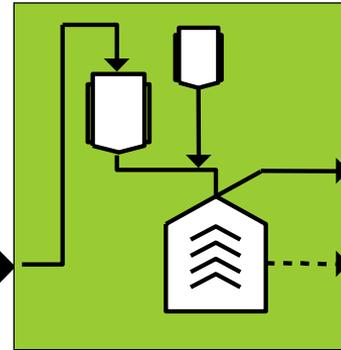
Stérilisation



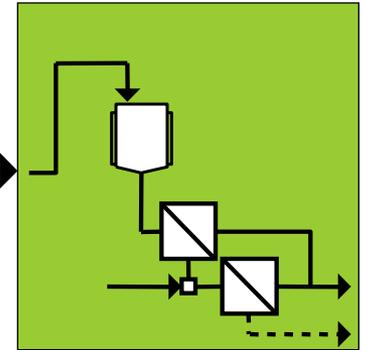
Fermentation



Centrifugation



Microfiltration

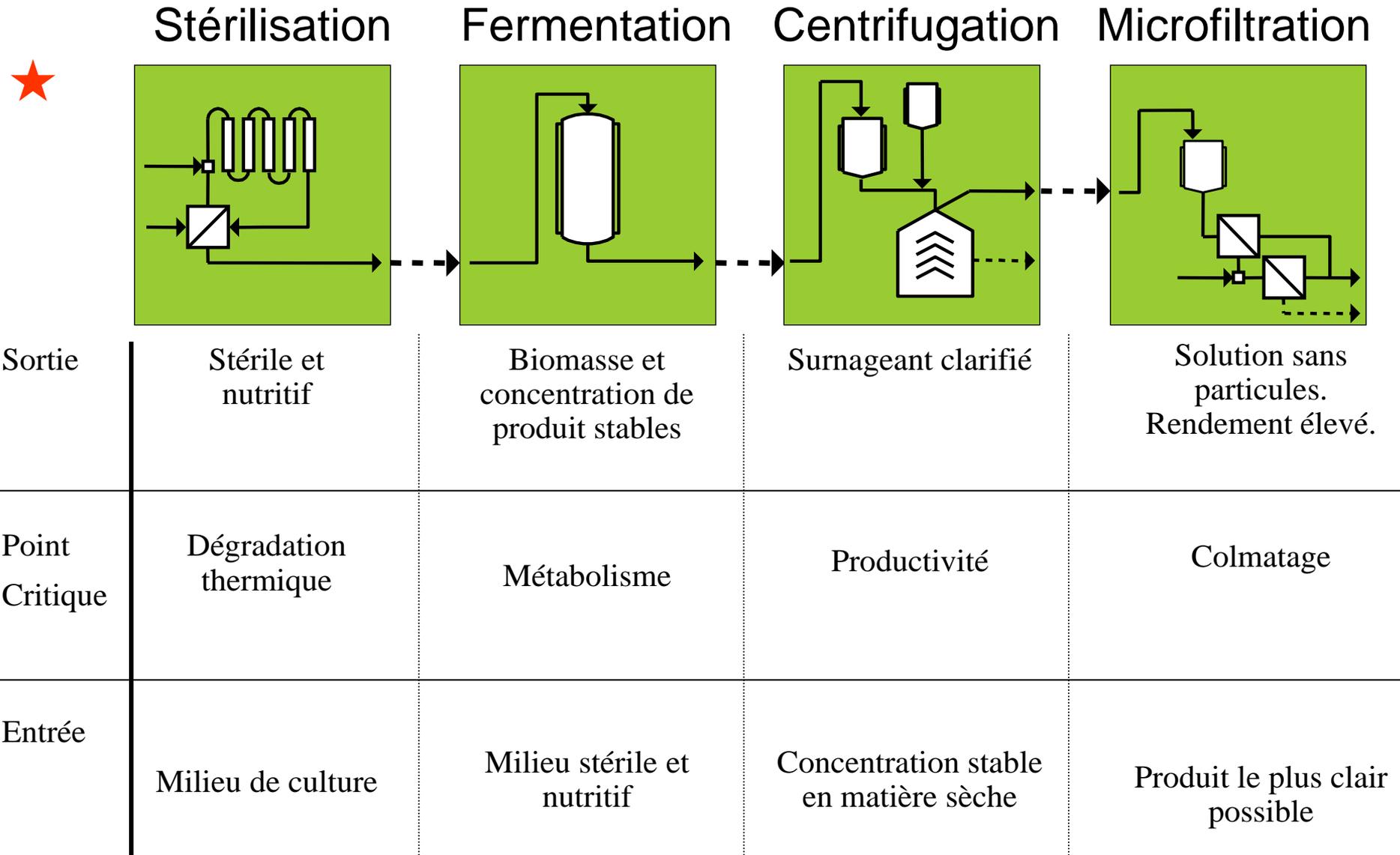


Opuni
Principale

Autres
Opunis

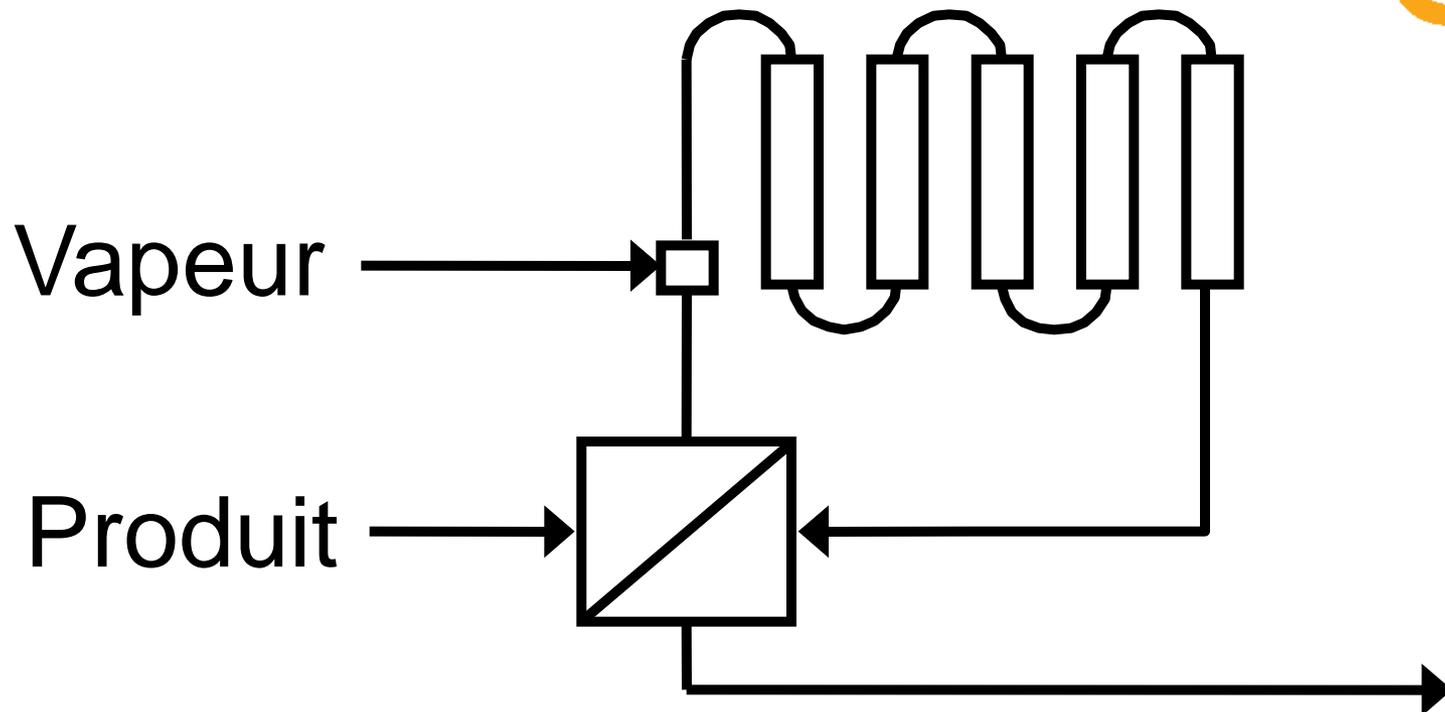
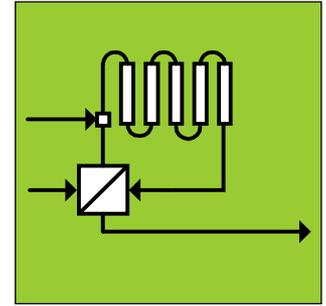
E. Contrôle des opérations et procédés unitaires

Ex. production d'une protéine



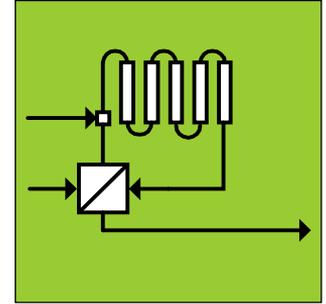
Stérilisation continue

- **Objectif** : produit stérile et nutritif
- **Point critique** : dégradation °C des substrats
perturbations de l'action létale °C

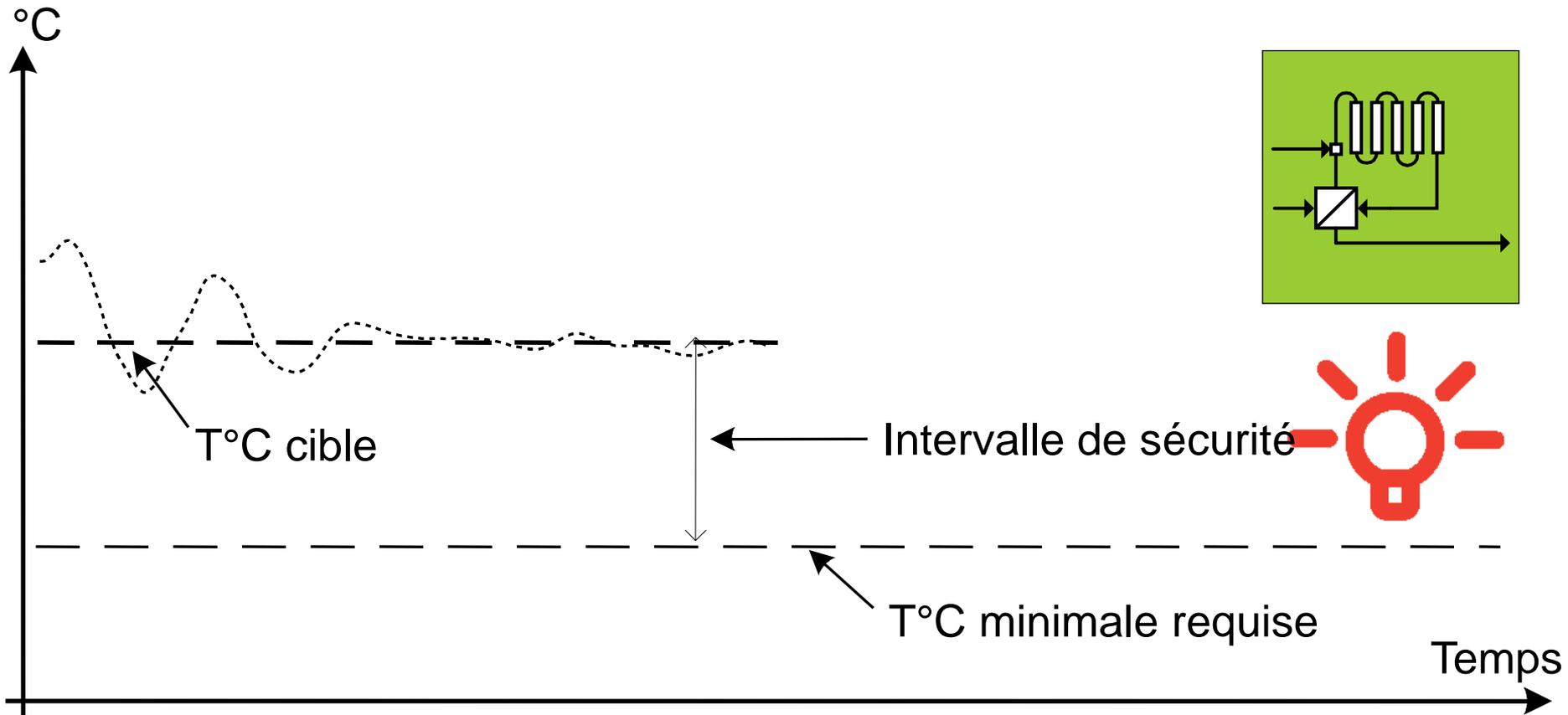


Stérilisation continue

- La stérilité est critique Non mesurée
- La létalité ne l'est pas Analysée et contrôlée
- La dégradation °C est critique ... Non mesurée
- Le produit est défini selon des conditions fixes :
Exposer le milieu à un certain niveau létal sans connaître la quantité de microorganismes.

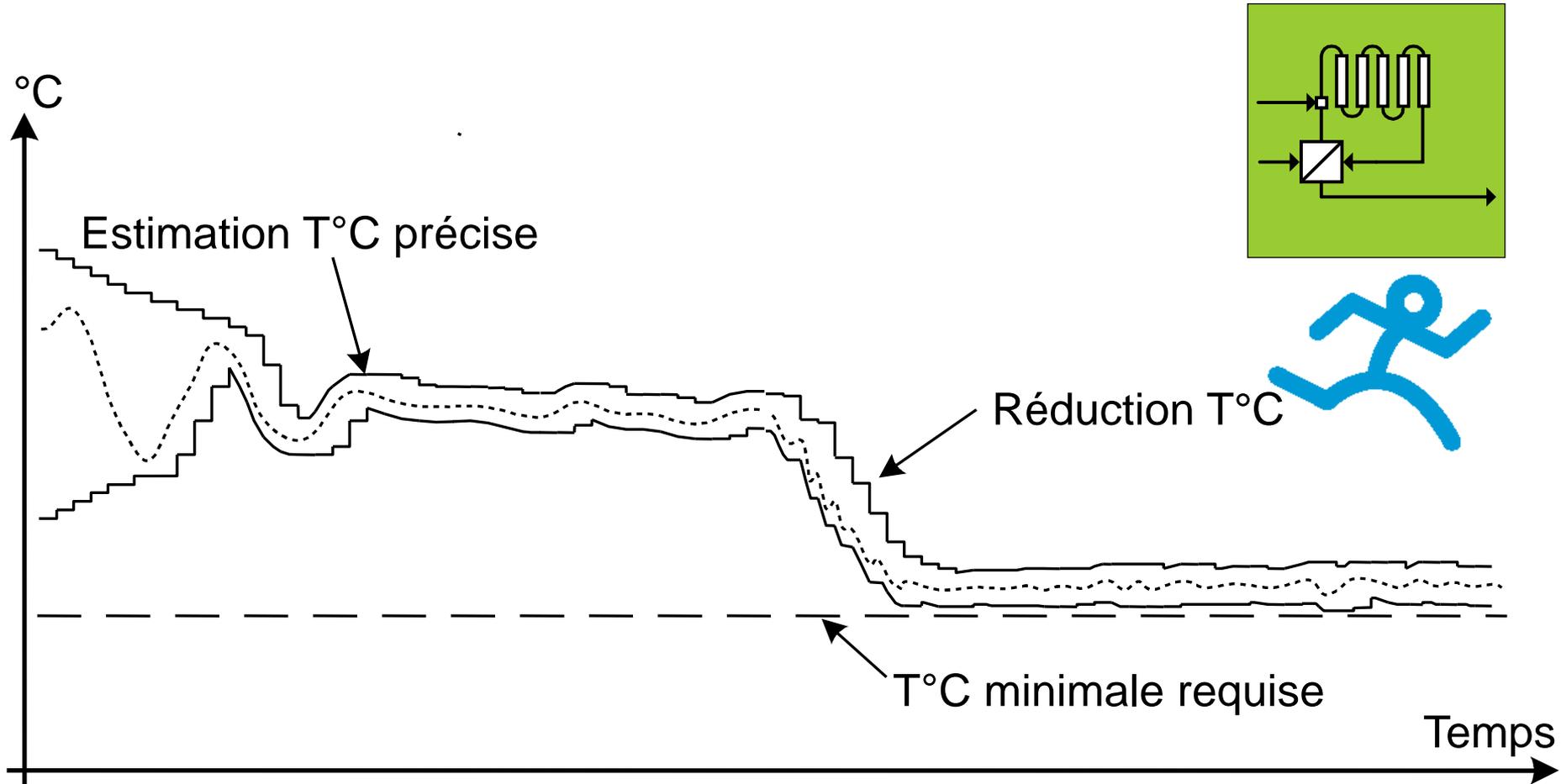


Stérilisation continue



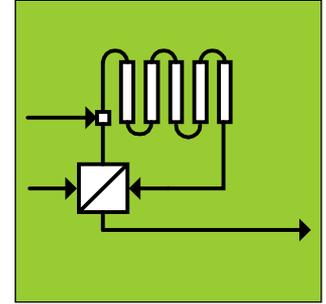
- $T^{\circ}\text{C}$ cible haute pour parer aux variations de $T^{\circ}\text{C}$ et débit.
- Ceci résulte en une dégradation des nutriments.
- Contrôle individuel de $T^{\circ}\text{C}$ et du débit pour s'approcher de $T^{\circ}\text{C}$ cible.

Stérilisation continue

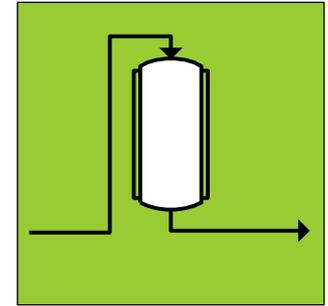
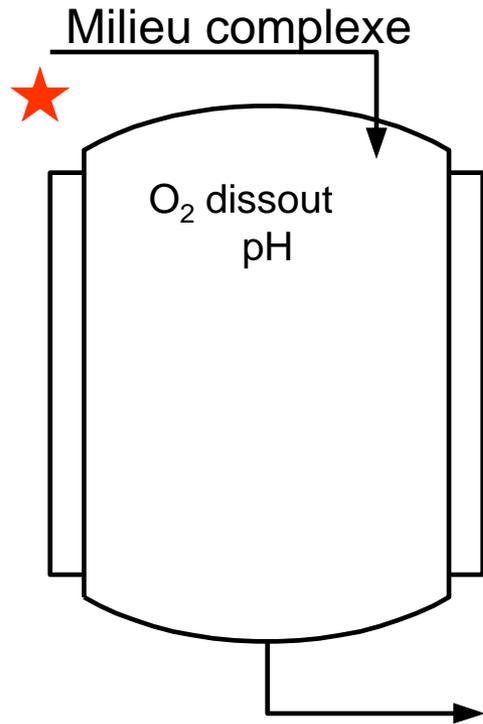


Stérilisation continue

- Estimation T°C selon modèle mathématique
- Contrôle en ligne simultanée de la T°C et du débit
 - permet contrôle plus étroit
 - donc T°C cible peut être amenée près du minimum
 - Moins de dégradations des nutriments
- Actions futures
 - Mesurer la biomasse vivante à des points du process
 - Doser les nutriments non dégradés

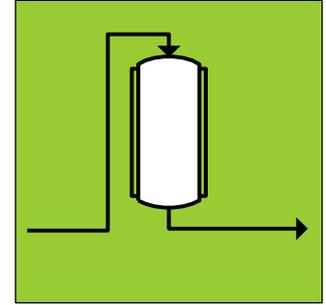
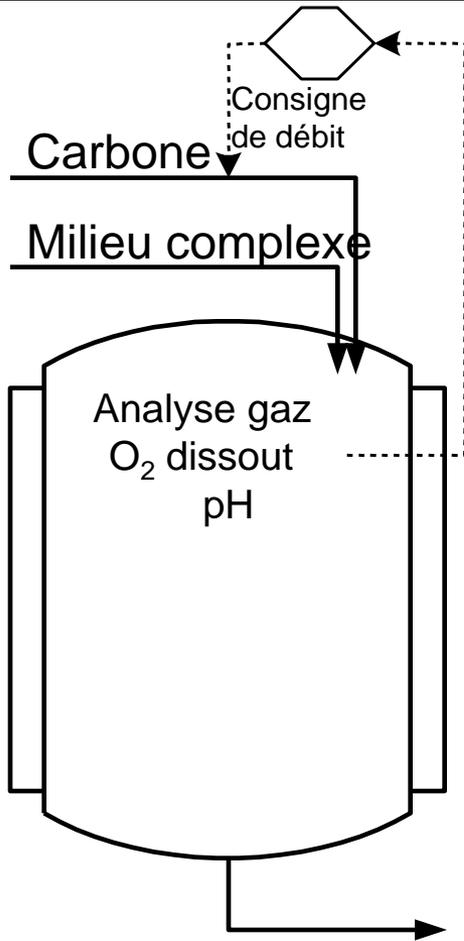


Fermentation



- **Objectif** : biomasse et concentration de produit stables
- **Point critique** : variations du métabolisme
- **Difficulté** : complexité du milieu

Fermentation

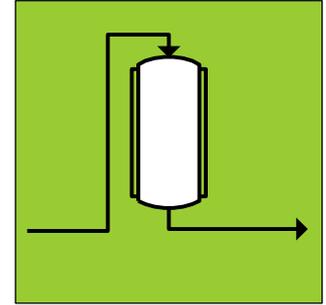


- Passer d'1 à 2 entrées de milieu
 - Milieu carbohydrates (Speed) et contrôle en feedback
 - Milieu complexe (Produit/impuretés)
- Contrôle de l'état du métabolisme en ligne par mesure du O₂/CO₂.

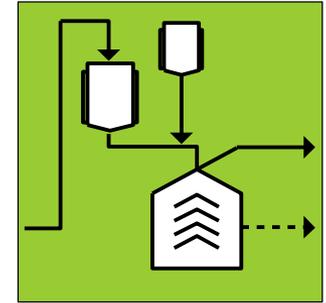
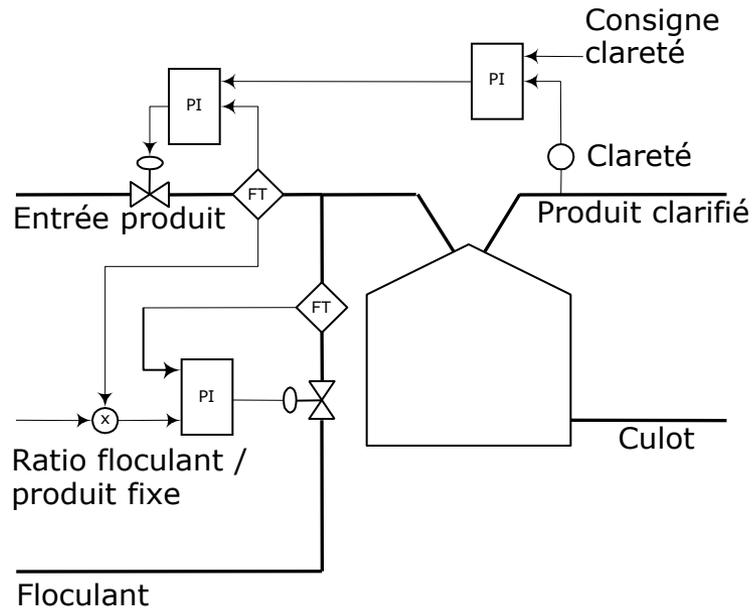
Fermentation

- L'état du métabolisme est critique
 - pour le bénéfice, pas la qualité
 - permet de garder un taux de produit maximum
- Utiliser des milieux standardisés
 - contrôler la présence d'impuretés
- Surveiller les contaminations.

- Le produit est défini en fonction des conditions physiques (température, pression, pH, aération, agitation et temps)

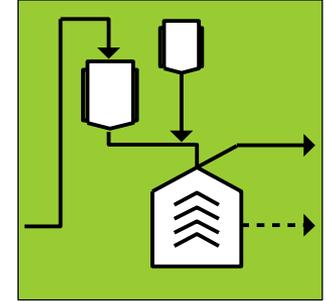
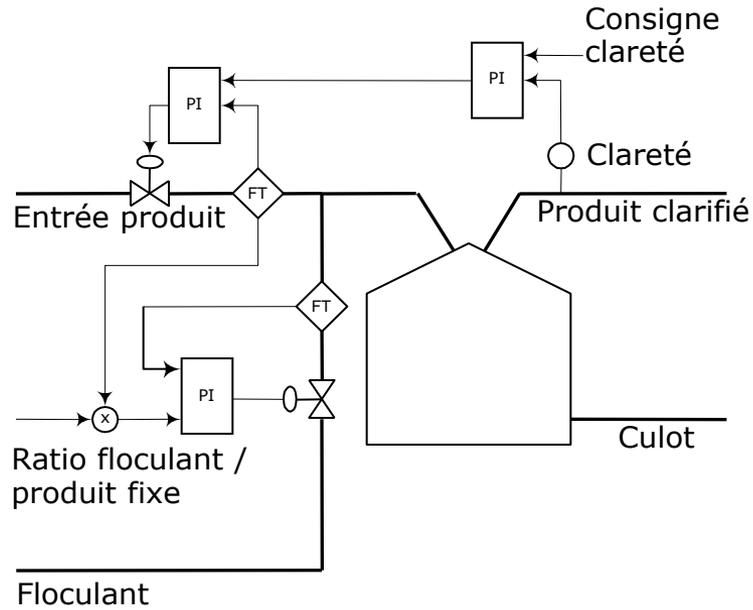


Centrifugation

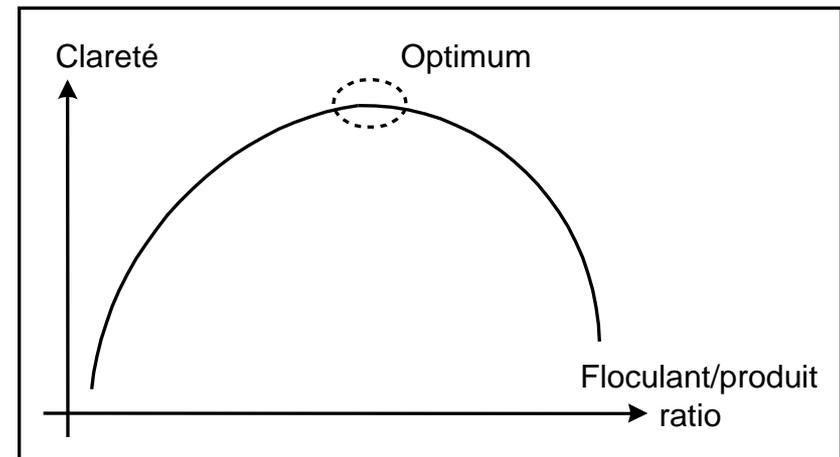


- **Objectif** : surnageant clarifié
- **Point critique** : productivité

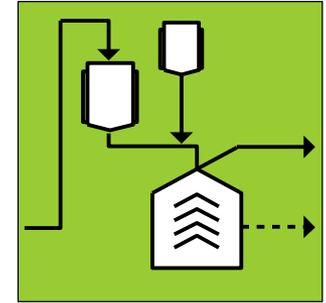
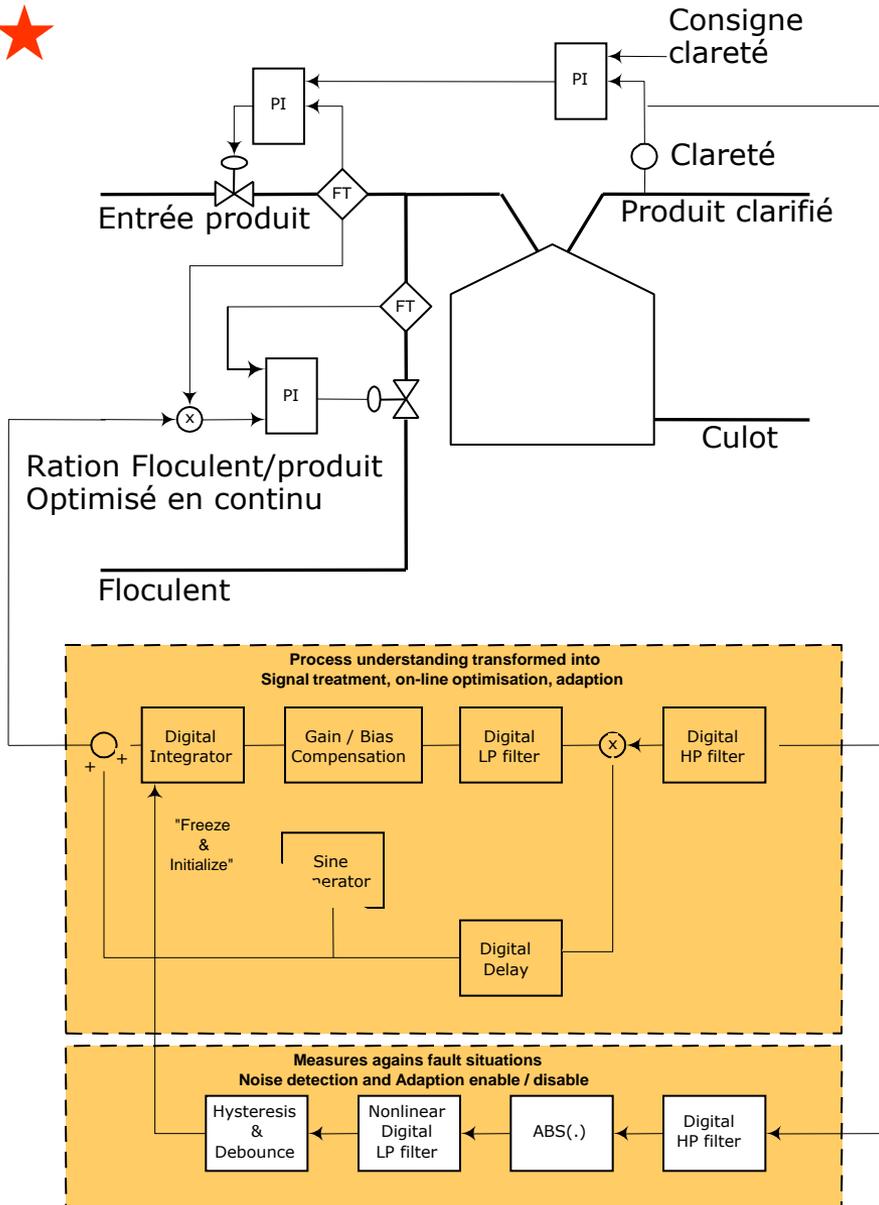
Centrifugation



- Optimum dépendant du ratio floculant/produit

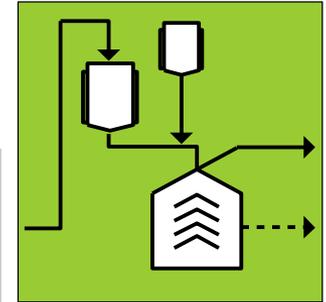


Centrifugation



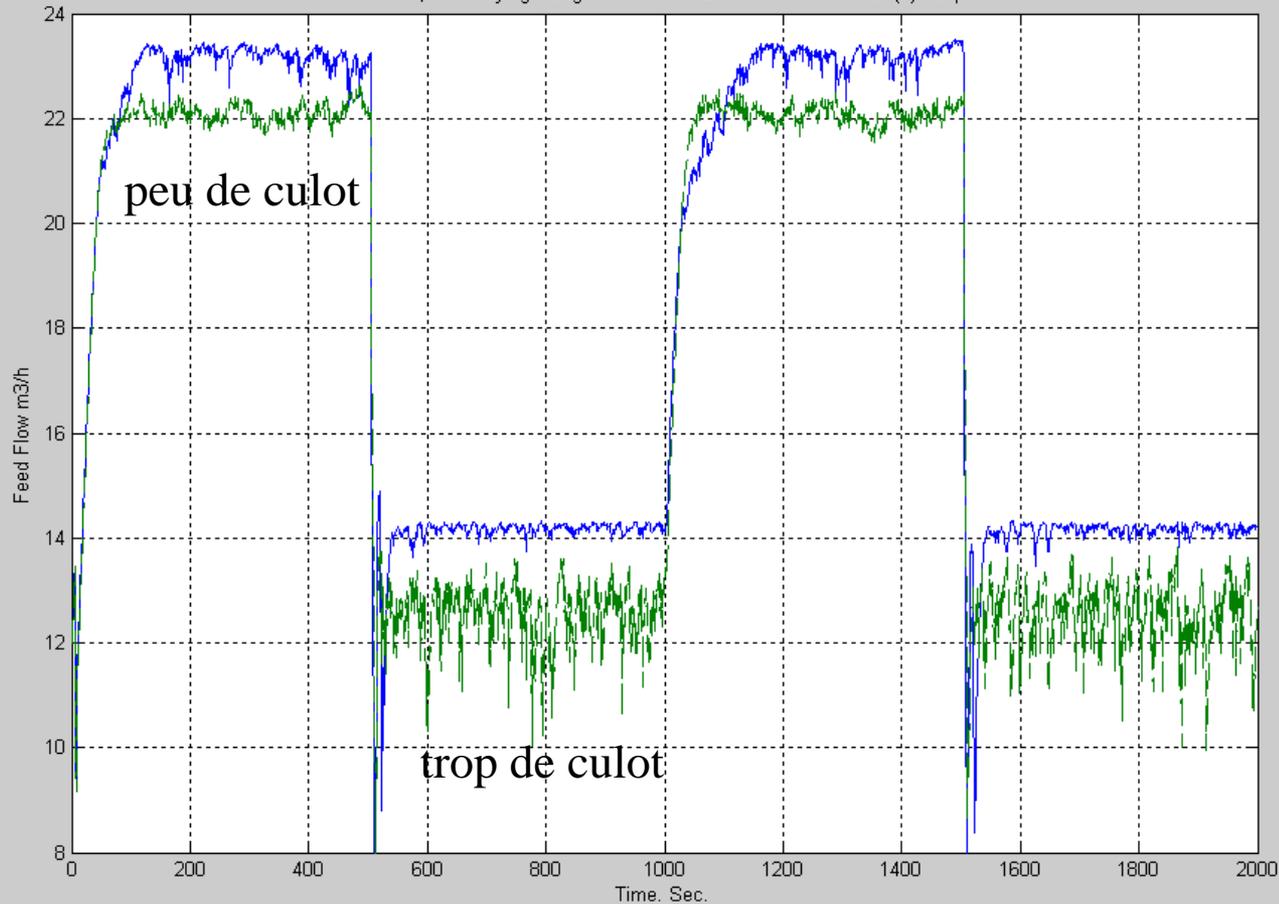
- Optimisation continue en ligne du ratio flocculant/produit en mesurant la perturbation du signal ratio.

Centrifugation



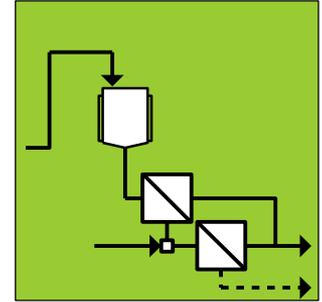
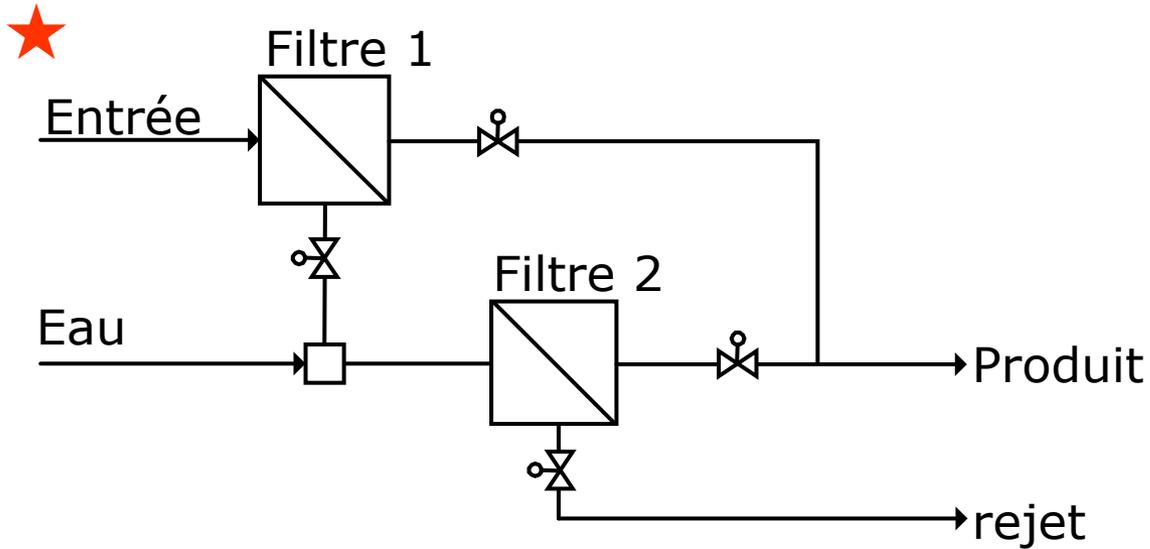
Entrée produit m³/h

Feed Flow, with varying sludge feed. 16% - 24% with and without (-) adaption



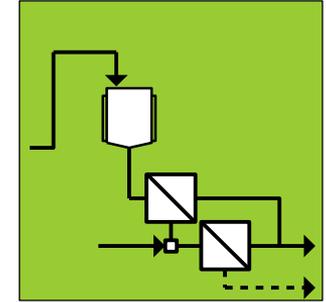
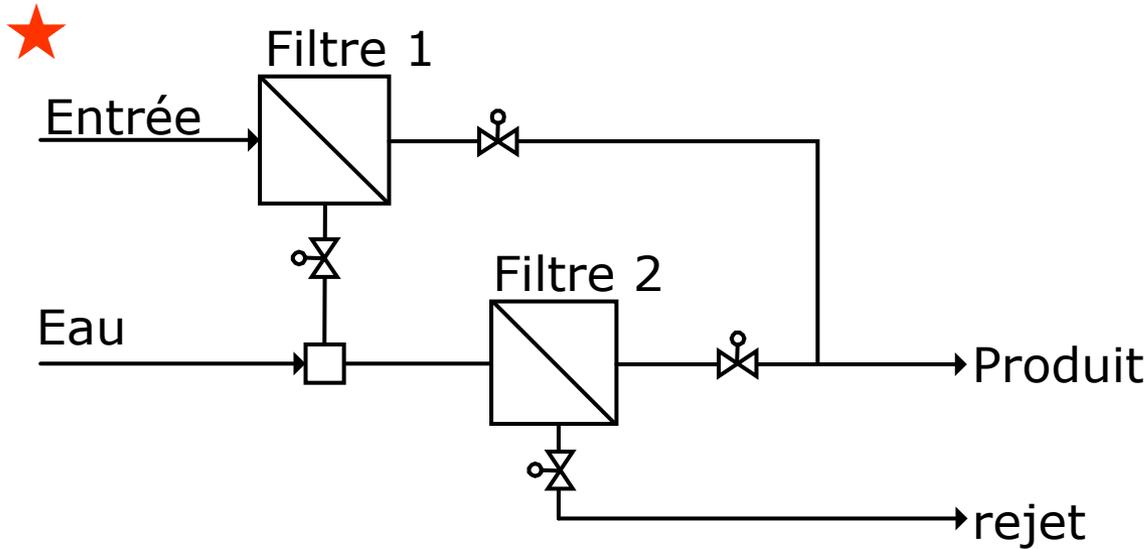
Temps

Microfiltration



- Objectifs : débit élevé
rendement maximum
- Points critiques : colmatage
lessivage

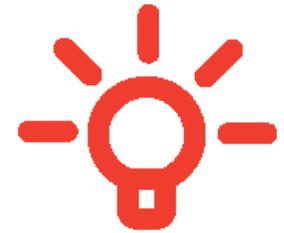
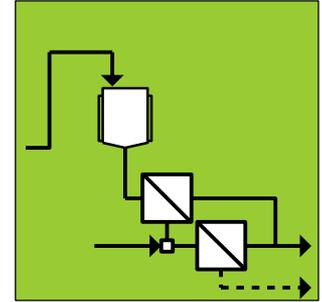
Microfiltration



- Filtre 1:
 - Contrôle du **débit à l'entrée** (valves retentat et filtrat) pour avoir la meilleure séparation
- Filtre 2:
 - Contrôler le **débit du retentat** pour éviter colmatage et lessivage
 - Contrôler le **débit du filtrat** pour avoir le meilleur rendement
 - Contrôler la **pression** à l'entrée

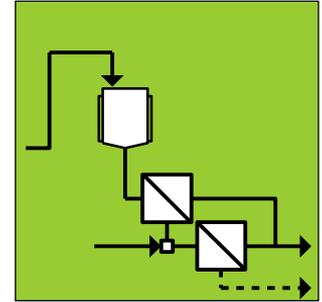
Microfiltration

- Modèles valve et filtre.
 - caractéristiques évaluées en continu.
 - surveiller les changements en vue de maintenance.
- Adapter pression et débit en cas de :
 - Changement des caractéristiques de la valve ou du filtre.
 - Colmatage du filtre.



Microfiltration

- Les débits sont critiques
 - Mesure en continu
- Analyse en ligne basée sur un modèle du procédé
- Production uniforme basée sur le contrôle des débits
 - Produit non déterminé par nature du filtre
- Action futures
 - Ex. détection fuites membranes



II. Procédés des industries agro-alimentaires

A. Procédés à température ambiante

B. Procédés thermiques par ajout de chaleur

C. Procédés thermiques par soustraction de chaleur

II. Procédés des industries agro-alimentaires

A. Procédés à température ambiante

B. Procédés thermiques par ajout de chaleur

C. Procédés thermiques par soustraction de chaleur

A. Procédés à température ambiante

I. Préparation de la matière première

II. Procédés d'ajustement de la taille

III. Techniques séparatives et de concentration

IV. Procédés de mélange

V. Procédés biologiques

A. Procédés à température ambiante

I. Préparation de la matière première

II. Procédés d'ajustement de la taille

III. Techniques séparatives et de concentration

IV. Procédés de mélange

V. Procédés biologiques

I. Préparation de la matière première

1. Etapes pré-process

Manipulations (exemples)

- Récolte manuelle/mécanique
- Transport
- Convoyage
- Pompage
- Stockage

I. Préparation de la matière première

1. Etapes pré-process

Récolte manuelle des tomates



Récolte mécanique des tomates



Convoyeur de pomme de terre



I. Préparation de la matière première

1. Etapes pré-process

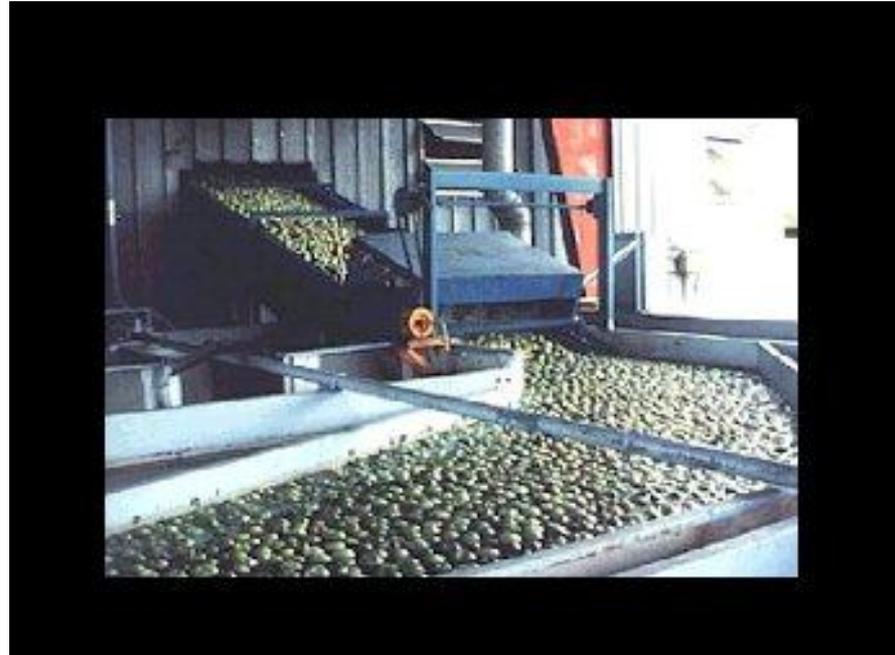
Considérations

- Maintenir des **conditions sanitaires**
- Minimiser les **pertes**
- Maintenir la **qualité** du produit cru
- Minimiser la **croissance bactérienne**

I. Préparation de la matière première

2. Nettoyage

- Lavage
- Brossage
- Soufflage
- Filtration
- Vapeur
- Aimants
- Criblage

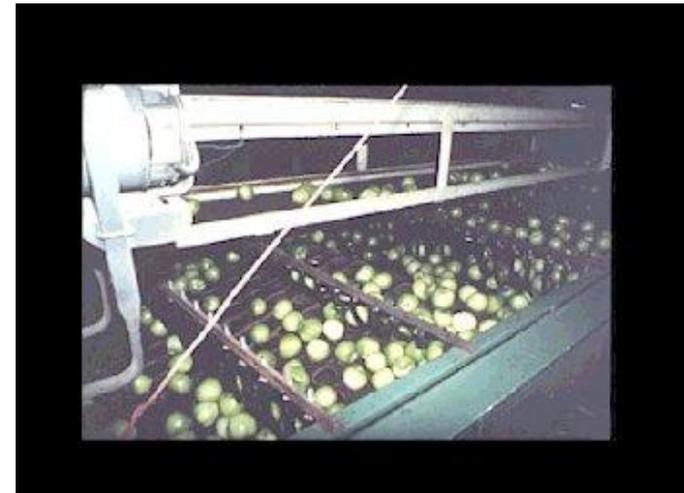


I. Préparation de la matière première

3. Séparation

Séparation - exemples

- **Triage, criblage, tamisage...**
 - Triage **manuel** d'unités individuelles
 - Triage **mécanique** selon calibre
 - Triage **photoélectrique** selon couleur
- **Epluchage, désossage, plumage...**
 - Séparation peau du fruit
 - Séparation feuilles abimées



A. Procédés à température ambiante

I. Préparation de la matière première

II. Procédés d'ajustement de la taille

III. Techniques séparatives et de concentration

IV. Procédés de mélange

V. Procédés biologiques

II. Procédés d'ajustement de la taille

1. Réduction de la taille

- ⊠ Les matières premières se présentent souvent dans des tailles trop grandes pour être employées.
- ⊠ Les constituants utiles peuvent être peu ou pas accessibles dans l'état.
- ⊠ Deux catégories
 - ⊠ Broyage et coupage (solide)
 - ⊠ Emulsification et homogénéisation (liquide)

1. Réduction de la taille

a. aliments solides

- ⊕ Coupage, tranchage (viandes, légumes, fruits)
- ⊕ Hachage, broyage, râpage (viandes, fromages)
- ⊕ Moulage (céréales)
- ⊕ Réduction en pulpe (fruit)



1. Réduction de la taille

b. aliments liquides

Emulsions - définition

Les émulsions sont des suspensions plus ou moins stables de fines gouttelettes d'un liquide dans un autre, les deux liquides étant non-miscibles.

Généralement d'apparence laiteuse ou trouble.

1. Réduction de la taille

b. aliments liquides

Emulsions

⊠ *Deux phases :*

⊕ Phase dispersée

⊕ Phase continue

⊠ *Deux phases :*

⊕ Phase hydrophile

⊕ Phase lipophile

1. Réduction de la taille

b. aliments liquides

Deux types selon les phases

- ⊠ **Matière grasse dispersée dans l'eau**
 - ⊕ Lait, crème fraîche, jaune d'oeuf...

- ⊠ **Eau dispersée dans la matière grasse**
 - ⊕ Beurre, margarine, crème glacée...

Stabilité des émulsions

⊠ **La stabilité d'une émulsion dépend**

- ⊕ de la taille des gouttelettes de la phase dispersée
- ⊕ de la viscosité de la phase continue
- ⊕ de la différence de densité entre les deux phases

⊠ **Raisons de rupture d'une émulsion**

- ⊕ fusion des gouttelettes de la phase dispersée
- ⊕ addition trop rapide de l'une des phases
- ⊕ saturation en l'une des phases
- ⊕ température

La vitesse de sédimentation

- Loi de Stokes

$$V = \frac{d^2 (\rho_p - \rho_l)}{18\eta} \times g$$



George Gabriel Stokes
(1819-1903)



d^2 = Diamètre de la particule

ρ_p = Masse volumique de la particule

ρ_l = Masse volumique du liquide

η = Viscosité du liquide

g = Accélération due à la gravité

$$\left(m^2 \right)$$

$$\left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$\left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$\left(\frac{kg}{m \times s} \right)$$

$$\left(\frac{m}{s^2} \right)$$

Stabilité des émulsions

Emulsification

Procédé consistant à augmenter l'aptitude d'un liquide à former une émulsion avec un autre et donc à favoriser la stabilité de l'émulsion résultante

⊕ Chimique

⊕ ajout d'agents émulsifiants

⊕ Physique

⊕ dispersion mécanique de la phase en suspension

Stabilité des émulsions

Emulsification chimique

⊕ Emulsion temporaire

- ⊕ Les deux phases ont tendance à se séparer rapidement

⊕ Emulsion semi-permanente

- ⊕ Un émulsifiant pour réduire la tendance à la séparation

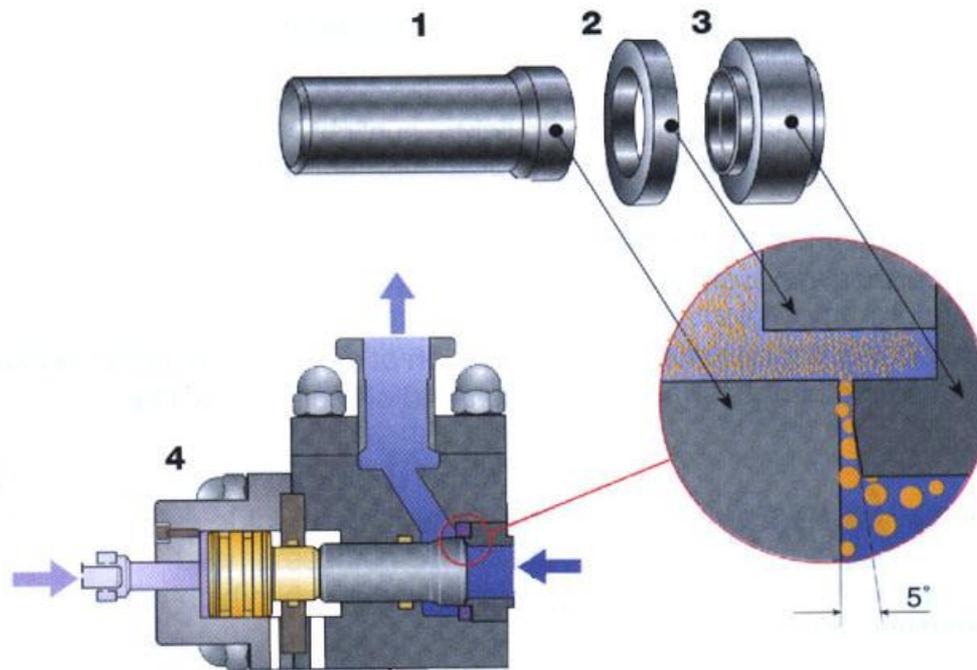
⊕ Emulsion permanente

- ⊕ Un émulsifiant pour empêcher la séparation

Stabilité des émulsions

Emulsification physique ou homogénéisation

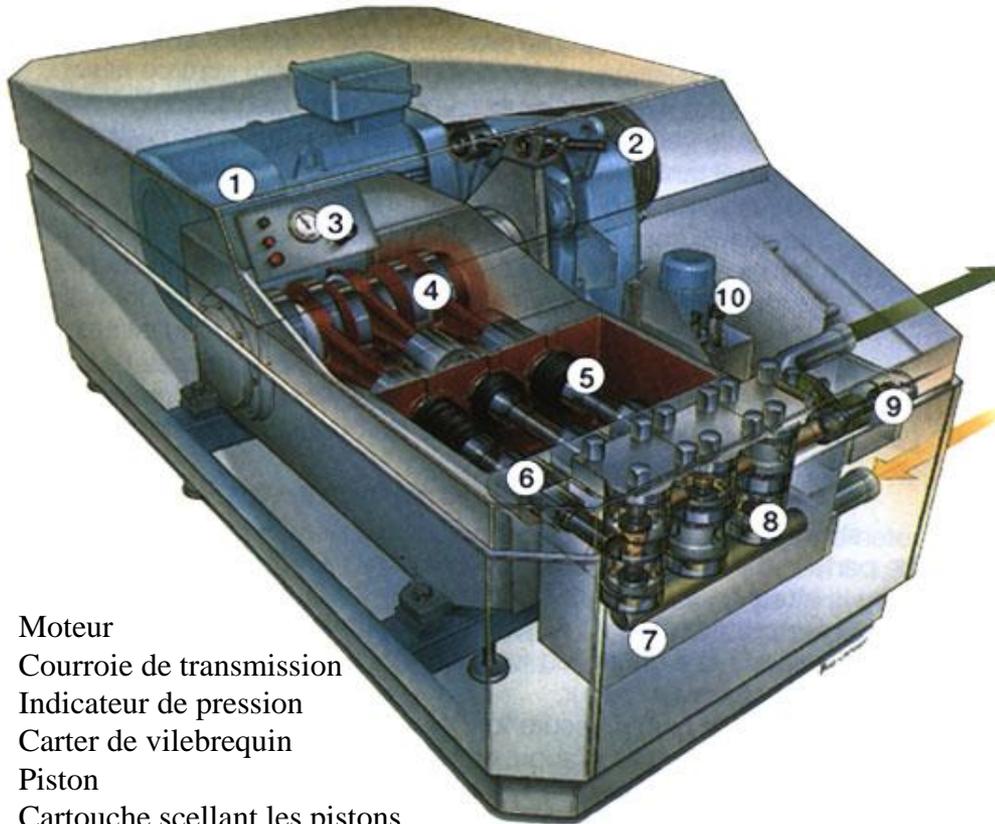
Le produit est forcé sous haute pression à travers une valve conçue de façon à réduire la taille des gouttelettes en particules si petites que les forces de flottement/gravité sont surmontées par la viscosité de la phase continue.



1. Forneur
2. Bague d'impact
3. Assise
4. Pompe hydraulique

Composants d'un homogénéisateur type

Equipement

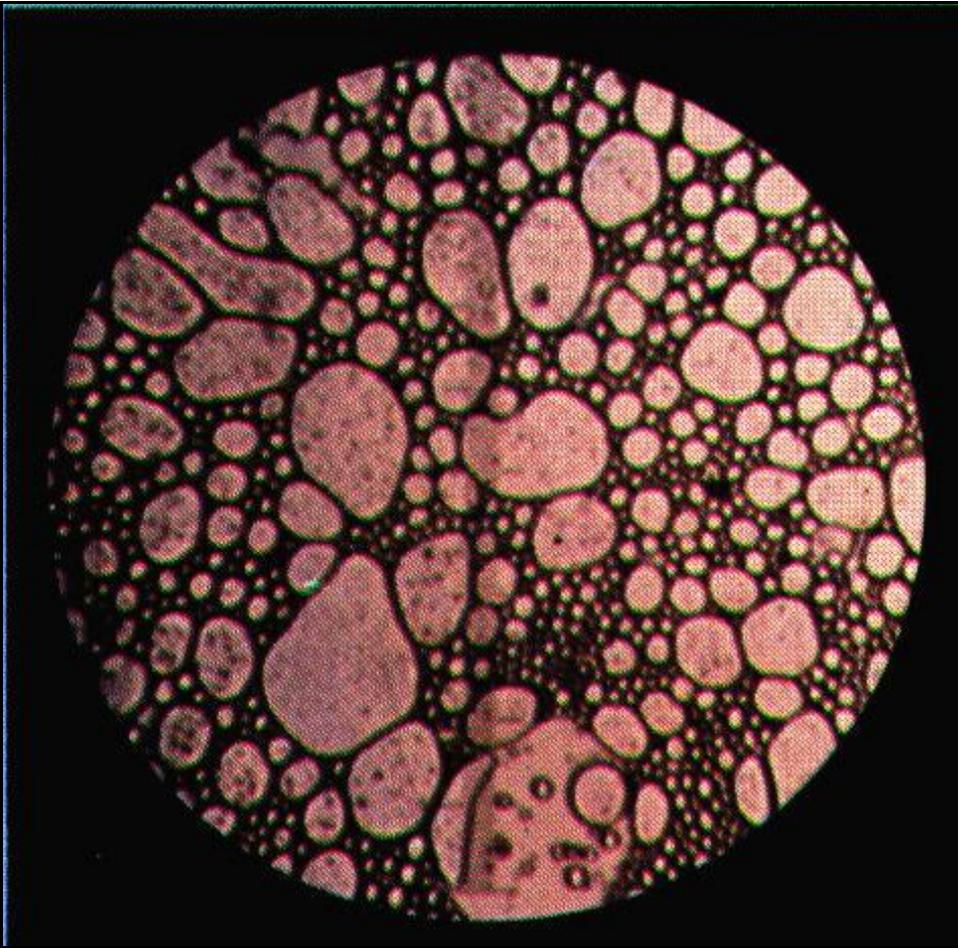


1. Moteur
2. Courroie de transmission
3. Indicateur de pression
4. Carter de vilebrequin
5. Piston
6. Cartouche scellant les pistons
7. Bloc de pompes en inox
8. Valves
9. Système d'homogénéisation
10. Contrôle de pression hydraulique

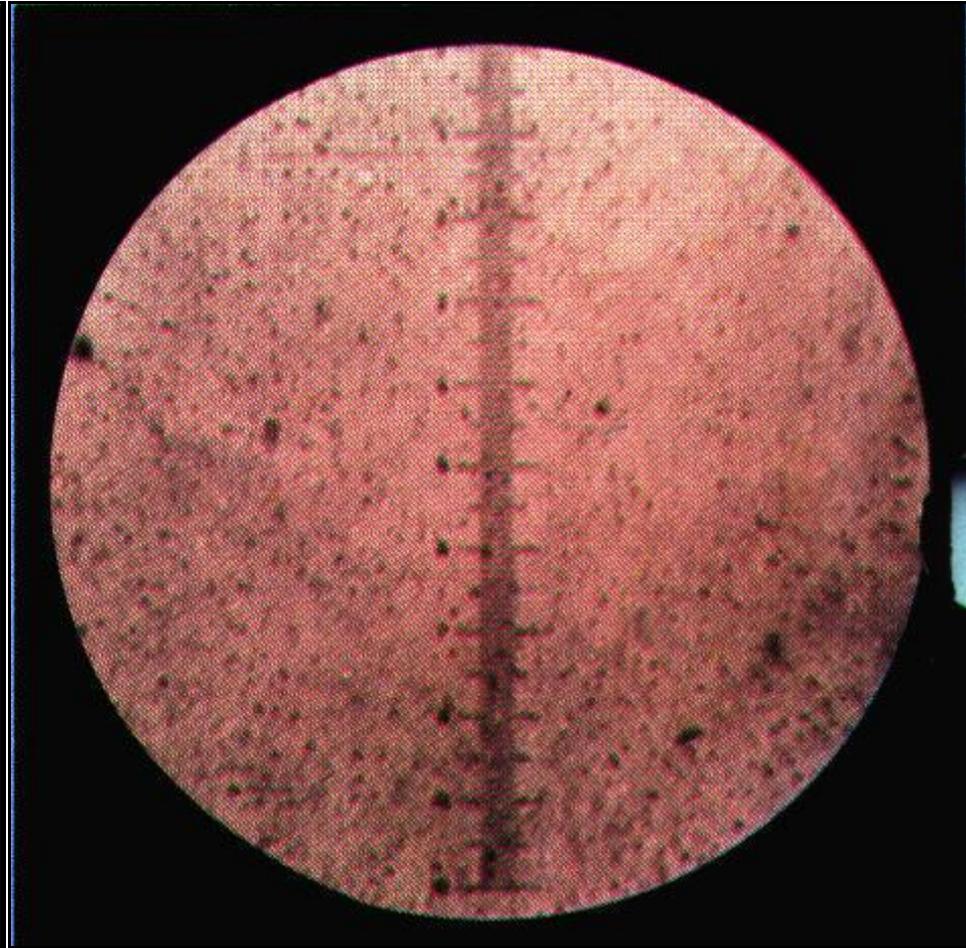


L'homogénéisateur n'est autre qu'une pompe à haute pression avec un système de contre-pression

Effets de l'homogénéisation



Avant



Après

Réduction de la taille des globules lipidiques d'une émulsion par homogénéisation

1. Réduction de la taille

b. aliments liquides

Exemples de produits concernés par l'homogénéisation

Laits

⊕ Entier, plus ou moins écrémé, UHT, concentré...

Crèmes

⊕ Glacées, pâtissière, fouettée, fraîche <20% , >20% MG

Autres produits laitiers

⊕ Fromages blancs, à tartiner, yaourts à boire, milkshake...

Purées

⊕ Tomate, banane, pomme...

Boissons

⊕ Boissons chocolatées, jus de tomate, jus épais et nectar, au soja...

Autres

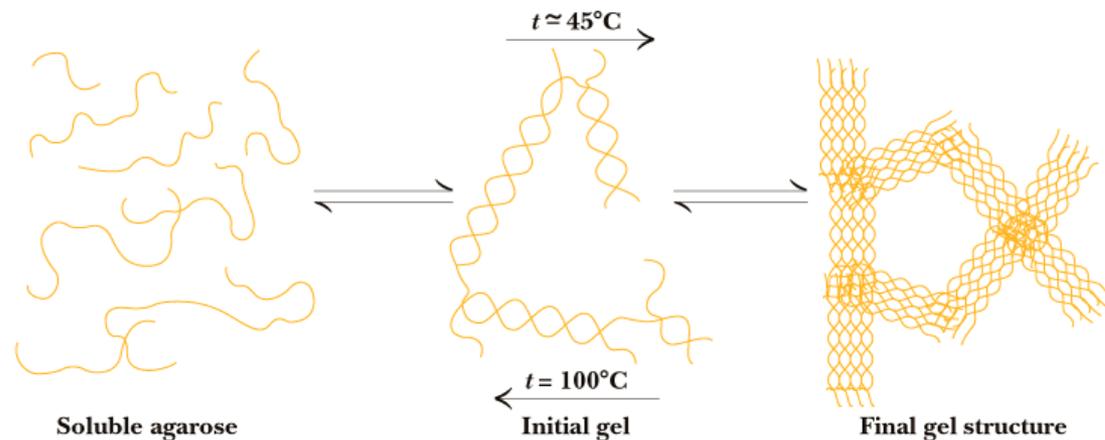
⊕ Sauces, soupes, mayonnaise, ketchup, aliments pour bébés

II. Procédés d'ajustement de la taille

2. Augmentation de la taille

(agrégation, agglomération, gélatinisation)

Un gel



Saunders College Publishing

- Un fluide piégé dans une structure rigide
 - dans les deux sens (fluide dans gel, gel dans fluide)
 - polymères (chaînes) liés les uns aux autres

II. Procédés d'ajustement de la taille

2. Augmentation de la taille

Différents types d'hydrocolloïdes alimentaires

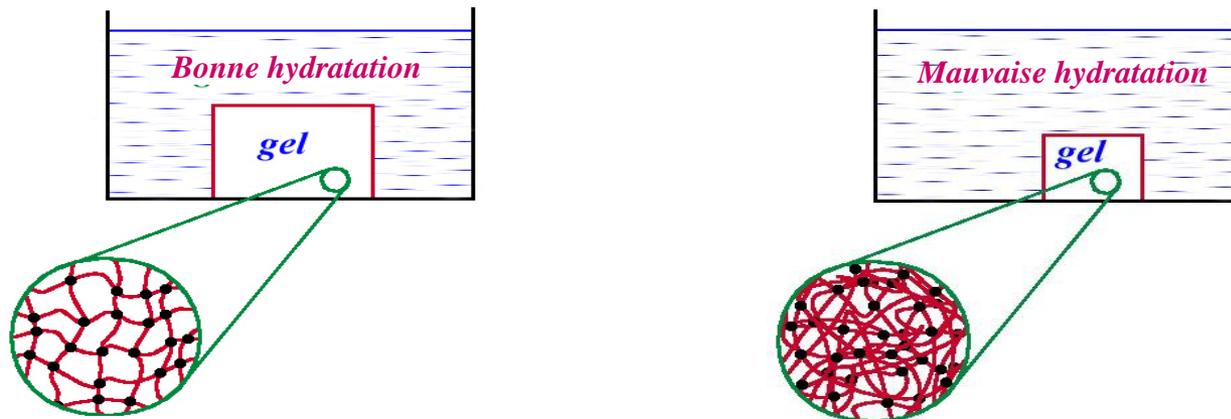
Agar	<i>Gracalaria; Gelidium gracilaria</i>	Algues rouges
Alginate	<i>Laminaria; Phaeophycase</i>	Algues brunes
Carraghénanes	<i>Chondrus crispus; Eucheuma</i>	Algues rouges
Cellulose	Polysaccharides	Végétaux
Gélatine	Collagène	Animaux
Gomme Arabique	<i>Acacia</i>	Arbre
Gomme Guar	<i>Cymopsis Tetragonolobus</i>	Endosperme de graine
Pectine	Polymères d'acide galacturonique	Végétaux
Gomme Xanthane	<i>Xanthomonas campestris</i>	Polysaccharide
Amidon de Maïs		
Amidon Tapioca		

II. Procédés d'ajustement de la taille

2. Augmentation de la taille

Hydratation

Gonflement dû à l'absorption de l'eau (diffusion)



Proportions à respecter! Ex. gélatine/eau : 1-3/97-99

II. Procédés d'ajustement de la taille

2. Augmentation de la taille

Gélatinisation et épaississement

Gelées de fruits, confitures

Flans

Crèmes glacées – limite la formation de cristaux, texture

Sirops - émulsifiants et épaississants

Sucreries

Sauces et sauces pour salades



A. Procédés à température ambiante

I. Préparation de la matière première

II. Procédés d'ajustement de la taille

III. Techniques séparatives et de concentration

IV. Procédés de mélange

V. Procédés biologiques

III. Techniques séparatives et de concentration

Pourquoi séparer?

- # Isoler une fraction utile à partir d'un mélange
- # Concentrer une fraction utile dans un mélange
- # Eliminer une fraction indésirable d'un mélange
 - # Fraction?
 - # solutés, particules ou portions du mélange
 - # Mélange?
 - # aliment ou source de l'aliment

III. Techniques séparatives et de concentration

Nature des séparations

⊞ Solide de solide

⊞ épluchage, dénoyautage...

⊞ Solide de liquide

⊞ centrifugation, filtration...

⊞ Liquide de solide

⊞ centrifugation, filtration...

⊞ Liquide de liquide

⊞ extraction, filtration...

III. Techniques séparatives et de concentration

1. Séparations mécaniques (*de nature physique*)

- a. Sédimentation
- b. Séparation centrifuge
- c. Procédés membranaires
- d. Séparation des solides

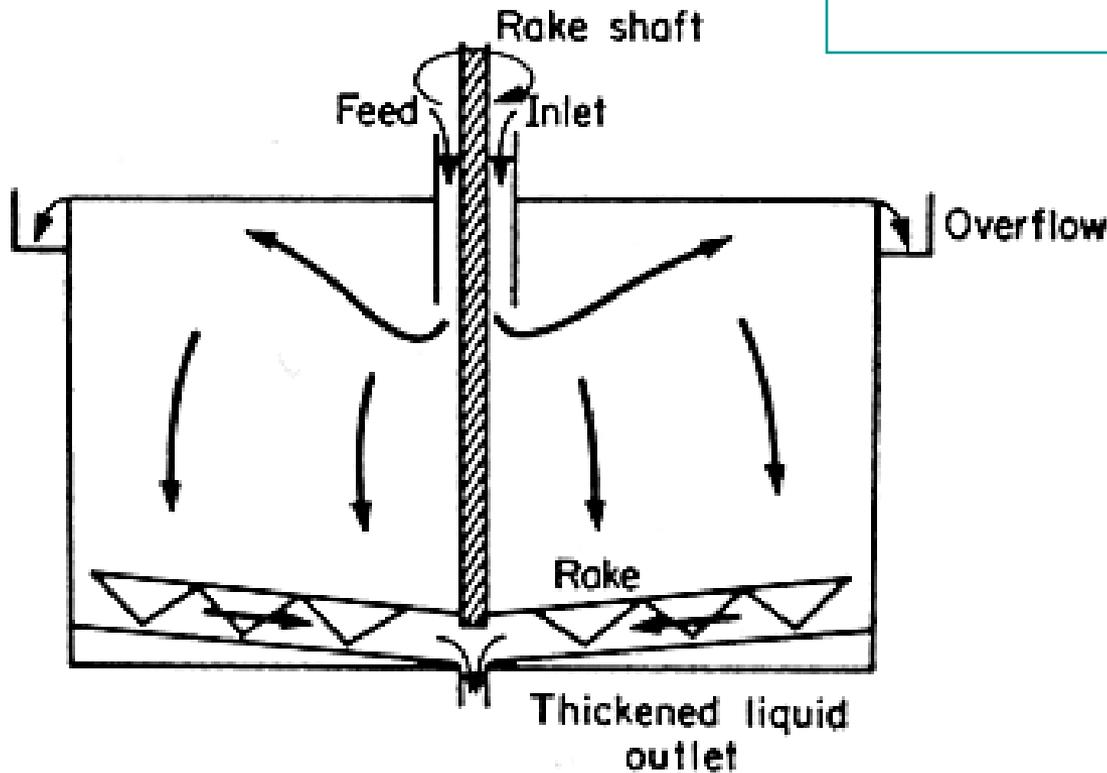
2. Séparations à équilibre (*de nature chimique*)

- a. Extraction et lavage
- b. Séparation sur membrane
- c. Distillation (**thermique**)
- d. Cristallisation (**thermique**)

1. Séparations mécaniques

a. Sédimentation

$$V = \frac{d^2 (\rho_p - \rho_l)}{18\eta} \times g$$



Système continu de sédimentation

1. Séparations mécaniques

b. Séparation centrifuge

- ⊠ Processus durant lequel une **force centrifuge** est appliquée à un fluide de manière à provoquer sa **séparation en deux phases** plus ou moins riches en un constituant donné.
- ⊠ Opération liquide/liquide ou liquide/solide.

Dépôt par combinaison de forces

$$V = \frac{d^2 (\rho_p - \rho_l)}{18\eta} \times g$$

1. Séparations mécaniques

b. Séparation centrifuge

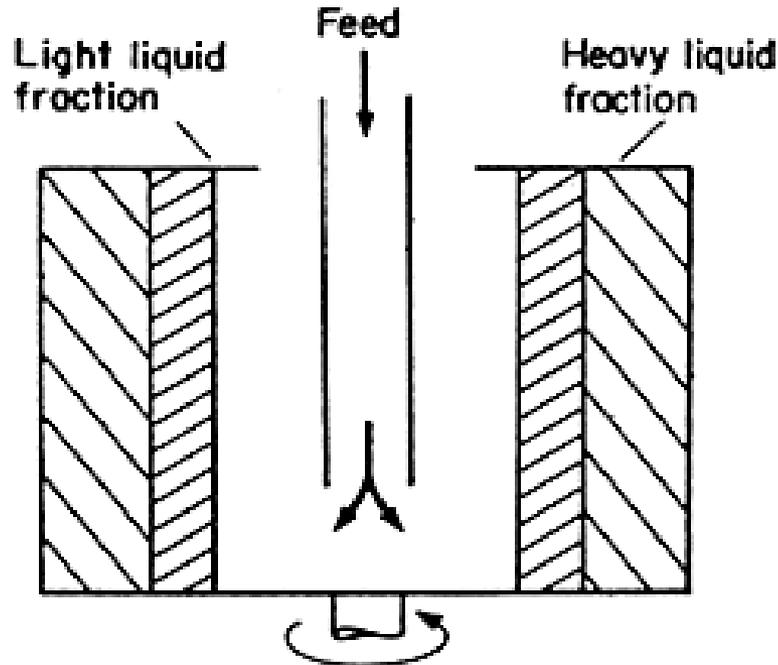


Fig. Séparation de deux liquides dans une centrifugeuse

La centrifugation se fait généralement en continu dans les IAAs

1. Séparations mécaniques

b. Séparation centrifuge

⊕ Séparateur centrifuge

⊕ Dispositif qui élimine le fluide non miscible et les contaminants solides dont la gravité spécifique diffère de celle du fluide qui fait l'objet de la purification.

Deux types

⊕ Séparateurs centrifuges à disques

⊕ Décanteurs centrifuges

b. Séparation centrifuge

Séparateur centrifuge à disques

-  Lait entier
-  Lait écrémé
-  Crème

1. Pompes
2. Couvercle
3. Conduit de distribution
4. Disques empilés
5. Cerceau de verrouillage
6. Distributeur
7. Partie inférieure
8. Support
9. Conduit d'alimentation

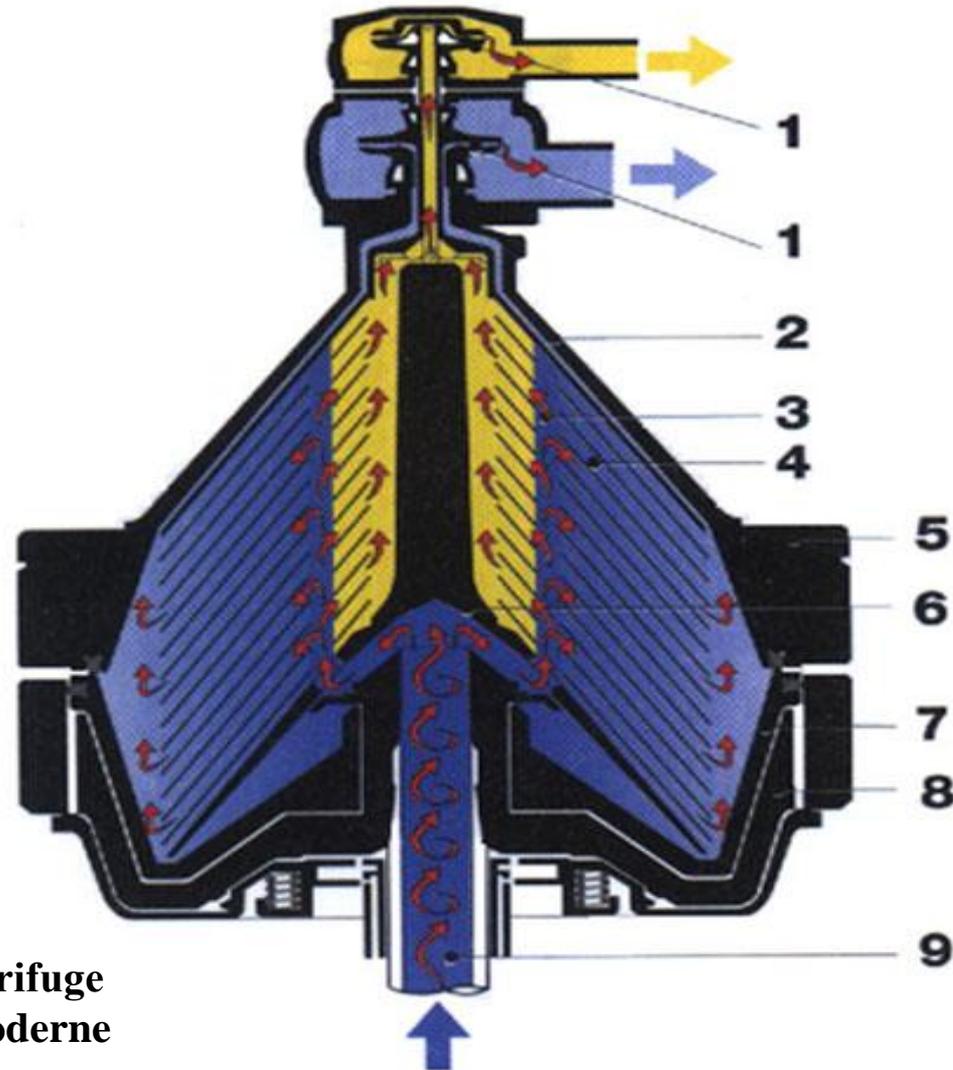


Fig. Section d'un séparateur centrifuge à disques hermétique moderne

b. Séparation centrifuge

Séparateur centrifuge à disques

- 10. Couvercle
- 11. Cyclone de récupération des sédiments
- 12. Moteur
- 13. Freins
- 14. Engrenage
- 15. Système de circulation d'eau
- 16. Conduit d'alimentation

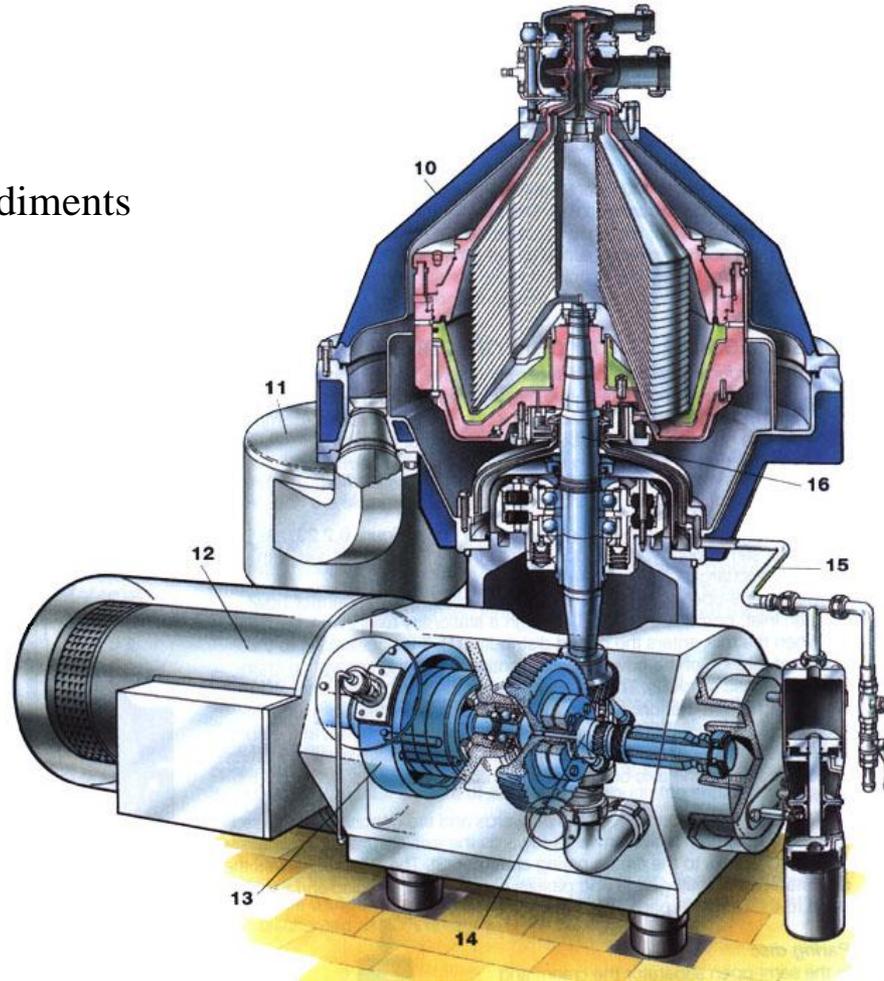
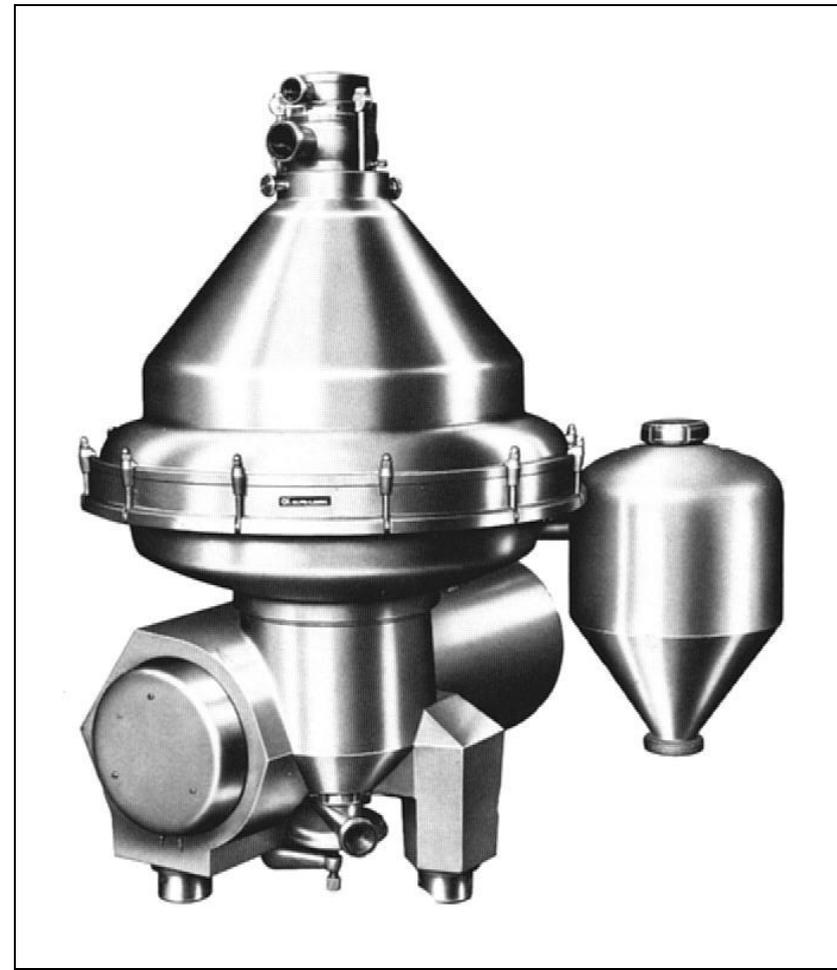


Fig. Section avec bloc moteur d'un séparateur centrifuge à disques hermétique moderne

b. Séparation centrifuge

Séparateur centrifuge à disques



b. Séparation centrifuge



b. Séparation centrifuge

Séparateur centrifuge à disques

Opérations liquide/liquide

⊠ **Séparation de la crème**

⊕ Le lait est récupéré en deux parties:

Une partie riche en matière grasse (crème) et

Une partie pauvre en matière grasse (lait écrémé).

⊠ **Élimination, concentration et purification d'huiles à partir d'émulsions diverses**

⊕ Huile d'olive, Jus de fruits

b. Séparation centrifuge

Séparateur centrifuge à disques

Opérations liquide/solide

⊠ Clarification

⊠ Lait

bactérie et spores (bactofugation)

cellules mammaires

sédiments (particules solides)

⊠ Jus de fruits

pulpe

sédiments

b. Séparation centrifuge

Séparateur centrifuge à disques

Exemple d'application dans l'industrie laitière

1. Pasteurisateur
2. Séparateur centrifuge
3. Système automatique de standardisation
4. Bactofuge
5. Stérilisateur à la vapeur

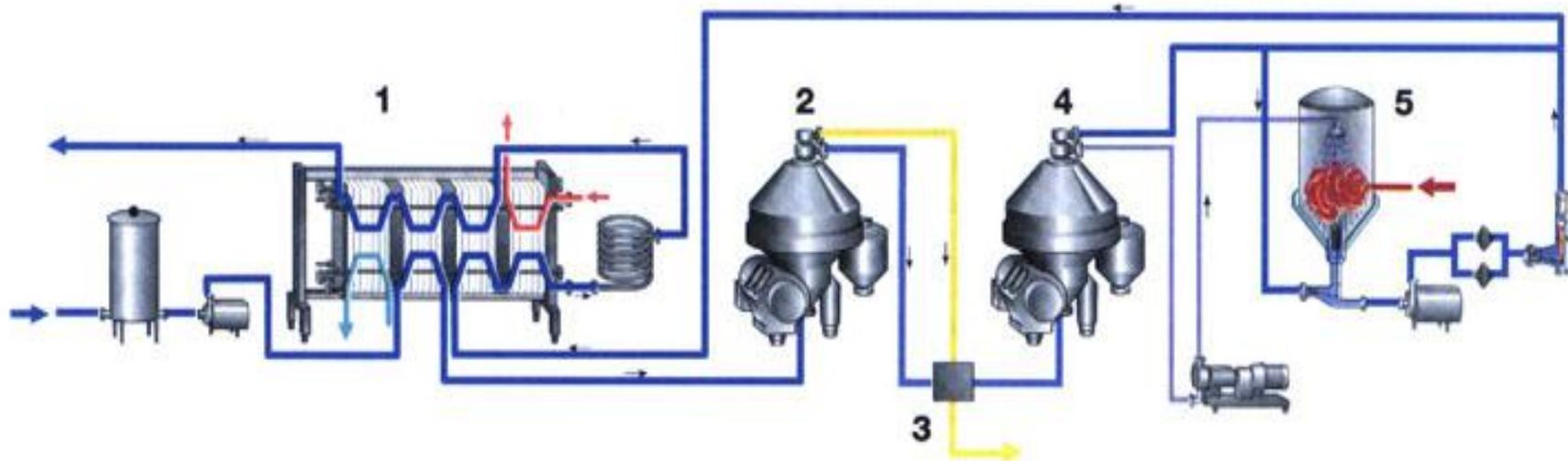
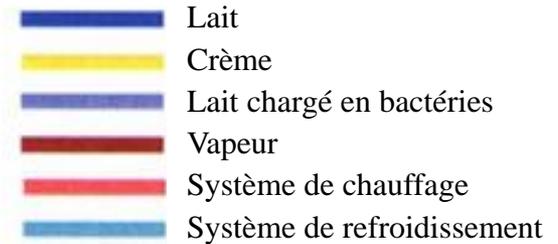
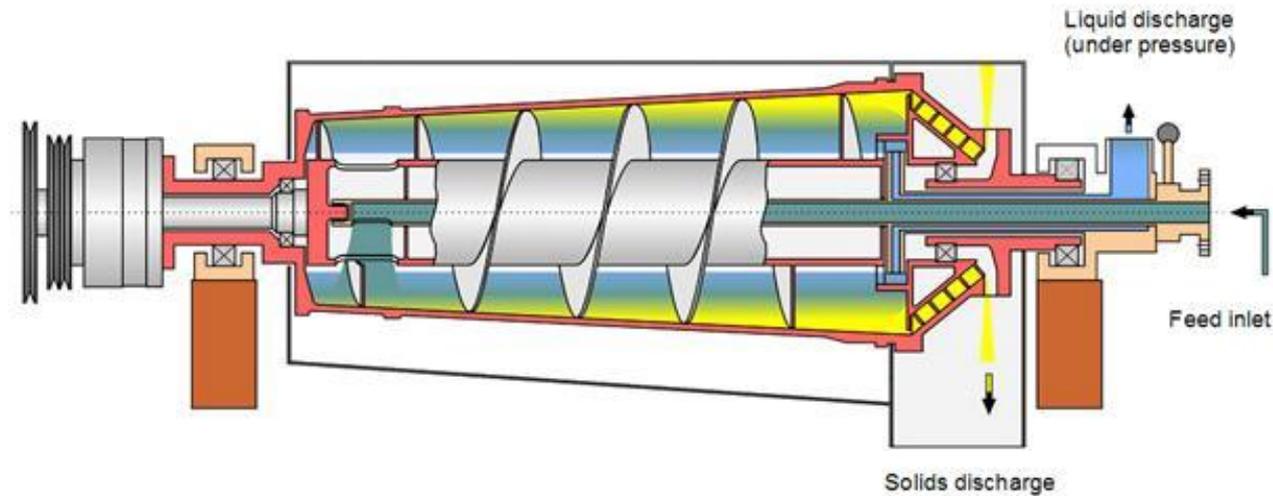


Fig. Système continu d'écémage et de bactofugation avec récupération et stérilisation du bactofugat

b. Séparation centrifuge

Décanteur centrifuge



Cross-section of a Flottweg SEDICANTER® - Separation of "soft solids" from a liquid

✦ Utilisé pour la **clarification** (*opération liquide/solide*)

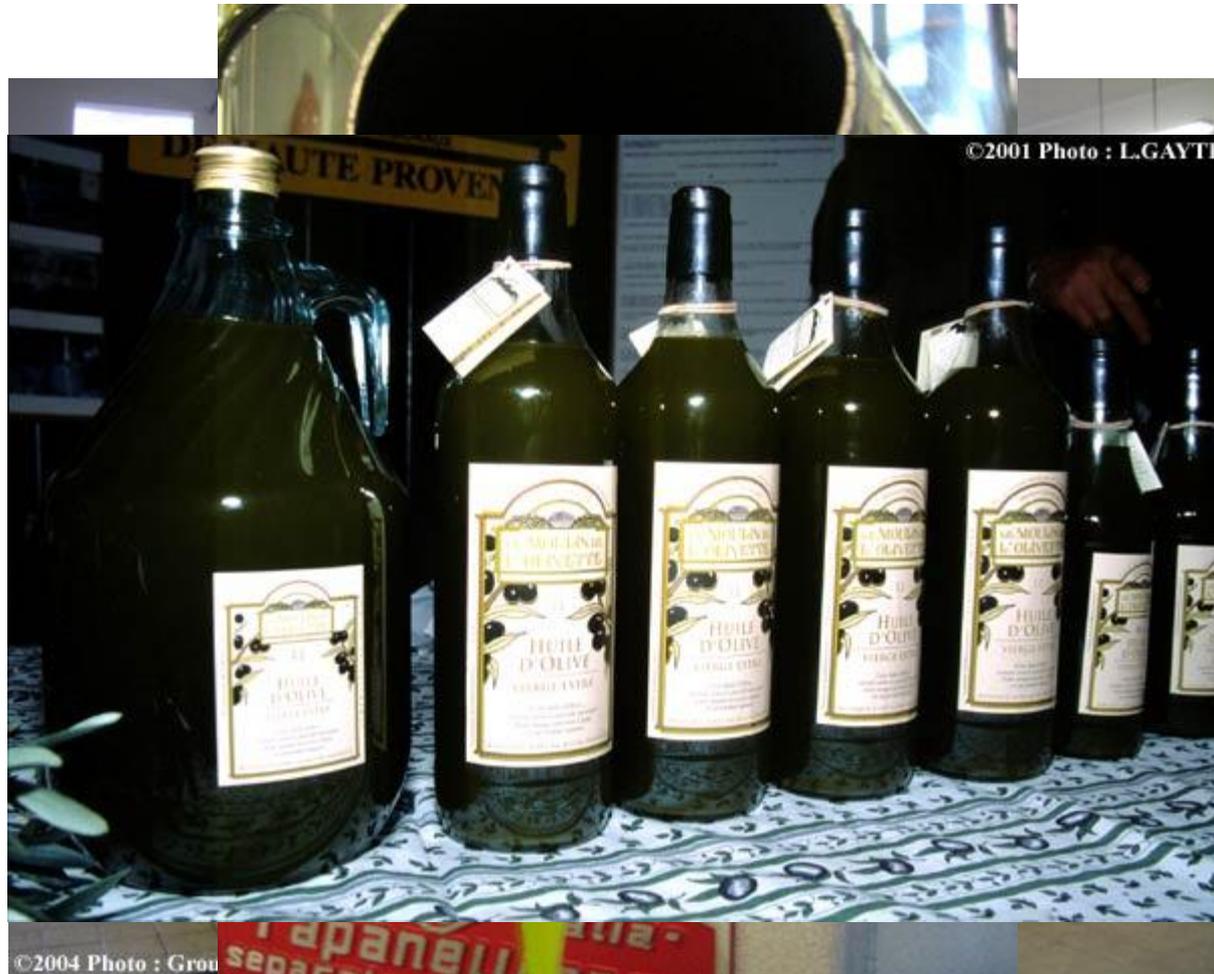
✦ Exemples

- ✦ séparation des jus et des pulpes, peaux, pépins etc
- ✦ séparation des huiles et des grignons

b. Séparation centrifuge

Décanteur centrifuge

Exemple d'application dans l'industrie oléicole



©2004 Photo : Groupement des oléiculteurs de Haute Provence et du Luberon



©2004 Photo : Groupement des oléiculteurs de Haute Provence et du Luberon

1. Séparations mécaniques

c. Procédés membranaires

Définition

Méthodes physiques ou mécaniques consistant à séparer des éléments en solution ou en suspension d'un fluide, en faisant passer le fluide à travers des membranes de différentes tailles de pores ne permettant pas le passage de ces éléments.

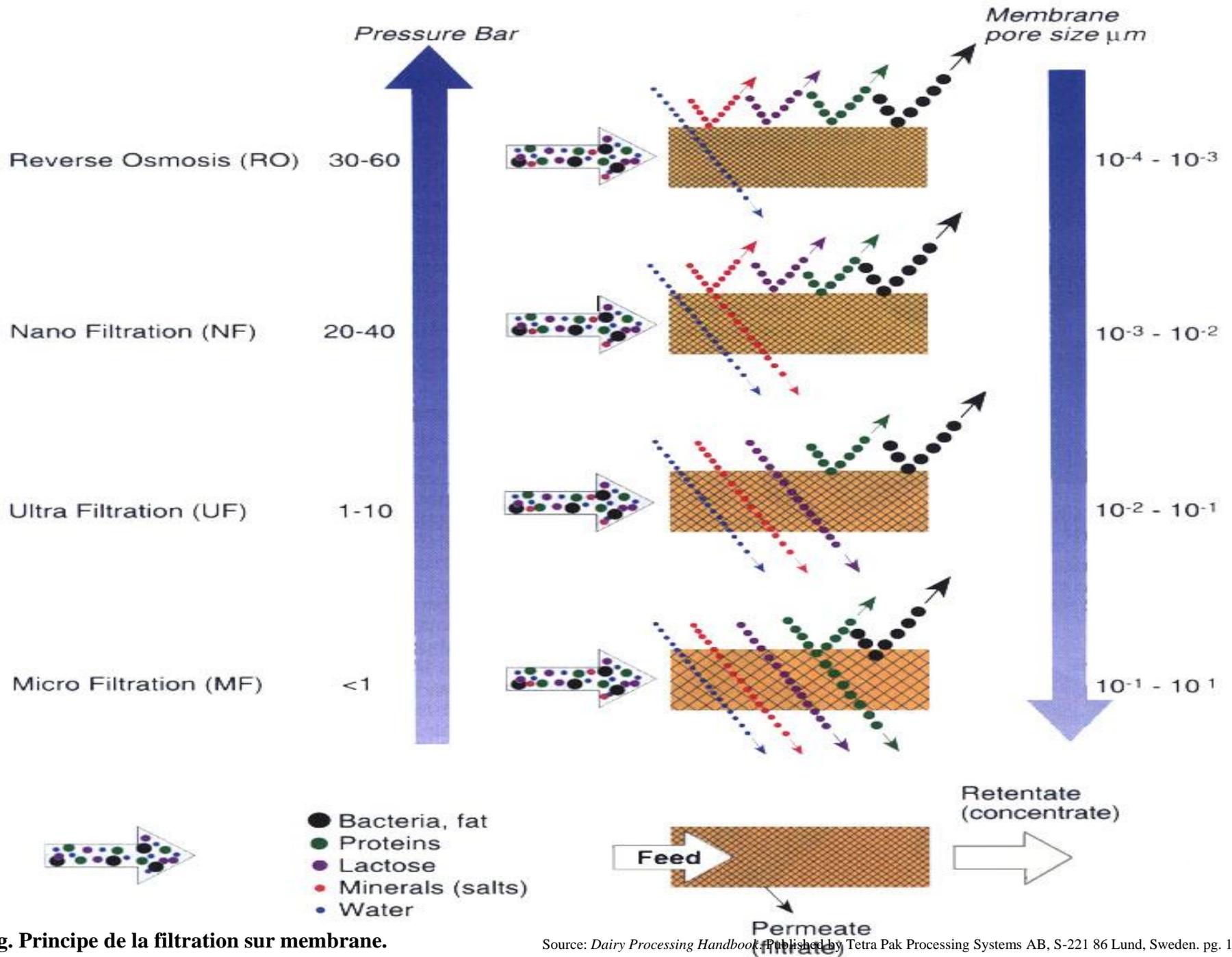


Fig. Principe de la filtration sur membrane.

1. Séparations mécaniques

c. Procédés membranaires

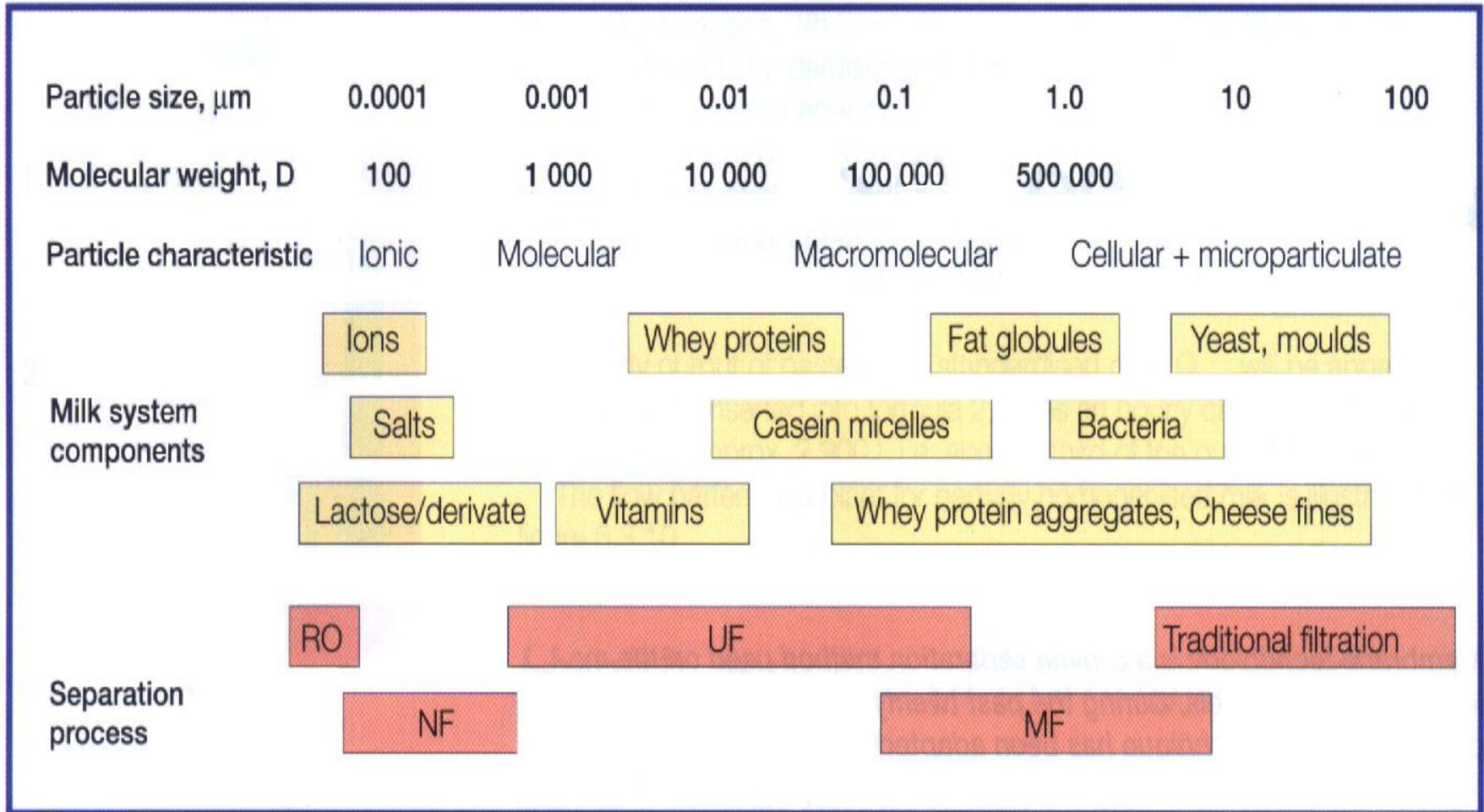


Fig. Spectre d'applications des procédés membranaires dans l'industrie laitière

1. Séparations mécaniques

c. Procédés membranaires

Procédés de concentration

Osmose inverse

Procédés de fractionnement

Nanofiltration

Ultrafiltration

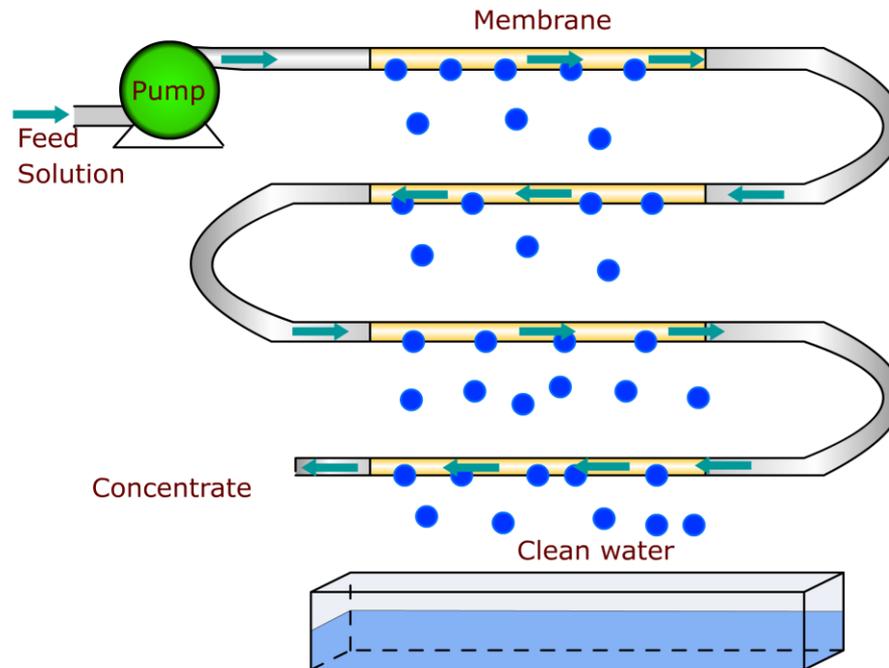
Microfiltration



1. Séparations mécaniques

c. Procédés membranaires

Membrane tubulaire

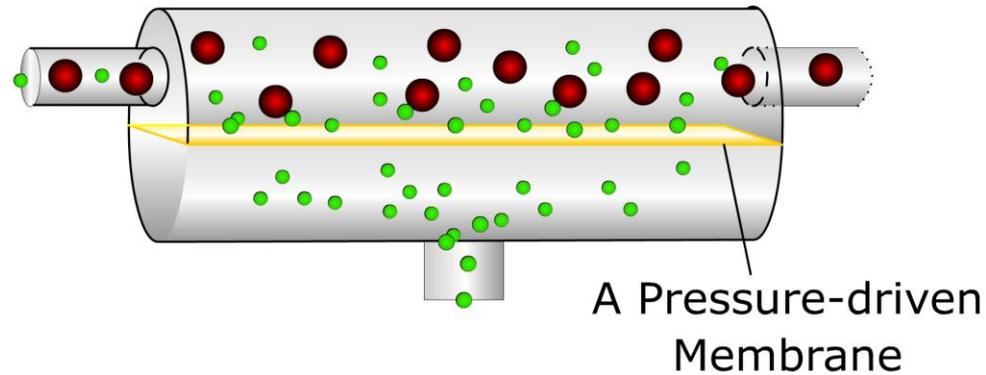


Copyright: R. Paul Singh

1. Séparations mécaniques

c. Procédés membranaires

Filtration tangentielle



1. Séparations mécaniques

c. Procédés membranaires

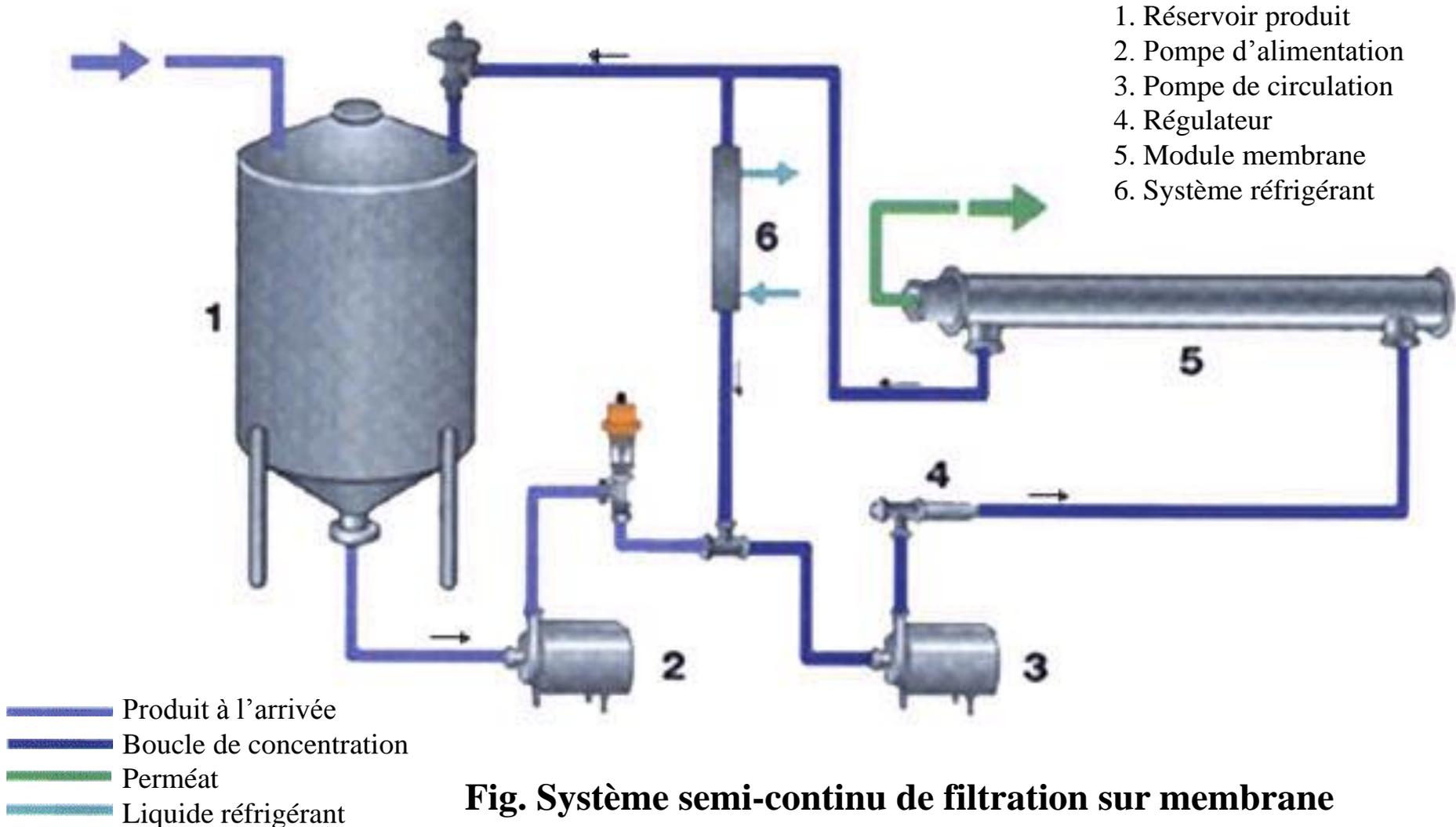


Fig. Système semi-continu de filtration sur membrane

1. Séparations mécaniques

d. Séparation des solides

- # Criblage, tamisage
- # Triage manuel d'unités individuelles
- # Triage mécanique selon calibre (poids/taille)
- # Triage photoélectrique selon couleur
- # Séparation parties utile/inutile : épluchage, désossage, plumage...



III. Techniques séparatives et de concentration

1. Séparations mécaniques (*de nature physique*)

- a. Sédimentation
- b. Séparation centrifuge
- c. Procédés membranaires
- d. Séparation des solides

2. Séparations à équilibre (*de nature chimique*)

- a. Extraction et lavage
- b. Séparation sur membrane
- c. Distillation (**thermique**)
- d. Cristallisation (**thermique**)

2. Séparations à équilibre

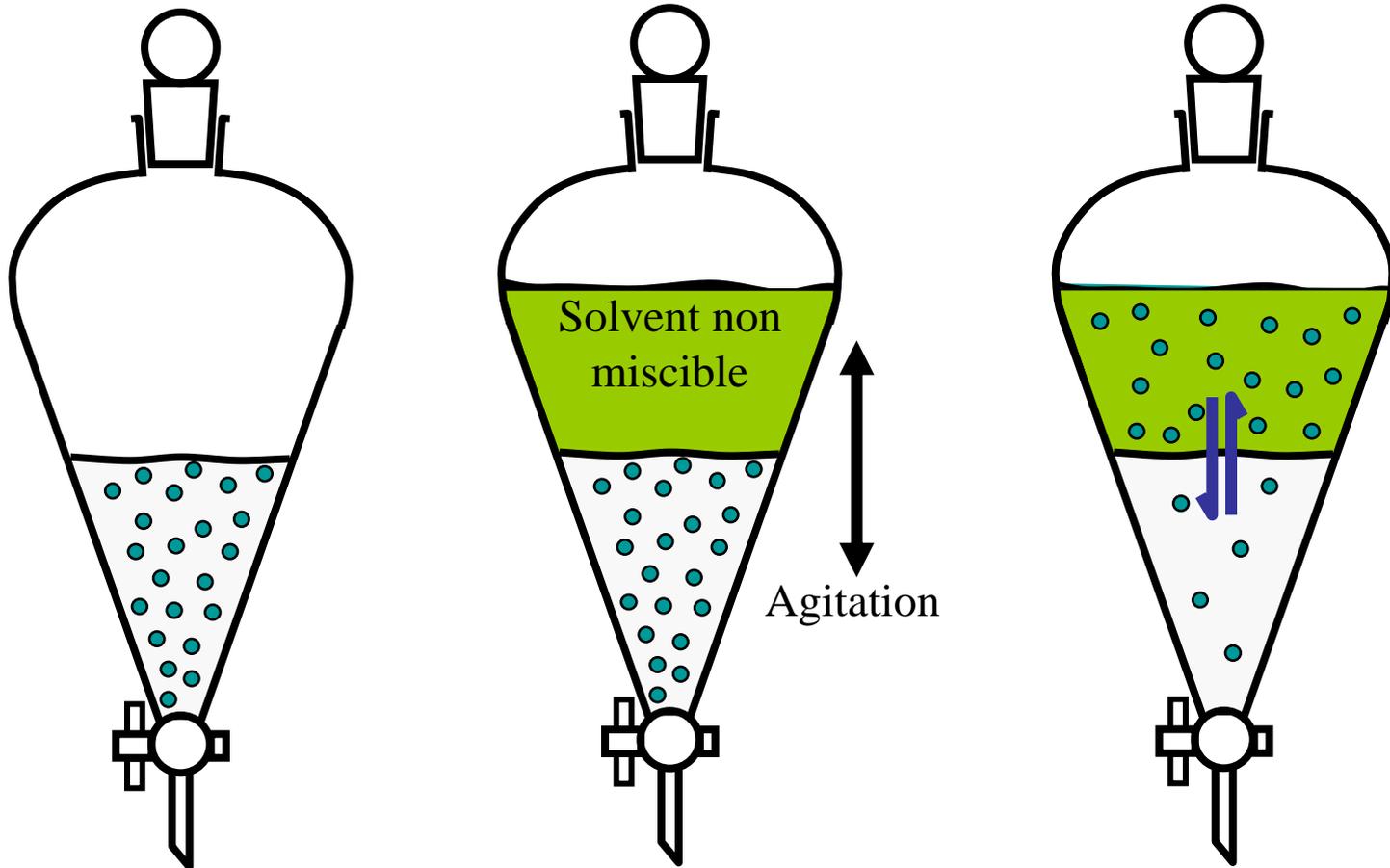
a. Extraction et lavage

Extraction

- # Transfert d'un soluté d'une phase à une autre
- # Plusieurs combinaisons de phases possibles
 - ⊕ Solide, liquide, gaz, fluide supercritique
- # Les solvants sont souvent deux liquides non-miscibles
 - ⊕ Combinaison phases aqueuse/organique

2. Séparations à équilibre

a. Extraction et lavage



Phase initiale avec composé à extraire

Fig. Principe de l'extraction liquide

2. Séparations à équilibre

a. Extraction et lavage

Lavage

- ⊠ Même principe que l'extraction
- ⊠ Seule distinction :
 - ⊠ l'extrait est inutile, la phase inerte est utile
- ⊠ Le solvant est souvent l'eau :
 - ⊠ peu chère et disponible
- ⊠ Exemples :
 - ⊠ lavage des fruits et légumes
 - ⊠ lavage du beurre dans l'industrie laitière

2. Séparations à équilibre

a. Extraction et lavage

Equipement

⊠ Extraction :

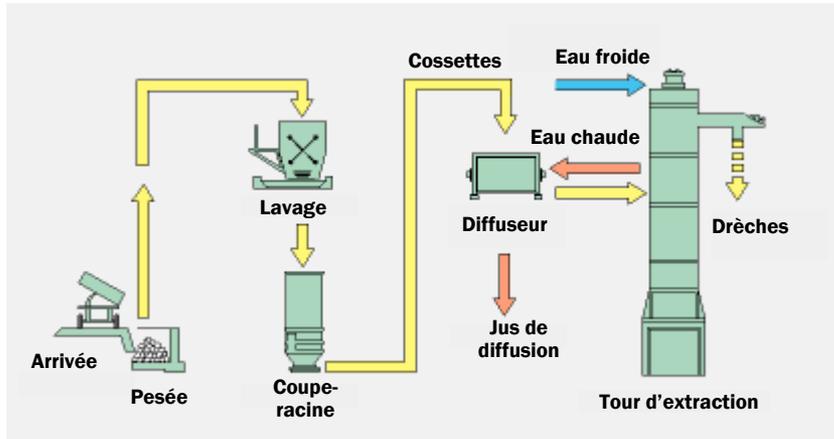
- ⊠ Diffuseurs, tours d'extraction : cuves de différentes formes permettant le mélange et la décantation
- ⊠ Un broyage préalable est fréquent
- ⊠ L'extraction se fait en général à contre-courant

⊠ Lavage :

- ⊠ Conventionnel sur un convoyeur ou dans des cuves



2. Séparations à équilibre

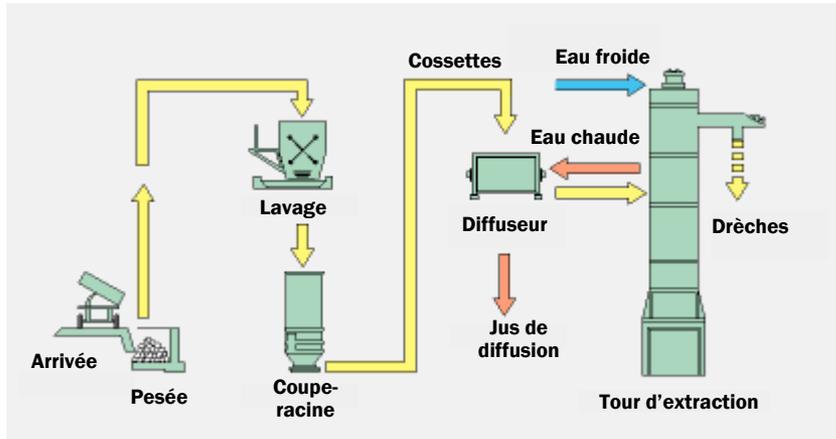


Extraction du jus

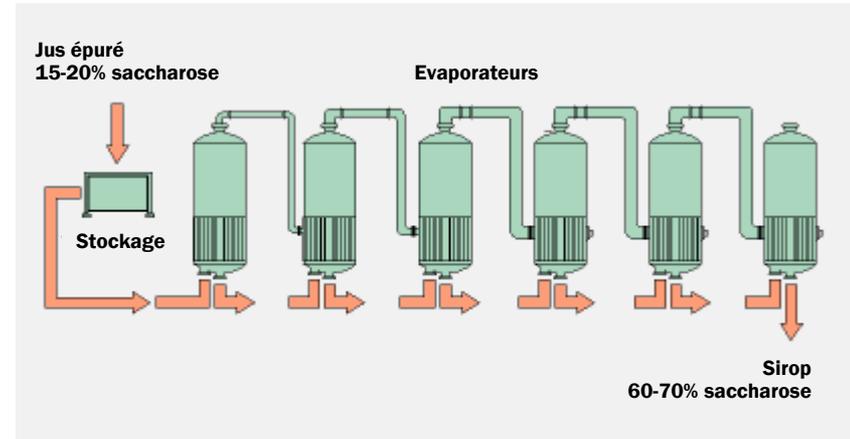
Fig. Extraction du sucre de la betterave sucrière (exemple d'application de divers procédés de séparation)



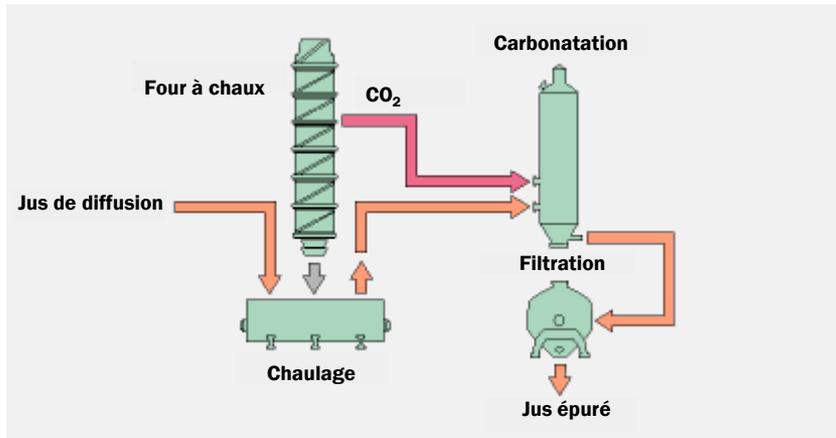
2. Séparations à équilibre



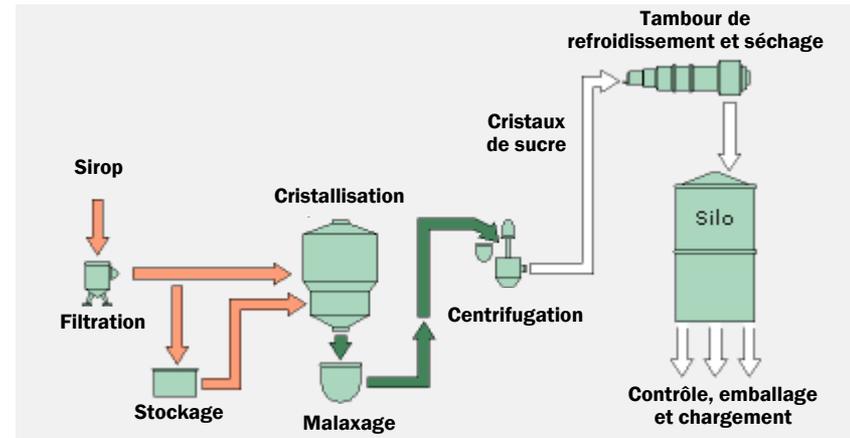
Extraction du jus



Evaporation du jus



Epuration du jus



Cristallisation

Fig. Extraction du sucre de la betterave sucrière (exemple d'application de divers procédés de séparation)

2. Séparations à équilibre

b. Séparation sur membrane

⊠ Séparation membranaire :

- ⊠ Mécanique, sous pression : du moins concentré au plus concentré
- ⊠ A équilibre moléculaire : du plus concentré au moins concentré
 - ⊠ Systèmes biologiques
 - ⊠ Pression osmotique
 - ⊠ Membranes tubulaires, dialyse

⊠ Osmose :

- ⊠ Peu d'intérêt pour l'industrie alimentaire
- ⊠ Processus lent

III. Techniques séparatives et de concentration

3. Effets sur les aliments

⊠ Purification :

⊠ Aliment

⊠ Constituant

⊠ Concentration :

⊠ Aliment

⊠ Constituant

PARTIE II. Procédés des industries agro-alimentaires

A. Procédés à température ambiante

B. Procédés thermiques par ajout de chaleur

C. Procédés thermiques par soustraction de chaleur

A. Procédés à température ambiante

I. Préparation de la matière première

II. Procédés d'ajustement de la taille

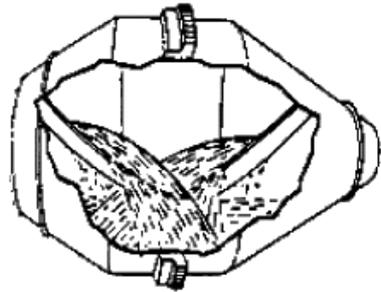
III. Techniques séparatives et de concentration

IV. Procédés de mélange

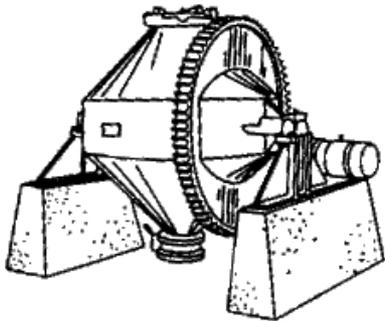
V. Procédés biologiques

IV. Procédés de mélange

Les mélangeurs



(a) configuration horizontale



(b) configuration verticale



IV. Procédés de mélange

Facteurs affectant les mélanges

- les produits
- les quantités
- la solubilité
- la température
- le type de mélangeur
- la vitesse du mélangeur
- le temps de mélange
- l'ordre d'ajout des composants

A. Procédés à température ambiante

I. Préparation de la matière première

II. Ajustement de la taille

III. Techniques séparatives et de concentration

IV. Procédés de mélange

V. Procédés biologiques

V. Procédés biologiques

Techniques fermentaires et enzymatiques

1. Biochimie des fermentations
2. Microbiologie des fermentations
3. Aspects technologiques
4. Effets sur les aliments et applications

Se référer aux cours de microbiologie