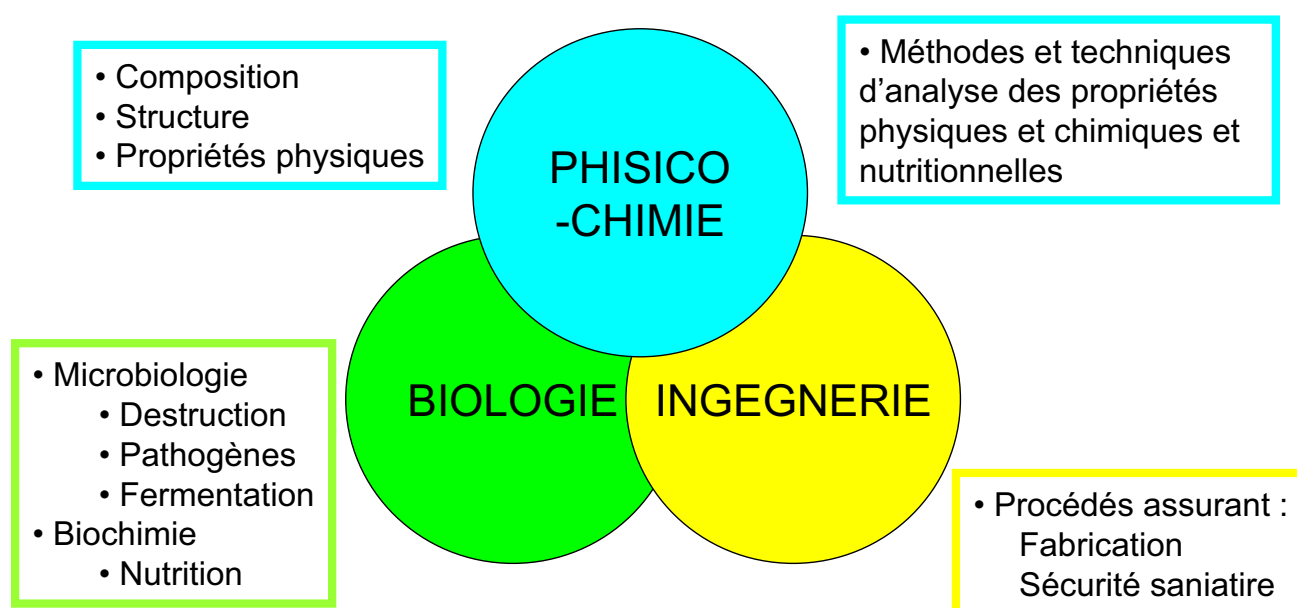
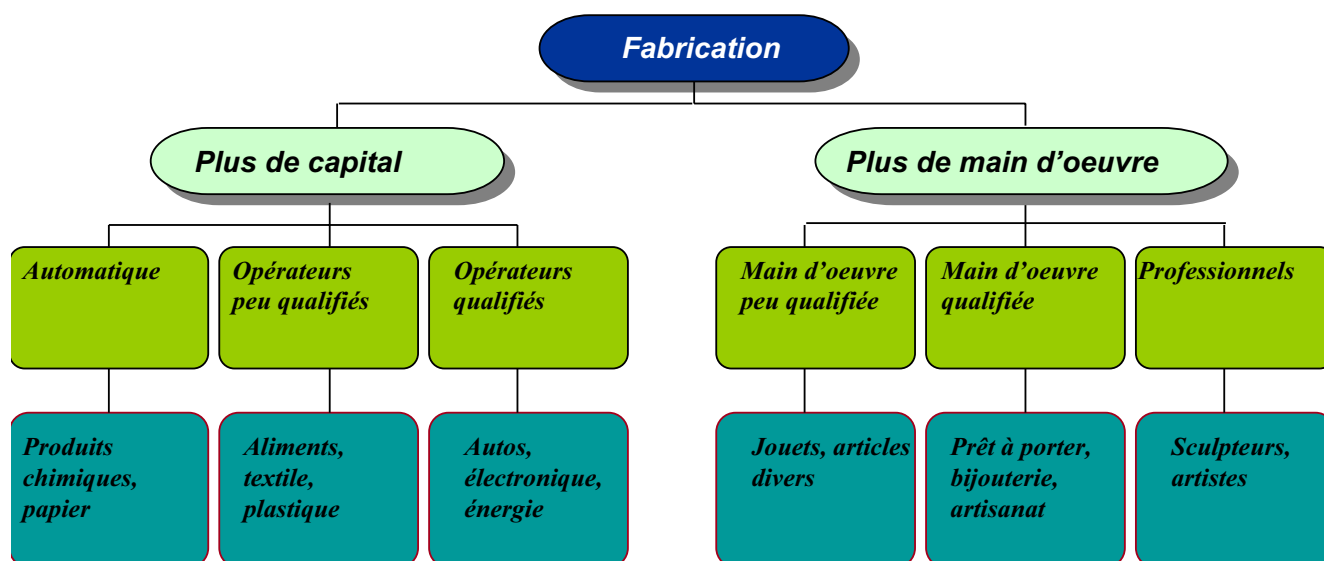
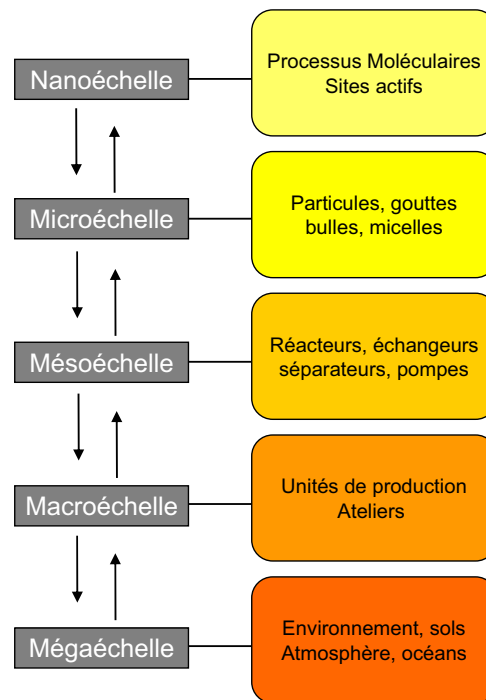


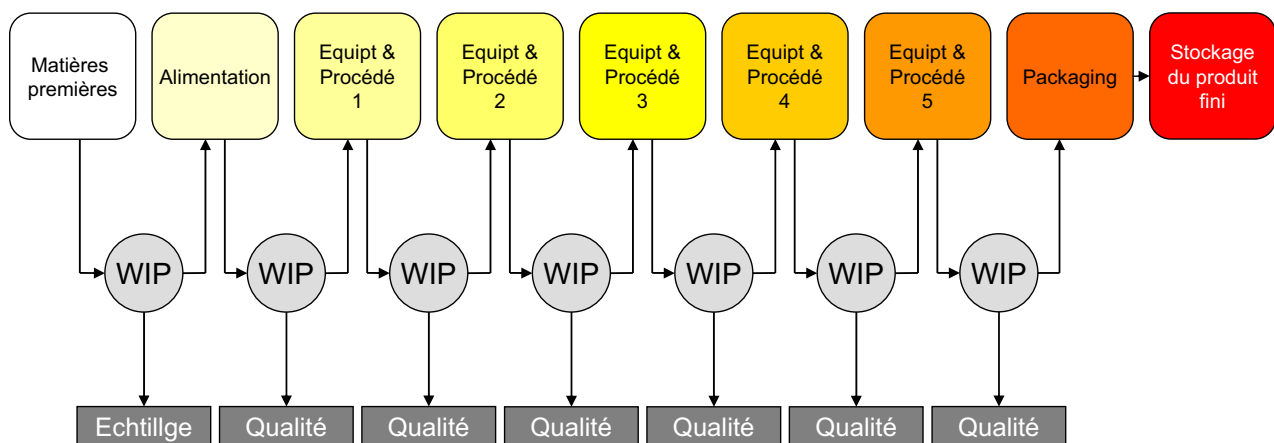


Eléments pris en compte pour un aliment

Subdivision verticale du système de production



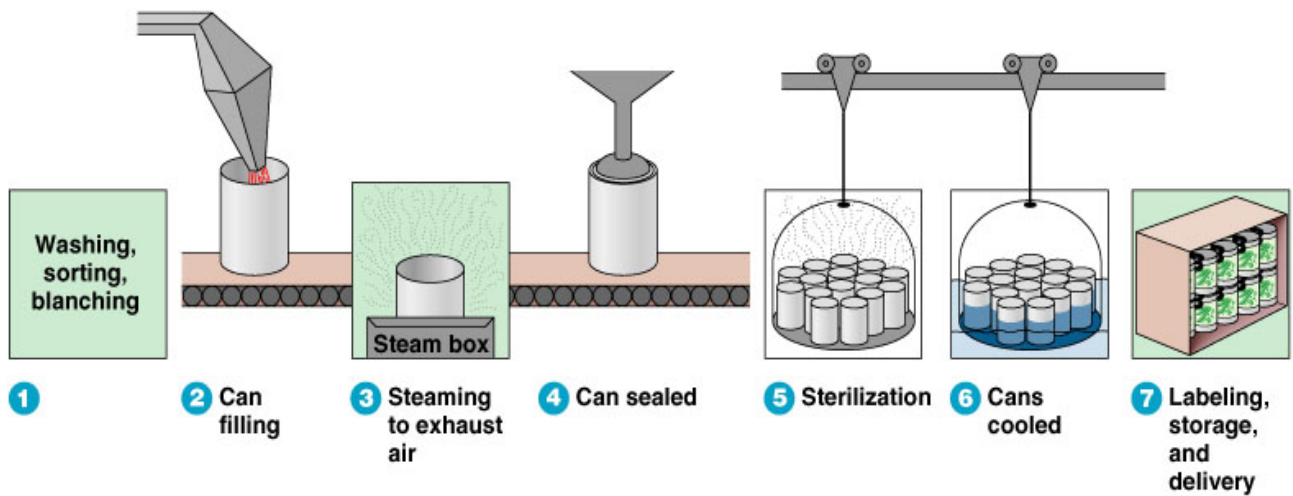
Subdivision horizontale du système de production



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

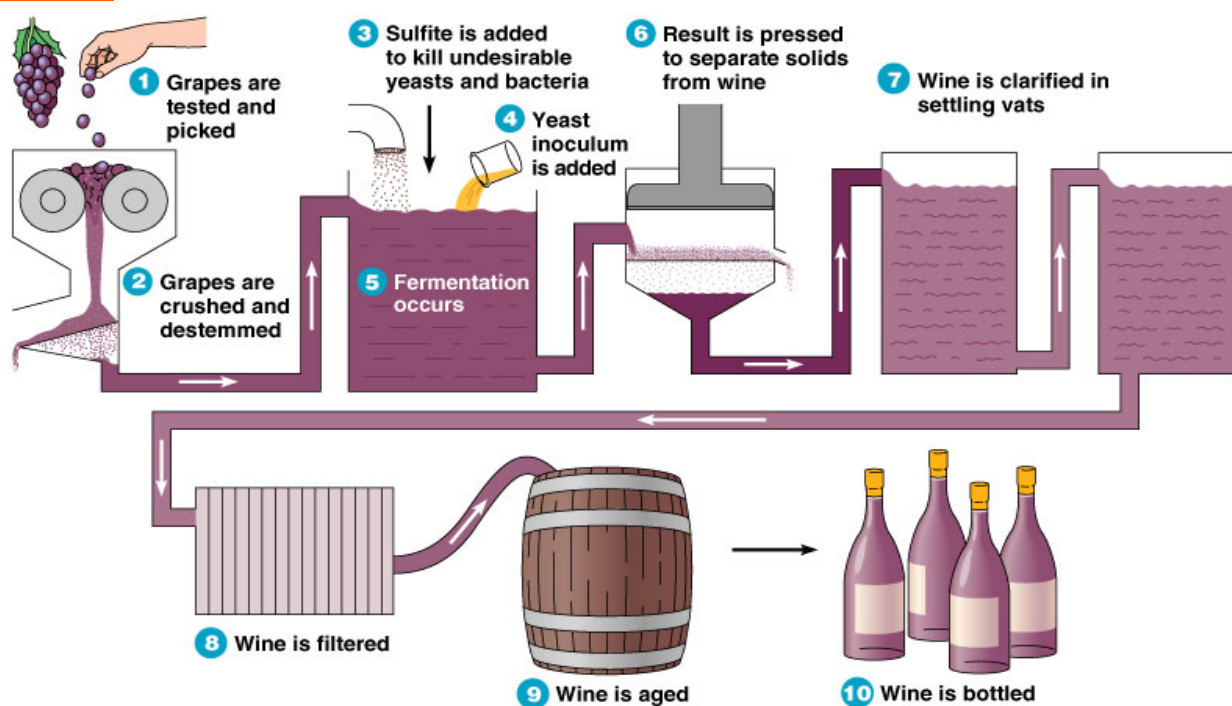
Exemple 1

Les conserves

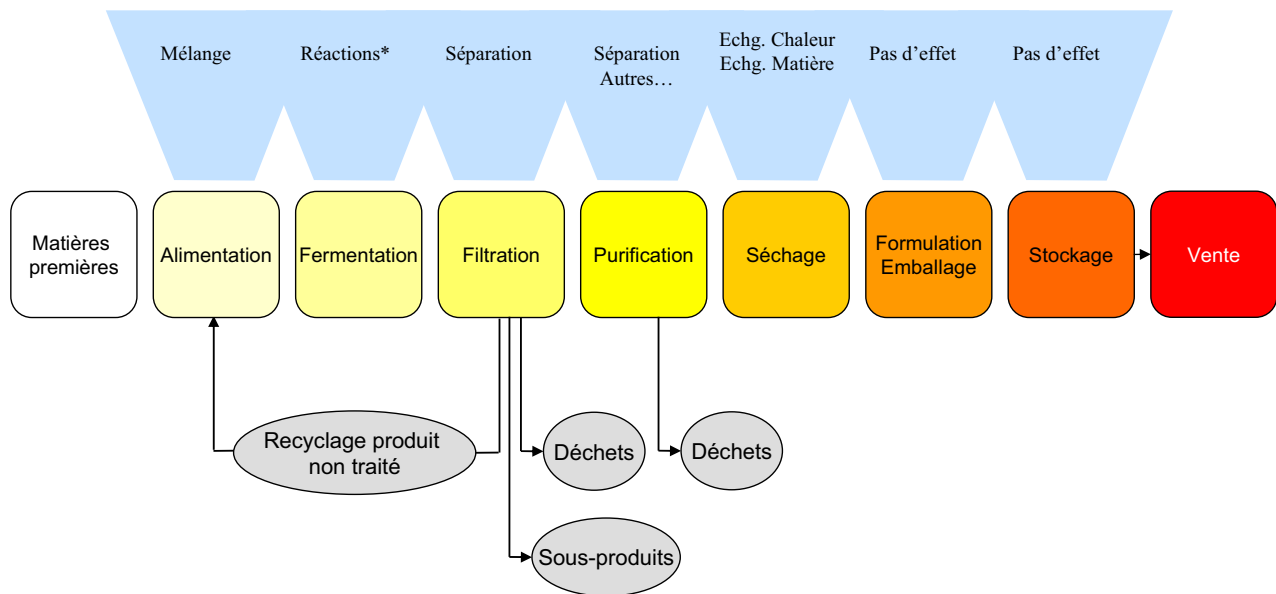


Exemple 2

Le vin



Procédés et opérations unitaires correspondantes

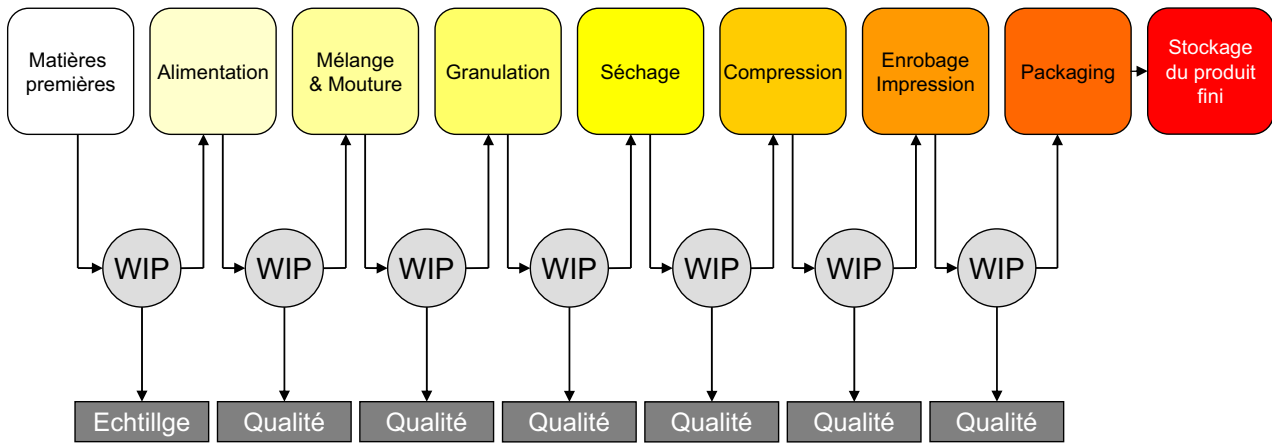


Exemple d'une production biotechnologique

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
	Tamissage, 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

Batch – Flow Chart

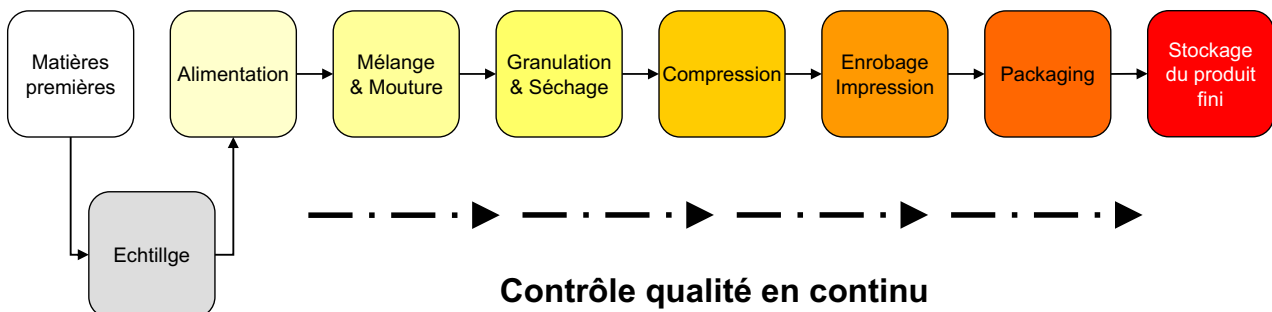
Ligne de production discontinue



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

Continuous – Flow Chart

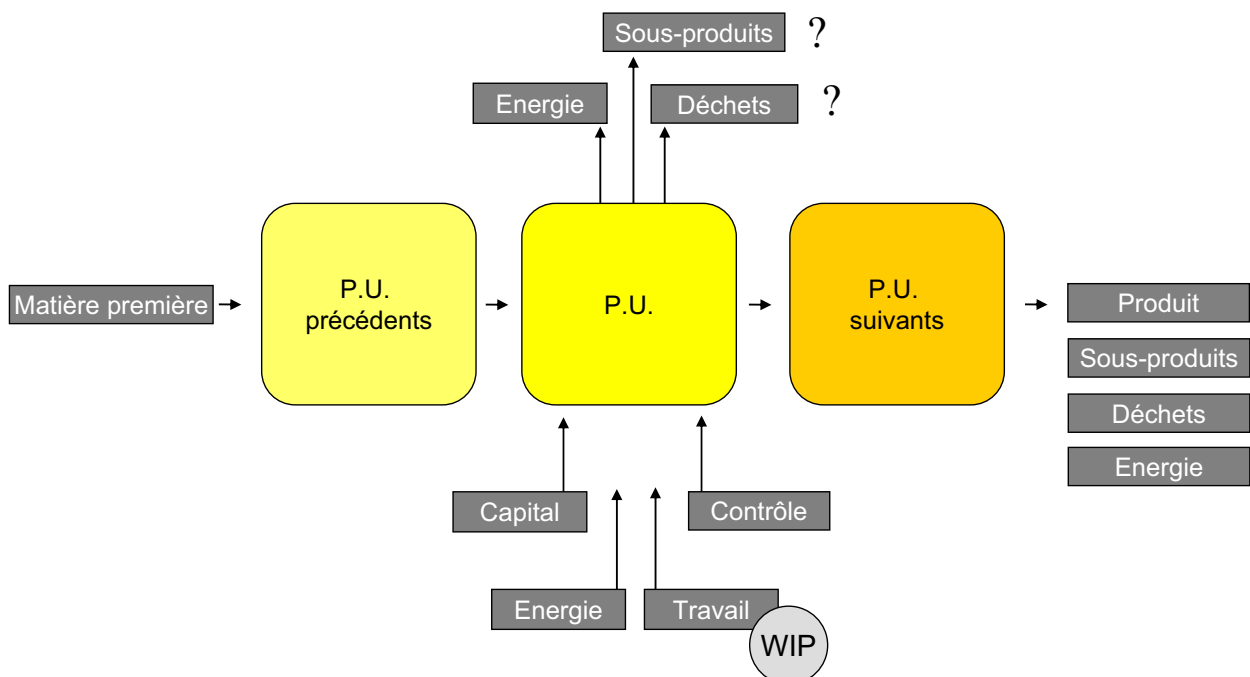
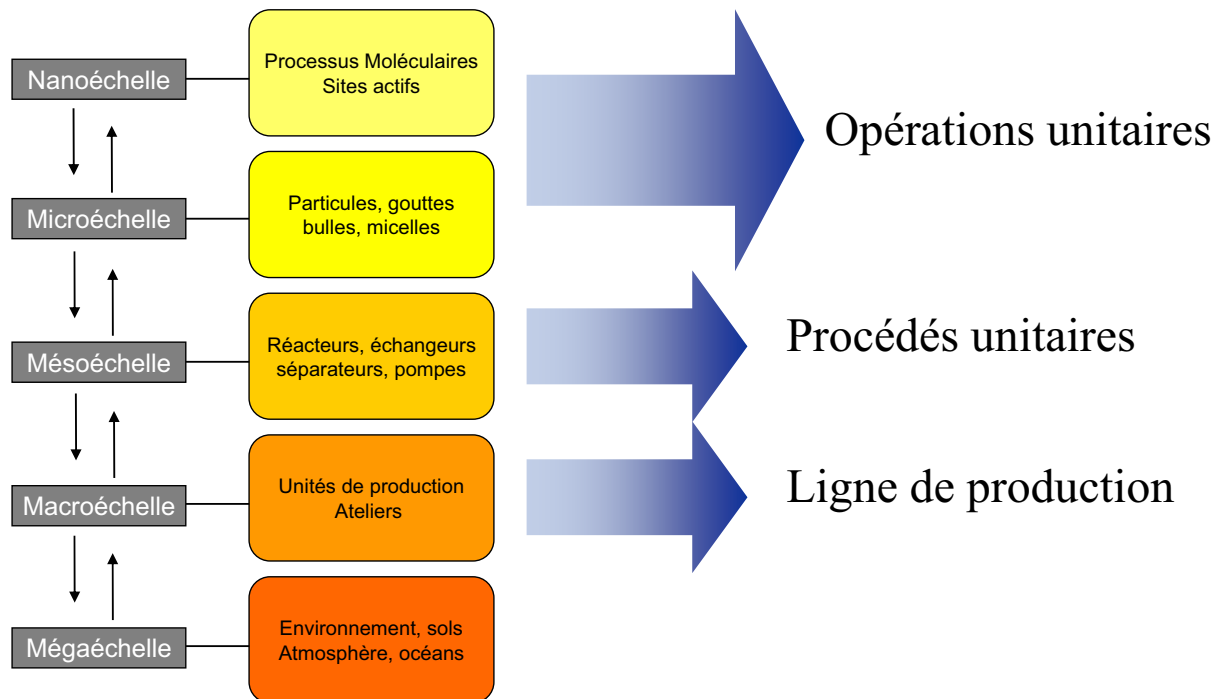
Ligne de production Continue

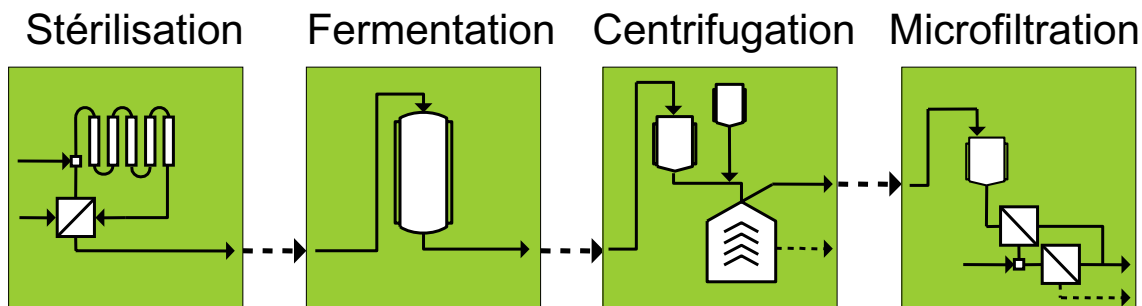


Subdivision verticale

-

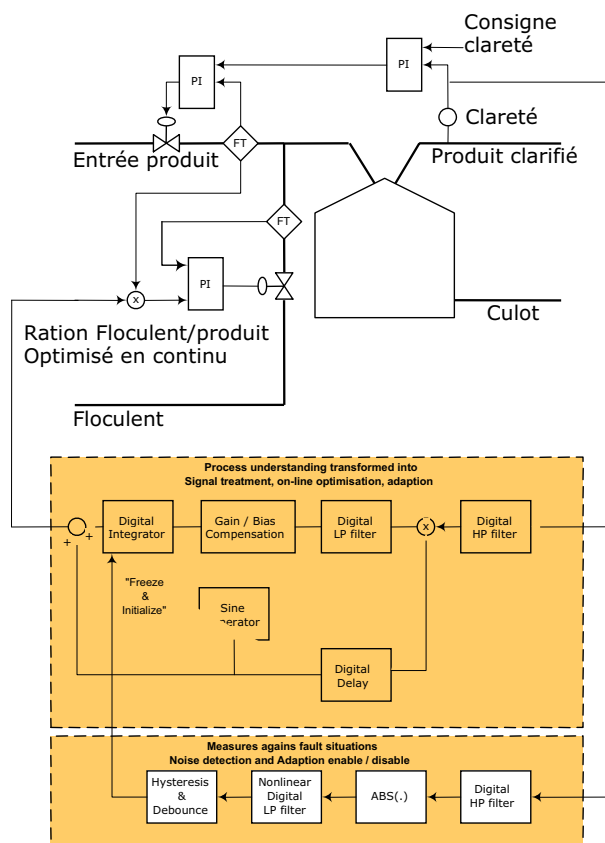
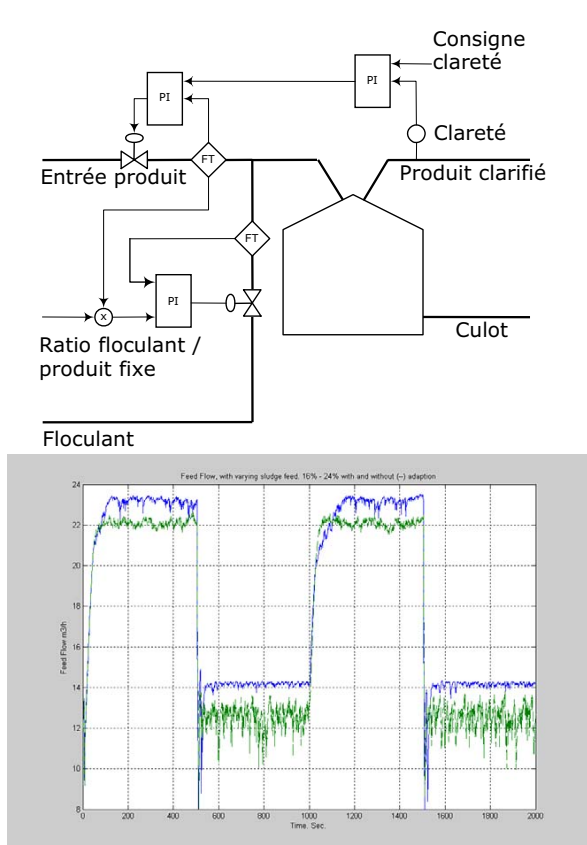
Subdivision horizontale



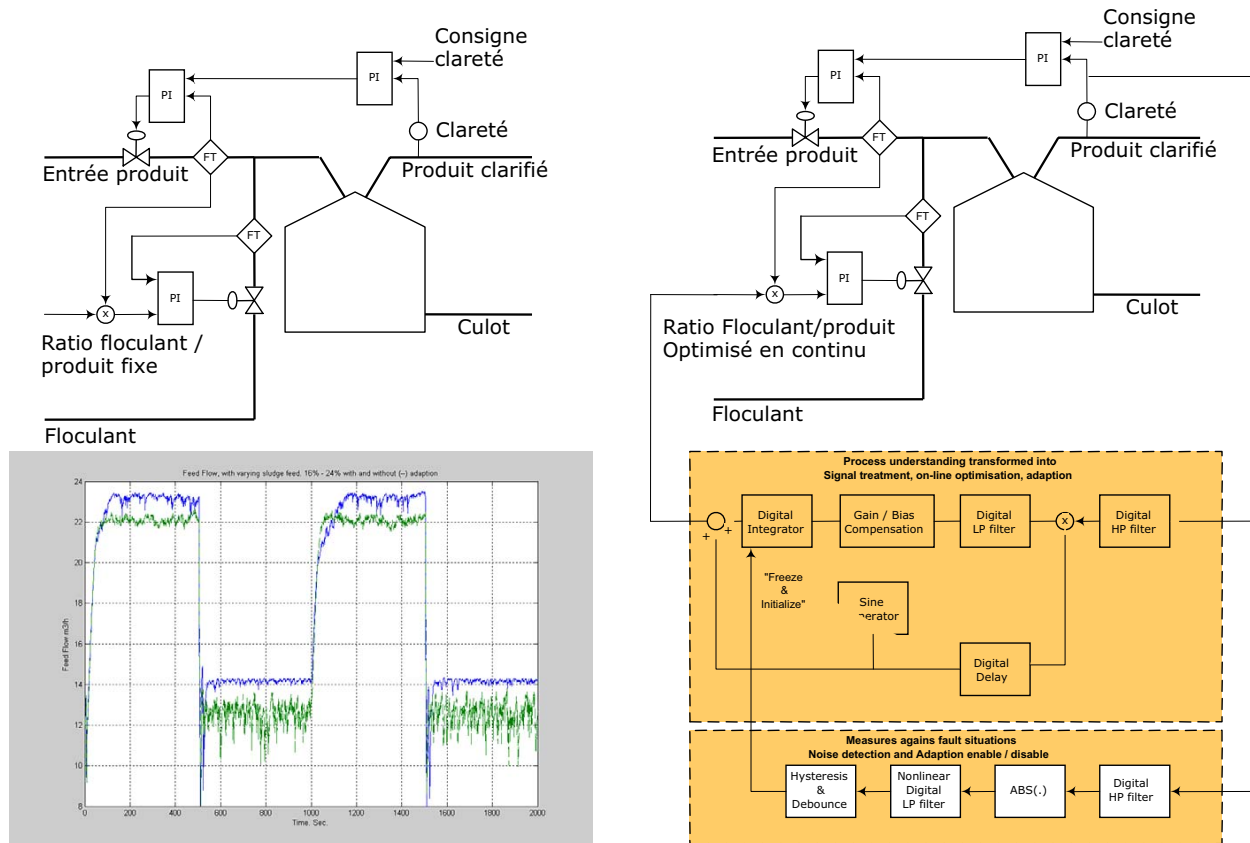


Sortie	Sterile et nutritif	Biomasse et concentration de produit stables	Surnageant clarifié	Solution sans particule. Rendement élevé.
Point Critique	Dégradation thermique	Métabolisme	Productivité	Colmatage
Entrée	Milieu de culture	Milieu stérile et nutritif	Concentration stable en matière sèche	Produit le plus claire possible

Exemples de points critiques dans un processus industriel



Optimisation de la centrifugation



Ex. Optimisation de la centrifugation

La vitesse de sédimentation

- Loi de Stokes

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

d^2 = Diamètre de la particule $\left(\frac{m^2}{m^2} \right)$

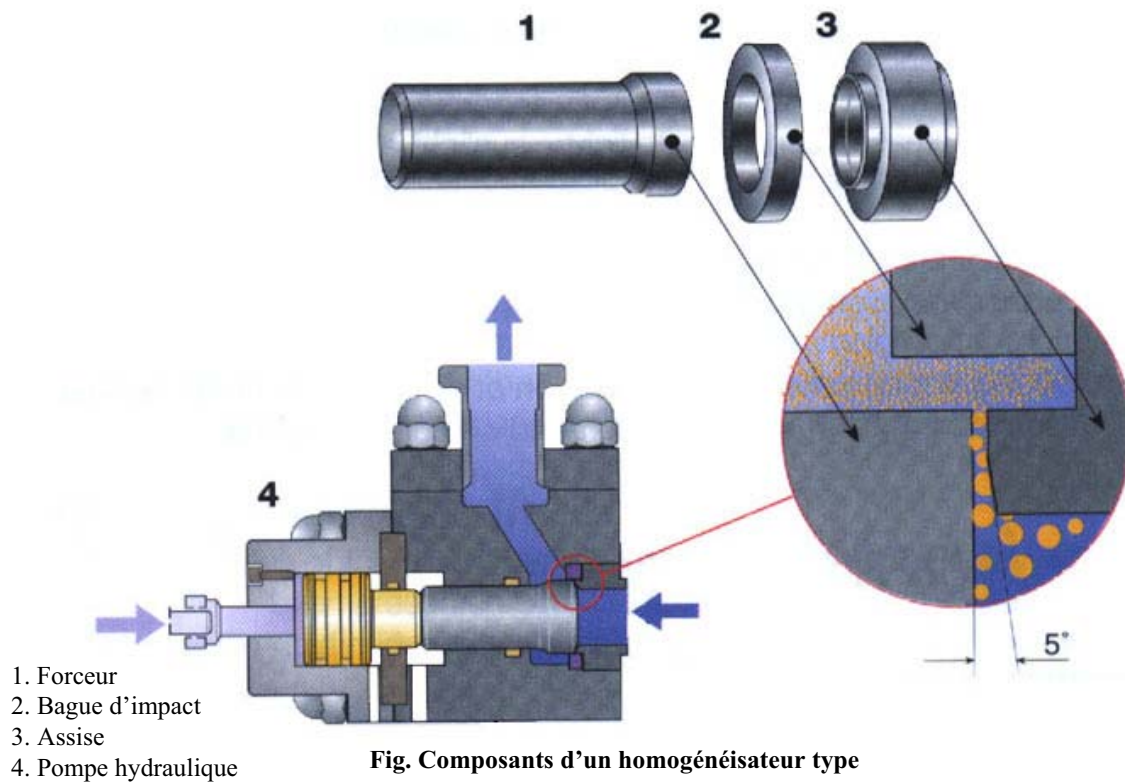
ρ_p = Masse vol. de la particule $\left(\frac{kg}{m^3} \right)$

ρ_l = Masse vol. du liquide $\left(\frac{kg}{m^3} \right)$

η = Viscosité du liquide $\left(\frac{kg}{m \times s} \right)$

g = Accélération due à la gravité $\left(\frac{m}{s^2} \right)$

Principe de l'homogénéisation



Source: *Dairy Processing Handbook*. Published by Tetra Pak Processing Systems AB, S-221 86 Lund, Sweden. pg. 118.

Equipement

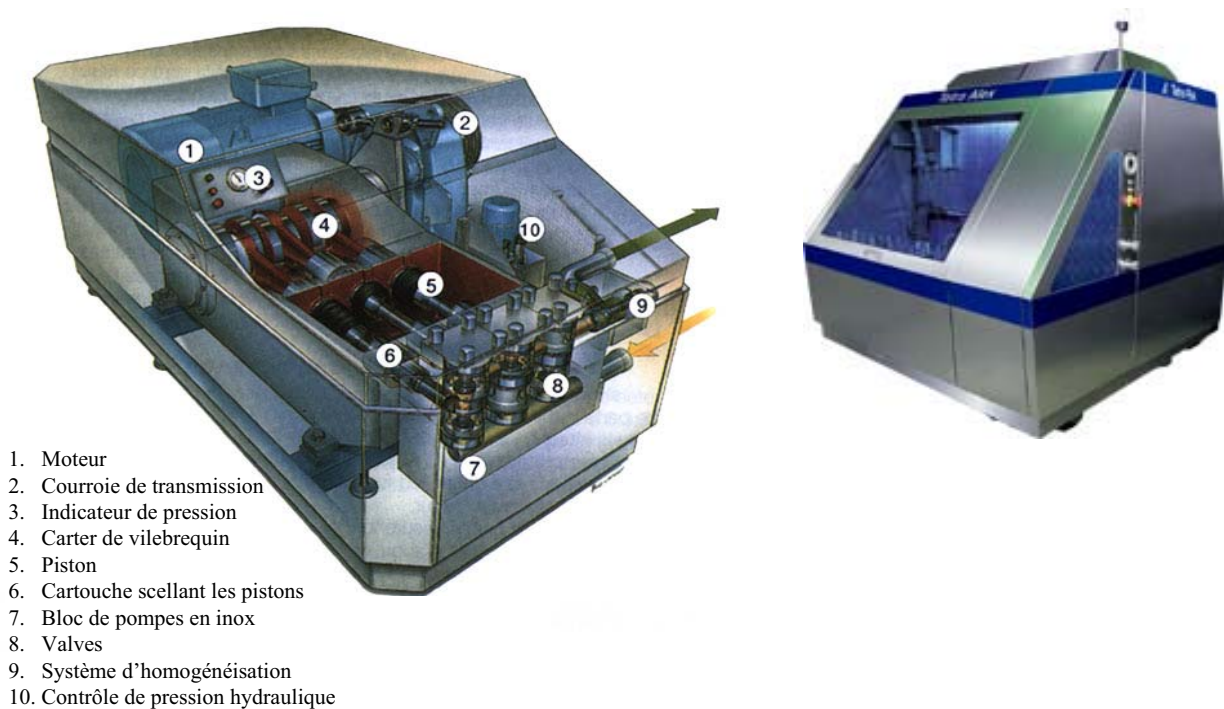


Fig. L'homogénéisateur n'est autre qu'une pompe à haute pression avec un système de contre-pression

Source: *Dairy Processing Handbook*. Published by Tetra Pak Processing Systems AB, S-221 86 Lund, Sweden. pg. 117.

Effets de l'homogénéisation

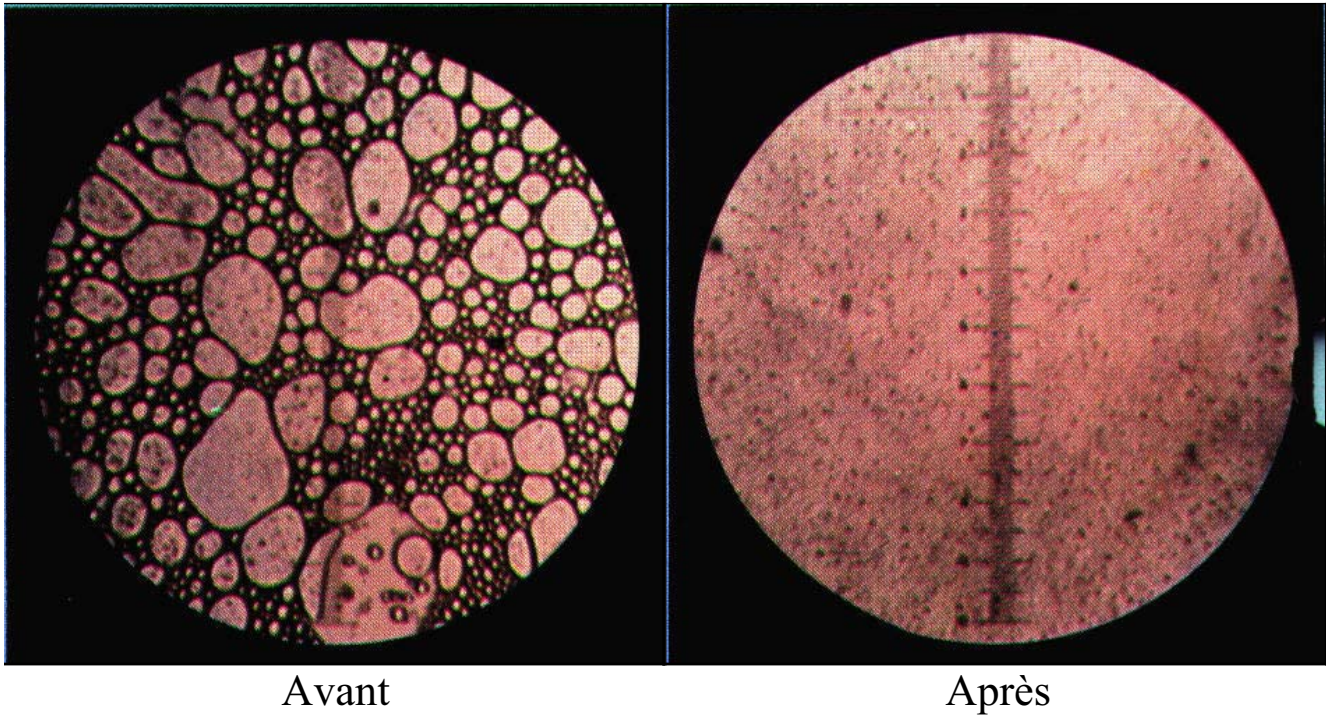


Fig. Réduction de la taille des globules lipidiques d'une émulsion par homogénéisation

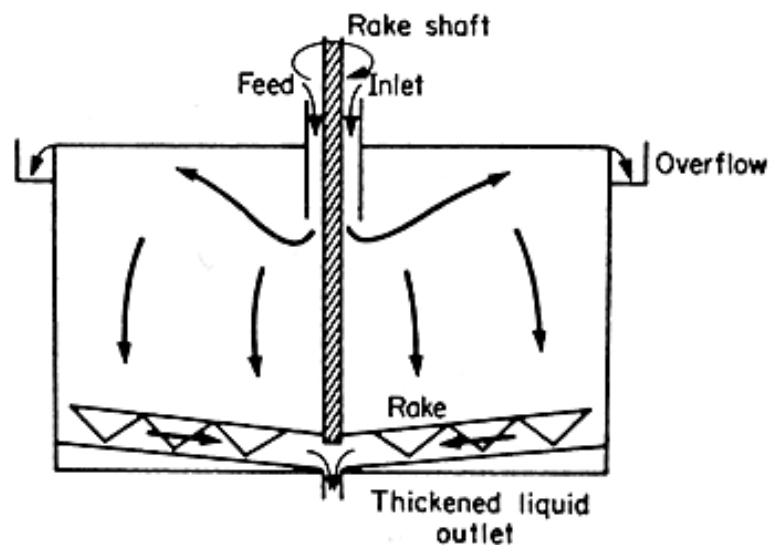
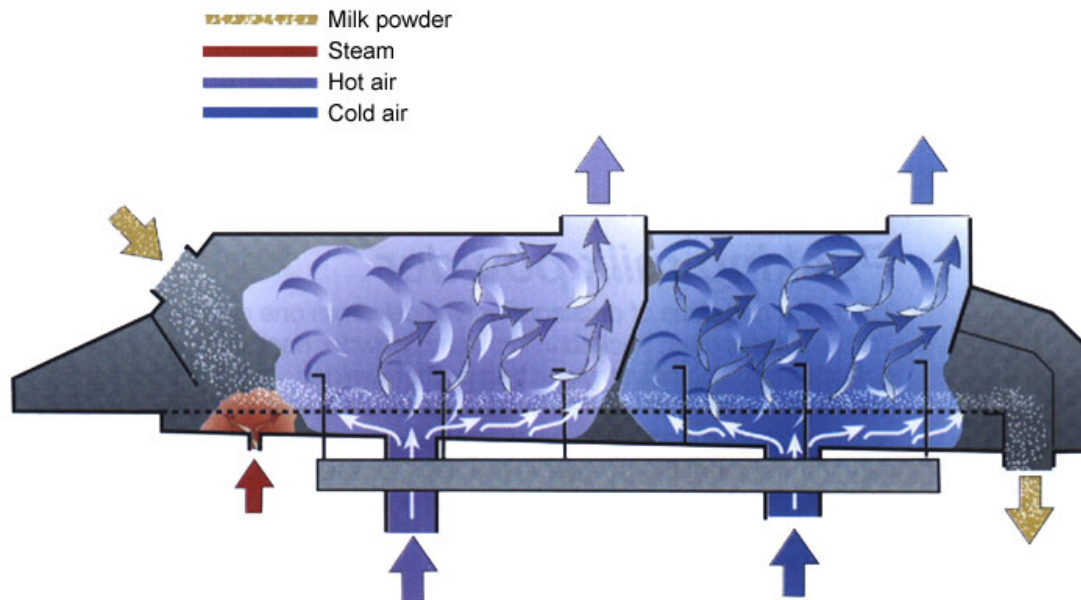


Fig. Système continu de décantation

Sédimentation de particules dans un gaz

Atomiseur à lit fluidisé (à voir dans les procédés thermiques)



- 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

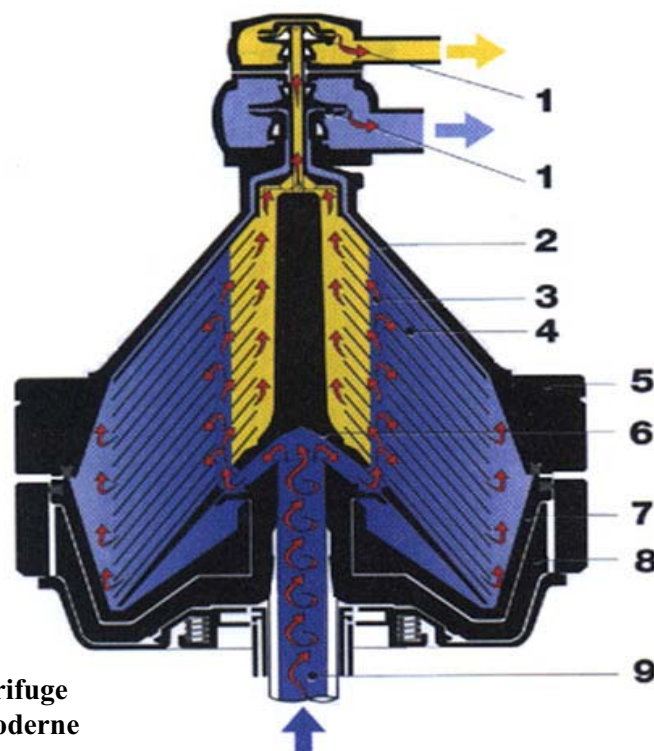


Fig. Section d'un séparateur centrifuge à disques hermétique moderne

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

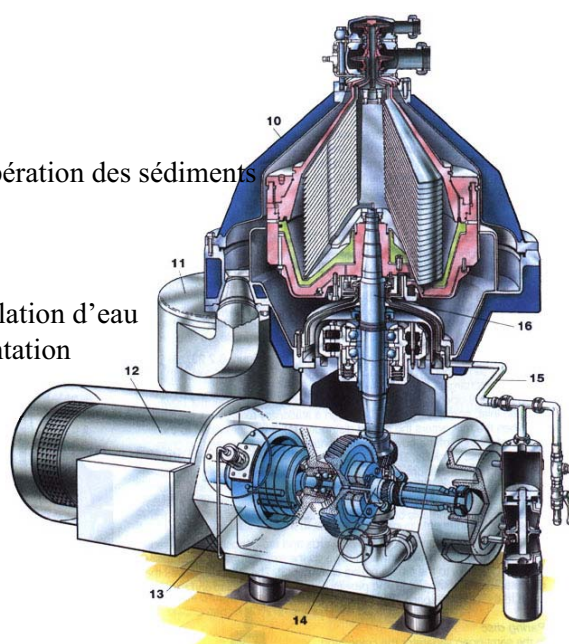


Fig. Section avec bloc moteur d'un séparateur centrifuge à disques hermétique moderne

Source: *Dairy Processing Handbook*. Published by Tetra Pak Processing Systems AB, S-221 86 Lund, Sweden. pg. 100.

Exemple d'applications dans l'industrie laitière

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

- Lait
- Crème
- Lait chargé en bactéries
- Vapeur
- Système de chauffage
- Système de refroidissement

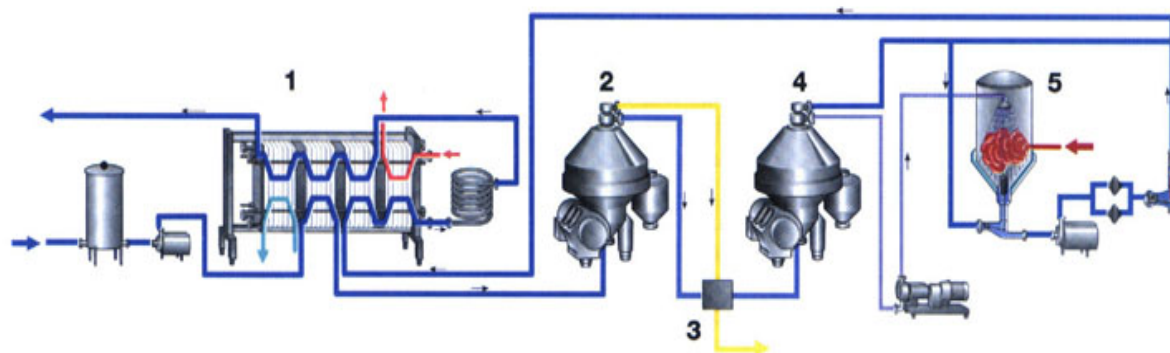


Fig. Système continu d'écémage et de bactofugation avec récupération et stérilisation du bactofugat

Décanteur centrifuge

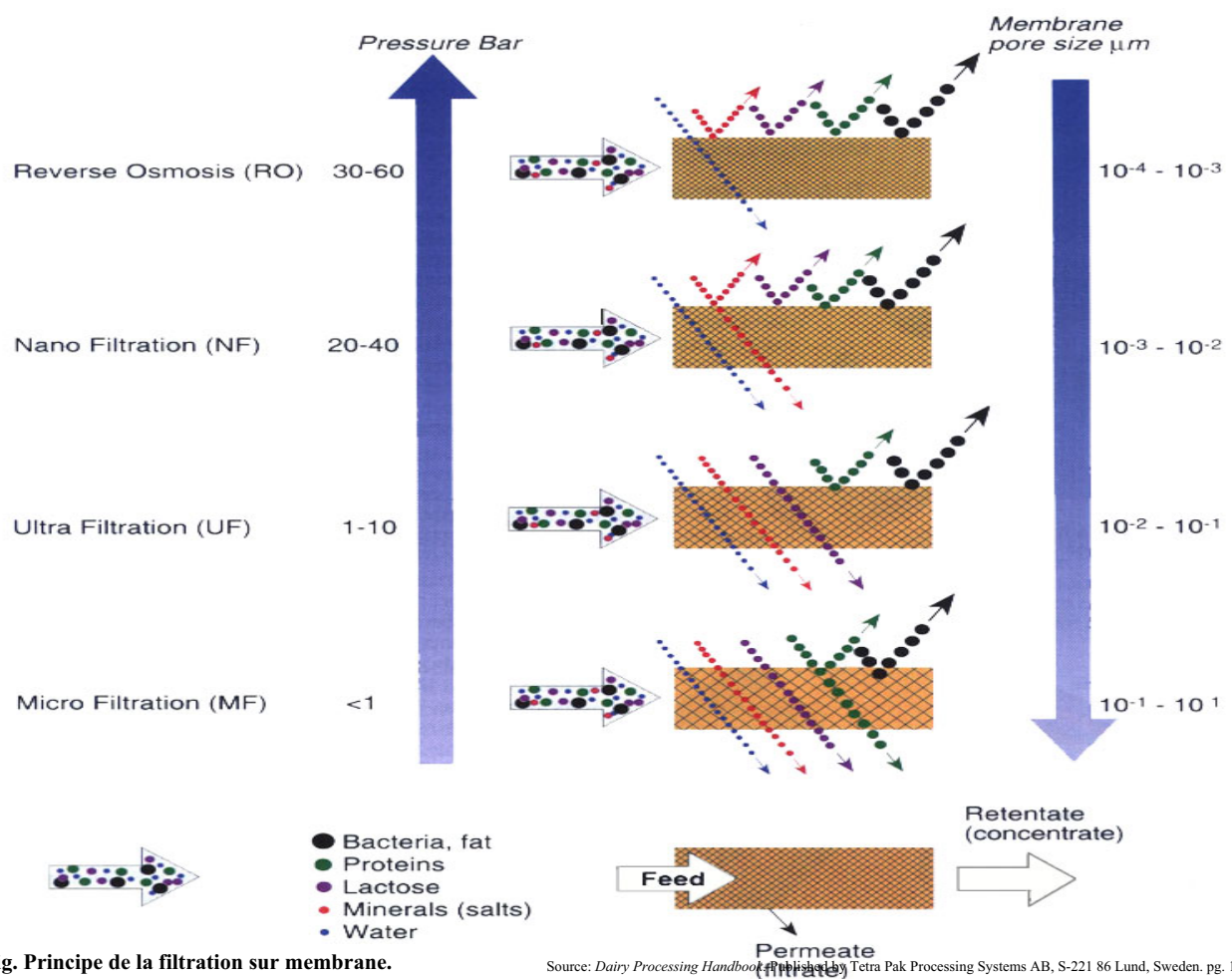
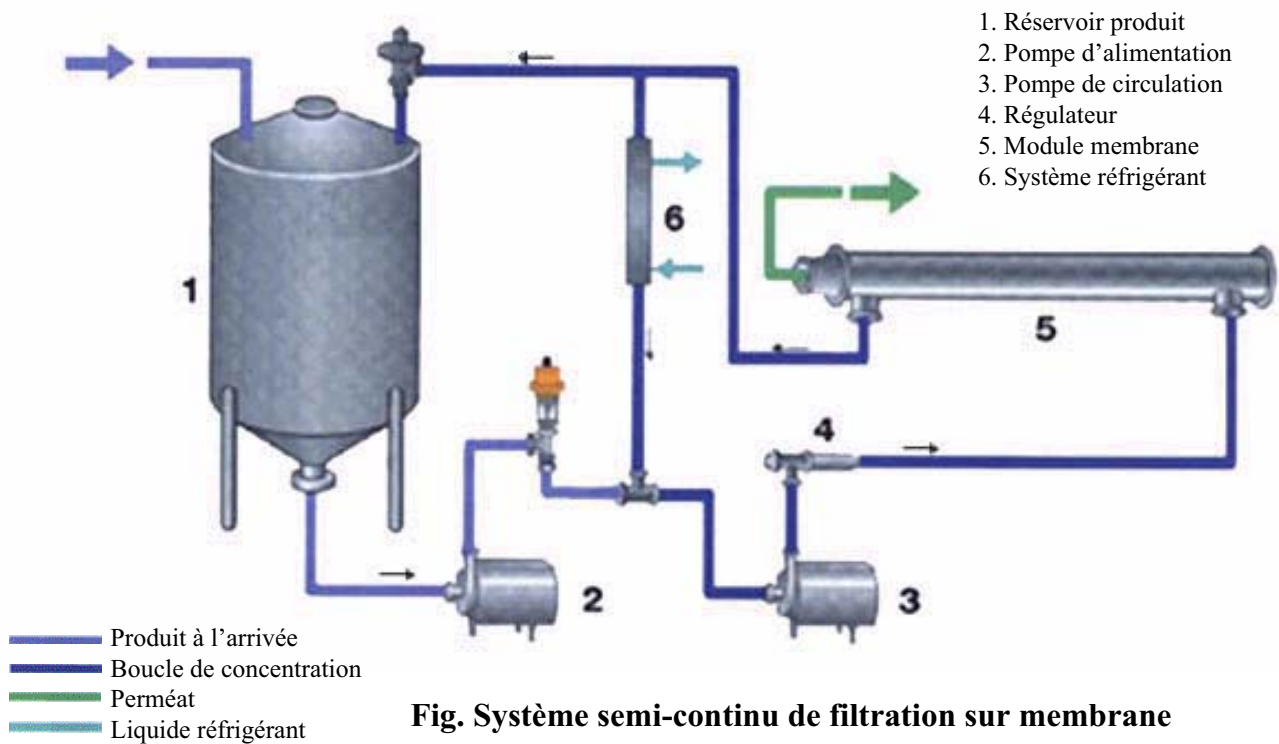


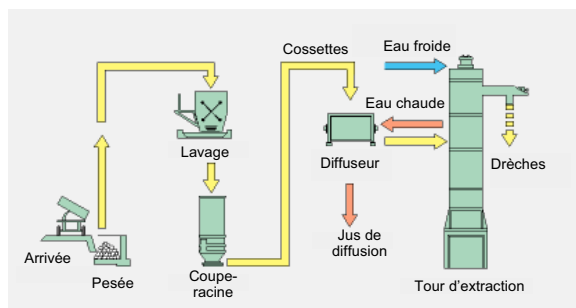
Fig. Principe de la filtration sur membrane.

Procédés membranaires

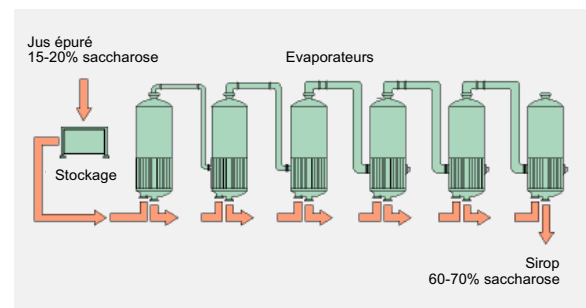


Source: *Dairy Processing Handbook*. Published by Tetra Pak Processing Systems AB, S-221 86 Lund, Sweden. pg. 131.

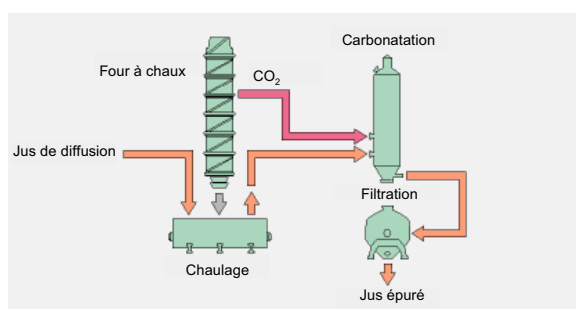
Séparations à équilibre



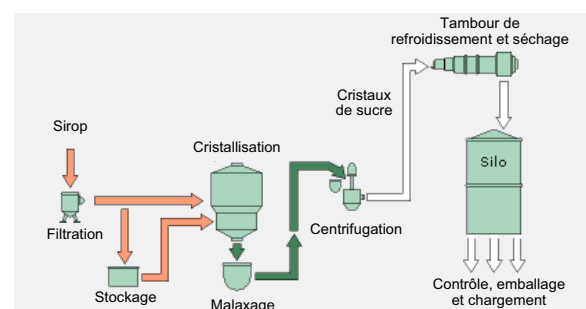
Extraction du jus



Evaporation du jus



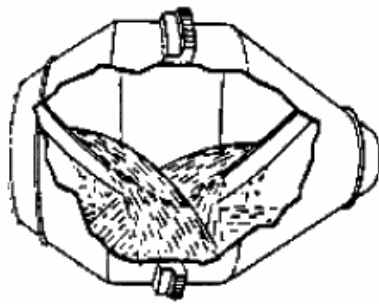
Epuration du jus



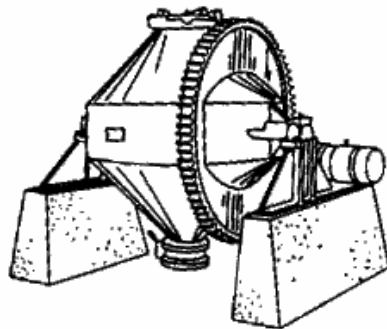
Cristallisation

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

Les mélangeurs



(a) configuration horizontale



(b) configuration verticale



Figure - Phases et étapes d'une production par voie biotechnologique

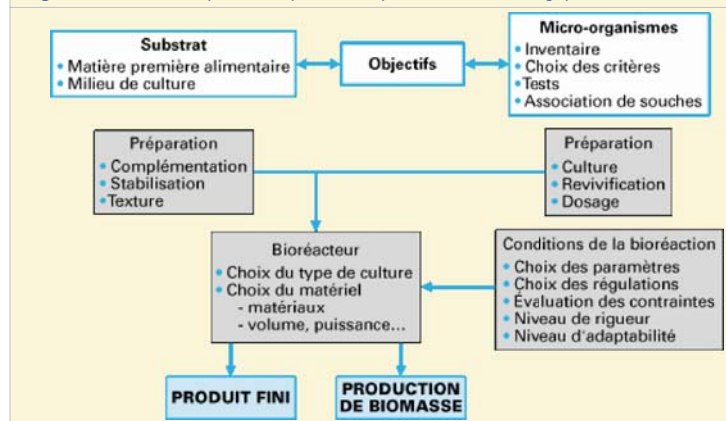
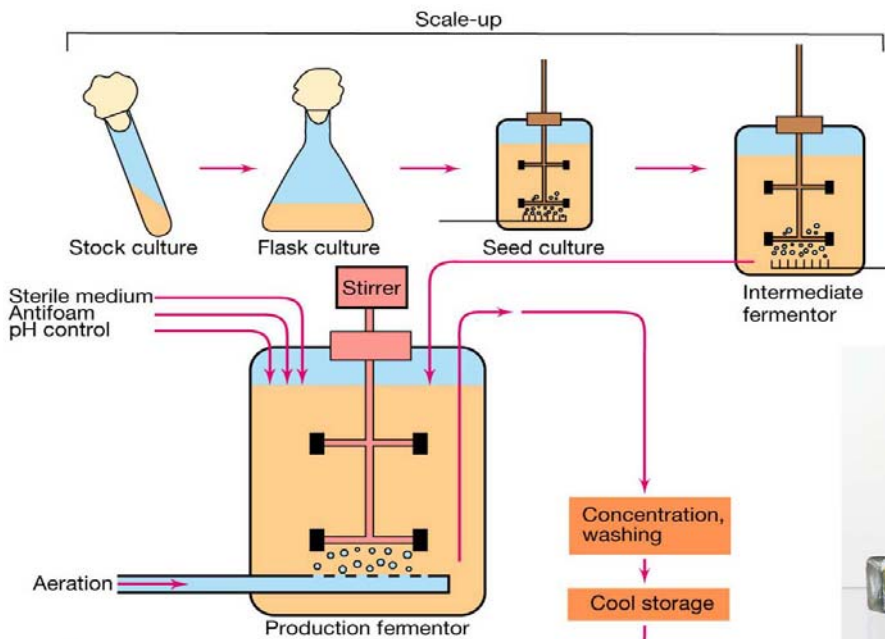


Tableau - Critères de choix de différents micro-organismes utilisés en transformation de produits alimentaires				
Critères	Bactéries lactiques	Corynebactéries	Levures	Moisissures
Conditions de croissance	• Température optimale et cycle thermique • Croissance à basse température • Comportement en présence d'autres bactéries (effets synergiques, symbiose, antagonismes...)	• pH optimal et minimal • Comportement à + 4 °C • Croissance à 10-15 °C • Comportement en présence de levures et/ou moisissures	• Adaptation à des températures basses ou élevées • Exigences faibles en éléments nutritifs • Comportement en présence de bactéries lactiques et propioniques	• Vitesse de germination et de croissance • Température • Comportement en présence d'autres micro-organismes (<i>Mucor</i> ...)
Productions ou caractères particuliers	• Capacité acidifiante • Production de polysaccharides (dextranes) • Arômes • Potentiel aminopeptidasique • Potentiel protéolytique • Bactériocines	• Pigmentation non photodépendante • Activité caséolytique • Activité aminopeptidasique • Activité lipolytique • Arômes • Activité déméthylase	• Taux d'éthanol • Rendement en éthanol • Production élevée en glycérol • Esters lourds • Phénotype « <i>killer</i> » (1) • Dégradation de l'acide malique • Caractère agglomérant • Propriétés protéolytiques • Action sur les polyphénols	• Morphologie (feutrage ras, dense, aéré...) • Couleur et stabilité au vieillissement • Sporulation souhaitée (<i>Penicillium Roquefortii</i>) ou non (<i>Penicillium Camembertii</i>) • Activité protéolytique • Activité lipolytique
Caractères non recherchés	• Production de peptides amers	• Production de sulfures	• Production d'écume • Production d'acide acétique • Production d'acétate d'éthyle (acidité volatile) • Production d'H₂ S et de mercaptans • Production trop importante d'alcools supérieurs	• Goûts indésirables
Sensibilité	• Lysozyme • Phages • Antibiotiques • Tolérance au sel	• Tolérance au sel (8-15 %)	• Tolérance à l'éthanol intra et extracellulaire • Tolérance à l'anhydride sulfureux	• Résistance au sel
Fabricant	• Rendement de production • Résistance à la congélation, à la lyophilisation et au séchage (levures) • Temps de conservation			
(1) Levures capables de sécréter des substances inhibitrices qui peuvent entraîner la destruction des autres souches.				

Classification basée sur la méthode de conservation

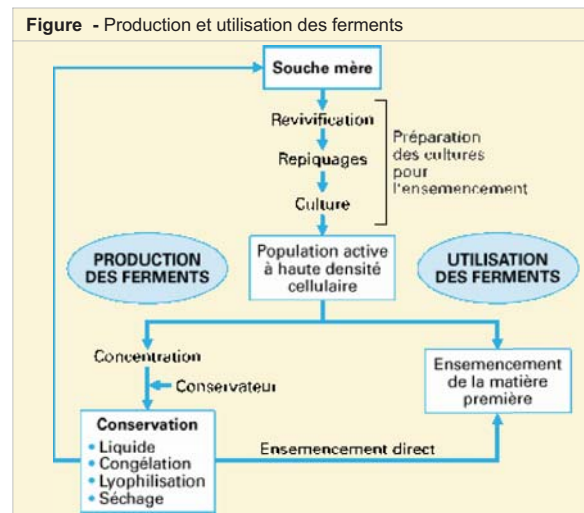


- (a)
- (1) → Lyophiliser
 - (2) → Concentrer Standardiser Congeler
 - (3) → Concentrer Standardiser Lyophiliser



- (b)
- Compressed yeast cakes
 - Active dry yeast
 - Nutritional dry yeast

Classification basée sur la méthode de conservation



© Techniques de l'ingénieur - 2004

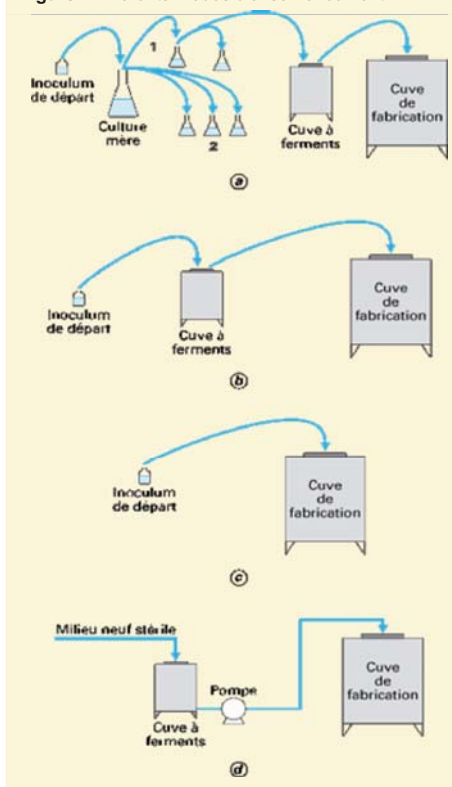
Classification basée sur la méthode d'inoculation

Bulk starter : nécessite une préparation préalable

Direct starter : inoculation directe dans la cuve de fermentation



Figure - Différents modes d'ensemencement



Chr. Hansen fermented milk cultures

Yo-FLEX®

Single strain cultures for yoghurt, classified by yoghurt taste and viscosity formation. A tool for obtaining high and consistent product quality. The key characteristics of Yo-Flex® are flexibility, simplicity and high performance.

eXact®

Mesophilic cultures for cultured milk products - e.g. buttermilk, crème fraîche and quarg - classified by level of milk solids, aroma and texture. From the pourable, through the spoonable to the spreadable, Chr. Hansen has the culture you need. Precision in the production of these varied cultured milks is achieved through the use of combinations of strains characterised for aroma, exopolysaccharide and acid production.

Chr. Hansen cheese cultures

Chr. Hansen cheese cultures are divided into the following groups, based on the production method and performance criteria required:

TRADITIONAL ♦™

Soft and semi-soft cheeses / Soft and semi-soft cheeses with red smear and blue moulds

For gentle acid development in Camembert, faster acid development in Brie and the subtle flavour development in soft, fresh cheeses.

AEGEAN ♦™

Feta and brined cheeses

FRESCO ♦™

Cottage cheeses

High phage resistance. Fast acid production for cottage cheeses and the good flavour development during storage needed by feta and other brined cheeses.

CONTINENTAL ♦™

Dutch and continental semi-hard cheeses

Consistent acid and gas production for good flavour and appearance combined with red smear surface ripening.

ITALIANO ♦™

Pasta filata cheeses

Apart from fast acid production and phage resistance, other important characteristics include control of stretching and, for pizza cheeses, the degree of browning and oiling off.

ANGLIA ♦™

Cheddar and related cheeses

Fast acid production, phage resistance and controlled flavour development during maturation.

ALPINE ♦™

Swiss and Emmentaler cheeses

Lactic acid development after high-scald cooking and an ability to work in tandem with the special propionic bacteria used to give good eye and flavour formation.

ROMANO ♦™

Italian hard cheeses

For cheeses stored for two years and more, a culture that withstands high temperatures and prolonged cooking periods before developing acid and flavour.

Etapes de sélection des souches

Tableau - Sélection d'un micro-organisme		
Phase	Étape	Remarques
1	Inventaire	Recherche de la souche la plus proche chez les fabricants Recherche dans les collections de souches nationales et internationales La souche retenue doit être isolée, identifiée et conservée dans des conditions qui empêchent sa mutation (congélation à – 85 °C ou dans l'azote liquide, lyophilisation)
2	Tests technologiques	Ces essais sont obligatoires pour confirmer la bonne adaptation du micro-organisme à l'objectif. Ils doivent se faire si possible à partir d'un substrat proche de celui qui sera utilisé industriellement
3	Essais de production	D'abord au stade du laboratoire, puis en production pilote et à l'échelle industrielle

Tableau - Micro-organismes utilisés en industrie alimentaire		
Micro-organismes		Produits
Bactéries	bactéries lactiques : lactobacillus, streptococcus	yaourts, fromages, salaisons, choucroute, pain
	leuconostoc	cœnologie (fermentation malo-lactique)
	bactéries acétiques	vinaigre
	corynébactéries	fromages
Levures	Saccharomyces cerevisiae, uvarum...	pain, vin, bière, alcool
Moisissures	pénicillium	fromages
	aspergillus	saké
	mucor	présure pour fromagerie

Tableau - Principaux ferments pour l'industrie laitière et fromagère	
Ferments	Applications
<i>Lactobacillus bulgaricus</i> <i>Streptococcus thermophilus</i> <i>Bifidobacterium sp.</i>	Yaourts
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Laits fermentés
<i>Lactobacillus caucasius</i>	Kéfir (boisson fermentée d'origine caucasienne obtenue à partir de lait de vache ou de chèvre)
<i>Streptococcus cremoris</i> <i>Streptococcus lactis</i> <i>Streptococcus diacetylactis</i> <i>Leuconostoc cremoris</i> <i>Lactobacillus cremoris</i> <i>Lactobacillus lactis</i>	Premières étapes (caillage) de la plupart des fromages Fromages non affinés à pâte fraîche Beurre
<i>Streptococcus thermophilus</i> <i>Lactobacillus helveticus</i> <i>Propionibacterium shermanii</i> <i>Propionibacterium freudenreichii</i>	Gruyère (les deux souches du genre <i>Propionibacterium</i> sont responsables de la formation des trous lors du procédé d'affinage)
<i>Lactobacillus cremoris</i> <i>Lactobacillus lactis</i> <i>Penicillium roqueforti</i>	Bleu, roquefort (<i>P. roqueforti</i> est responsable de la couleur bleue)
<i>Lactobacillus cremoris</i> <i>Lactobacillus lactis</i> <i>Penicillium camemberti</i>	Camembert

Tableau - Principales levures et leurs applications dans le secteur de l'alimentation	
Espèces de levures	Produits obtenus et applications
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Pain (la levure de boulangerie joue un rôle clé dans l'hydrolyse des polysaccharides et des protéines contenus dans la farine ; la production de CO ₂ permet de faire « lever » la pâte à pain)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Saccharomyces carlsbergensis</i>	Bière
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Saccharomyces ellipsoideus</i> <i>Kloeckera</i> , <i>Hansenula</i> , <i>Hanseniospora</i>	Vin (les premières étapes du processus de vinification : production d'alcool à partir du moût de raisin, sont principalement réalisées par <i>S. cerevisiae</i>)
<i>Saccharomyces sake</i>	Saké
<i>Saccharomyces rouxii</i>	Miso (aliment fermenté à base de soja)
<i>Kluyveromyces fragilis</i> <i>Kluyveromyces lactis</i>	Fromages
<i>Candida utilis</i>	Levure alimentaire

Tableau - Principales espèces de moisissures importantes en production alimentaire		
Espèces	Caractères particuliers	Utilisations
<i>Penicillium roqueforti</i>	Bleu vert ; température optimale 18 à 20 °C ; inhibé à 20 % de sel ; peut se développer à des taux d'oxygène faible de l'ordre de 5 % ; pH de 3 à 10,5	Fabrication de fromages à pâte persillée
<i>Penicillium camemberti</i>	Moisissure blanche. Synonyme de <i>Penicillium caseicolum</i> , il est aussi appelé <i>Penicillium candidum</i> ; température optimale 15 à 25 °C ; inhibé par des taux de sel de 20 à 25 % ; pH optimal 5	Fabrication de fromages à croûte fleurie
<i>Penicillium nalgiovensis</i>	Blanc puis devient vert	Flore de surface du saucisson, fromage d'Ellischauser
<i>Penicillium album</i>	Blanc puis devient vert	Flore de surface du saucisson, couverture de certains fromages
<i>Geotrichum candidum</i>	Forment des arthrospores ; il existe des souches très sporulantes et grasses, et d'autres plus sèches, plus filamenteuses ; pH entre 5 et 7 ; inhibés à partir de 2 % de sel	Agents importants de l'affinage de fromages, fabrication de gari
<i>Mucor</i>	Produisent des sporanges noirs ; vitesse de développement horizontal rapide	Flore de surface de certains fromages, transformation de produits divers
<i>Rhizopus</i>	Très grande vitesse de développement grâce à la présence de stolons sur le mycélium ; sporanges noirs	Transformation de produits divers
<i>Aspergillus oryzae</i>	Jaune verdâtre puis brun. Groupe important auquel se rattache <i>A. sojae</i>	Fermentation de produits à base de riz et de soja
<i>Aspergillus niger</i>	Tête conidienne très noire	Production de molécules diverses (acide citrique, protéases...)
<i>Fusarium solani</i>	Rose ; colonies grasses et rases ; présence de deux types de spores (micro- et macroconidies)	Flore de surface de certains fromages, participent à la « fermentation » du café

Tableau - Principales fermentations microbiennes			
Fermentation	Principaux produits	Micro-organismes	Applications
Homolactique	96 % d'acide lactique	<i>Lactococcus</i>	Salaisons, produits laitiers, choucroute, ensilage
		<i>Lactobacillus</i>	
		<i>Sc thermophilus</i>	
Hétérolactique	40 % d'acide lactique, 19 % de CO ₂ , 18 % d'éthanol, 18 % de glycérol	<i>Leuconostoc</i>	Kéfir, accidents de fabrication
		Lactobacilles hétérofermentaires	
Alcoolique	50 % d'éthanol, 50 % de CO ₂	Levures du genre <i>Saccharomyces</i>	Vin, bières, pain, pâtisseries
Acides mixtes	50 % d'acide lactique, 20,5 % d'acides divers, 12 % de CO ₂ , 0,5 % d'H ₂ , 11 % d'éthanol	<i>Escherichia coli Salmonella</i>	Gonflements et mauvais goûts, risques de pathogénicité
		<i>Citrobacter</i>	
Butanediolique	5 % d'acides divers, 40 % de CO ₂ , 0,5 % d'H ₂ , 15 % d'éthanol, 38 % de butanediol	<i>Enterobacter</i>	Gonflements et mauvais goûts
		<i>Klebsiella</i>	
Butanoïque	15 % d'acide acétique, 35 % d'acide butyrique, 48 % de CO ₂ , 3 % d'H ₂	<i>Clostridium tyrobutyricum</i>	Gonflements en fromages à pâte cuite
		<i>C. butyricum</i>	
Acétonobutylique	Acide acétique et butyrique, acétone, butanol	<i>Clostridium acetobutylicum</i> et <i>butylicum</i>	Production de solvants
Propionique	6 % d'acide acétique, 60 % d'acide propionique, 10 % d'acide succinique, 16 % de CO ₂	<i>Propionibacterium</i>	Fermentation gazogène dans les fromages à pâte cuite et production d'arôme
Entner-Doudoroff	50 % d'éthanol, 50 % de CO ₂	<i>Zymomonas mobilis</i>	Production d'éthanol
Acétique	Acide acétique	<i>Gluconobacter</i>	Production de vinaigre
		<i>Acetobacter</i>	
Méthanique	Méthane	<i>Methanobacterium</i>	Production de méthane en épuration anaérobie
		<i>Methanococcus</i>	
		plus des bactéries syntrophiques	
Malolactique	Acide lactique à partir de l'acide malique	<i>Leuconostoc oenos</i>	Désacidification des vins
		<i>Ln mesenteroides</i>	
		<i>Lactobacillus plantarum</i>	

Tableau - Incidence du type de métabolisme dans les productions microbiennes	
Voie métabolique	Exemples de produits importants formés
Catabolisme	• Acides
	• Alcools
	• Gaz
	• Arômes divers
	• Produits de protéolyse et de lipolyse
	• Produits de dégradation de l'amidon
Anabolisme	• Dextranes et biopolymères
	• Vitamines
	• Enzymes libérées par lyse cellulaire
	• Biomasse

Figure - Matériel de production

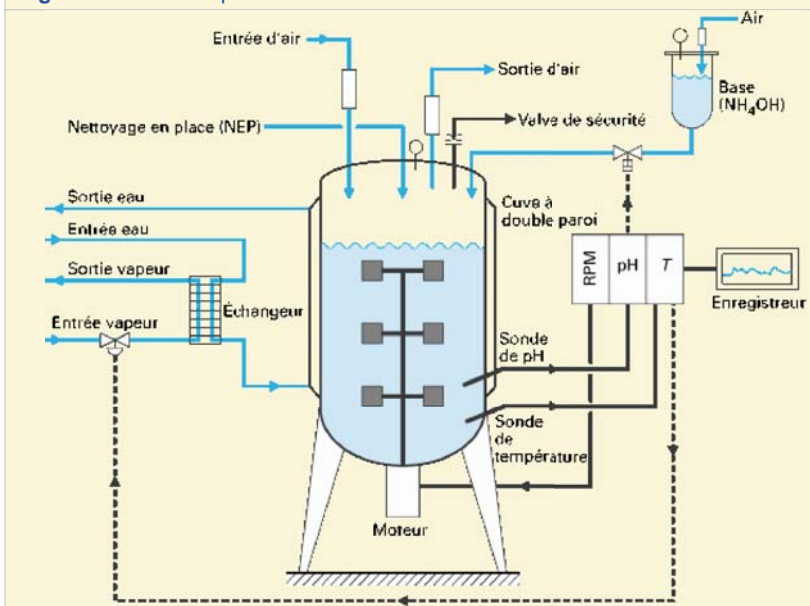


Tableau - Enzymes utilisées en industrie alimentaire		
Enzymes	Produits	Emploi
α -amylase	sirops de sucres	liquéfaction de l'amidon
	bière	élimination de l'amidon
	pain, biscuits...	complémentation de farine
Amyloglucosidase	édulcorants	saccharification
	bière et jus de fruits	élimination de l'amidon
	pain	amélioration de la couleur de la croûte
β -galactosidase	produits laitiers à faible teneur en lactose	élimination du lactose
	crèmes glacées	conservation de la texture
Chymosine	fromages	coagulation des protéines
Glucose isomérase	sirops à teneur en fructose élevée	conversion du glucose en fructose
Glucose oxydase	jus de fruits	élimination de l'oxygène
Invertase	sirops de sucres	liquéfaction du saccharose
Lipases	fromages	développement d'arômes
	arômes	synthèse d'esters
Papaine	bière	élimination de protéines
Pectinases	vins et jus de fruits	clarification
Protéases	produits laitiers	modification des protéines du lait
	pain, biscuits	diminution de la teneur en gluten
	viande	attendrissement, séparation des os

Tableau - Productions industrielles obtenues par cultures bactériennes et fongiques		
PRODUITS		UTILISATION
Acides organiques		
	Acide citrique	acidulant, conservateur, additif alimentaire, agent chelatant
	Acide lactique	acidulant, conservateur, synthèse chimique
	Acide itaconique	résines de synthèse, fibres synthétiques
	Acide gluconique	pharmacie, agroalimentaire, décapage peintures, ciment
	Acide acétique	agroalimentaire, industrie
Acides aminés		
	Lysine	alimentation animale
	Acide glutamique	exhausteur de goût, agent de sapidité, pharmacie
	Thréonine	alimentation animale
	Phényl alanine	synthèse de l'aspartame
	Arginine	nutrition
Biomasse		
	Levures	panification, œnologie, nutrition
	Bactéries lactiques	industries laitières et fromagères, probiotiques
Alcool		
	Éthanol	boissons, parfumerie, pharmacie
Polymères		
	Xanthane	agroalimentaire, industrie du pétrole
	Gellan	agroalimentaire
	Polysaccharides	Industrie laitière
Vitamines		
	Vitamine B12	pharmacie humaine et vétérinaire
	Vitamine C	alimentaire, nutrition
Enzymes		
	Amylases	industrie de l'amidonnerie
	Glucose isomérases	glucoserie
	Protéases	lessives, détergents

Tableau - Manifestations de l'action microbienne dans les aliments		
Effets sur le produit	Exemple	Micro-organismes impliqués
Modification de la texture	Coagulation du lait	Bactéries lactiques diverses
	Texture filante ou veloutée de produits laitiers frais fermentés	Bactéries lactiques par production de dextranes
	Modification de volume des produits de panification ou de pâtisserie	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
	Production de textures alvéolées dans le pain	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
	Formation « d'yeux » dans les fromages...	Bactéries propioniques
Aromatisation	Goût de noix (éthanal) dans certains vins	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
	Goût typique du beurre (diacétyl)	<i>Lactococcus lactis diacetylactis</i>
	Goût typique du yaourt (acétaldéhyde et acide lactique)	<i>Lactobacillus delbrueckii bulgaricus</i>
	Développement du goût du cacao	Bactéries diverses
Coloration	Trouble blanchâtre dans les bières « blanches »	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
	Brunissement de la pâte des fromages à pâte pressée cuite par le propionate de calcium	Bactéries propioniques
Apport diététique	Production de vitamines B, etc. dans certains produits laitiers fermentés	<i>Bifidobacterium</i>
Amélioration de la digestibilité	Protéolyse dans les produits laitiers ou les viandes	Enzymes microbiennes ou animales
	Dégradation de l'amidon dans les produits céréaliers	Enzymes microbiennes ou végétales
Modification du goût	Acidification du chou (choucroute)	<i>Lactobacillus</i>
	Désacidification du vin	Bactéries malolactiques
Stabilisation microbienne	Acidification	Bactéries lactiques et acétiques
	Production d'éthanol	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>

Tableau - Principaux acides organiques produits par fermentation		
Produit	Voies d'accès	Micro-organismes utilisés
Acide acétique	F ou C	<i>Acetobacter sp.</i>
Acide citrique	F	<i>Aspergillus niger</i>
Acide gluconique	F	<i>Aspergillus niger</i> <i>Gluconobacter suboxydans</i>
Acide itaconique	F	<i>Aspergillus terreus</i>
Acide lactique	F ou C	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> <i>Rhizopus oryzae</i>

Tableau - Principaux biopolymères produits par fermentation		
Produit	Voies d'accès	Micro-organismes utilisés
Alginate	F	<i>Azotobacter vinelandii</i>
Levane	F	<i>Zymomonas mobilis</i>
Phosphomannane	F	<i>Hansenula holstii</i>
Polyhydroxybutyrate	F	<i>Alcaligenes eutrophus</i>
Pullulane	F	<i>Aurebasidium pullulans</i>
Scléroglycane	F	<i>Sclerotium rolfsii</i>
Xanthane	F	<i>Xantomonas campestris</i>
Acide hyaluronique	F	<i>Streptococcus zooepidemicus</i>

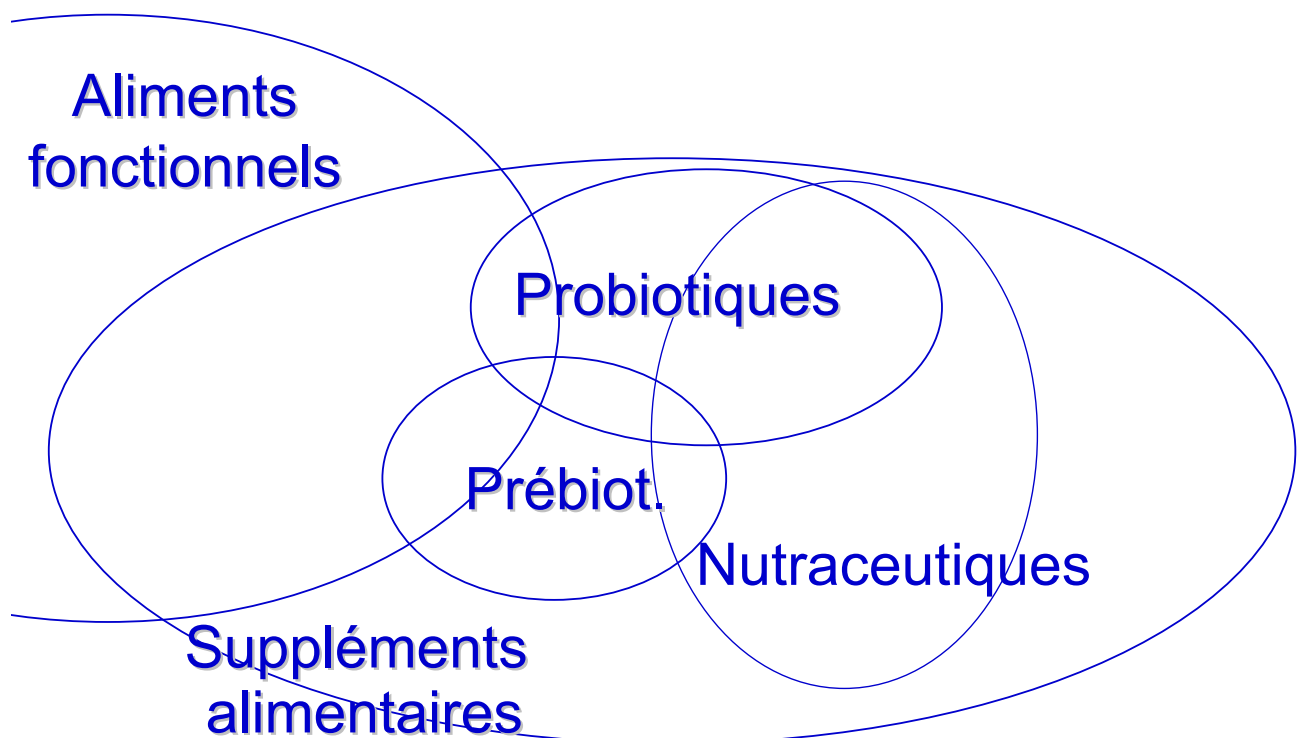
F	Fermentation
C	Synthèse chimique
Ex	Extraction à partir de tissus animaux ou végétaux

Tableau - Principaux acides aminés produits par fermentation		
Produit	Voies d'accès	Micro-organismes utilisés
L-Arginine	F	Les souches productrices utilisées appartiennent en général aux genres <i>Corynebacterium</i> , <i>Brevibacterium</i> et <i>Arthrobacter</i>
L-Citruline	F	
Acide L-glutamique	F	
L-Histidine	F	
L-Glutamine	F	
L-Isoleucine	F ou Ex	Les espèces <i>Corynebacterium glutamicum</i> et <i>Brevibacterium flavum</i> sont le plus fréquemment utilisées
L-Leucine	F ou Ex	
L-Lysine	F	
L-Ornithine	F	
L-Phénylalanine	F ou C	Certaines productions (thréonine) se font à partir d'organismes génétiquement modifiés (OGM) : <i>Escherichia coli</i>
L-Proline	F	
L-Sérine	F ou C	
L-Thréonine	F	
L-Tryptophane	F ou C	
L-Valine	F	

Tableau - Principales vitamines produites par fermentation		
Produit	Voies d'accès	Micro-organismes utilisés
Vitamine B2 (riboflavine)	F	<i>Ashbya gossypii</i> , <i>Candida famata</i>
Vitamine B12 (cyanocobalamine)	F	<i>Propionibacterium shermanii</i> <i>Pseudomonas denitrificans</i>
Vitamine C (acide ascorbique)	F + C	<i>Acetobacter suboxydans</i>
Vitamine D (calciférol)	F + C	<i>Saccharomyces sp.</i>

Tableau - Sélection d'un micro-organisme		
Phase	Étape	Remarques
1	Inventaire	Recherche de la souche dans les sources alimentaires Recherche dans les collections de souches nationales et internationales La souche retenue doit être isolée, identifiée et conservée dans des conditions qui empêchent sa mutation (congélation à - 85 °C ou dans l'azote liquide, lyophilisation)
2	Tests technologiques	Ces essais sont obligatoires pour confirmer la bonne adaptation du micro-organisme à l'objectif. Ils doivent se faire si possible à partir d'un substrat proche de celui qui sera utilisé industriellement
3	Essais de production	D'abord au stade du laboratoire, puis en production pilote et à l'échelle industrielle

Applications fonctionnelles



Echangeur à plaques

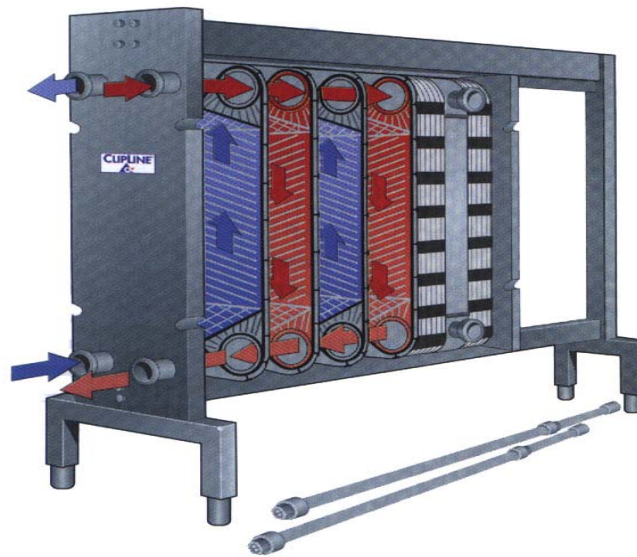
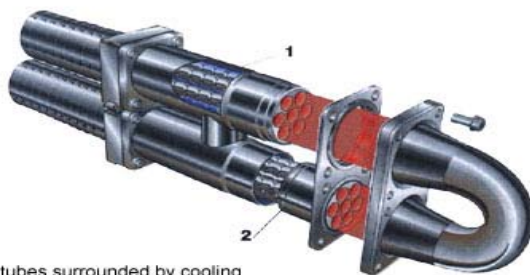


Figure - Principe de circulation des fluides et de transfert de chaleur dans un échangeur à plaques

Source: *Dairy Processing Handbook*. Published by Tetra Pak Processing Systems AB, S-221 86 Lund, Sweden. pg. 86.

Echangeur tubulaire



- 1 Product tubes surrounded by cooling medium
- 2 Double O-ring seal

Figure - Principe de circulation des fluides et de transfert de chaleur dans un échangeur tubulaire

Source: *Dairy Processing Handbook*. Published by Tetra Pak Processing Systems AB, S-221 88 Lund, Sweden. pg. 88.

Echangeur à surface raclée

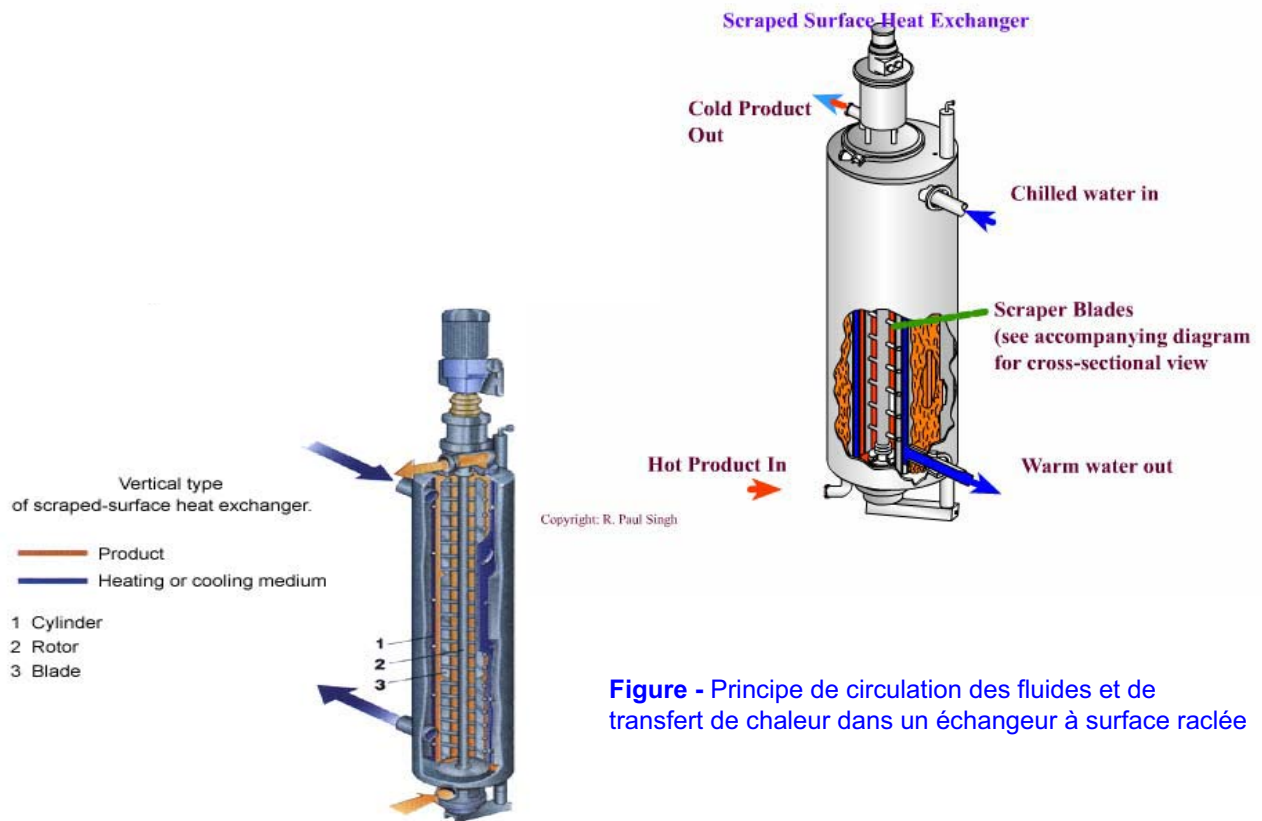
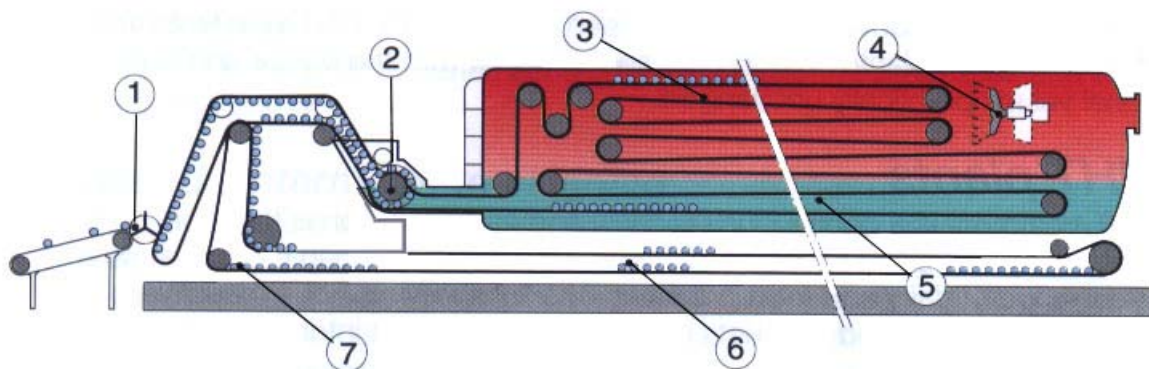


Figure - Principe de circulation des fluides et de transfert de chaleur dans un échangeur à surface raclée

Stérilisation dans l'emballage

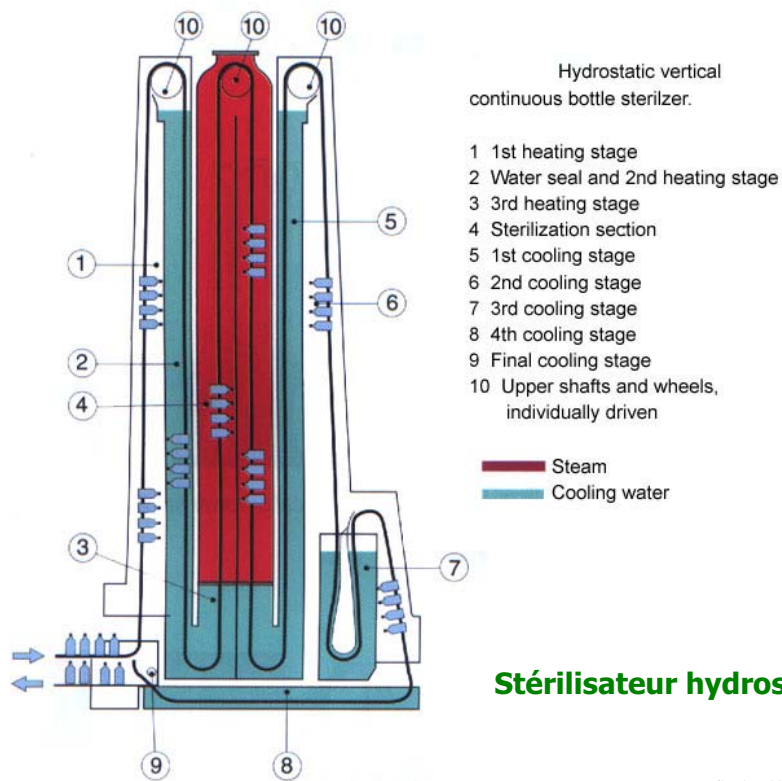


- 1 Automatic loading of bottles or cans
- 2 Rotating valve simultaneously transports bottles into and out of pressure chamber
- 3 Sterilization area
- 4 Ventilation fan
- 5 Pre-cooling area
- 6 Final cooling at atmospheric pressure
- 7 Unloading from conveyor chain

Stérilisateur hydrostatique horizontal continu

- Steam (Red line)
- Cooling water (Blue line)

Stérilisation dans l'emballage

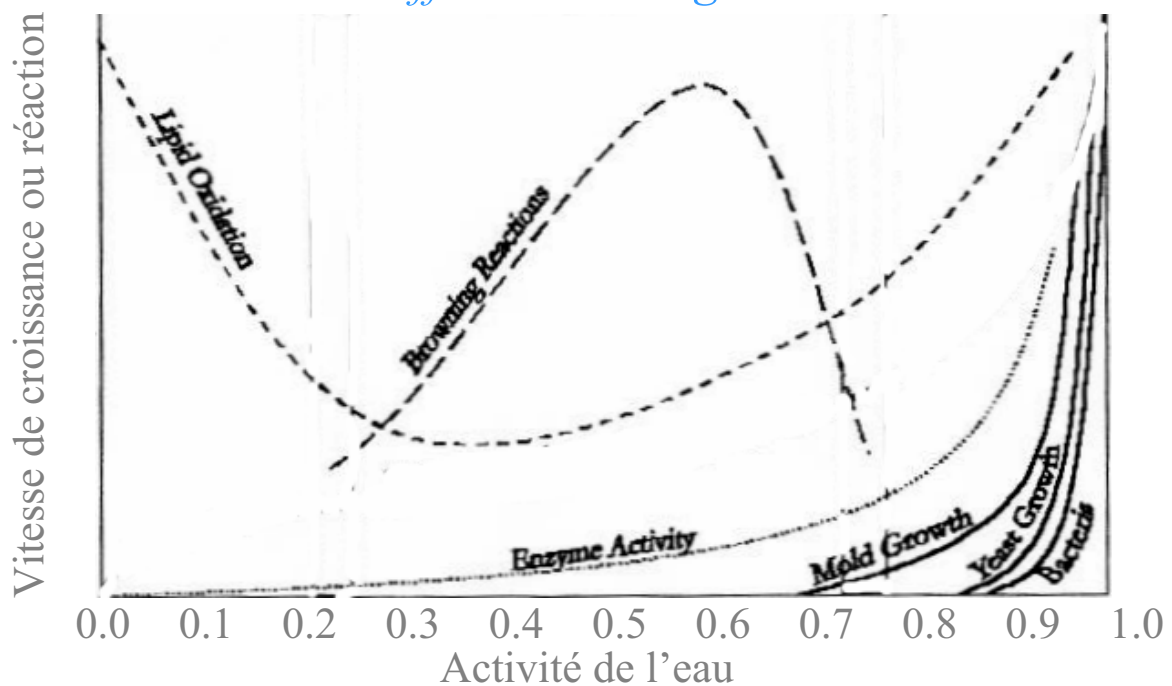


Stérilisateur hydrostatique vertical continu

Source: *Dairy Processing Handbook*. Published by Tetra Pak Processing Systems AB, S-221 86 Lund, Sweden. pg. 223.

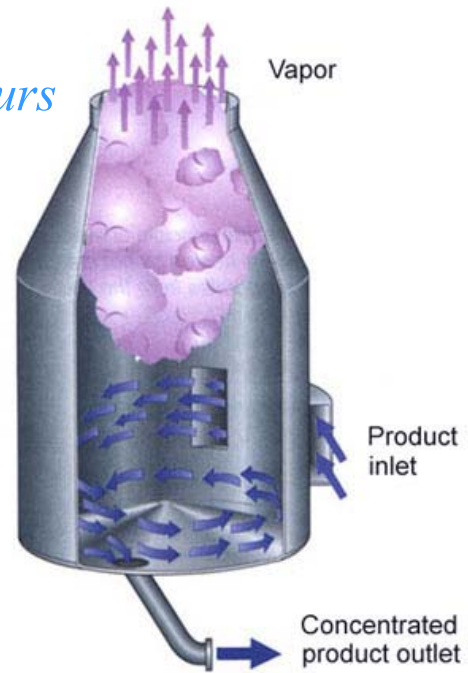
Concentration et séchage

Effets du séchage



Equipements — Concentration

Les évaporateurs

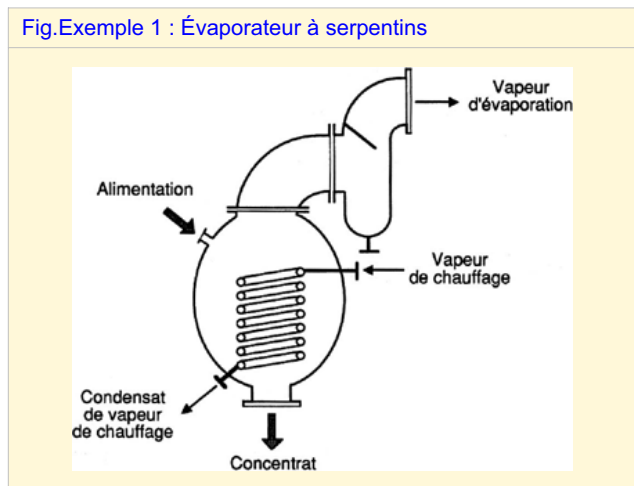


Produit circulant dans une chambre à vide.

Source: *Dairy Processing Handbook*. Published by Tetra Pak Processing Systems AB, S-221 86 Lund, Sweden. pg. 134.

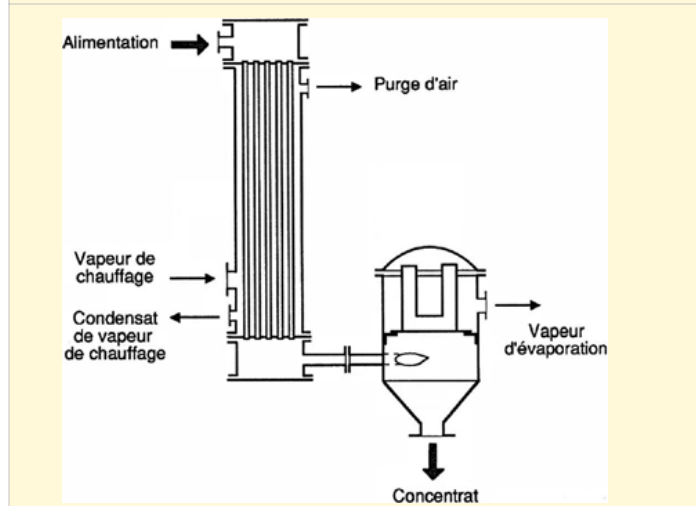
Equipements — Concentration

Fig.Exemple 1 : Évaporateur à serpentins



Equipements — Concentration

Fig. Exemple 2 : Evaporateur à flot tombant (ou à descendant)



© Techniques de l'Ingénieur - 2004

Equipements — Concentration

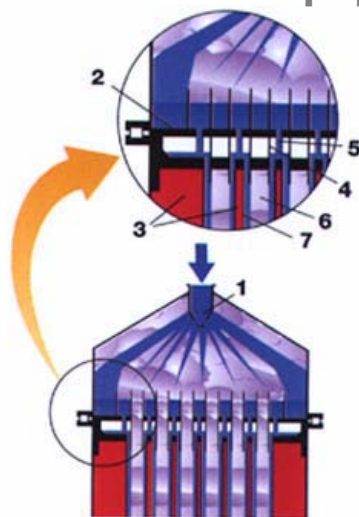


Fig. Upper section of a falling film evaporator.

- | | |
|-----------------------|----------------|
| 1 Product feed nozzle | |
| 2 Spreader plate | |
| 3 Steam for heating | Product |
| 4 Coaxial tubes | Vapor |
| 5 Openings | Heating medium |
| 6 Vapor | |
| 7 Evaporator tubes | |

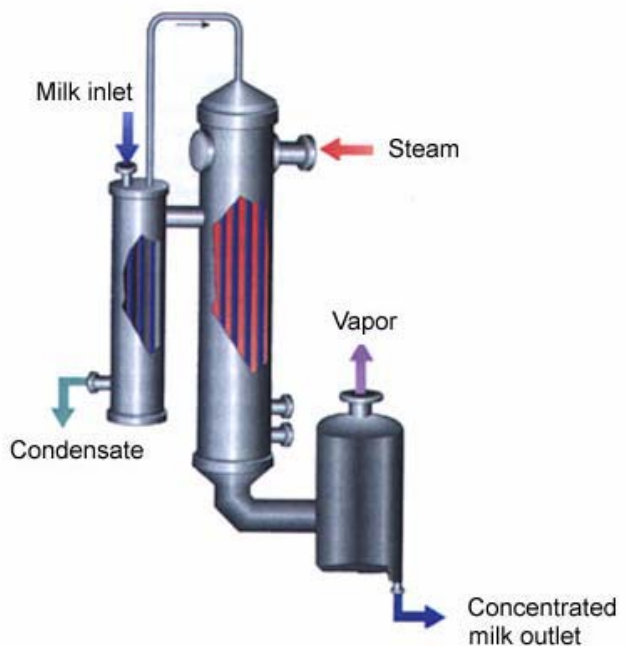


Fig. Evaporateur à flot tombant

Equipements — Concentration

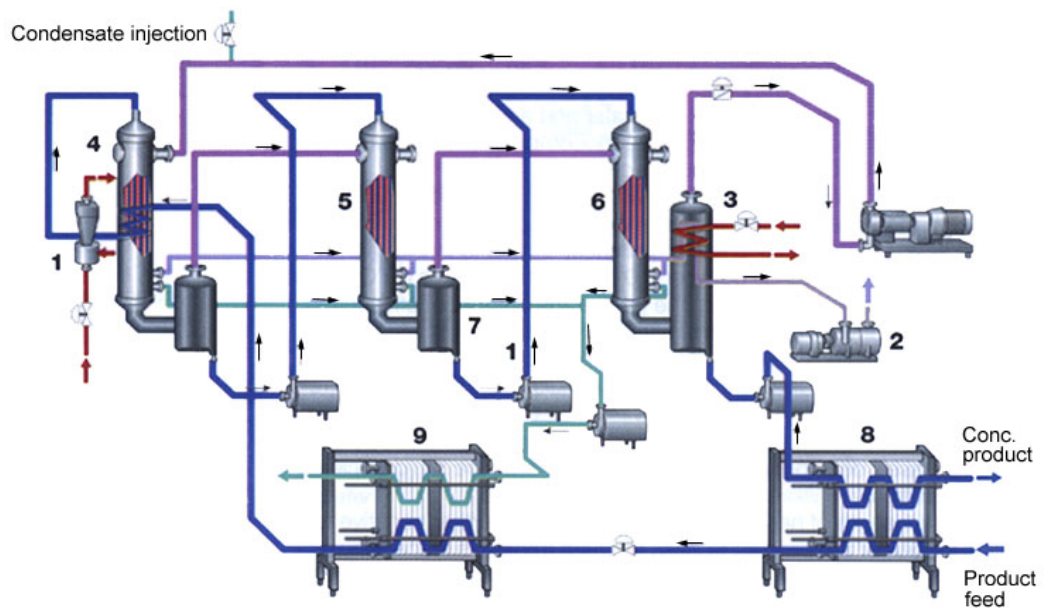


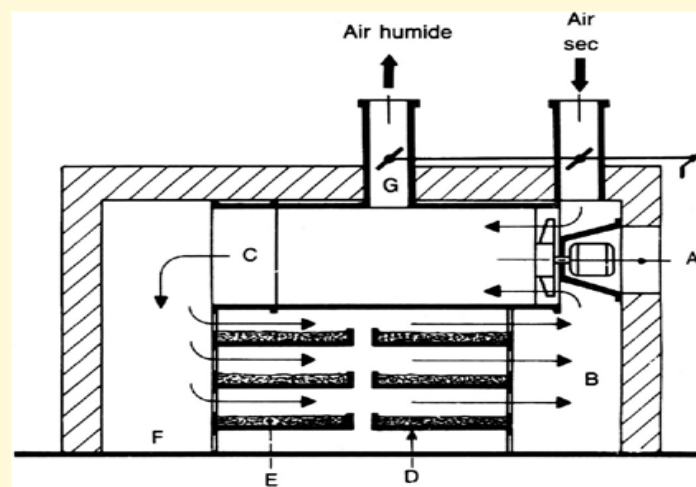
Fig. Three-effect evaporator with mechanical vapor compression.

Product	1 Thermocompressor	6 3rd effect
Vapor	2 Vacuum pump	7 Vapor separator
Condensate	3 Mechanical vapor compressor	8 Product heater
Heating medium	4 1st effect	9 Plate condenser
	5 2nd effect	

Source: Dairy Processing Handbook. Published by Tetra Pak Processing Systems AB, S-221 86 Lund, Sweden. pg. 138.

Equipements — séchage

Fig. Exemple 1 : Sécheur discontinu à convection par léchage

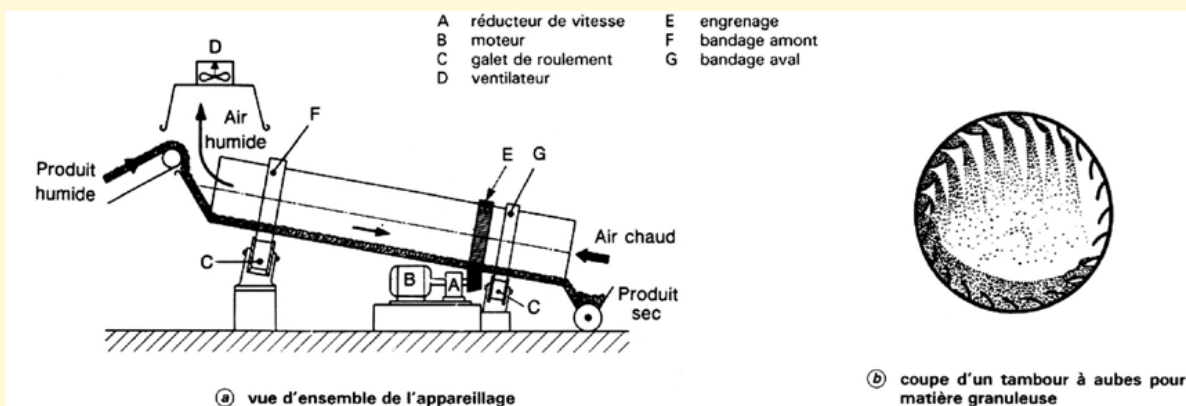


- A ventilateur
- B gaine d'aspiration
- C aérotherme
- D claies à fond plein
- E produit à sécher
- F gaine de soufflage
- G cheminée d'extraction des gaz avec clapet de réglage

Si la matière n'est pas brassée pendant l'opération de séchage, il y a intérêt à inverser le sens du courant d'air plusieurs fois au cours du séchage. On utilise pour cela des ventilateurs hélicoides réversibles commandés automatiquement par une minuterie.

Equipements — séchage

Fig. Tambour sécheur rotatif, à convection par léchage

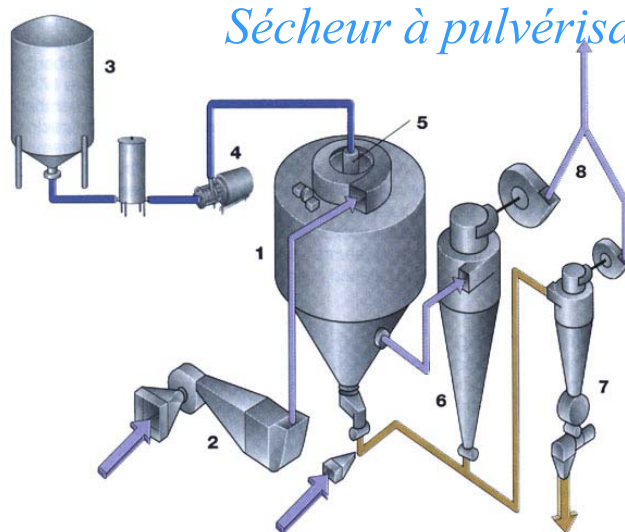


Dans le vocabulaire du séchage, le mot *tambour* désigne un cylindre en tôle, généralement de grande longueur, tournant lentement autour d'un axe légèrement incliné sur l'horizontale. Le produit humide est introduit à la partie supérieure par un tapis ou une vis d'Archimède ; il avance par gravité, les grains roulant les uns sur les autres.

Dans certains cas, des *aubes* en forme d'auges, ou des *pelles* fixées à l'intérieur du cylindre, remontent le produit pendant la rotation du tambour, puis le laissent retomber en pluie dans le courant d'air de séchage, augmentant ainsi considérablement la surface de contact.

Equipements — séchage

Sécheur à pulvérisation (atomiseur)

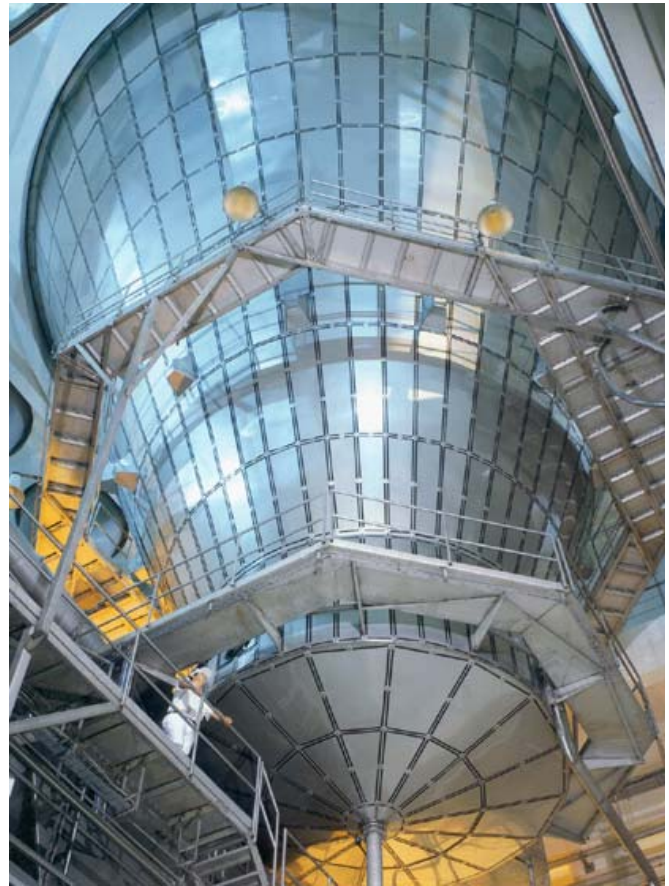


Conventional spray dryer (one-stage drying) with conical base chamber.

- 1 Drying chamber
- 2 Air heater
- 3 Milk concentrate tank
- 4 High pressure pump
- 5 Atomizer
- 6 Main cyclone
- 7 Transport system cyclone
- 8 Air suction fans and filters

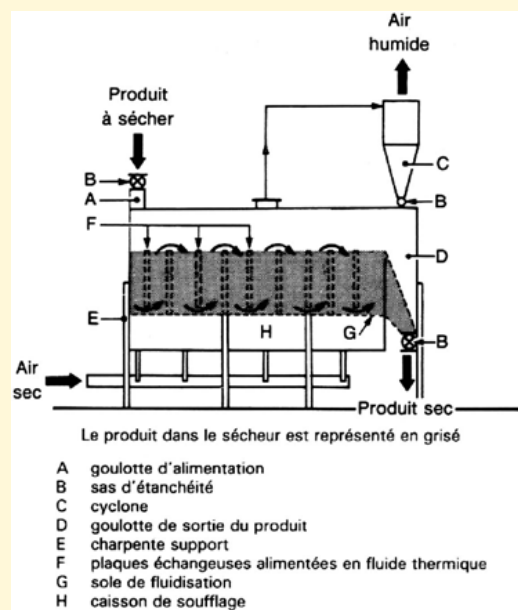
— Milk
— Air
— Powder

Atomiseur industriel !!!



Equipements — séchage

Fig. Exemple 4 : Sécheur à lit fluidisé avec échangeurs



Equipements — séchage

Sécheur à lit fluidisé



Vue extérieure

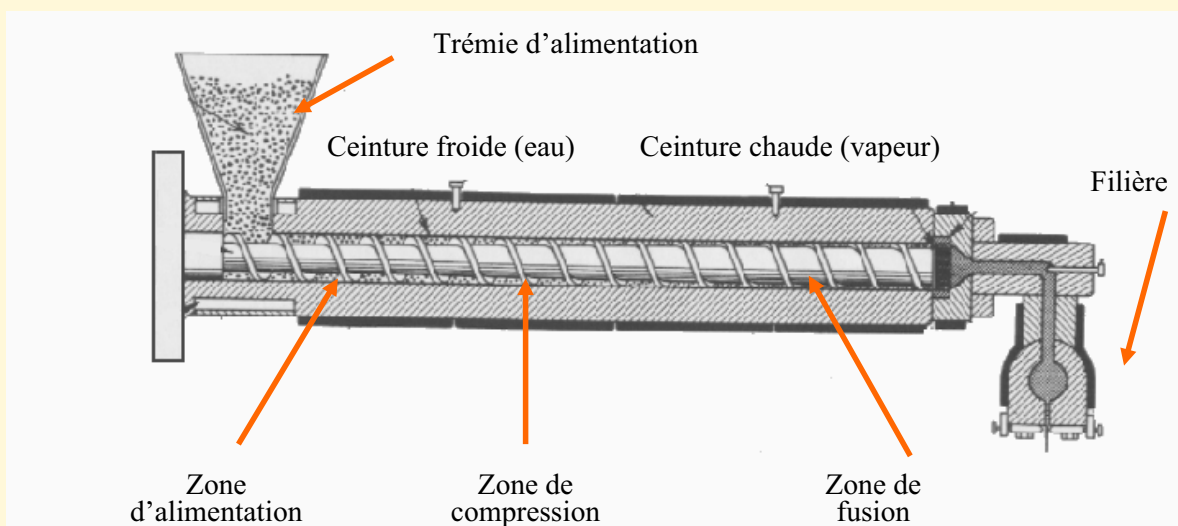


Vue intérieure

Images de Rabin Worldwide

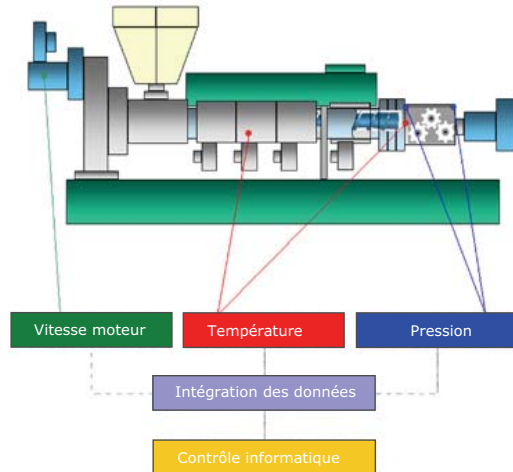
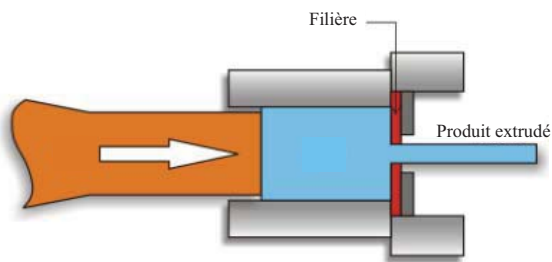
Cuisson-extrusion

Fig. Coupe d'un extrudeur monovis à noyau de vis croissant



Cuisson-extrusion

L'extrudeur



Cuisson-extrusion

Fig. Ensemble vis-fourreau (d'après Wenger)

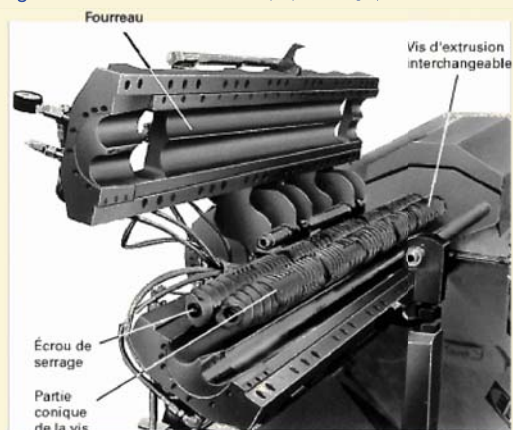
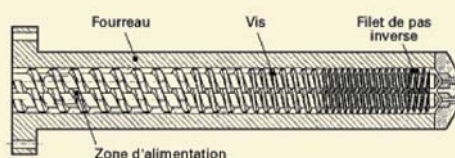


Fig. Coupe d'un extrudeur bivis (dessin A. Sire, INRA, Nantes)



Applications



© Techniques de l'ingénieur - 2004

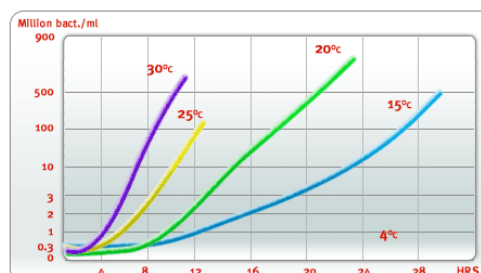
Tab. Exemples d'applications agroalimentaires de la cuisson-extrusion et analogie par rapport aux procédés traditionnels		
Secteur d'activité	Produits	Procédés traditionnels
Alimentation animale	Pet food (aliments pour animaux) Aliment poisson, crevette	Autoclave, four Presse, sécheur tambour
Amidon modifié	Amidon fluidifié Amidon réticulé	Cuve de réaction centrifuge Cuve de lavage, décanteuse
Boulangerie-biscuiterie	Pain plat Biscuit coextrudé Snack apéritif	Laminoir, four
Céréales pour le petit déjeuner	Pétale de céréale Céréale expansée	Jet cooker Maturateur/formeur, four
Confiserie	Chocolat Régisse Bonbon mou ⁽¹⁾ Chewing-gum ⁽¹⁾	Conche, malaxeur Cuiseur discontinu
Farine de céréale cuite	Aliment pour nourrisson Porridge ⁽¹⁾ Panure ⁽¹⁾ Petit déjeuner instantané Boisson instantanée	Sécheur cylindre Four de boulangerie
Préparations de pâte	Quenelle Pâte à choux ⁽¹⁾	Bac mélangeur Pétrin
Produits à base de protéines	Protéine végétale texturée Viande restructurée	Extrusion monovis Filage
Produits laitiers	Caséinates Fromage fondu	Tour d'atomisation Pétrin, réacteur agité
(1) Application non industrialisée.		



Le froid-maintien

Tab. Applications et performances de différents procédés pour la réfrigération et la congélation			
Procédé	Réfrigération (température > 0 C)	Congélation (température < 0 C)	Coefficients de transfert de chaleur (W/(m² · K))
Par air	Fruits, légumes Carcasses de viande	Tous produits	20 à 50 (tunnel à air pulsé) 60 (lit fluidisé)
Immersion (eau ou solution aqueuse)	Volailles Fruits et légumes Poissons	Poissons, crustacés	900
Cryogénie (azote liquide, neige carbonique)		Congélation flash Croûtage de produits	100
Par contact	Produits liquides (lait, etc.) Poissons (glace écaille)	Lait, jus de fruit Filets de poisson Purées de légumes	100

Tab. Températures minimales de croissance de certaines bactéries pathogènes	
Type de micro-organisme pathogène	Température minimale de croissance (°C)
<i>Listeria monocytogenes</i>	1
<i>Salmonella</i>	5 à 7
<i>Brochothrix thermosphacta</i>	- 0,8
<i>Clostridium botulinum</i>	3,3



Le froid-maintien

La chaîne du froid



Le froid-maintien

Tab. Températures de conservation des denrées alimentaires

Température	Catégories	Principaux produits concernés
- 18 °C		Glaces, crèmes glacées, sorbets Aliments surgelés
- 15 °C		Aliments congelés
0 à 2 °C sur glace fondante		Poissons, crustacés, mollusques autres que vivants
4 °C maximum	Aliments très périssables et dont l'absence de maîtrise de la température pendant une courte période peut présenter un risque microbien pour le consommateur, non stables à température ambiante	Denrées animales ou végétales cuites ou précuites, prêtes à l'emploi Préparations à base de denrées animales, abats, découpes de viandes, y compris sandwiches, salades composées Produits de la pêche saumurés Préparations à base de crème, d'œufs Lait cru, produits frais au lait cru Fromages découpés ou râpés Végétaux crus prédécoupés et leurs préparations Jus de fruits ou de légumes crus de pH supérieur à 4,5 Produits décongelés
8 °C maximum	Tout aliment périssable dont l'absence de la maîtrise de la température peut générer, pour le consommateur, un risque microbien moins immédiat.	Produits laitiers frais autres que laits pasteurisés Beurre et matières grasses Desserts lactés Desserts non stables à base de substituts de lait Produits stables à base de viande tranchée

Tab. Durée pratique de conservation de certains aliments réfrigérés ou congelés					
Denrées entreposées	Température (°C)	Durée d'entreposage	Denrées entreposées	Température (°C)	Durée d'entreposage
Viandes réfrigérées			Légumes et fruits réfrigérés		
Bœuf	– 0,5/+ 0,5	2 à 4 semaines	Carottes	– 1/+ 1	4 mois
Porc	– 2/– 1	1 à 2 semaines	Haricots verts	+ 2	3 à 4 semaines
Mouton	– 1/+ 1	1 à 3 semaines	Oignons	– 3/0	6 à 8 mois
Viandes congelées			Tomates mûres	0/+ 1	10/14 jours
Carcasses (bœuf)	– 18 °C	12 mois	Abricots	0/+ 1	4 à 6 semaines
	– 25 °C	18 mois	Bananes	+ 11,5	3 semaines
	– 30 °C	24 mois	Cerises	0/+ 1	3 à 4 semaines
Steaks emballés (bœuf)	– 18 °C	12 mois	Pêches	0/+ 1	4 à 6 semaines
	– 25 °C	18 mois	Pommes	– 1/+ 3	3 à 10 mois
	– 30 °C	24 mois	Légumes et fruits congelés		
Steaks hachés emballés (bœuf)	– 18 °C	10 mois	Carottes	– 18 °C	18 mois
	– 25 °C	> 12 mois		– 25 °C	24 mois
	– 30 °C	> 12 mois		– 30 °C	> 24 mois
Carcasses (porc)	– 18 °C	6 mois	Haricots verts	– 18 °C	15 mois
	– 25 °C	12 mois		– 25 °C	24 mois
	– 30 °C	15 mois		– 30 °C	> 24 mois
Poissons réfrigérés			Petits pois	– 18 °C	18 mois
Frais en glace	0/+ 1	5/10 jours		– 25 °C	> 24 mois
Morue salée	+ 2/+ 4	12 mois		– 30 °C	> 24 mois
Poissons congelés			Framboises et fraises (sans sucre)	– 18 °C	18 mois
Poissons gras	– 18 °C	4 mois		– 25 °C	> 24 mois
	– 25 °C	8 mois		– 30 °C	> 24 mois
	– 30 °C	12 mois	Produits laitiers		
Poissons maigres	– 18 °C	8 mois	Beurre	– 1/+ 4	< 6 semaines
	– 25 °C	18 mois	Beurre (longue durée)	– 14	3 mois
	– 30 °C	24 mois	Fromage à pâte molle	0/+ 2	2 à 6 mois
			Fromage à pâte pressée	0/+ 5	3 à 4 mois
			Fromage à pâte dure	+ 10/+ 12	2 à 6 mois

© Techniques de l'Ingénieur - 2004

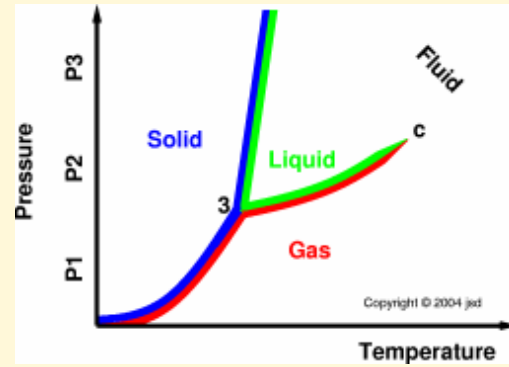
Tab. Consommation alimentaire moyenne en France par habitant (1995) des denrées conservées et commercialisées sous froid ⁽¹⁾		
Catégorie	Denrée	Consommation (en kg)
Viandes	Viandes fraîches	44,2
	Volailles, lapin, gibier	26,5
	Autres charcuteries et conserves de viande	14,7
Produits de la pêche	Poissons, crustacés	16,4
	Poissons et crustacés surgelés	4,1
	Conserves de poissons	4,8
Œufs ⁽²⁾		15,5
Produits laitiers	Laits liquides	74,4
	Yaourts	17,4
	Fromages	25,3
	Beurre	7,8
	Autres produits laitiers	11,5
Légumes	Légumes frais	89,7
	Pommes de terre	64,1
	Légumes surgelés	6,4
	Conserves de légumes	22,7
Fruits	Bananes et agrumes	21,5
	Autres fruits frais	46,2
	Fruits surgelés	0,04
	Produits divers à base de fruits	7,6
Plats cuisinés	Plats cuisinés surgelés	2,1
Sous total		522,94
Crèmes glacées ⁽³⁾		6,8
(1) Pour certaines catégories d'aliments, notamment les fruits, les légumes et les œufs, seule une partie des produits est commercialisée sous régime froid. (2) En France, les œufs ne sont pas soumis à obligation de réfrigération pendant le transport et la distribution. (3) En litres.		

Tab. Évolution de la consommation des produits réfrigérés et surgelés en France entre 1980 et 1995 (en kg par habitant)		
Denrée	Année	
	1980	1995
Bœuf	19,2	16,7
Veau	5,5	4,1
Volailles	19,3	22,6
Poissons, crustacés, coquillages	12,8	16,4
Poissons et crustacés surgelés	2,5	4,2
Yaourts	8,7	17,4
Desserts lactés frais	3,0	7,4
Crèmes glacées	3,5 ⁽¹⁾	6,8 ⁽¹⁾
Crème fraîche	1,6	4,1
Légumes surgelés	1,9	6,4
Avocats	0,4	1,3
Plats cuisinés surgelés	0,4	2,1
(1) en litres.		

La lyophilisation

Principe

Fig. Diagramme d'état de l'eau pure et d'une solution contenant un soluté

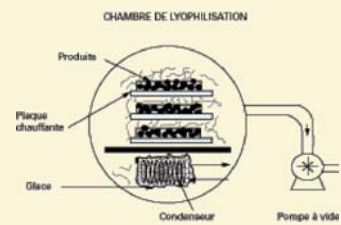


© Techniques de l'Ingénieur - 2004

La lyophilisation

Équipement - Lyophilisateur

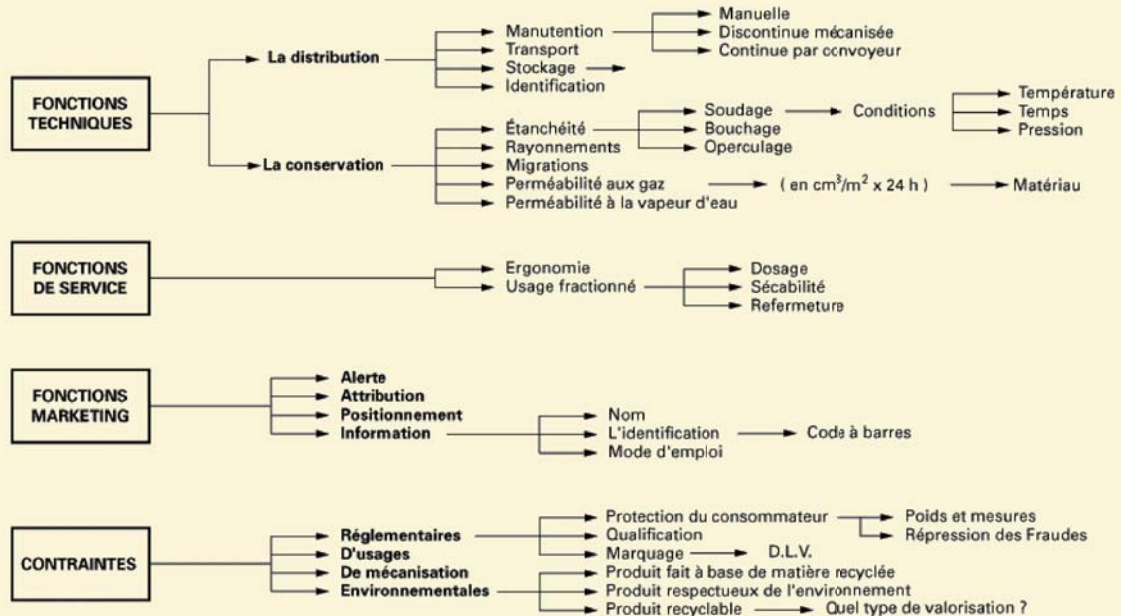
Fig. Équipement de lyophilisation



Lyophilisateur pilote

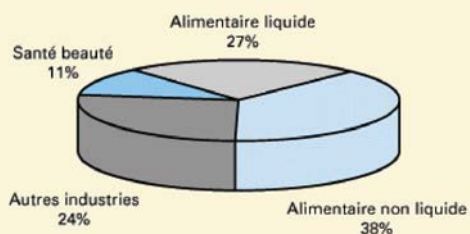
Emballage et conditionnement

Fig. Les fonctions de l'emballage



Emballage et conditionnement

Fig. Répartition des emballages par secteurs utilisateurs



Emballage et conditionnement

Fig. Catégories d'emballages

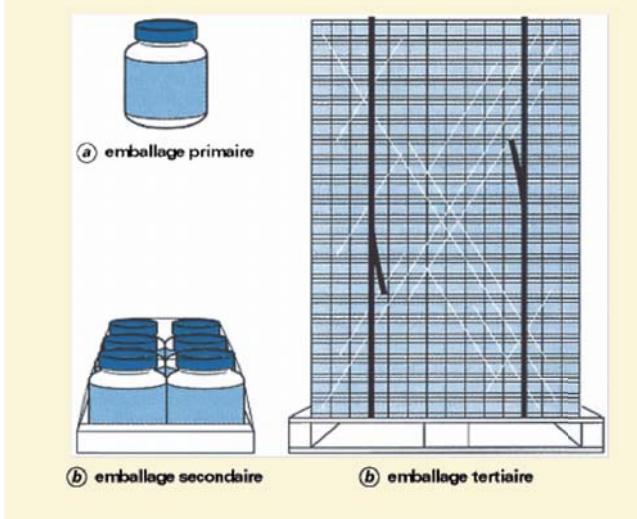


Fig. Pictogrammes de manutention et de précaution



Emballage et conditionnement

Fig. Exemples d'emballages



Emballage et conditionnement

Fig. Systèmes de bouchage

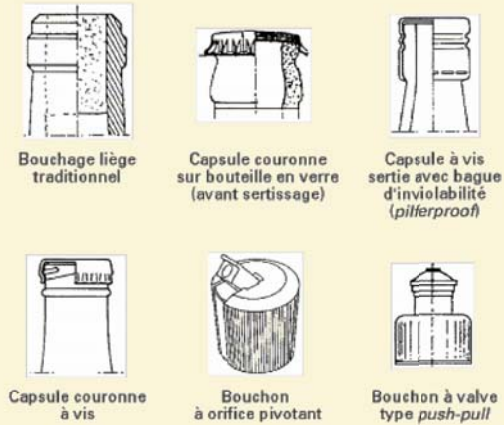
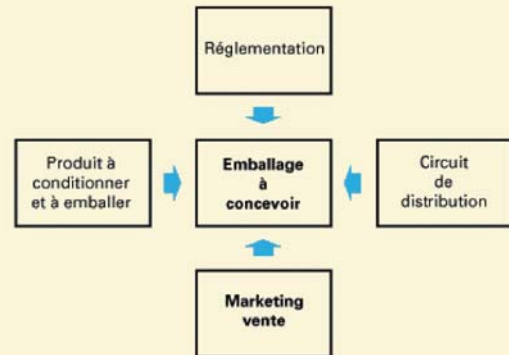


Fig. Choix de l'emballage et passages obligés



Détériorations et altérations

Tableau - Classes de sensibilité des produits alimentaires (effet combiné pH & aw)			
Classe	pH	Activité de l'eau	Température de conservation
Très périssable	> 5,2	> 0,95	≤ 5,0
Périssable	Entre 5 et 5,2		≤ 10,0
		Entre 0,90 et 0,95	≤ 10,0
Stable	≤ 5,2	≤ 0,95	Pas de réfrigération
	< 5		Pas de réfrigération
		< 0,90	Pas de réfrigération
Très stable	< 4,5		Pas de réfrigération
		< 0,90	Pas de réfrigération
	< 5,2	< 0,95	Pas de réfrigération

Détériorations et altérations

La sensibilité dépend de la gamme de produits

Tableau - Gammes de produits		
Gamme	Principe	Produit
1 ^{re} gamme	Conservation à température ambiante ou en réfrigération T>0°C	Produits crus : fruits, légumes, viandes, poissons
2 ^e gamme	Pasteurisation, stérilisation	Tous produits (cuisinés ou non)
3 ^e gamme	Surgélation (conservation au froid négatif)	Tous produits (cuisinés ou non)
4 ^e gamme	Conservation en réfrigération T>0°C en atmosphère conditionnée ou non	Produits végétaux crus (exemple : salades) prêts à l'emploi
5 ^e gamme	Conservation en réfrigération T>0°C	Produits animaux et végétaux cuisinés et cuits
6 ^e gamme	Séchage	Soupes et plats cuisinés
		Aliments à humidité intermédiaire

© Techniques de l'Ingénieur - 2004

Tableau - Modifications des propriétés des constituants alimentaires			
Propriétés concernées	Domaine concerné	Action	Propriétés sensorielles
Propriétés physiques et technofonctionnelles	Stabilité de solution	Solubilité, viscosité, coagulation, gélification, émulsification et moussage	Texture et saveur
	Rhéologie des produits solides et pulvérulents	–	Texture
	Propriétés optiques	Coloration, décoloration, brunissement	Couleur
		Translucidité, opalescence	Aspect
	Volatilité des molécules	–	Arôme
Propriétés chimiques	pH, acidité, potentiel redox	Stabilité, dépolymérisations et hydrolyses	Saveur
	Sensibilité aux enzymes (protéases)	Stabilité, dépolymérisation et hydrolyse	Texture, arôme
	Sensibilité aux réactions de Maillard	Polymérisations	Couleur, arôme, propriétés nutritionnelles
	Sensibilité aux oxydations	Polymérisations, stabilité	Couleur, pertes de vitamines, d'acides aminés Produits toxiques
Propriétés biologiques	Présence de micro-organismes ou d'enzymes de dégradation	Dépolymérisations et dégradations de constituants	Propriétés hygiéniques, sécurité, goût

© Techniques de l'Ingénieur - 2004

Tableau - Hydrolyse de disaccharides et d'oligosaccharides			
Saccharide	Structure	Produits d'hydrolyse	Enzyme
α -Lactose	galactosyl-(β -1-4)-fructose	β -galactose α -glucose	lactase (β -galactosidase)
Maltose	glucosyl-(α -1-4)-glucose	α -glucose	maltase
Saccharose	glucosyl-(β -1-2)-fructose	α -glucose β -fructose	invertase (β -fructosidase)
Raffinose	galactosyl-(α -1-6)-glucosyl-(β -1-2)-fructose	α -galactose saccharose	mélibiase

Figure - Hydrolyse acido-catalysée des maltoses

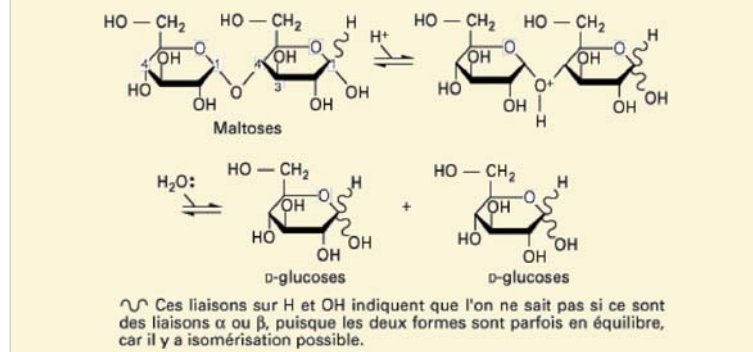


Tableau - Hydrolyse des polysaccharides			
Polysaccharide	Liaisons rompues	Produits d'hydrolyse	Enzyme
Amylose	$\alpha 1 \rightarrow 4$	Dextrines linéaires	α -amylase
Amylopectine	$\alpha 1 \rightarrow 4$	Dextrines linéaires Dextrines ramifiées (limite)	α -amylase
Amylose et amylopectine	$\alpha 1 \rightarrow 4$	Maltose + dextrines	β -amylase
Amylopectine	$\alpha 1 \rightarrow 6$	Dextrines linéaires	Pullulanase
Amylose et amylopectine	$\alpha 1 \rightarrow 4$	Glucose + dextrines	α -glucosidase
Cellulose	$\beta 1 \rightarrow 4$	β -glucose + β -glucane	Cellulase
Lichénane	$\beta 1 \rightarrow 3$	Unités de cellotriose	α -glucanase
Chitine	$\beta 1 \rightarrow 4$	N-acétylglucosamine	Chitinase
Pectine	Ester méthylrique	Méthanol + acide polygalacturonique	Méthylestérase
	$\alpha 1 \rightarrow 4$	Acide galacturonique $\pm$ méthylé	Polygalacturonase

Figure - Structure des ramifications dans une molécule d'amylopectine

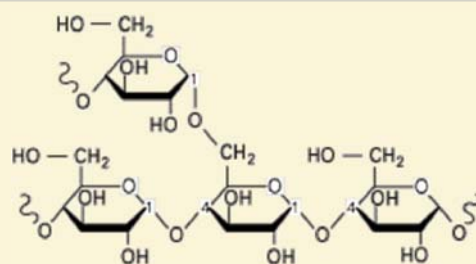


Figure - Réactions de dégradation enzymatique des pectines

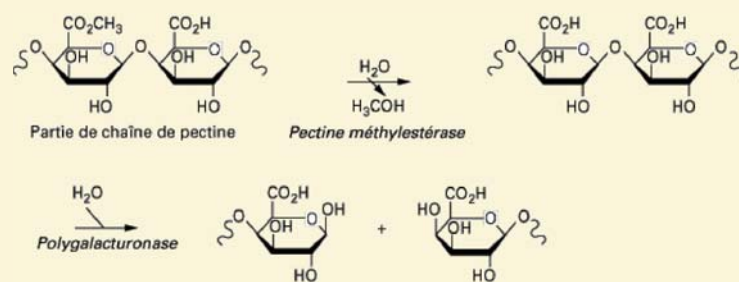


Figure - Hydrolyses d'un triglycéride

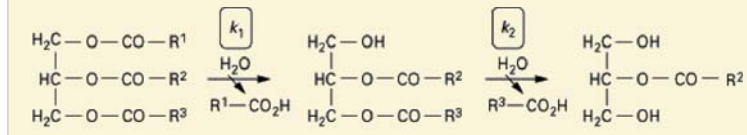


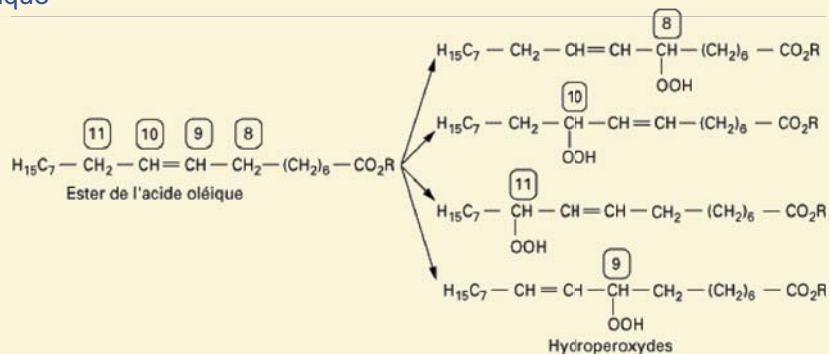
Tableau - Agents dissociants et dénaturants de protéines

Liaisons ou interactions rompues	Agents dissociants
Liaisons hydrogène	Urée, chauffage
Interactions hydrophobes	Solvants hydrophobes organiques, refroidissement, émulsifiants (SDS)
Interactions ioniques	Complexants de cations, variations de pH, fortes concentrations en sels
Ponts disulfure	Chauffage, réducteurs

© Techniques de l'Ingénieur - 2004

Oxydation des lipides insaturés

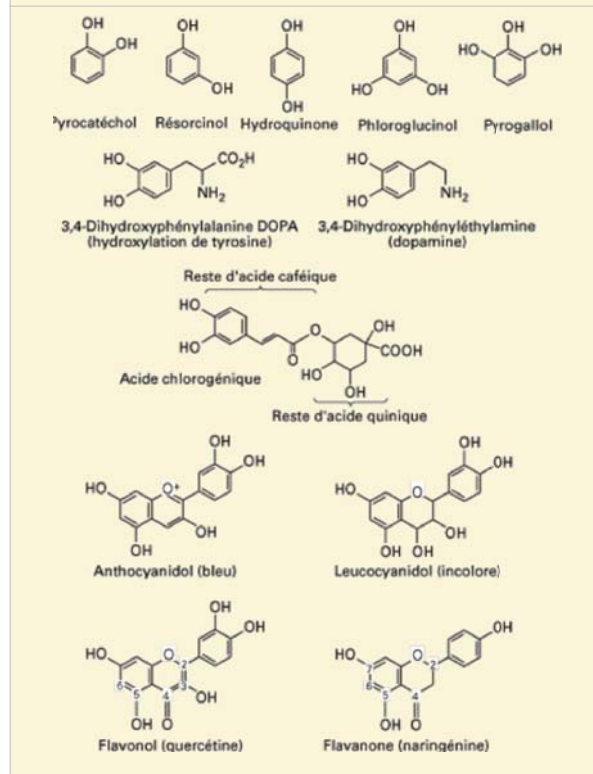
Figure -Action d'un radical, puis de l'oxygène, sur un dérivé de l'acide oléique



© Techniques de l'Ingénieur - 2004

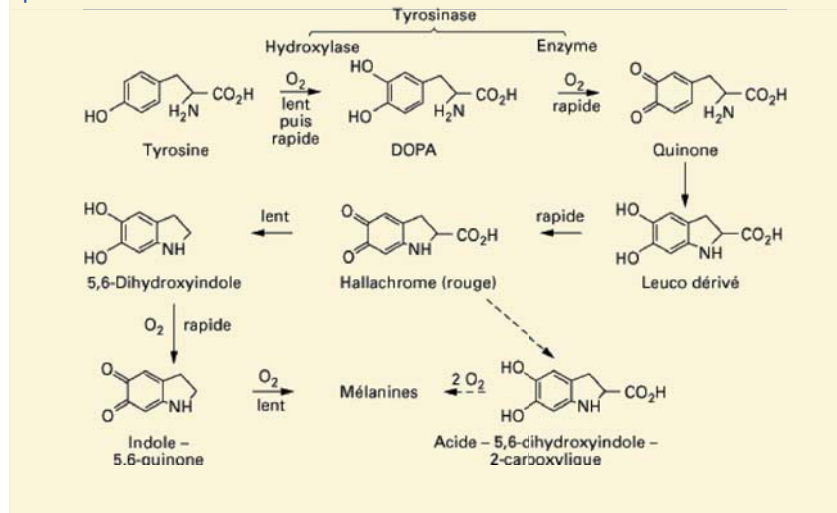
Oxydation des polyphénols

Figure -Substrats d'oxydation enzymatique



Oxydation des polyphénols

Figure -Formation de mélanines par oxydation de la tyrosine par la phénolase



Etapes des réactions de Maillard

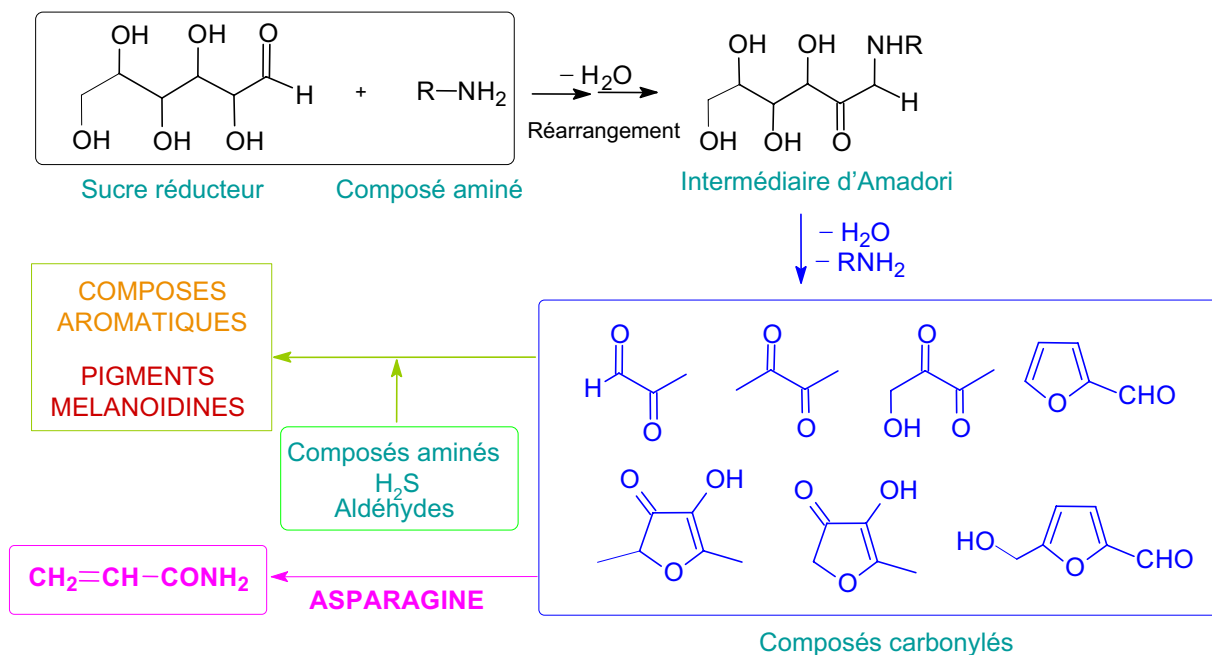
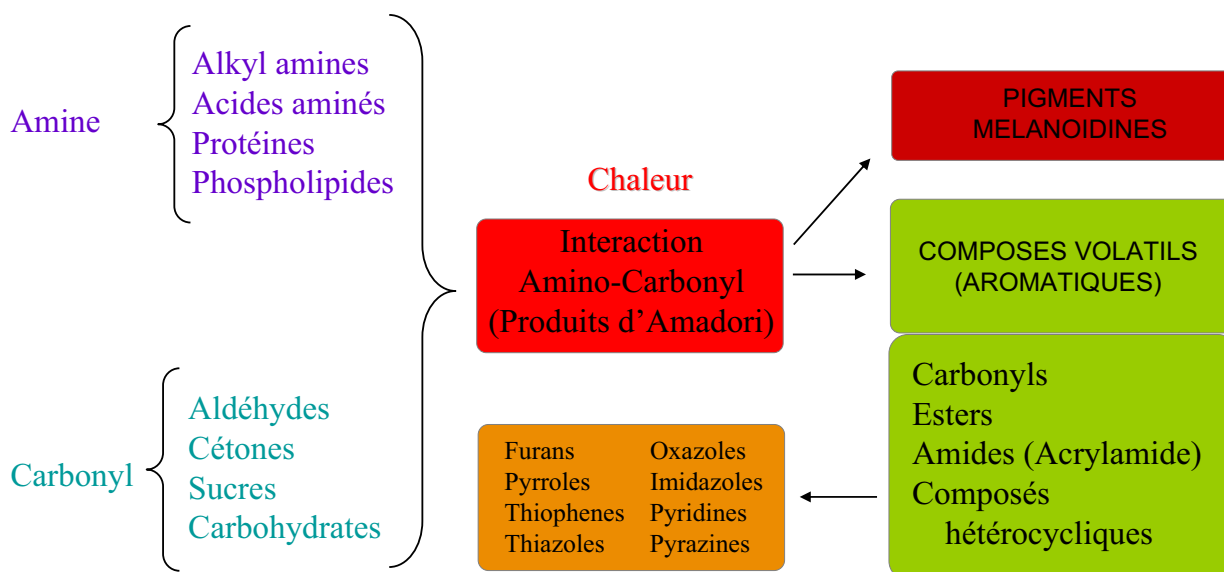
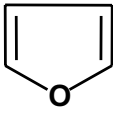
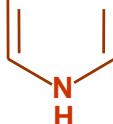
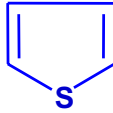
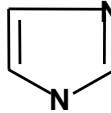
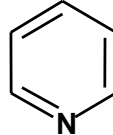
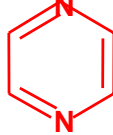
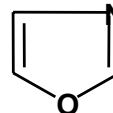


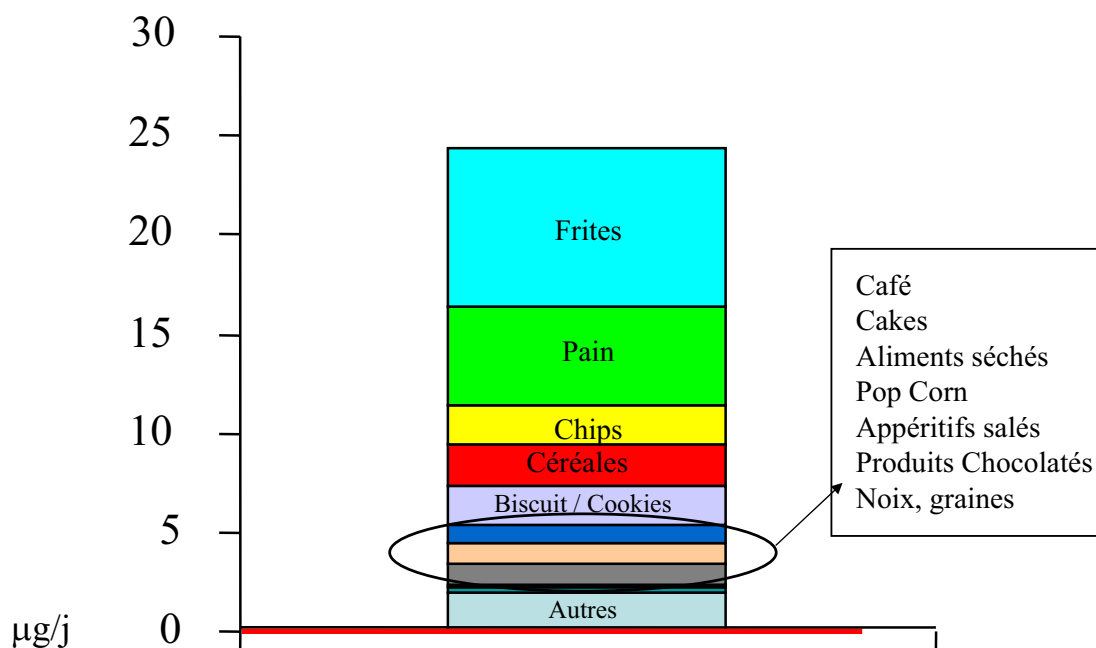
Schéma général des réactions de brunissement



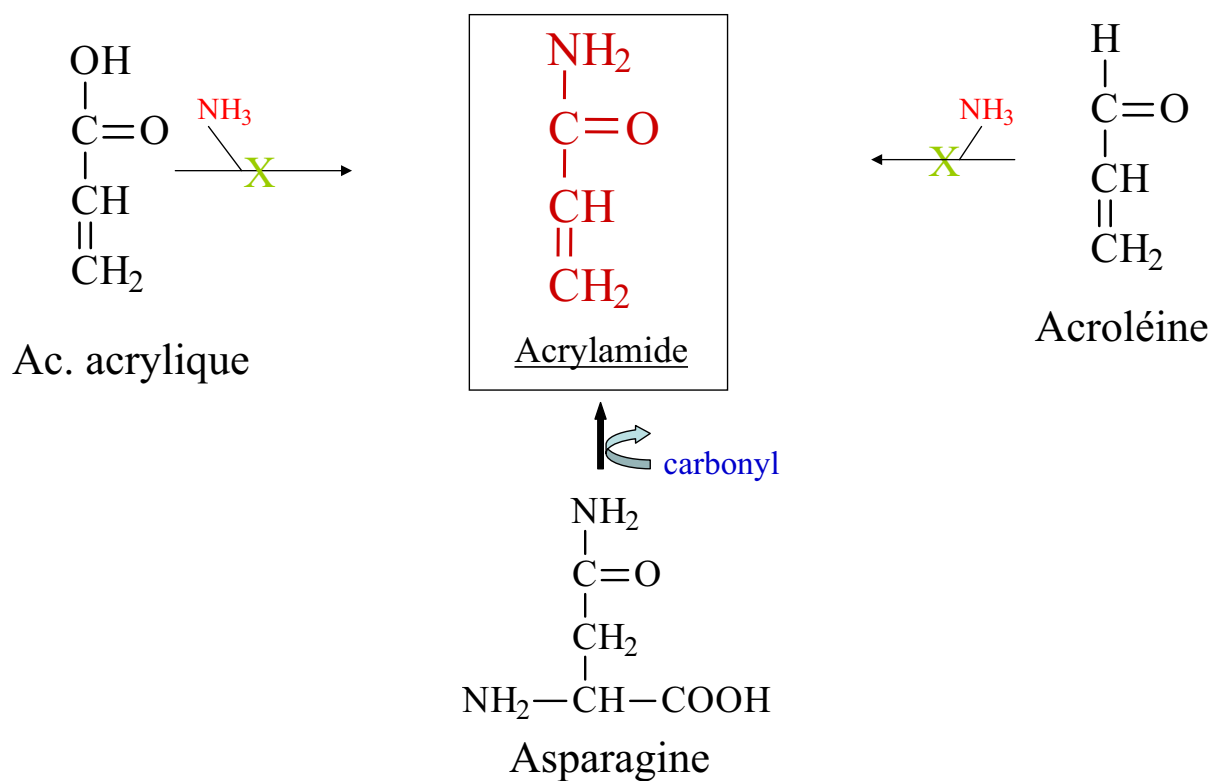
Composés hétérocycliques et leurs arômes/goûts typiques

Composés désirables				Composés indésirables
Furane  Sucré Caramel	Pyrrole  Sucré Éthéré; Brûlé	Thiophene  Oignon Soufré		Imidazole  Piquant Mauvais goût
Thiazole  Viande cuite Soufré	Pyridine  Piquant Fumée Poisson	Pyrazine  Viande grillée Rôti	Oxazole  Sucré Rôti	(Acrylamide ?)

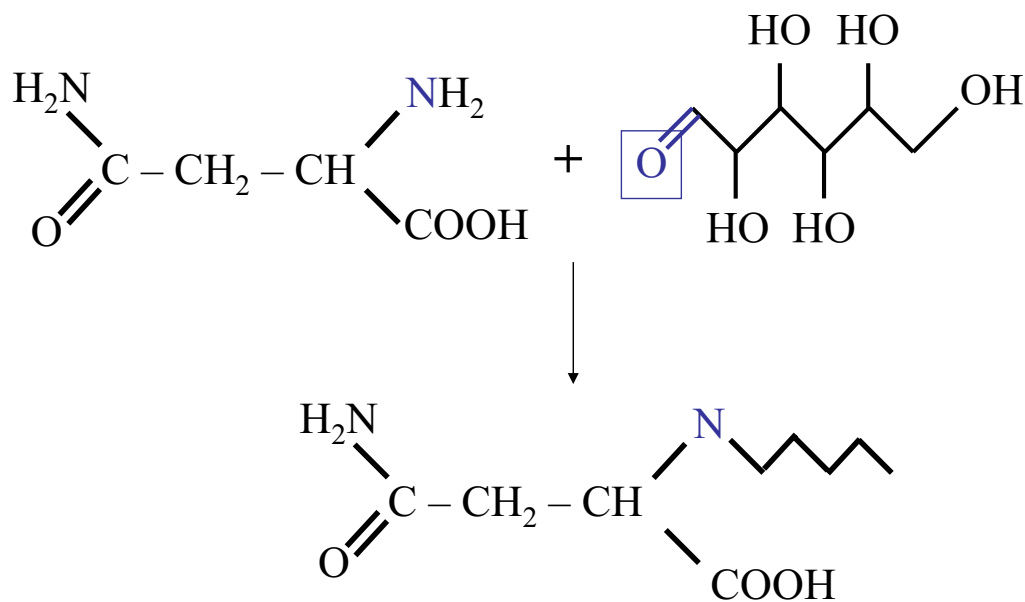
Exposition moyenne à l'acrylamide



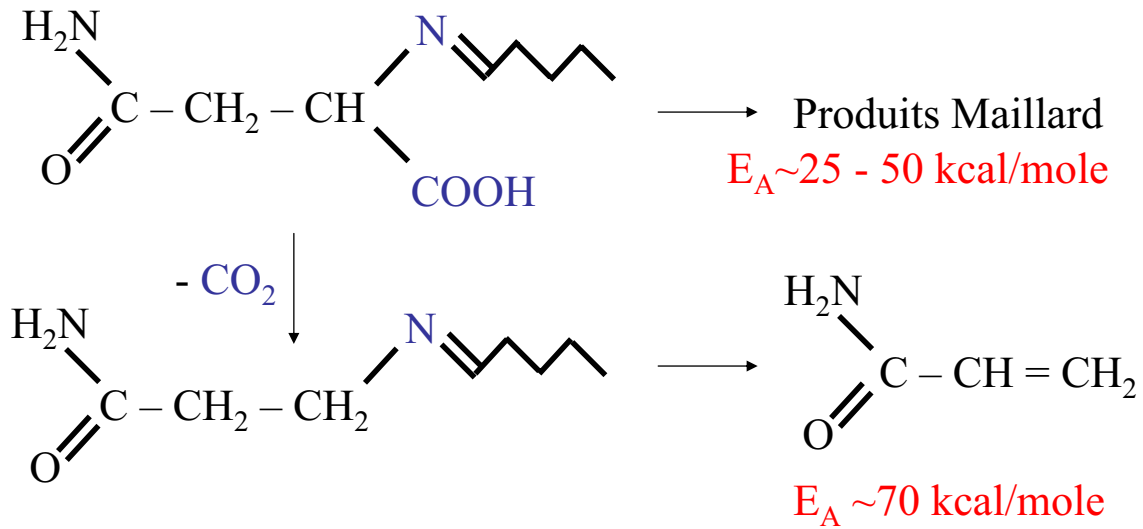
Mécanisme possible de formation de l'acrylamide



Mécanisme possible de formation de l'acrylamide à partir de l'Asn



*Mécanisme possible de formation de l'acrylamide
à partir de l'Asn*



La Cuisson

Tableau - Modifications des composantes de l'aliment à la cuisson et changements organoleptiques correspondant

Produit	Phénomène intervenant au cours de la cuisson	Impact sur les qualités organoleptiques
Viandes et poissons	Gélification des protéines (collagène) Auto-oxydation des lipides Libération de nucléotides solubles Réaction de Maillard Dénaturation de la myoglobine	Amélioration de la texture (tendreté) Genèse des composés de saveur, d'odeur et d'arôme Changement de la couleur de la viande
Produits amylacés (produits céréaliers, pommes de terre, manioc, etc.)	Gélatinisation de l'amidon et autres polysaccharides	Changement de la texture
Matières grasses	Oxydations des acides gras insaturés et des composés isoprénoïdes (stérols, caroténoïdes...)	Rancissement, genèse de produits aromatiques désagréables, genèse de composés polycycliques ou de polymères d'acides gras, etc.

Tableau - Réactions biochimiques impliquées dans les transformations des aliments : incidence sur les propriétés ⁽¹⁾

Réactions biochimiques		Modifications des propriétés de l'aliment	Processus technologique ou de conservation responsable	Exemples de transformations de produits
Réaction initiale	Influence sur autres réactions			
Réactions de scission				
Hydrolyse des glucides	Groupes réducteurs qui réagissent avec amines	Textures, goût sucré, couleur	Cuisson, brassage, fermentation	• Pain, bière : production de sucres fermentescibles • Amidon : production de sirop de glucose
Hydrolyse des lipides (lipolyse)	Acides gras très réactifs et oxydables	Texture, rancissement, acidité	Mauvaise conservation, maturations et affinage	• Rancissement du beurre, affinage des fromages : production d'arômes
Hydrolyse des protéines	Acides aminés très réactifs avec les glucides (réaction de Maillard)	Texture, goûts, digestibilité, coagulation	Affinage, maturation, irradiation	• Fromages : production de caillé, affinage • Viandes : maturation, production de protéolysats (sauces)
Dégradation des acides aminés	Composés carbonylés et aminés réactifs, P et S libérés (H ₂ S)	Odeurs, saveurs Toxicité	Mauvaise conservation, affinage	• Affinage de fromages, marinade de viandes : production d'arômes
Dénaturation des protéines	Groupes thiols actifs → polymérisation	Digestibilité, solubilité Activités enzymatiques détruites	Traitements thermiques, chimiques, radiations	• Gélification des protéines (lait, viande) par cuisson • Production d'isolats protéiques (protéines sériques)
Réactions d'oxydation				
Oxydation des lipides et des protéines	Composés carbonylés très réactifs avec protéines Autocatalyse	Odeur, saveurs Toxicité	Traitements thermiques, radiations UV Ionisation	• Rancidité oxydative des graisses insaturées • Dégradation des huiles de friture • Polymérisation des protéines du gluten (panification)
Oxydation des polyphénols	Quinones très réactives → mélanines	Brunissement enzymatique, goût	Cuisson, radiation, traitements mécaniques	• Brunissement des végétaux au cours d'épluchage ou de broyage (pomme de terre)

Tableau V-3 - Réactions biochimiques impliquées dans les transformations des aliments : incidence sur les propriétés ⁽¹⁾

Réactions biochimiques		Modifications des propriétés de l'aliment	Processus technologique ou de conservation responsable	Exemples de transformations de produits
Réaction initiale	Influence sur autres réactions			
Réactions de condensation				
Protéine-protéine	Perte de propriétés fonctionnelles	Perte de valeur nutritive	Traitements thermiques, alcalins	• Thermocoagulation des protéines au cours d'opérations de cuisson, appertisation
Protéine-lipide	Radicaux libres	Perte de solubilité	Traitements thermiques, alcalins	• Mauvaise conservation des poudres de lait non écrémé
Protéine-nitrite	Nitrosamines	Toxicité	Traitements thermiques, alcalins + pH acide	• Salaisons : couleur rose ou rouge
Protéine-glucide (Maillard)	Réaction de Strecker	Brunissement non enzymatique Arômes, texture	Traitement thermique	• Brunissement et arômes apparus lors de cuisson ou conservation de produits semi-humides ou déshydratés (pain, viande, lait)
Protéine-minéraux		Stabilité	Contaminations	• Thermogélification des protéines de soja en présence de calcium
Glucide-glucide	Caramélisation	Toxicité Saveur	Traitements acides ou alcalins et thermiques	• Production de caramel en confiserie
Lipide-lipide		Arômes, saveur	Traitements thermiques, alcalins	• Fritures
Réactions d'isomérisation				
des lipides	Formation d'autres lipides	Texture	Interestérification Chauffage	• Production de lipides interestérifiés (modification du point de fusion)
des acides gras		Baisse de valeur nutritive	Hydrogénation	• Production de lipides hydrogénés (accroissement du point de fusion des huiles)
des acides aminés	(Lys, Ile, Thr)		Traitements alcalins	• Traitement de destruction des aflatoxines de tourteaux d'arachide
Dégradation des pigments				
Dégradation	Processus divers	Coloration modifiée Toxicité	Traitements thermiques, radiations	• Altération de la couleur par oxydation (caroténoïdes, anthocyanes, chlorophylles) ou par cuisson

(1) Relations entre processus biochimiques, les propriétés de l'aliment qui en résultent et la cause technologique