

INTRODUCTION A LA TECHNOLOGIE ALIMENTAIRE

Formation ONSSA

Casablanca

8-9 Octobre 2013

**Prof. A. TANTAOUI
ELARAKI**

Objectifs

- acquérir des notions de base en Technologie Alimentaire ;
 - appréhender l'importance des Bonnes Pratiques de Fabrication ;
 - saisir le lien entre les pratiques technologiques et la qualité des produits alimentaires transformés, notamment sous l'angle de la sécurité sanitaire.
-

L'animateur

- Professeur de l'Enseignement Supérieur (grade C)
 - Spécialité: Microbiologie et Hygiène Alimentaires et Biotechnologie
 - Ex. professeur à l'IAV Hassan II (Rabat)
 - Professeur et directeur de SUP'AGRO (Ecole Supérieure de l'Agroalimentaire), Casablanca
 - Ex. Directeur du CETIA (Centre Technique de l'Industrie Alimentaire), Casablanca
 - Président de la Société Marocaine de Mycotoxicologie (créée en 2011)
-

Démarche pédagogique:

- Exposés de l'animateur avec Data Show
 - Support papier distribué
 - Discussion (**privilégiée**)
 - Évaluation à chaud de l'animateur
 - Évaluation des participants
-

Plan général de la formation

1. Chapitre introductif
 2. Les intrants des IAA
 3. Technologies de Stabilisation et de Conservation
 4. Technologies de Biosynthèse et de Fermentation
 5. Technologies d'Extraction et de Séparation
-

1- CHAPITRE INTRODUCTIF

1.1- Définitions

1.2- Délimitation du domaine d'intérêt de la Technologie Alimentaire

1.3- Classification des IAA

1.4- Intrants et produits des IAA

1.5- Organisation générale d'une unité IAA

1.1- Définitions

- Technologie
- Procédés de fabrication (diagramme de fabrication; chaîne de fabrication)
- Opérations Unitaires
- Notion de transformation
- Notion de processus

❖ Technologie

« science des arts et métiers en général »
(Larousse)

Plus généralement:

- procédés de fabrication et leur étude;
 - moyens techniques basés sur un savoir-faire
-

Procédé de fabrication

succession d'opérations (traitements) appliqués à une ou plusieurs matières (premières) pour l'obtention d'un ou plusieurs produits (finis)

Selon les quantités traitées:

- Procédé industriel
- Procédé semi-industriel
- Procédé artisanal
- Procédé domestique

Selon le degré de mécanisation:

- Procédé automatique
- Procédé semi-automatique
- Procédé manuel

❖ Diagramme de fabrication

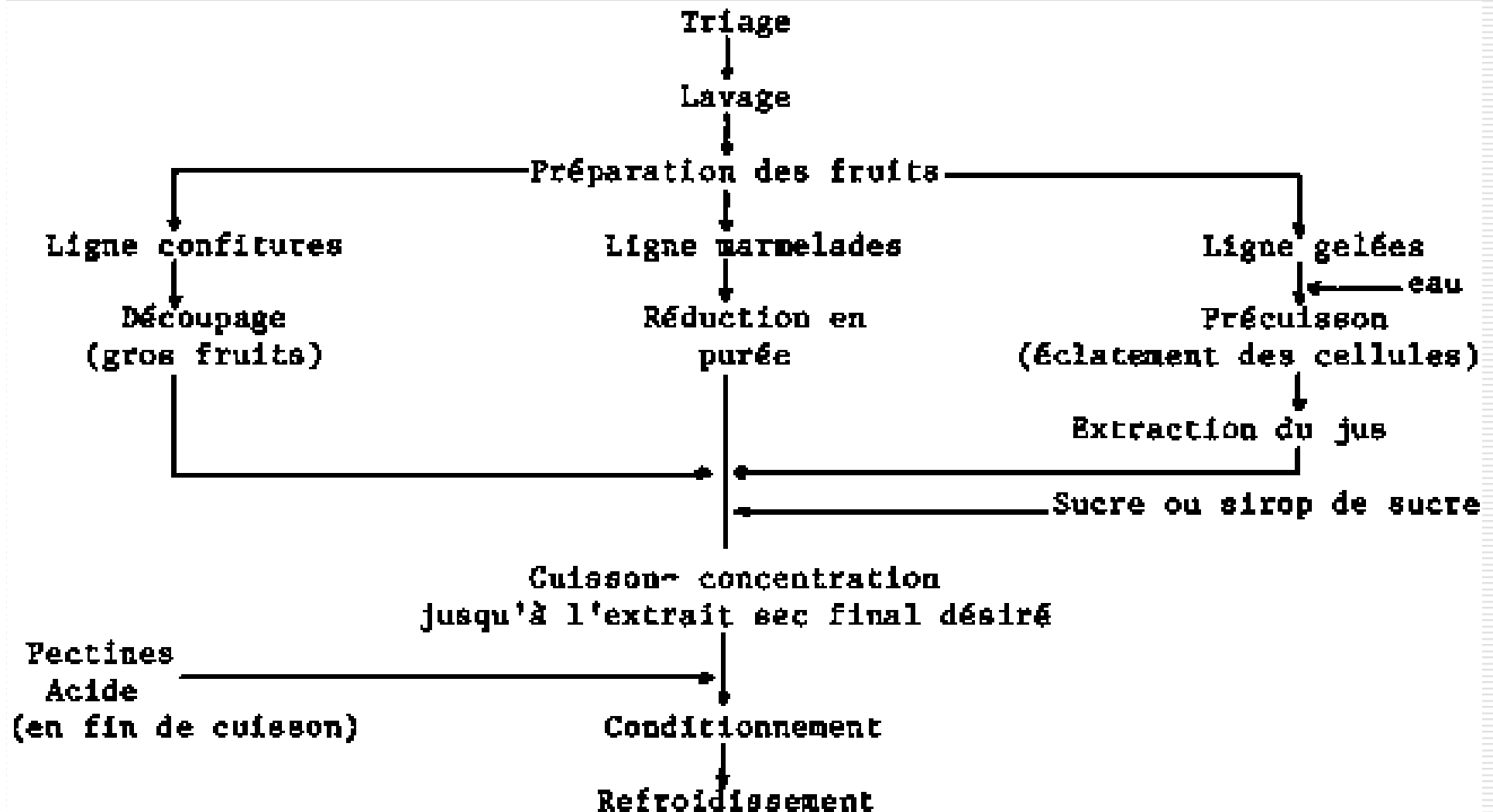
représentation schématique du procédé de fabrication avec, le plus précisément possible:

- la nature des produits: matières premières, produits intermédiaires, produits finis;
 - la nature des opérations (traitements) à chaque étape;
-

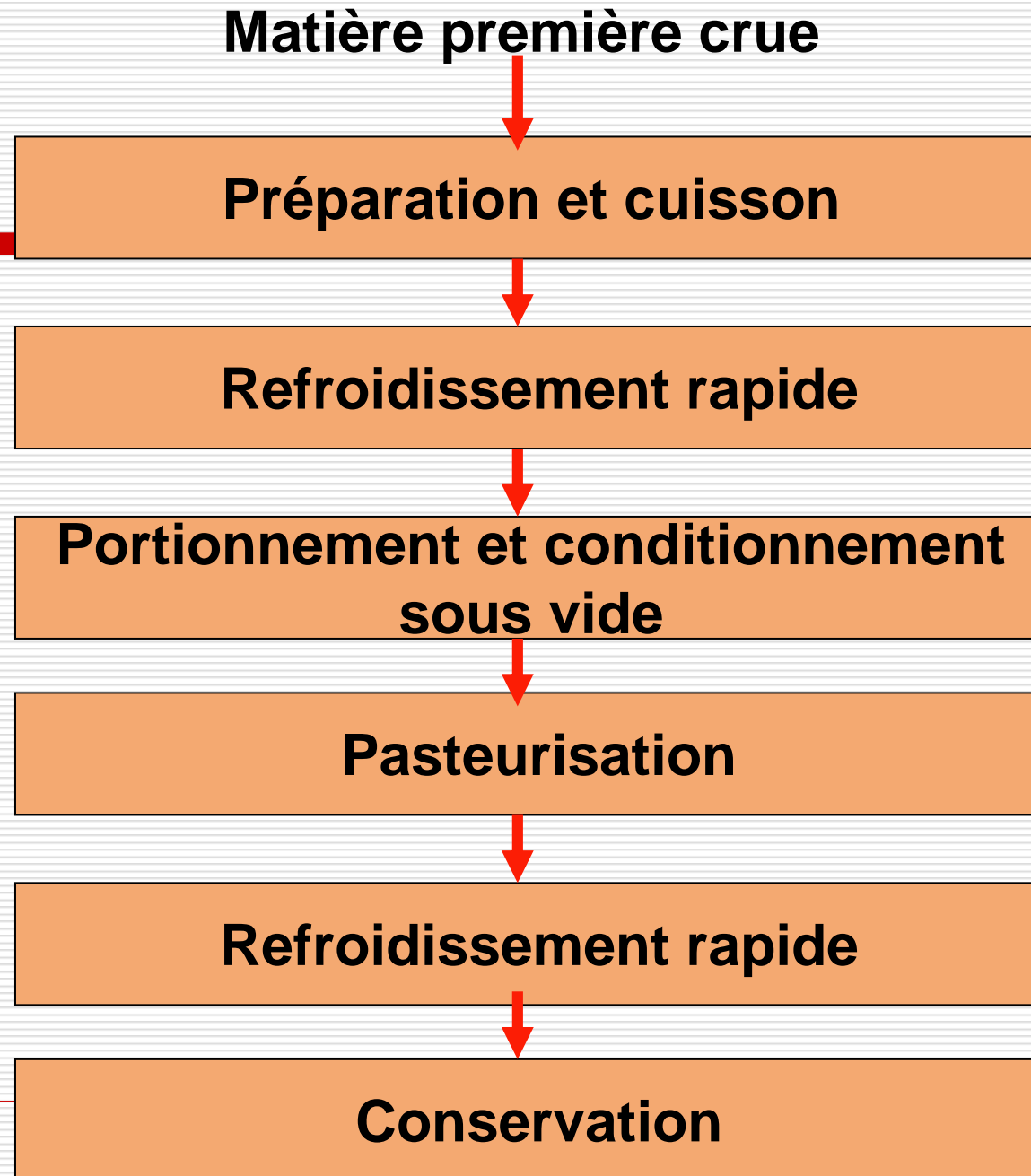
❖ Diagramme de fabrication (suite)

- *si possible*, les conditions de réalisation des opérations;
 - *si possible*, les contrôles effectués à chaque étape
-

Exemple 1: diagramme de fabrication de confitures, de marmelades et de gelées des fruits



Exemple 2:
diagramme
de
fabrication
de plats
cuits et
emballés
sous vide



Matière première crue

Préparation et cuisson
(selon recette)

Refroidissement rapide
(température Interne +4°C en moins de 120 min)

Portionnement et conditionnement sous vide
(machine à vide, emballage sachet ou barquette)

Pasteurisation
(85°C, 10 min)

Refroidissement rapide
(air ou eau)

Conservation
(température maximale: +4°C)

Exemple 2':
le même
diagramme
avec
précision de
quelques
données

❖ Chaîne de fabrication:

succession des machines et des équipements nécessaires à la réalisation des étapes successives d'un procédé de fabrication

Une chaîne de fabrication peut être automatique, semi-automatique ou manuelle

❖ Chaîne de fabrication:

Exemples:

- chaîne de fabrication de conserves de thon;
 - chaîne de raffinage des huiles de table;
 - chaîne de séchage de la tomate;
 - chaîne de surgélation de filets de sole.
-

❖ Poste de fabrication

Chaque étape de la chaîne de fabrication correspond à un poste de fabrication

Un poste occupe un espace bien déterminé (séparé ou non physiquement des autres postes) et emploie un équipement spécifique

Exemples:

- ✓ poste de pasteurisation du lait
 - ✓ poste de neutralisation des huiles
-

❖ **Notion de transformation**

- Transformation: ensemble des modifications appliquées à une (ou plusieurs) matière(s) première(s) pour déboucher sur un (ou plusieurs) produit(s) fini(s) ou semi-fini(s)

 - Une même transformation peut être réalisée par différents procédés
-

❖ Notion de transformation (suite)

- Une transformation est plus ou moins profonde selon le degré de similitude entre la matière première et le produit fini
-

Morceaux de sucre



Betterave sucrière



Orange brute



**Orange après passage
par une station
d'emballage et de
conditionnement**

Chaque transformation exige une ou plusieurs opérations unitaires

❖ Opération unitaire

opération correspondant généralement à un poste de fabrication où il est réalisé:

- un traitement bien déterminé visant
 - un objectif précis et aboutissant à
 - un résultat mesurable
-

□ Exemples d 'opérations unitaires

1 Traitement thermique d'un aliment

- objectif: destruction des micro-organismes;
- résultat: diminution du nombre de micro-organismes vivants par ml ou par g de produit

2 Extraction de l 'huile à partir de graines oléagineuses

- objectif: obtention d 'huile brute;
- résultat: rendement (%) d 'extraction

3 Séchage d 'un produit

- objectif: élimination de l 'eau;
 - résultat: taux d 'humidité finale du produit
-

❖ Notion de processus

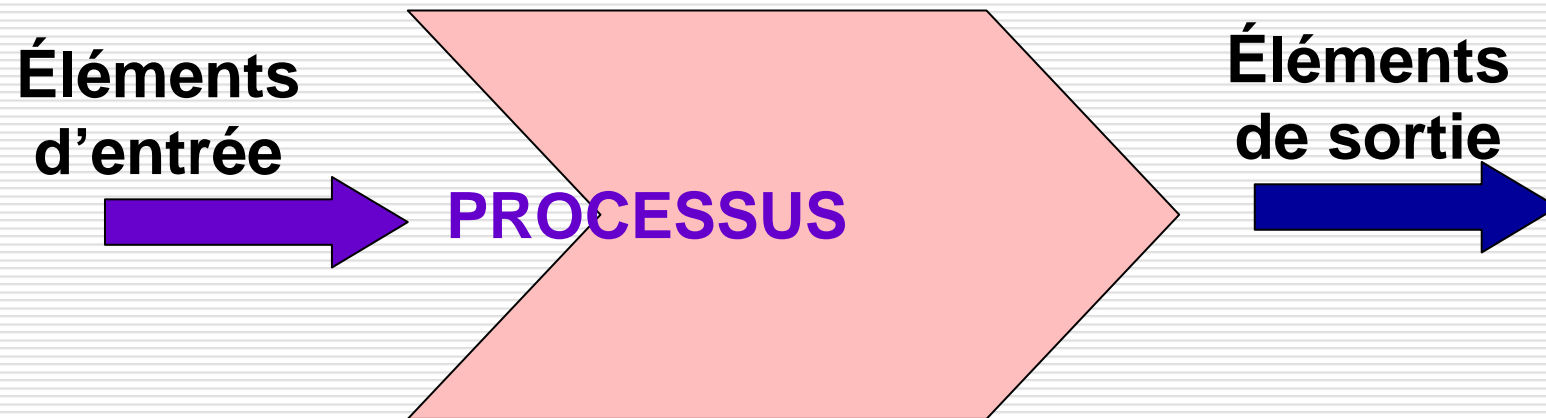
la notion de processus suppose:

- des éléments d'entrée mesurables
- des éléments de sortie mesurables
- une valeur ajoutée
- un caractère reproductible

Processus:

**ensemble
d'activités
corrélées
transformant
des éléments
d'entrée en
éléments de
sortie**

représentation schématique d'un processus



Notion de processus (suite)

- Un processus peut être simple (élémentaire) ou complexe

- Un processus complexe se décompose en une succession de processus simples, les éléments de sortie de l'un servant totalement ou partiellement d'éléments d'entrée pour l'autre

Notion
de
**client
interne**

1.2- Délimitation du domaine d'intérêt de la technologie alimentaire

- ❖ Conception ancienne
- ❖ Conception moderne

Conception ancienne

➤ **Début:** obtention de la matière première destinée à la transformation (récolte, abattage, traite, capture, etc.)

Toute opération ultérieure, même très simple, est considérée comme un traitement technologique (exemples: entreposage, conditionnement ou emballage, etc.)

➤ **Fin:** expédition des produits finis (sortie unité)

Conception moderne

les nouveaux concepts de Management de la Qualité obligent à étendre le domaine d'intérêt de l'agro-alimentaire:

- **en amont:** aux conditions de production à la ferme des produits végétaux ou animaux, aux techniques de pêche, etc.
 - **en aval:** à la distribution, entreposage, manutention, etc. et jusqu'à la consommation
-

1.3- Classification des industries agro-alimentaires

- ❖ Classification sectorielle
- ❖ Classification par type dominant de technologie
- ❖ Classification juridique

❖ Classification sectorielle:

- par type de produit transformé (industrie laitière)
- par type de produit fabriqué (industrie sucrière)
- Subdivisions possibles:

Exemple: dans l'industrie sucrière: sucrerie et raffinerie.

❖ Classification juridique (selon nomenclature douanière)

❖ Classification selon le type dominant de technologie:

- Industries de Stabilisation et de Conservation (ISC)
 - Industries d'Extraction et de Séparation (IES)
 - Industries de Biosynthèse et de Fermentation (IBF)
-

➤ **Industries de Stabilisation et de Conservation (ISC)**

produits plus stables pour une meilleure distribution dans le temps et dans l'espace (conserves, produits séchés, etc.)

➤ **Industries d 'Extraction et de Séparation (IES):**

obtention de produits ayant des propriétés spécifiques par extraction ou séparation à partir d 'une matière première (huilerie, beurrerie, sucrerie, minoterie, etc.)

➤ **Industries de Biosynthèse et de Fermentation (IBF)**

rôle essentiel des micro-organismes
(produits fermentés en général: panification,
laits fermentés, fromagerie, brasserie, etc.)

1.4- Définition des Intrants et produits des IAA

- ❖ Intrants alimentaires (éléments d'entrée)
 - ❖ Intrants non alimentaires (éléments d'entrée)
 - ❖ Produits de la transformation (éléments de sortie)
-

❖ Intrants alimentaires (éléments d'entrée)

- Matière première
- Ingrédient
- Additif alimentaire

❖ Intrants alimentaires

o **Matière première**: matière unique ou principale soumise à la transformation

▪ **Unique**: blé en minoterie, betterave ou canne en sucrerie

▪ **Principale en volume**: farine pour la pain, eau pour les boissons gazeuses

▪ **Principale en valeur**: sucre pour les boissons gazeuses

-
- o **Ingrédient**: nécessaire, mais en quantité et en valeur moindres que la matière première (levure pour le pain)
 - o **Additif**: non indispensable, utilisé pour une fonction donnée (conservateur, colorant, aromatisant, épaississant, etc.)

Remarque:
le mot
ingrédient
a parfois
(dans le
commerce)
un sens plus
large

❖ Intrants non alimentaires

Matières non destinées à être consommées, bien qu'utiles, voire indispensables.

Exemple:

- Matériaux d'emballage: papier, carton, verre, plastique, métal, bois, tissu, etc.

❖ Produits de la transformation (éléments de sortie)

- Produits finis
- Sous-produits
- Déchets

o **Produits finis**: produits commercialement les plus importants (un ou plusieurs produits d'une même matière première)

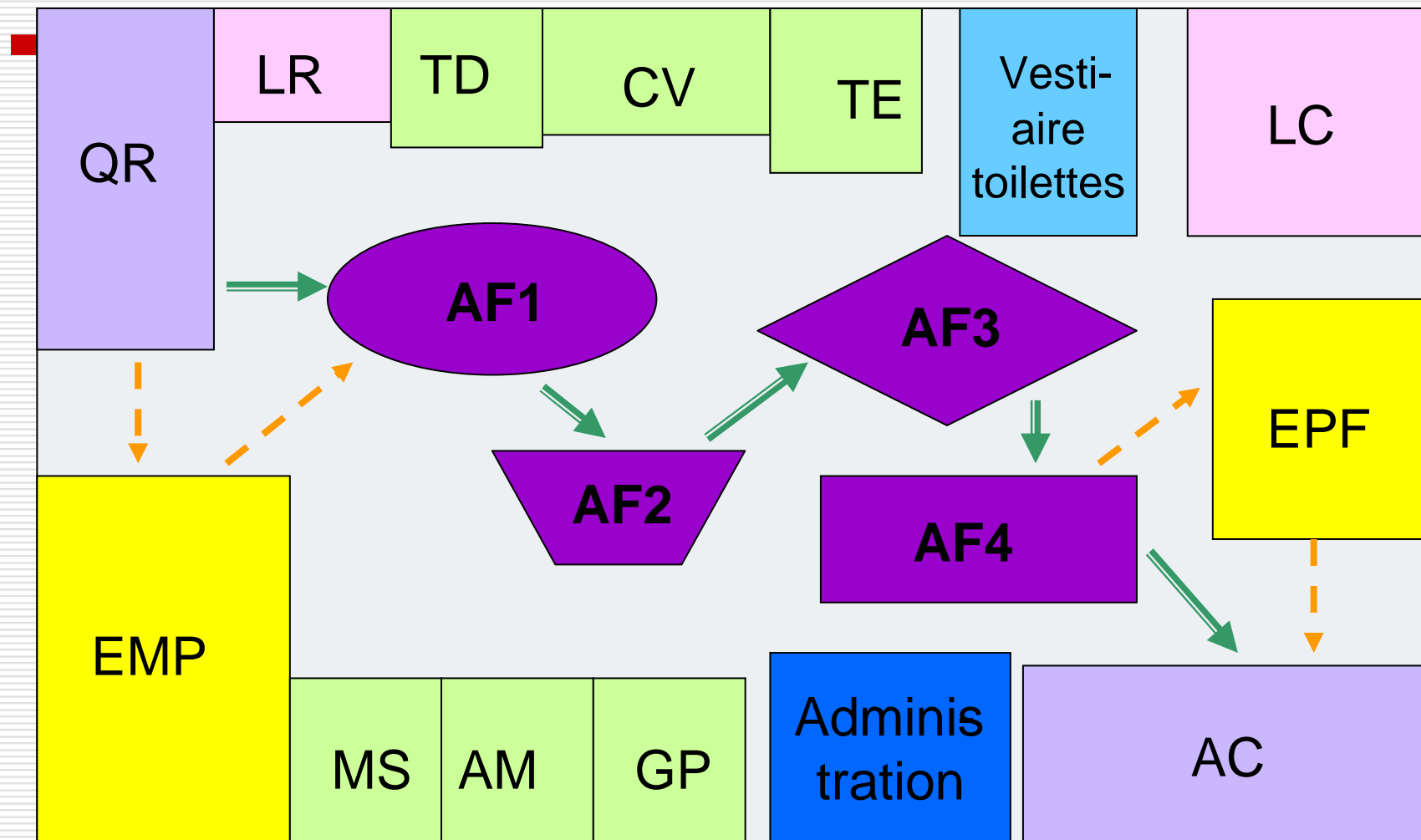
o **Sous-produits**: ont une valeur commerciale, mais moindre que celle des produits finis

o **Déchets**: valeur commerciale nulle ou négative (taxe de pollution, frais d'évacuation, etc.); ce sont des rejets solides, liquides ou gazeux.

Remarque: un déchet peut être valorisé et un sous-produit revalorisé

1.5- Organisation générale d'une unité IAA

Représentation schématique d'une unité IAA



Légende de la figure « Représentation schématique » d'une unité IAA

- AC: Aire (quai) de chargement ou d'expédition (des produits finis)
 - AF: Atelier(s) de transformation:
 - AM: Atelier de maintenance
 - CV: Chaufferie (chaudières pour production de vapeur)
 - EMP: Entreposage éventuel des matières premières
 - EPF: Entreposage éventuel des produits finis
 - GP: Garage et Parc auto
-

Légende (suite)

- LC : labo central
 - LR : labo réception
 - MS: Magasin
 - QR: Quai (aire ou poste) de réception (des matières premières)
 - TD: Traitement des déchets
 - TE: Traitement de l'eau
-

CHAPITRE 2: LES INTRANTS DES IAA

- 2.1- Nature des matières premières
 - 2.2- Réception des matières premières
 - 2.3- Entreposage des matières premières
 - 2.4- Les autres intrants des IAA
-

2.1- Nature des matières premières

- 2.1.1- Produits agricoles végétaux
 - 2.1.2- Produits agricoles d'origine animale (d'élevage)
 - 2.1.3- Produits aquatiques
 - 2.1.4- Produits industriels bruts ou semi-finis
 - 2.1.5- Produits finis industriels
 - 2.1.6- Sous-produits d'autres industries
 - 2.1.7- Eau
-

2.1.1- Produits agricoles végétaux

- ❖ Céréales et légumineuses;
 - ❖ Fruits et légumes (variétés industrielles, variétés mixtes);
 - ❖ Plantes « industrielles » : sucrières, oléagineuses; etc.;
 - ❖ Autres: champignons, etc.
-

2.1.2- Produits agricoles d'élevage

- ❖ Viandes (rouges et blanches) et abats (différentes espèces)
 - ❖ Graisses
 - ❖ Lait (vache, chèvre, brebis, etc.)
 - ❖ Œufs (ovo-produits)
 - ❖ Miel
 - ❖ Autres: escargots, etc.
-

2.1.3- Produits aquatiques

- ❖ Produits marins (halieutiques): poissons, mollusques (dont Céphalopodes), crustacés, etc.
 - ❖ Produits animaux des eaux douces (lacs, rivières)
 - ❖ Produits végétaux: algues
Remarque: les produits aquatiques proviennent de la pêche ou de l'élevage: pisciculture, conchyliculture (mytiliculture, ostréiculture, etc.)
-

2.1.4- Produits industriels bruts ou semi-finis

- ❖ Sucre brut pour la raffinerie de sucre
- ❖ Huiles brutes pour la raffinerie d 'huile

2.1.5- Produits industriels finis

- ❖ Farine pour biscuiterie
- ❖ Sucre pour la confiture, la confiserie, les boissons gazeuses, etc.
- ❖ Huile pour les conserves de poissons

2.1.6- Sous-produits d 'autres industries

- ❖ Mélasses de sucrerie pour l'industrie de la levure boulangère ;
- ❖ Mélasses de sucrerie pour la provende (industrie des aliments du bétail)

2.1.7- L'eau

- ❖ Boissons gazeuses
- ❖ Bière
- ❖ Nectars de fruits

2.2- Réception des matières premières

- 2.2.1- Poste (ou quai) de réception
- 2.2.2- Contrôle quantitatif à la réception
- 2.2.3- Contrôle qualitatif
 - Objectifs
 - Méthodologie
 - Décision

2.2.1- Le poste de réception

- ❖ C'est l'interface entre l'amont (origine des matières premières) et le reste de l'usine
- ❖ Deux fonctions essentielles:
 - contrôle quantitatif
 - contrôle qualitatif

2.2.2- Contrôle quantitatif

❖ Contrôle du poids

- pesée par pont-bascule (transport en vrac)
- comptage de sacs de poids connu

❖ Contrôle du volume

- compteurs volumétriques
 - comptage de bidons pleins de volume connu
 - jauge pour bidons partiellement pleins
-



2.2.3- Contrôle qualitatif

❖ Objectifs

- Identification de la matière première
 - Détermination du taux d'impuretés (ex: agréage des céréales)
 - Détermination des propriétés technologiques
-

❖ Objectifs (suite)

- Détermination du degré de fraîcheur (produits périssables)
 - Détermination du calibre (peut se faire au-delà)
 - Détection des fraudes (ex: mouillage du lait)
-

❖ Méthodologie

- Prise d'échantillon (représentativité)
- Contrôle rapide (pour matières périssables): laboratoire du quai de réception (résultat: souvent refus ou acceptation)
- Contrôle plus approfondi: laboratoire central (résultat: pas forcément d'effet sur acceptation ou refus)

❖ Décision

- Acceptation de la matière première
 - Acceptation de la matière, mais avec une pénalisation (réfaction sur le prix)
 - Acceptation de la matière première, mais pour un usage de seconde gamme
 - Rejet de la matière première (fraude, altération visible, mauvaise qualité hygiénique)
-

2.3- Entreposage des matières premières

- 2.3.1- Justification de l'entreposage
 - 2.3.2- Conditions de l'entreposage
 - 2.3.3- Contrôles nécessaires
-

2.3.1- Justification de l'entreposage

- Conditions favorables de prix et de disponibilité (céréales et légumineuses)
 - Nature saisonnière de la disponibilité (fruits, mélasses de sucrerie)
 - Faible capacité de l'unité de transformation par rapport à la disponibilité de la matière première (olives dans les *maâsras*)
 - Horaires de travail de l'unité (lait du soir)
-

2.3.2- Conditions de l'entreposage

- Température ambiante pour produits non périssables (céréales et légumineuses): nécessité d'aérer
- Température ambiante avec traitement chimique (abricot dans solution de sulfite de sodium)

-
- Réfrigération et durée limitée pour produits périssables (viande, poisson, fruits et légumes)
 - Parfois léger traitement thermique avant réfrigération (thermisation du lait)
 - Congélation pour des durées plus longues (viande, produits de la mer, fruits et légumes)
-

2.3.3- Contrôles nécessaires

- A l 'entrée de l 'entreposage
- Pendant l 'entreposage prolongé
- A la sortie de l 'entreposage

CHAPITRE 3

TECHNOLOGIES DE STABILISATION ET DE CONSERVATION

- 3.1- Généralités
 - 3.2- Conservation par traitement thermique
 - 3.3- Stabilisation par le froid
 - 3.4- Utilisation de conservateurs antimicrobiens
 - 3.5- Conservation par abaissement de l'activité de l'eau
-

3.1-Généralités

- Objectifs de ces technologies
 - Altération des aliments
 - Conservation
 - Causes d 'altération
 - Conditions de l 'altération microbienne
 - Prévention de l 'altération microbienne
-

Objectifs de ces technologies

Stopper l'altération

Altération

❖ Altération : Aliment altéré = avarié

■ Qualité organoleptique

■ Qualité hygiénique

■ Valeur commerciale:

**Impropres à la
consommation**

**Impropres à la
vente**

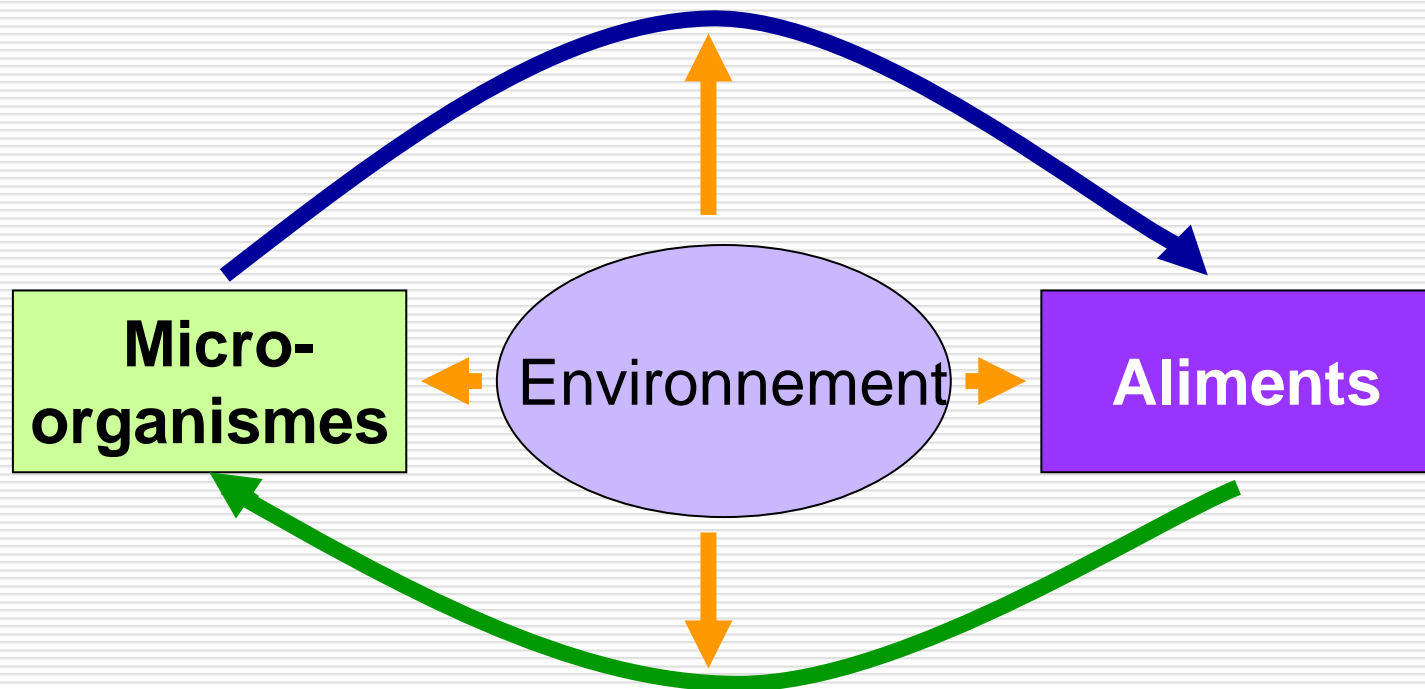
Conservation

- ❖ Protéger la santé du consommateur
- ❖ Préserver la valeur nutritionnelle et la qualité organoleptique
- ❖ Augmenter le shelf-life: améliorer la distribution dans le temps et dans l'espace

Causes d'altération

- ❖ Enzymes propres à la denrée alimentaire;
 - ❖ Réactions non enzymatiques (oxydation);
 - ❖ Insectes;
 - ❖ Modifications physiques (brûlures, dessiccation, etc.);
 - ❖ Micro-organismes.
-

Conditions de l'altération microbienne



Interactions aliment / micro-organisme

Actions de la denrée alimentaire sur le microorganisme

Par sa composition et ses caractéristiques, la denrée alimentaire permet ou non:

- ❑ La croissance du microorganisme: germination des spores, multiplication, sporulation;
 - ❑ Son métabolisme: activités biochimiques, synthèse de toxines
-

□ **Denrée alimentaire = milieu de culture**

Elle agit par:

- Sa composition : eau (a_w) et nutriments
 - Ses caractéristiques physicochimiques: pH, potentiel d'oxydoréduction, etc.
 - Sa structure / degré de division
-

Actions du microorganisme sur la denrée alimentaire

- ❖ Dégradations biochimiques
- ❖ Altération des propriétés organoleptiques
- ❖ Dépréciation nutritionnelle
- ❖ Qualité hygiénique (ex.: toxines)

Rôle des paramètres de l'environnement

- ❖ Température
- ❖ Oxygénation
- ❖ Humidité relative de l'air
- ❖ Additifs alimentaires

Prévention de l'altération microbienne

❖ Agir sur le micro-organisme:

- éviter la contamination
- écarter les contaminants
- inhiber leur développement
- les tuer

Prévention de l'altération microbienne (suite)

❖ **Agir sur l'aliment:**

- le transformer en milieu hostile aux micro-organismes

❖ **Agir sur l'environnement :**

- créer des conditions défavorables aux micro-organismes
-

3.2- Conservation par traitement thermique

- ❖ Objectifs et types de produits
- ❖ Lois de la DTM (Destruction Thermique des Micro-organismes)
- ❖ Applications:
 - Pasteurisation
 - Stérilisation (Appertisation, stérilisation UHT)

Objectifs et types de produits

▪ Objectifs :

- Destruction des micro-organismes
- Dénaturation des enzymes
- Élimination de l'oxygène

Attention! Qualité nutritionnelle
Qualité sensorielle

Types de produits traités

-Aliments pasteurisés

Micro-organismes visés:

- . pathogènes (lait, crème, etc.)
- . responsables d'altération (vinaigre)

Survivent : Thermorésistants

Types de produits traités (suite)

Aliments stérilisés

Microorganismes visés : tous

"Stérilisation commerciale" :

- . survivants possibles mais
 - . croissance impossible (pH, température, aw)
-

Lois de la DTM

Temps de Destruction Thermique (TDT):
durée nécessaire pour tuer un nombre donné de micro-organismes à une température donnée.

Point de Destruction Thermique:
Température nécessaire pour tuer un nombre donné de micro-organismes pendant une durée donnée (généralement 10min.)

Lois de la DTM (suite)

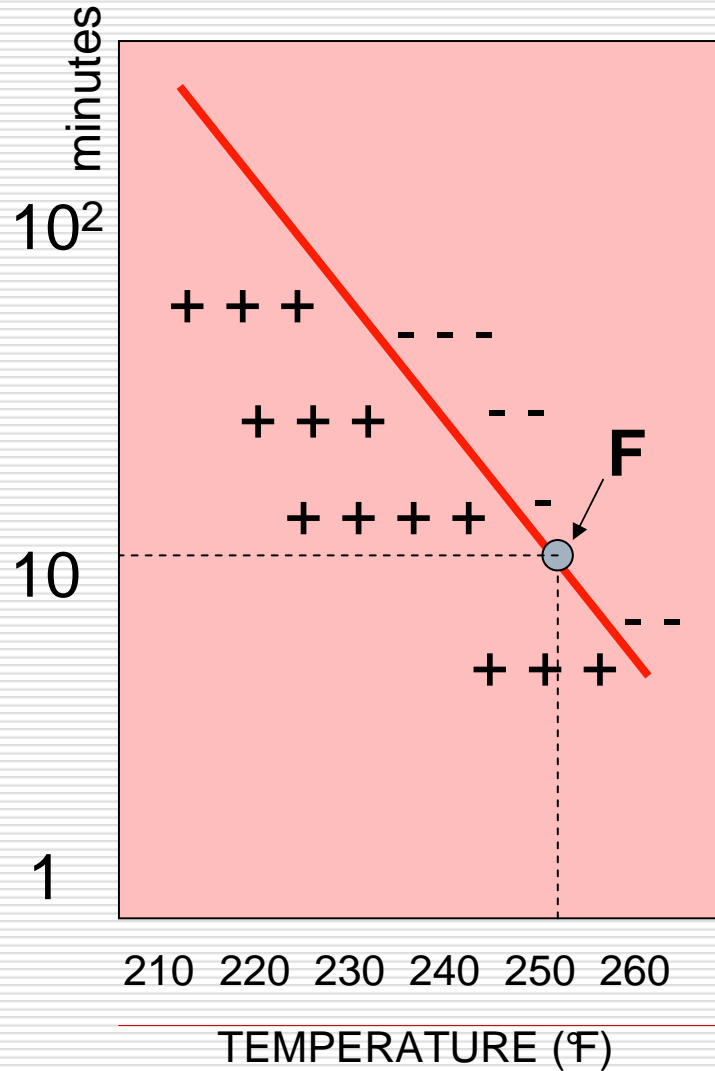
Valeur F

durée (en min.) à 250°F pour tuer un nombre donné de cellules d'une espèce donnée

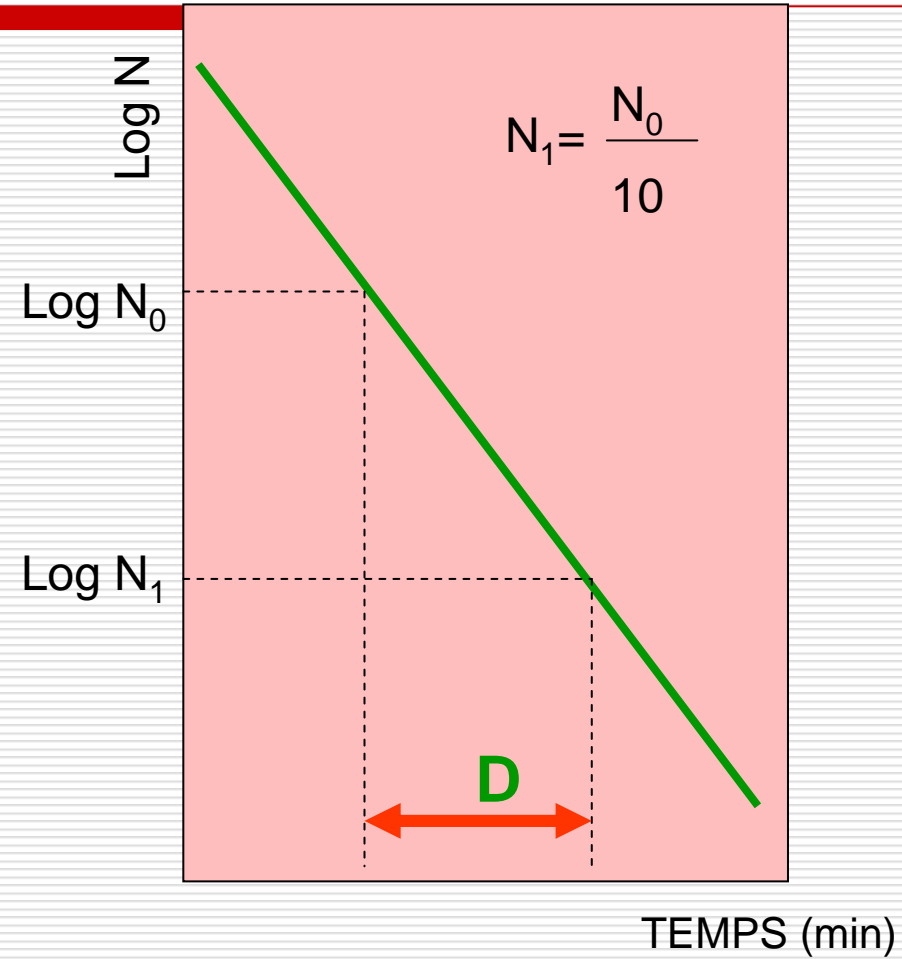
Valeur D (Temps de Réduction Décimale)

durée nécessaire pour tuer 90% des cellules ou des spores dans une population microbienne à une température donnée.

Courbe des temps de destruction thermique



Evolution du nombre de micro-organismes vivants en fonction du temps à température constante



Lois de la DTM (suite)

Dr (D de référence): D à 250°F (121°C) (en minutes);
varie avec le pH

<i>Bacillus coagulans</i>	0,01 - 0,07
<i>Clostridium sporogenes</i>	0,10 - 1,50
<i>Clostridium botulinum</i> (A et B)	0,10 - 0,21
<i>Clostridium nigrificans</i>	2,00 - 3,00
<i>Clostridium thermosaccharolyticum</i>	3,00 - 4,00
<i>Bacillus stearothermophilus</i>	4,00 - 5,00

Lois de la DTM (suite)

Soit N_0 : Nombre initial de cellules

N_1 : Nombre final de cellules

A une température donnée, $t = D \log \frac{N_0}{N_1}$

Par définition : $D = t$ lorsque $N_1 = \frac{N_0}{10}$

Stérilisation totale impossible :

Pour que $N_1 = 0$ il faudrait que $t \rightarrow \infty$

Lois de la DTM (suite)

□ **Concept 12 D**

- Tolérance *Clostridium botulinum* dans l'aliment : 10^{-12}

exemple: sur 10^{12} boîtes de conserve fabriquées contenant chacune une spore au départ, on tolère 1 boîte contaminée (contenant une spore) à la fin

Concept 12 D (suite)

$$\begin{aligned}t &= D (\text{Log } N_0 - \text{Log } N_1) \\F &= D r (\text{Log } N_0 - \text{Log } N_1) \\&= 0,21 (\text{Log } 1 - \text{Log } 10^{-12}) \\&= 0,21 \times 12 \\&= 2,52 \text{ min.}\end{aligned}$$

Donc, à 250°F (121° C), probabilité
d'altération: 1 boîte/10¹² si
1 spore/boîte au départ

Applications

□ Pasteurisation

- Définition et applications
- Barèmes (cas du lait)
- Résultats (cas du lait)

□ Stérilisation

- Appertisation (autoclavage)
 - Stérilisation UHT
-

Pasteurisation

□ Définition et applications

- **Chauffage** de:

- > liquides dans des échangeurs de chaleur (Pasteurisateurs)

- > produits emballés dans des bains d'eau

- **Objectifs:**

- > hygiénique (micro-organismes pathogènes)

- > commercial (espèces responsables d'altération)

Pasteurisation en vrac: avec un échangeur de chaleur



Une plaque

Exemple: Pasteurisateur à plaques

Circulation à
contre-courant
lait-eau chaude



Pasteurisation de produits emballés

Pasteurisation de produits en bouteilles (jus de fruits, bière, cidre):

- Remplissage et capsulage des bouteilles;
 - Chauffage progressif : aspersion d'eau de plus en plus chaude, jusqu'à 65 à 75°C;
 - Maintien à cette température pendant la durée nécessaire
 - Refroidissement : aspersion d'eau de plus en plus froide.
-

Exemple de programme de pasteurisation

Phase chauffage

- 1- 30°C, 3 min
- 2- 45°C, 5 min
- 3- 63°C, 12 min
- 4- 70°C, 17 min

Phase refroidissement

- 5- 45°C, 4 min
 - 6- 35°C, 7 min
 - 7- 25°C, 2 min
-

Pasteurisation (suite)

□ Barèmes (cas du lait):

- * 63°C, 30 min : LTLT (Low Temperature Long Time)
 - * 72°C, 15 sec : HTST (High Temperature Short Time)
 - * 85°C ou plus : Pasteurisation haute
-

Pasteurisation (suite)

□ Résultats (cas du lait)

- Destruction des pathogènes les plus résistants :
(ex.: *Mycobacterium tuberculosis*)
- Destruction des Moisissures et des Levures
- Destruction des bactéries à Gram négatif: surtout **Coliformes**
- Destruction de la plupart des bactéries à Gram positif
- Dénaturation **Phosphatase alcaline** (LTLT)
- Dénaturation de la **Lactoperoxydase** (HTST)

Contrôle



Pasteurisation (suite)

□ Résistant : Bactéries thermorésistantes
Autres : selon N_0 initial

→ Autorisé : 3×10^4 microorganismes
vivants/ml

→ Nécessité de réfrigérer

→ Shelf-life : 2-3 jours sous réfrigération

Stérilisation

- Stérilisation classique en autoclave (appertisation)
- Stérilisation UHT (Ultra Haute Température)

Appertisation

- Conserves: préparations alimentaires conditionnées dans des contenants hermétiques et soumises à un traitement thermique assurant la stérilisation commerciale
 - Objectifs:
 - tuer les spores de *Clostridium botulinum*
 - tuer les micro-organismes d'altération
 - tuer les autres pathogènes éventuels
-

Appertisation (suite)

□ Technologie:

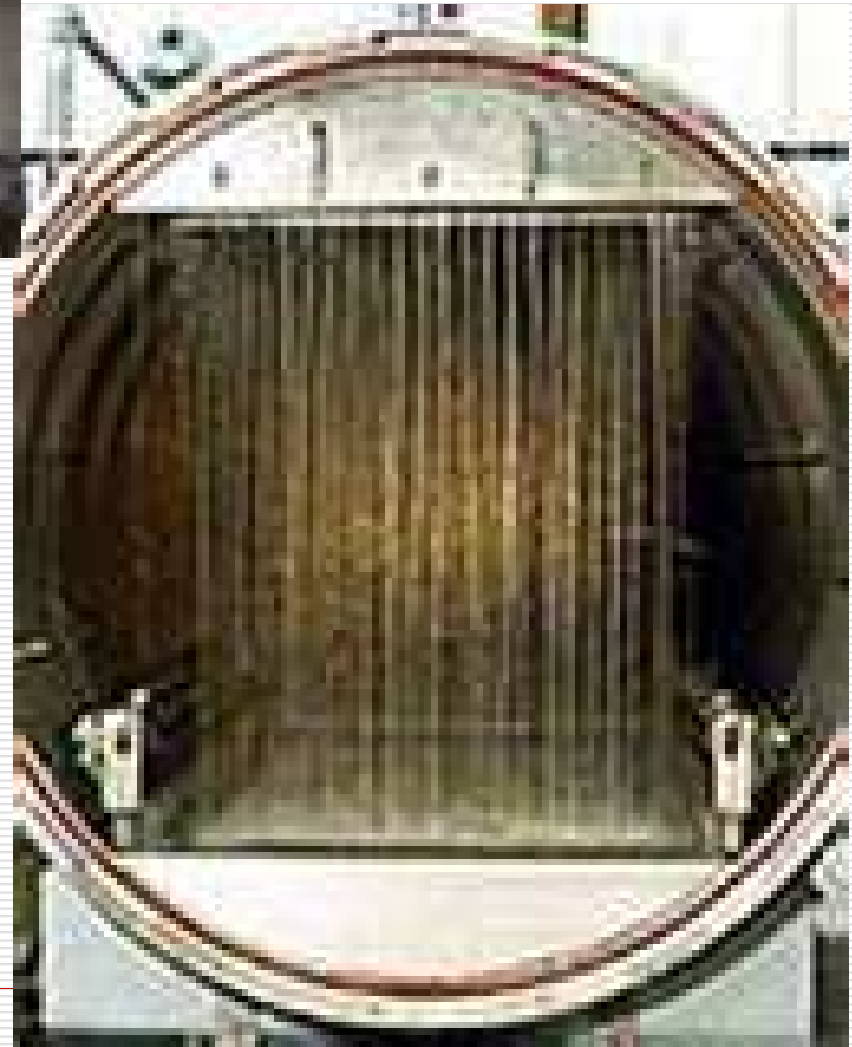
- Remplissage des contenants (boîtes métalliques, bocaux en verre, etc.)
 - Cuisson
 - Sertissage (boîtes) ou capsulage (bocaux)
 - Stérilisation: autoclave statique ou rotatif (120°C, 20 min ou plus)
 - Refroidissement rapide (eau de bonne qualité bactériologique)
-

Autoclaves





Steriflow:
autoclave avec
système de
refroidissement
intégré



Appertisation (suite)

□ Attention! Défauts graves possibles

- Stérilisation insuffisante: survie de bactéries sporulées (dont les *Clostridium*)
 - Contamination post-stérilisation: défaut de serti, eaux de refroidissement malpropres, etc.
-

Stérilisation UHT

- ❑ Appliquée aux liquides (lait, crème, fromage fondu, jus de fruits, etc.)
 - ❑ Barème: 140-150°C, moins d'une seconde à quelques secondes
 - ❑ Destruction de tous les micro-organismes
 - ❑ Préservation des protéines, des vitamines , etc.
-

Technologie UHT

- ❑ échangeur de chaleur (vapeur) ou
 - ❑ injection de vapeur: élévation très rapide de la température
 - ❑ Chambrage (maintien de la température le temps du traitement)
 - ❑ Refroidissement (échangeur ou Flash-cooler)
 - ❑ Conditionnement aseptique
-



鸿顺贸易
HONGSHUN TRADE

Build Your Dream



Hongshun trade CO., Ltd

zzhongshun.en.alibaba.com

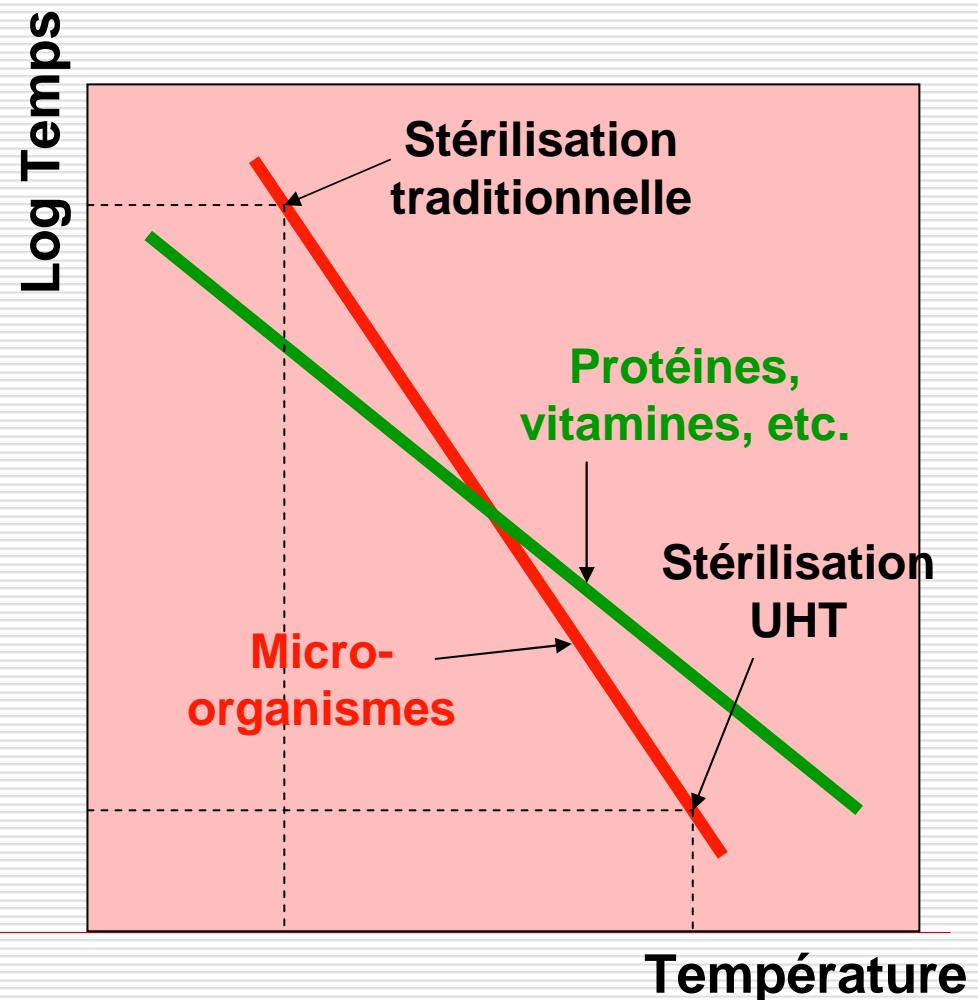
Hongshun trade CO., Ltd

Stérilisateur
UHT



Stérilisateur tubulaire UHT

- **Avantage de l'UHT:**
préservation des propriétés nutritionnelles et organoleptiques du produit traité



Comparaison produit pasteurisé - produit stérilisé

	Produit pasteurisé	Produit stérilisé
Présence de microorganismes vivants	OUI	NON
Transport et Conservation	Réfrigération (sauf produit acide et/ou sucré (salé))	Température ambiante (tant que contenant fermé)
Qualité nutritionnelle et organoleptique	Légèrement touchées	Plus sévèrement touchées (sauf UHT)

3.3- Stabilisation par le froid

- 3.3.1- Principe
 - 3.3.2- Réfrigération
 - 3.3.3- Congélation – surgélation
 - 3.3.4- Notion de chaîne du froid
-

3.3.1- Principe

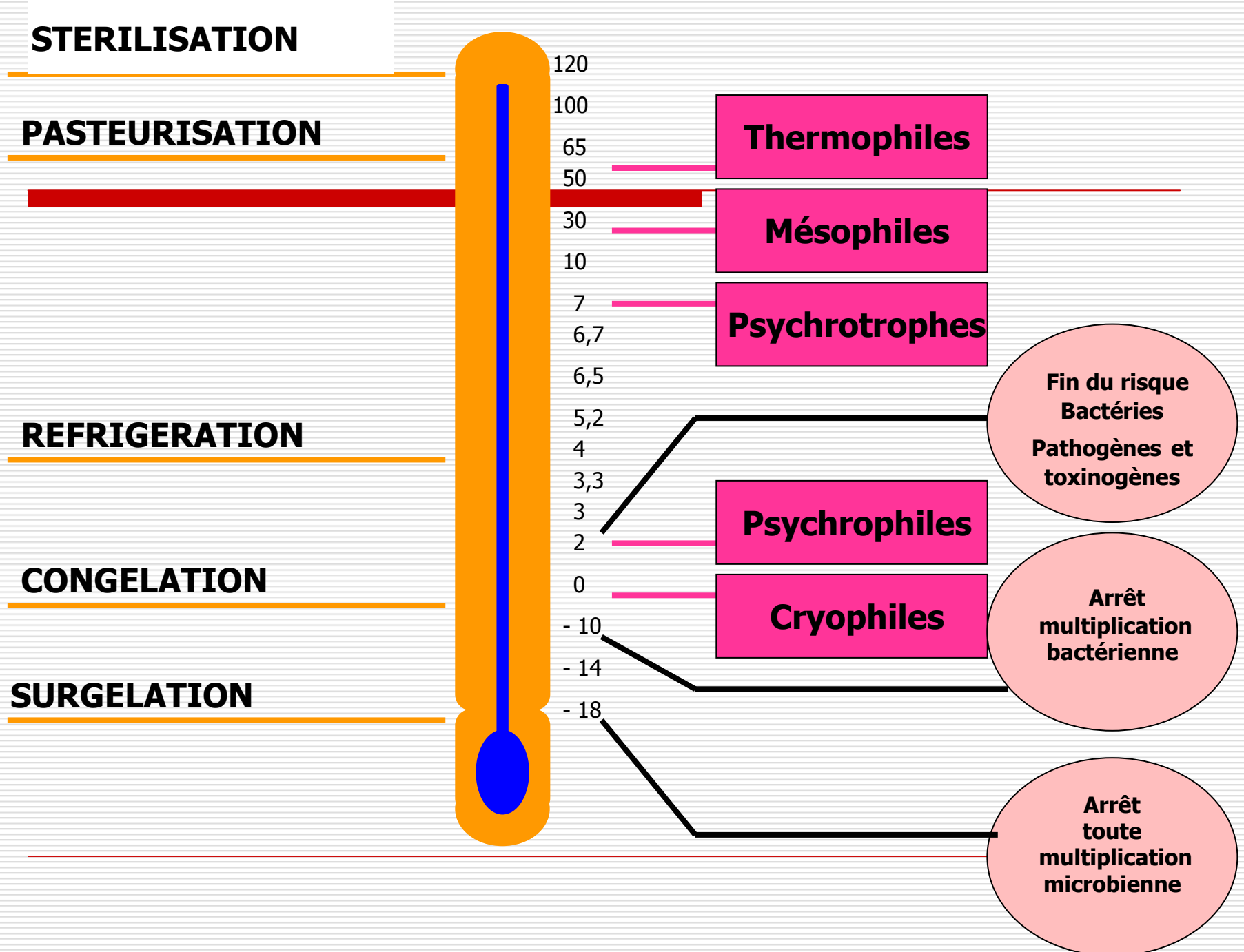
- Le froid inhibe la croissance microbienne (T < temp. minimale de croissance)
 - Autres effets du froid:
 - Inhibition des enzymes naturelles du produit
 - Inhibition des réactions non enzymatiques (oxydation)
 - Ralentissement de phénomènes physiques (dessiccation)
-

Températures cardinales de croissance de quelques bactéries

Bactéries	Min.	Opt.	Max.
<i>Salmonella</i>	5	35-37	47
<i>Listeria monocytogenes</i>	2-4	30-37	-
<i>Yersinia enterocolitica</i>	0	29	42
<i>Staphylococcus aureus</i>	6	-	45-49
<i>Clostridium perfringens</i>	15	43-47	52
<i>Cl. botulinum</i> (A & B)	10	-	-
<i>Cl. botulinum</i> (E)	3,3	-	-

Températures cardinales de croissance de quelques microorganismes fongiques

Microorganismes fongiques		Min.	Opt.	Max.
Levures	<i>Debaryomyces hansenii</i>	8	-	37
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0	-	40
Moisissures	<i>Aspergillus flavus</i>	10	30	45
	<i>Botrytis cinerea</i>	- 4	22	37
	<i>Cladosporium herbarum</i>	- 6	25	40
	<i>Mucor mucedo</i>	6	15-25	-
	<i>Penicillium brevicompactum</i>	- 2	22	28
	<i>Penicillium camemberti</i>	6	15-25	-
	<i>Penicillium roqueforti</i>	2	18-20	35
	<i>Geotrichum candidum</i>	4	22-30	38



3.3.2- Réfrigération

- Définition
 - Produits concernés
 - Buts de la réfrigération
 - Moyens
 - Limites
-

Définition

la réfrigération est l'opération qui consiste à porter et maintenir le produit à une faible température positive (l'eau du produit reste liquide)

Produits concernés (niveau de traitement)

- . Matières premières
 - . Produits intermédiaires
 - . Produits finis
-

Produits concernés (nature)

- Fruits et légumes;
 - Poissons et autres produits de la pêche;
 - Lait et produits laitiers;
 - Viandes (rouges et blanches) et dérivés;
 - Produits élaborés (salades, marinades, etc.).
-

Buts de la réfrigération

- Entreposage ou stockage
- Transport réfrigéré (ne pas confondre avec transport isotherme)
- Exposition vente

Moyens de réfrigération

- Glace en contact avec produit (poisson)
 - Maintien dans atmosphère froide (chambre froide, container réfrigéré)
 - Circulation externe de liquide réfrigérant (citerne réfrigérée)
- Remarque: passage rapide à la température de réfrigération (tunnel de réfrigération)
-

Limites

□ durée limitée à cause de:

- Microorganismes psychrophiles ou psychrotrophes
 - Réactions enzymatiques et chimiques
 - Évaporation de l'eau
-

3.3.3- Congélation-surgélation

- Définition
 - Produits concernés
 - Technologie
 - Contraintes
-

Définition

- Congélation: opération qui consiste à porter le produit à une température négative ($- 18^{\circ}\text{C}$ en général); l'eau du produit passe à l'état solide
 - Surgélation: congélation rapide (éviter la formation de gros cristaux de glace): meilleure qualité après décongélation
-



Cristaux de glace
pointus



Produits concernés

- Niveau de traitement: matières premières, produits intermédiaires, produits finis.
 - Nature: toutes sortes de produits concernés par la réfrigération + d'autres (pain, viennoiseries, pizzas, etc.)
-

Technologie

- Préparation (soignée)
 - . Triage
 - . Nettoyage
 - . Blanchiment: traitement thermique léger (destruction de microorganismes et d'enzymes, fixation de couleur)
 - . Réfrigération préalable
-

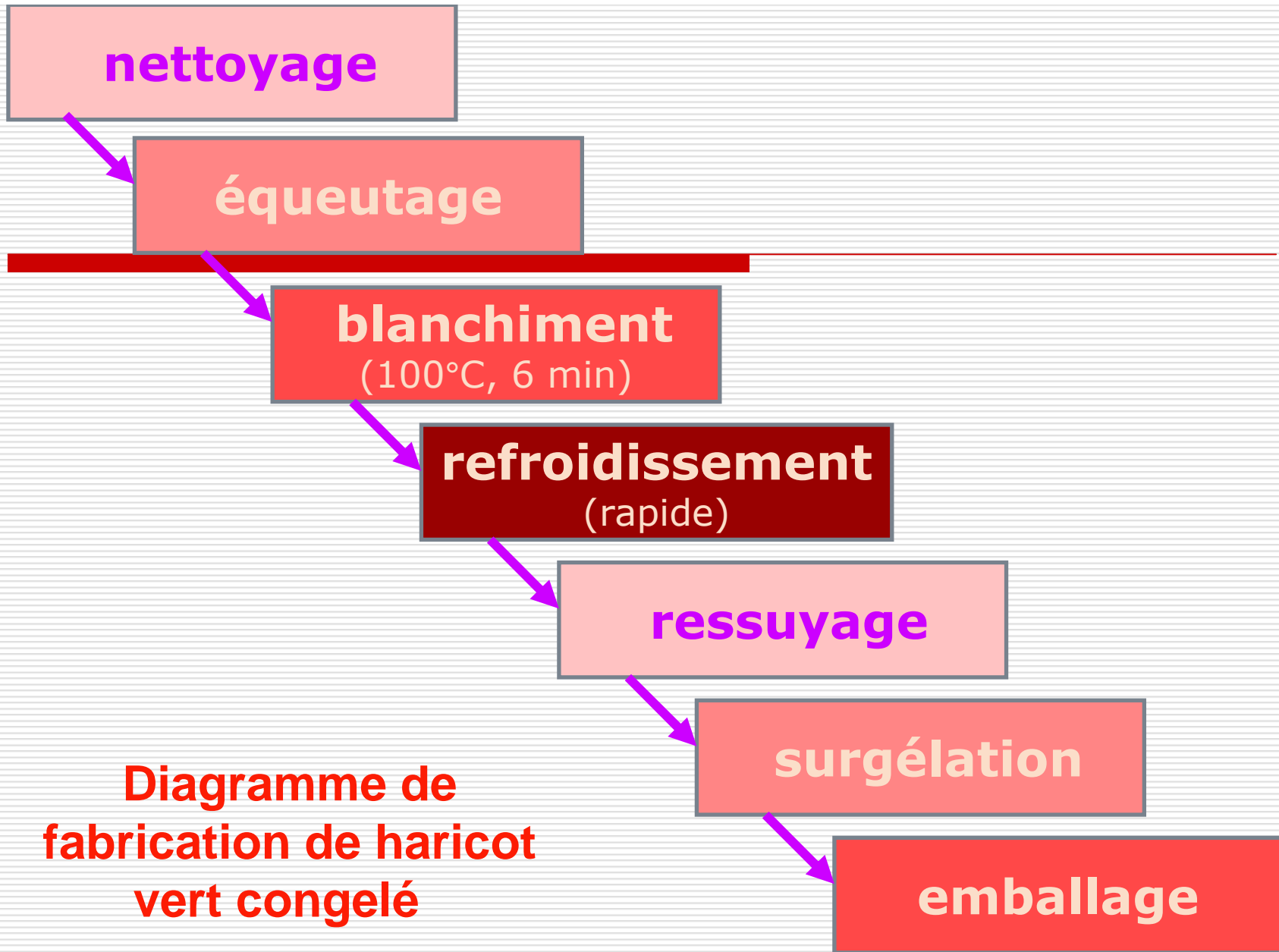


Diagramme de fabrication de haricot vert congelé

Congélation proprement dite

- . Lente: inconvénients
 - . Rapide: tunnel de congélation
-



Exemple de tunnel de surgélation

Fonctionnement du tunnel de surgélation

- Produit placé sur une bande transporteuse circulant dans une enceinte isolée
 - Fluide cryogénique (azote liquide ou CO_2) pulvérisé sur le produit; il prend de la chaleur au produit et s'évapore
 - Le gaz formé est brassé à l'air circulant (extrait plus de chaleur) et est rejeté dans l'atmosphère
-



Intérieur d'un tunnel de surgélation

3.3.4- Notion de chaîne du froid

- Un produit réfrigéré ou congelé doit être maintenu à une température convenable depuis sa fabrication jusqu'à sa consommation
- Des moyens doivent être mis en œuvre pour assurer cette continuité à tous les niveaux: entreposage, transport, exposition vente, ménage, etc.



Chaîne du froid

3.3.4- Notion de chaîne du froid (suite)

- Si le froid n'est plus assuré à un niveau quelconque, risque d'altération du produit;



Rupture de la chaîne du froid

3.4- Utilisation de conservateurs antimicrobiens

- Définition
 - Propriétés d'un conservateur chimique
 - Précautions avant d'autoriser un conservateur chimique
 - Liste des produits « GRAS »
 - Autres conservateurs
-

Définition

- ❑ Conservateur antimicrobien: additif alimentaire utilisé essentiellement pour son action antimicrobienne (peut être spécifiquement antibactérien, antifongique, etc.)
 - ❑ Certains additifs utilisés à d'autres fins ont une activité antimicrobienne secondaire (antioxydants, fixateurs de couleur, aromatisants, etc.)
-

Propriétés d'un conservateur chimique

- Non toxique pour le consommateur (concentration)
- Actif à faible dose
- Effet inhibiteur ou (mieux) destructeur
- Instable de préférence (stockage ou cuisson)
- Action non inhibée par les constituants de l'aliment
- Ne provoque pas d'apparition de souches résistantes
- Non utilisé en thérapeutique humaine ou animale
- Facile à utiliser
- Sans effets sur les propriétés organoleptiques
- Peu coûteux

Précautions avant d'autoriser un conservateur

- ❑ Tests de toxicité (surtout sur animaux): longs et coûteux
- ❑ Liste des substances « inoffensives »

**Aux USA, liste des substances « GRAS »
(Generally Recognized As Safe)
établie par la FDA**

Liste des conservateurs antimicrobiens GRAS (USA)

Substances	Concentration autorisée	Organismes sensibles	Types d'aliments concernés
Acide propionique, propionates	0,32%	Moisissures	Pain, pâtisseries, certains fromages
Acide sorbique, sorbates	0,20%	Moisissures	Fromages, figues, pâtisseries, sirops
Acide benzoïque, benzoates	0,10%	Levures et moisissures	Margarine, cornichons, boissons gazeuses, jus de tomate
Parabens	0,10%	Levures et moisissures	Pain, pâtisseries, boissons gazeuses

Liste des conservateurs antimicrobiens GRAS (USA) (suite)

Substances	Concentration autorisée	Organismes sensibles	Types d'aliments concernés
SO₂, sulfites	200-300 ppm	Insectes, micro-organismes	Fruits séchés, jus d'orange
Oxydes d'éthylène et de propylène	700 ppm	Levures et moisissures, vers	Épices
Diacétate de sodium	0,32%	Moisissures	Pain

Liste des conservateurs antimicrobiens GRAS (USA) (suite)

Substances	Concentration autorisée	Organismes sensibles	Types d'aliments concernés
Acide déhydroacétique	65 ppm	Insectes	Fraises
Nitrite de sodium*	120 ppm	<i>Clostridium</i>	Produits carnés
Acide caprylique	-	Levures	Emballage des fromages
Formate d'éthylène	15-200 ppm	Levures et moisissures	Fruits séchés

* De plus en plus remplacé par la nisine

3.5- Conservation par abaissement de l'activité de l'eau

- Principe
 - Activité de l'eau (a_w) minimale des micro-organismes
 - Teneur critique en eau des aliments
 - Salage
 - Sucrage
 - Évaporation de l'eau
 - Interactions de l' a_w avec d'autres paramètres
-

Principe

- Chaque micro-organisme exige une activité de l'eau (a_w) minimale pour sa croissance
 - Abaisser l' a_w en dessous du minimum exigé par les micro-organismes permet de préserver les aliments contre l'altération microbienne
-

Aw minimale des micro-organismes

Aw min. (en moyenne)

Bactéries	0,90-0,91
Levures	0,88
Moisissures	0,80
Bac. halophiles	0,75
Mois. xérophiles	0,65
Lev. osmophiles	0,60

Aw min. (certaines espèces)

<i>Candida utilis</i>	0,94
<i>Mucor spinosus</i>	0,93
<i>Candida zeylanoides</i>	0,90
<i>Aspergillus glaucus</i>	0,70
<i>A. echinulatus</i>	0,64
<i>Saccharomyces rouxii</i>	0,62

Minimum absolu: 0,6

Teneur critique en eau des aliments

Teneur critique: « alarm water content »
en % (à 20°C, HR de l'air 70%)

- | | | | |
|--|--------------|---|--------------|
| <input type="checkbox"/> Lait en poudre entier | 8 | <input type="checkbox"/> Viande dégraissée séchée | 15 |
| <input type="checkbox"/> Œuf entier déshydraté | 10-11 | <input type="checkbox"/> Légumes déshydratés | 14-20 |
| <input type="checkbox"/> Farine de blé | 13-15 | <input type="checkbox"/> Amidon | 18 |
| <input type="checkbox"/> Riz | 13-15 | <input type="checkbox"/> Fruits déshydratés | 18-25 |
-

Salage

- Le sel inhibe bactéries, levures et moisissures à partir de 3 à 5%
- Toutes bactéries généralement inhibées à 20% (sauf *Staphylococcus aureus*)

**Taux de sel
NaCl (en %)
nécessaire pour
inhiber les
bactéries**

<i>Clostridium botulinum</i> A & B	10
<i>Cl. botulinum</i> E	5
<i>Cl. perfringens</i>	7
<i>Salmonella</i>	8
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	10
<i>Staphylococcus aureus</i>	22

Salage (suite)

Halophiles & Halotolérants

Catégorie	Croissance	Concentration en sel (en %)
Halotolérants	Possible	≥ 5 (sel pas nécessaire)
Faiblement halophiles	Inhibée	$< 0,5$ ou > 5
Halophiles modérés	Optimale	$4 < \text{sel} < 9$ (eaux de mer)
Extrêmement halophiles (<i>Halobacterium</i> , <i>Halococcus</i>)	Minimale Optimale	> 15 $20 < \text{sel} < 30$ (saumures)

Sucrage

- Les sucres exercent le même effet que le sel, mais force osmotique plus faible (sel 6 fois plus efficace que saccharose et 11,9 fois plus que lactose)
- **Attention!** présence d'espèces osmophiles: certaines levures et moisissures poussent en présence de 60% de sucre

Ex: *Saccharomyces rouxii*. (altération du miel)

évaporation de l'eau

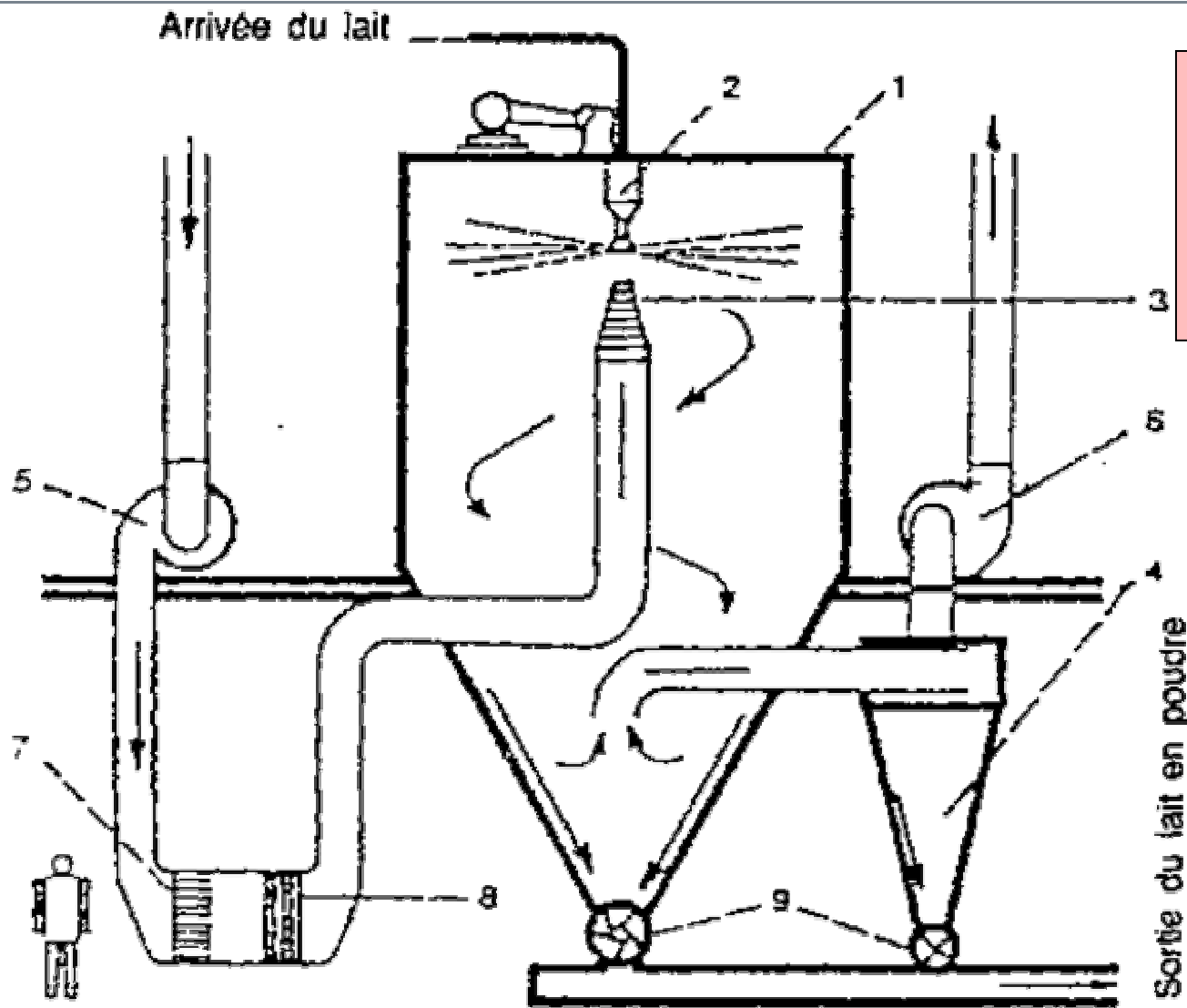
- ❑ Appliquée à beaucoup d'aliments: poisson, viande, œufs, lait, fruits, légumes, etc.
 - ❑ Peut être accompagnée de salage (poisson, viande) ou de sucrage (lait concentré sucré)
 - ❑ Peut être:
 - modérée: concentration (lait, tomate)
 - poussée: séchage (lait, levure, tomate)
-

Evaporation de l'eau (suite)

□ Exemple du lait

- Lait concentré non sucré: 60% de l'eau à évaporer, produit fini à 11,5% de lactose
doit être stérilisé
 - Lait concentré sucré: évaporation de l'eau + addition de saccharose ou de glucose; produit fini à 54-64% de sucres
stérilisation inutile
 - Lait en poudre: évaporation suivie de séchage; humidité négligeable
-

**Procédé de séchage
Spray
(atomisation)**



1. Tour de séchage

2. Atomiseur

3. Distributeur d'air chaud

4. Cyclone permettant la récupération de la poudre entraînée par l'air

5. Ventilateur

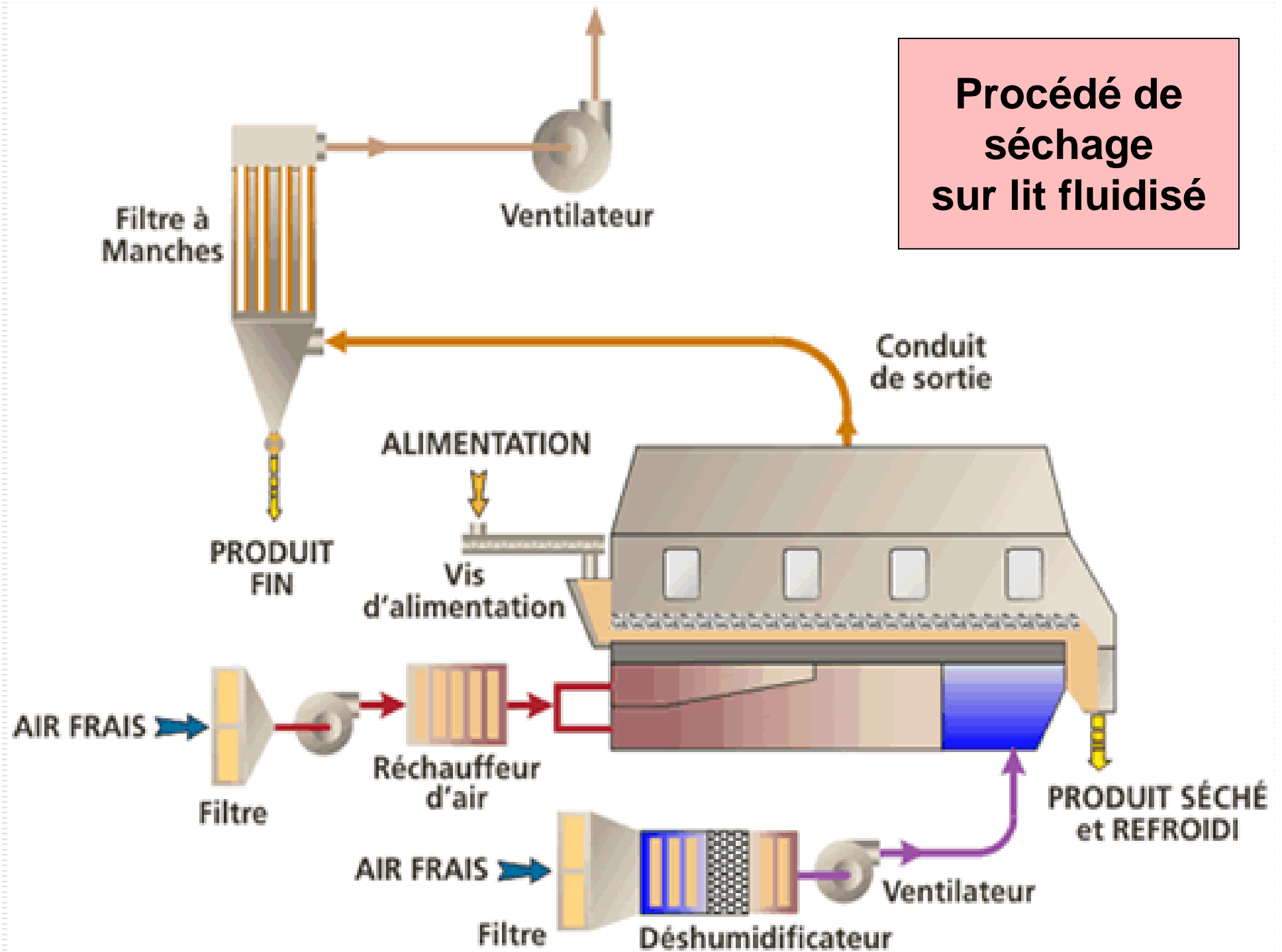
6. Aspirateur

7. Filtre

8. Calorifère

9. Distributeur de sortie

Procédé de séchage sur lit fluidisé



Interactions de l'aw avec d'autres paramètres (ex.: la viande)

pH et aw	Température	Conservabilité	Catégorie de viande
pH > 5 ou aw > 0,95	≤ +5°C	15 jours	Très périssable
5 < pH < 5,2 ou 0,91 < aw < 0,95	≤ +10°C	1 mois	Périssable
pH ≤ 5,2 & aw < 0,95 ou pH < 5 ou aw < 0,91	ambiante	-	Non périssable

CHAPITRE 4

TECHNOLOGIES DE BIOSYNTHESE ET DE FERMENTATION

- 4.1- Généralités
 - 4.2- Production de levure
boulangère
 - 4.3- Production d'olives
fermentées
 - 4.4- Rôle des microorganismes
dans la fabrication des fromages
-

4.1- Généralités

- Définitions
- Effets des fermentations sur les aliments
- Principaux produits alimentaires fermentés

Définitions

- Technologies de biosynthèse et de fermentation: technologies dans lesquelles le rôle des micro-organismes est prépondérant; les fermentations microbiennes sont les principaux phénomènes
 - Les fermentations jouent parfois un rôle (secondaire) dans d'autres industries
-

Définitions (suite)

- Une fermentation est:
 - **biochimiquement**: une succession de réactions partant d'un substrat déterminé (un glucide généralement) pour aboutir à **un produit final** (qui définit la fermentation)
 - **Microbiologiquement**: toute transformation apportée à un milieu donné par l'action des micro-organismes; **produit final principal** & produits **secondaires**
 - **Industriellement**: toute culture microbienne

Effets des fermentations

- ❑ Développement du goût et de l'arôme
 - ❑ Modification de la consistance et de la texture
 - ❑ Enrichissement nutritionnel
 - ❑ Amélioration de la digestibilité
 - ❑ Améliore la conservabilité: protection contre les micro-organismes indésirables
-

Principaux produits alimentaires fermentés

□ Produits laitiers

- Lait fermentés: yaourt, Iben, képhir, koumiss, etc.
- Fromages
- Crème de beurrerie

□ Produits carnés

- Saucisson crû

□ Produits végétaux

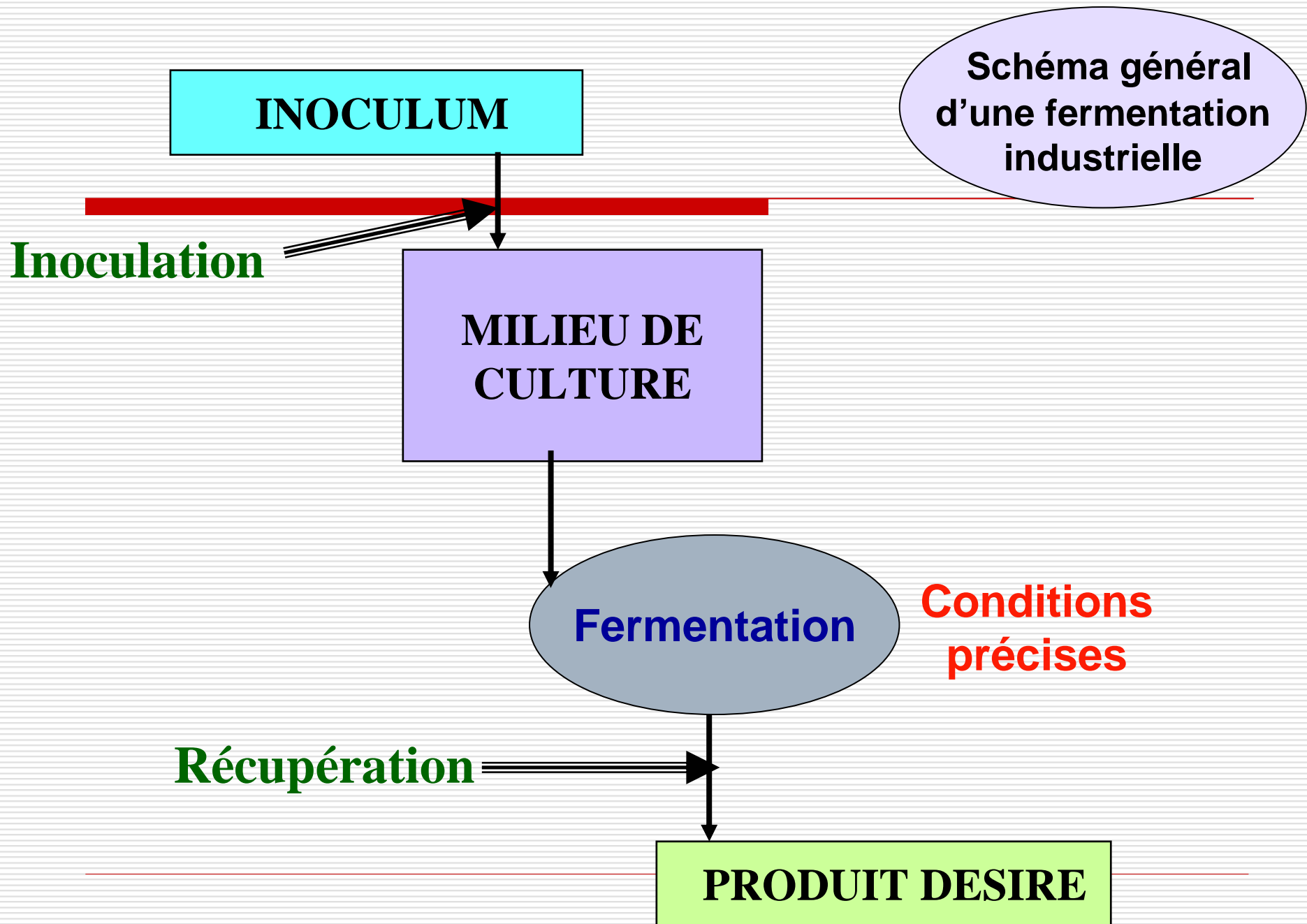
- Olives, cornichons, etc.
- Pain
- Choucroute

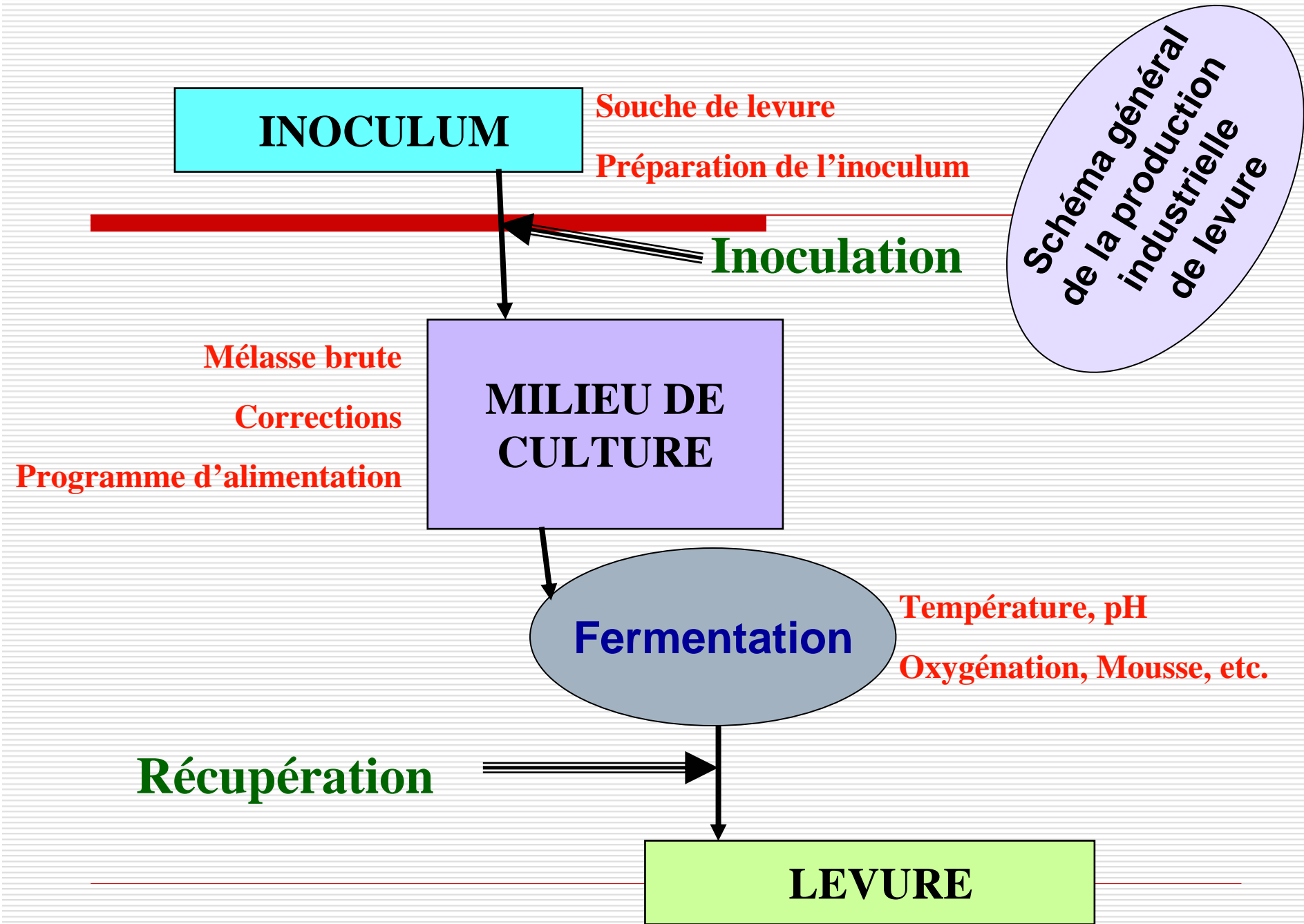
□ Boissons et dérivés

- Vins, bières, etc.
- Vinaigre

4.2- Production de levure boulangère

- Introduction
 - 4.2.1- La souche de levure boulangère
 - 4.2.2- Le milieu de culture en levurerie industrielle
 - 4.2.3- Conduite de la culture
 - 4.2.4- Récupération et conditionnement des formes commerciales
-





4.2.1- La souche de levure

- Espèce: *Saccharomyces cerevisiae*
(levure boulangère ou levure de bière)
 - Souches pour la panification à activité élevée (intense production de CO₂ dans la pâte): élasticité de la mie
 - Aussi rôle dans l'arôme et la qualité nutritionnelle du pain
-

4.2.1- La souche de levure (suite)

- Reproduction par bourgeonnement (plus intense en milieu aérobie)
 - Production de cellules (croissance) et production d'éthanol: 2 phénomènes toujours en compétition
-



**Cicatrice de
bourgeonnement**

This is a light micrograph of a budding yeast cell. The cell is roughly oval-shaped and appears to be in the process of dividing. A smaller, rounded bud is attached to the right side of the larger cell. Two yellow arrows point from text labels to specific features: one points to a small indentation on the upper surface of the larger cell, and the other points to the bud. The background is dark, making the light-colored cell stand out.

Bourgeon

**Bourgeonnement
de la levure**

GLUCOSE
 $C_6H_{12}O_6$

**Effet
Glucose
(Crabtree)**

ACIDE PYRUVIQUE
 $2CH_3COCOOH$

O₂

**Effet
Pasteur**

**Cycle
de
Krebs**

6 CO₂ + 6 H₂O + 38 ATP

2 CH₃CH₂OH + 2 CO₂ + 4 ATP

CROISSANCE IMPORTANTE

CROISSANCE FAIBLE

4.2.2- Le milieu de culture

- Le milieu de base: la mélasse de sucrerie:
 - . Composition
 - . Défauts de la mélasse et leur correction
-

Composition moyenne de la mélasse de canne et de la mélasse de betterave

Composition moyenne	Betterave		Canne	
Eau	16,5		20,0	
Sucres: saccharose	51,0	} 53,0	32	} 62
glucose	1,0		14	
fructose			16	
raffinose	1,0		-	
Mat.azotées totales	19,0		10,0	
Cendres SiO₂	0,10	} 11,5	0,5	} 8,0
K₂O	3,90		3,5	
CaO	0,26		1,5	
MgO	0,16		0,1	
P₂O₅	0,06		0,2	
Na₂O	1,30		-	
Fe₂O₃	0,02		0,2	
Al₂O₃	0,07		-	
Résidus carbonatés (en CO₂)	3,50		-	
Résidus sulfatés (en SO₃)	0,55		1,6	
Chlorures	1,60		0,4	

Défauts de la mélasse et leur correction

- Défauts liés à la concentration élevée en sucres:
 - + Viscosité élevée
 - + Activité de l'eau faible
 - + Pression osmotique élevée
 - + Effet glucose
 - Déséquilibre nutritionnel
 - Présence de substances inhibitrices
 - Contaminants microbiens
 - Matières en suspension (troubles)
 - Production saisonnière
-

Viscosité

- Elle gêne les transvasements et la clarification
- Effet du Brix: à 20°C, 471 poises pour Brix 82,3
56 poises pour Brix 78,5
- Effet de la température: pour Brix 78,5
56 poises à 20°C
4 poises à 50°C
- Remèdes
 - . Chauffage pour transvasements seuls
 - . Dilution pour clarification et stérilisation
(1/2 à 1/3: Brix 25-40)

Substances inhibitrices

- Nature et origine
 - . SO_2 : traitement des betteraves à la réception; sulfitation au diffuseur
 - . Nitrites: engrais (NO_3^- réduits par bactéries)
 - . Hydroxy Méthyl Furfural (HMF): réaction de Maillard; surtout mélasse de canne
 - . Imido disulfonate de Potassium: complexe entre SO_2 , NO_3^- et K^+ (précipite à froid)
- Remèdes: contrôle préalable; dilution (< CMI)

Déficiences nutritionnelles

- Origines: déséquilibre de la composition
dilution (obligatoire)
 - Remèdes
 - . **Azote**: urée, sels d'ammonium (sulfate par exemple), ammoniacque (régulation du pH)
 - . **Phosphore et soufre**: ac. phosphorique ou ac. sulfurique (pH initial); sulfate et phosphate d'ammonium par la suite (progressivement);
 - . **Oligo-éléments**: Cu et Fe surtout, Mg, Zn, etc.
 - . **Facteurs de croissance**: Biotine (pour mélasses de betterave); Thiamine (mélasses de canne).
-

Présence de matières en suspension

- Inconvénients:
 - . Stérilisation difficile
 - . Croissance de la levure ralentie
 - . Coloration anormale de la levure commerciale
- Remède: clarification (par précipitation ou centrifugation)

Autres contraintes

- Présence de micro-organismes contaminants

Remède: stérilisation

- Production saisonnière

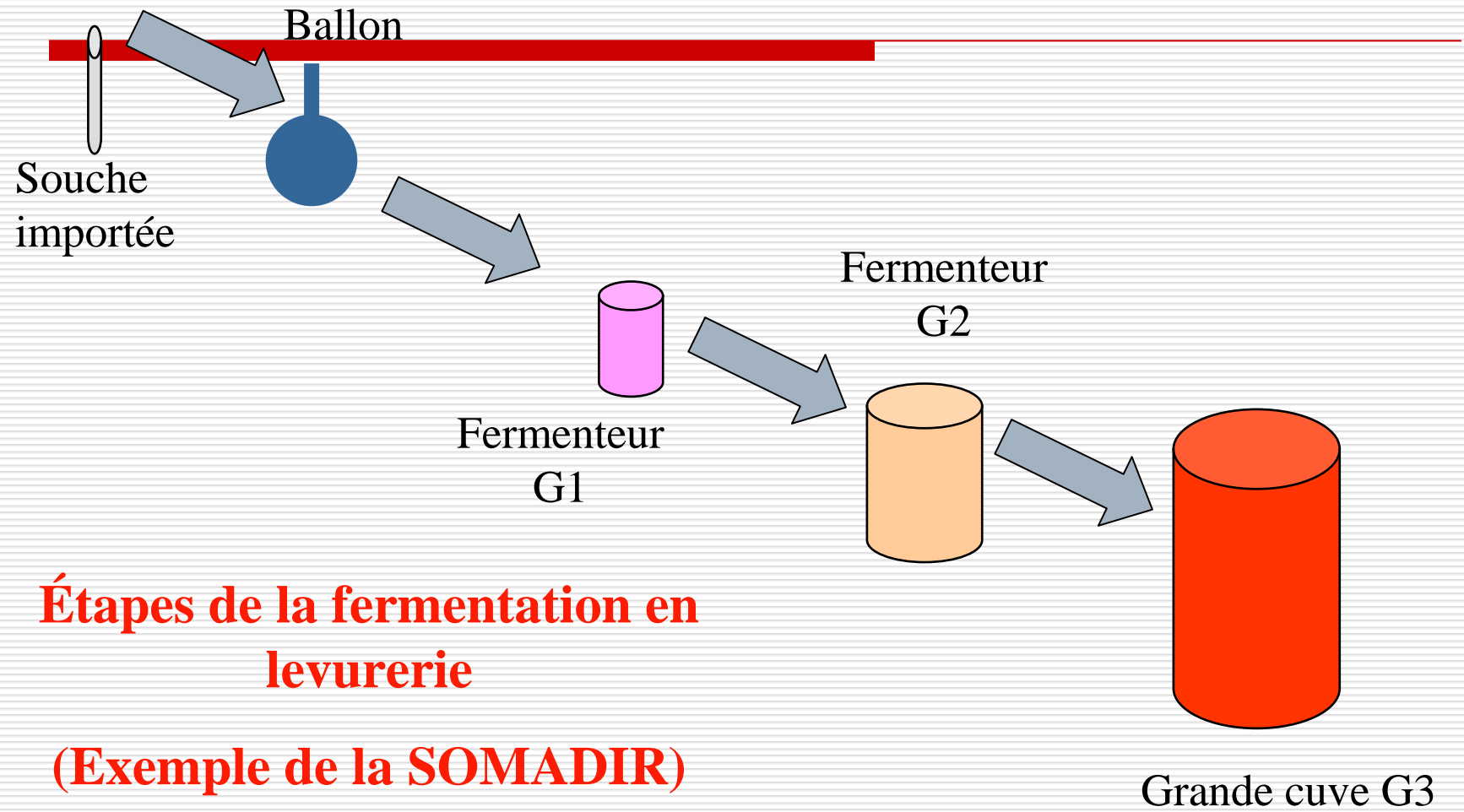
Solution: stockage

4.2.3- Conduite de la fermentation

- Étapes de la fermentation
- Contrôles des paramètres de la culture
 - . pH
 - . Température
 - . Oxygénation
 - . Mousse
 - . Alimentation en substrats
 - . Taux de croissance

Etapes de la fermentation

- Préparation au laboratoire (ballon)
- G1: petit fermenteur
- G2: 2^{ème} fermenteur
- G3: grande cuve
- Générations suivantes



Etapes de la fermentation (suite)

- Type de fermentation en grande cuve G3: fermentation en batch avec alimentation progressive en substrat
 - Préparation d'une pré-couche (sous-couche): eau + mélasse pré-diluée et traitée + solutions de supplémentation + acide (pH) + inoculum
 - Aération et mise en marche des systèmes de régulation
 - Addition progressive de mélasse pré-diluée et de solutions de supplémentation selon besoin
-

Génération suivantes

- La biomasse obtenue dans G3 concentrée par centrifugation (crème de levure)
 - Répartie en plusieurs fractions
 - Chaque fraction servira à ensemençer une cuve de type G3
 - Opération répétée sur plusieurs générations (6 à 8): économie de souche importée
-

Contrôle des paramètres de la culture

□ pH

- Culture possible entre pH 3,5 et 7
- pH acides préférés pour éviter les contaminations bactériennes
- Évolution du pH en cours de fermentation: le rétablir par addition d'acide sulfurique ou d'ammoniaque (régulation automatique)

Contrôle des paramètres de la culture (suite)

□ Température

- Croissance possible entre 20 et 40°C (glt 32-34°C)
 - Basses températures: meilleure efficacité de la conversion du substrat en cellules
 - Hautes températures ($> 35^{\circ}\text{C}$): perte de rendement par augmentation d'activité fermentaire
 - Dégagement de chaleur par fermentation: 3200 Kcal/Kg de levure sèche (700 Kcal/Kg de mélasse à 50% de sucres)
 - Refroidissement peut être régulé automatiquement (thermostat)
-

Contrôle des paramètres de la culture (suite)

□ Oxygénation

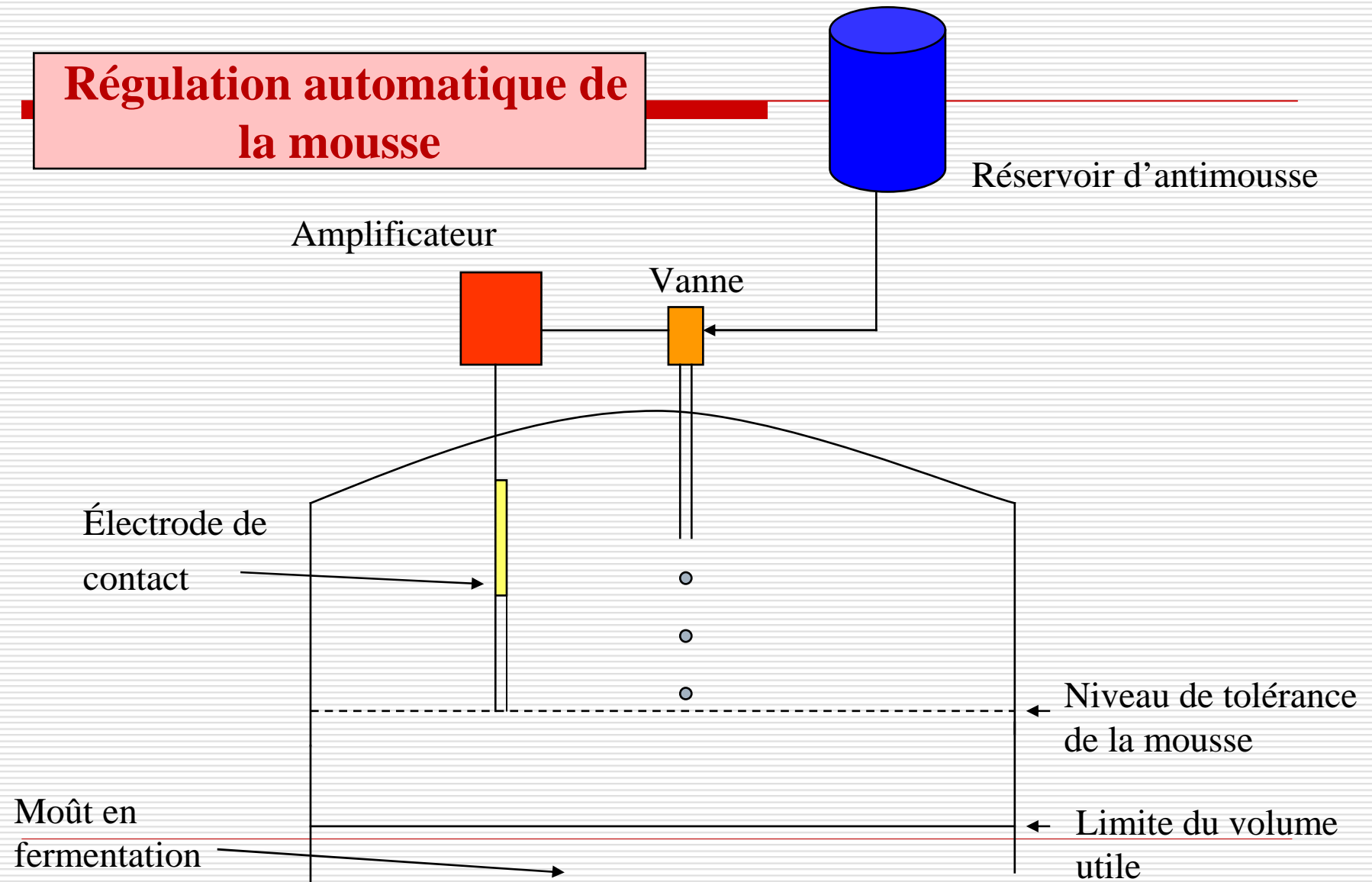
- 1g d'O₂ nécessaire pour produire 1g de levure sèche
 - Quantité d'air nécessaire: 20-25 m³/Kg de levure sèche
 - Énergie nécessaire pour le soufflage de l'air: 0,4 Kwh/Kg de levure sèche (80% de la consommation de l'atelier de fermentation)
 - Contrôle par dispositif automatique
 - Filtration de l'air: filtres dégrossissants (poussières et micro-organismes) et filtres stérilisants (fibres de verre, laine minérale, cellulose - amiante, etc.)
-

Contrôle des paramètres de la culture (suite)

□ Mousse

- Inconvénients de la mousse:
 - . Risques de contamination
 - . Réduction de l'efficacité de l'aération
 - Remèdes
 - . Addition d'antimousse dans la pré-couche (ex.: huile d'olive)
 - . Addition progressive manuelle ou automatique (électrode de contact)
-

Régulation automatique de la mousse



□ **Contrôle de l'alimentation en substrat**

- Croissance sur la pré-couche, tendance à l'épuisement des substrats
 - Addition progressive en substrats suivant des débits contrôlés:
 - . Par la richesse en alcool du moût (effet Crabtree): taux toléré: 0,5 à 1% d'alcool
 - . Par le test de titration au formol (concentration de l'ion ammonium et des amino-acides) → réglage de l'alimentation en Azote
-

Contrôle des paramètres de la culture (suite)

□ Contrôle du taux de croissance

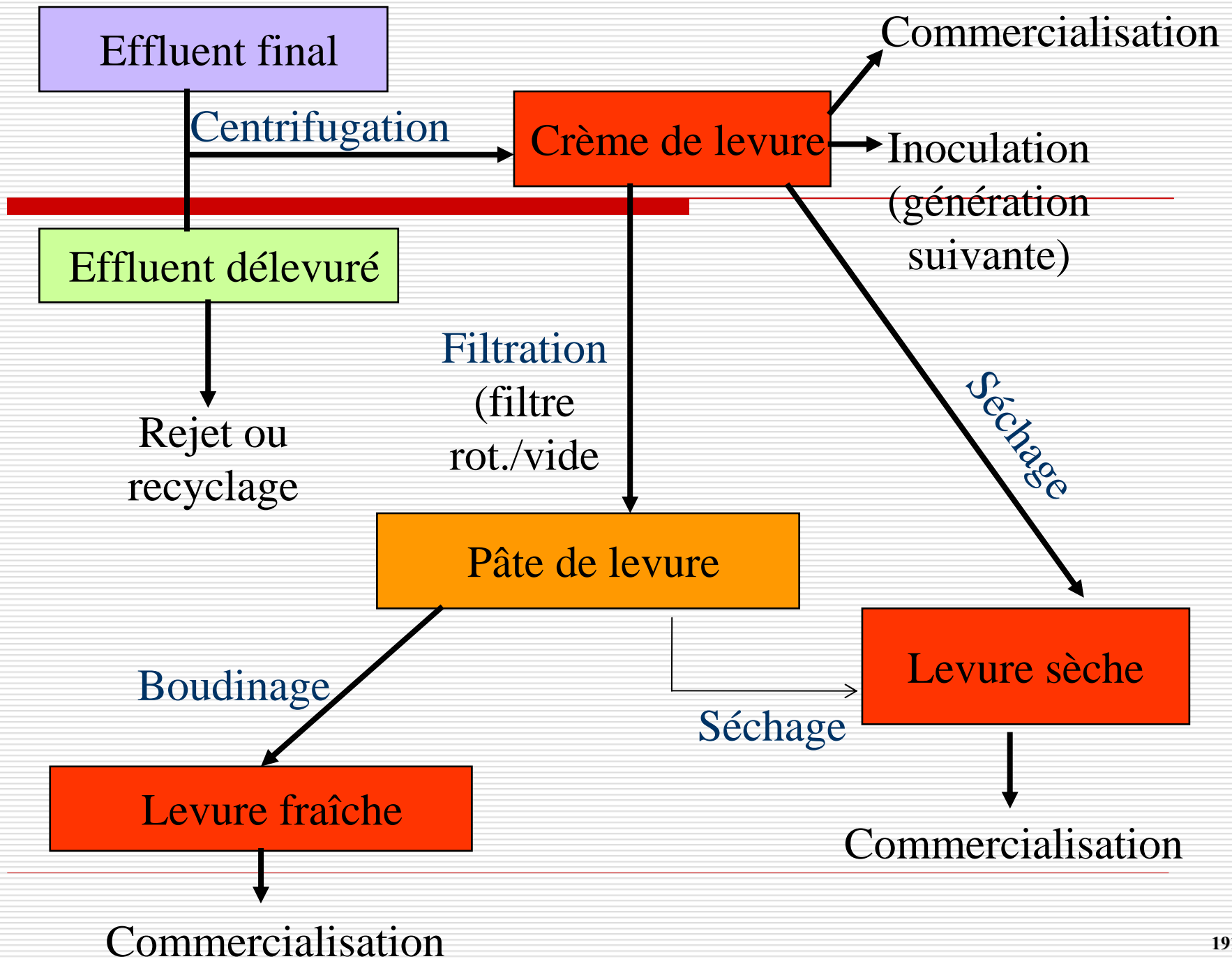
- Équation de Monod: $k = k_{\max} \frac{S}{k_s + S}$
- $k_{\max} = 0,6 \text{ g/h/g}$
- pour un k élevé, rendement faible, activité fermentaire élevée.
- Généralement, on choisit $k = 0,05-0,3 \text{ g/h/g}$ pour avoir qualité, densité cellulaire et conversion du substrat en cellules satisfaisantes

- S: conc. du substrat limitant
- k_s : constante, valeur de S correspondant à $k=k_{\max}/2$

4.2.4- Récupération et conditionnement des différentes formes commerciales

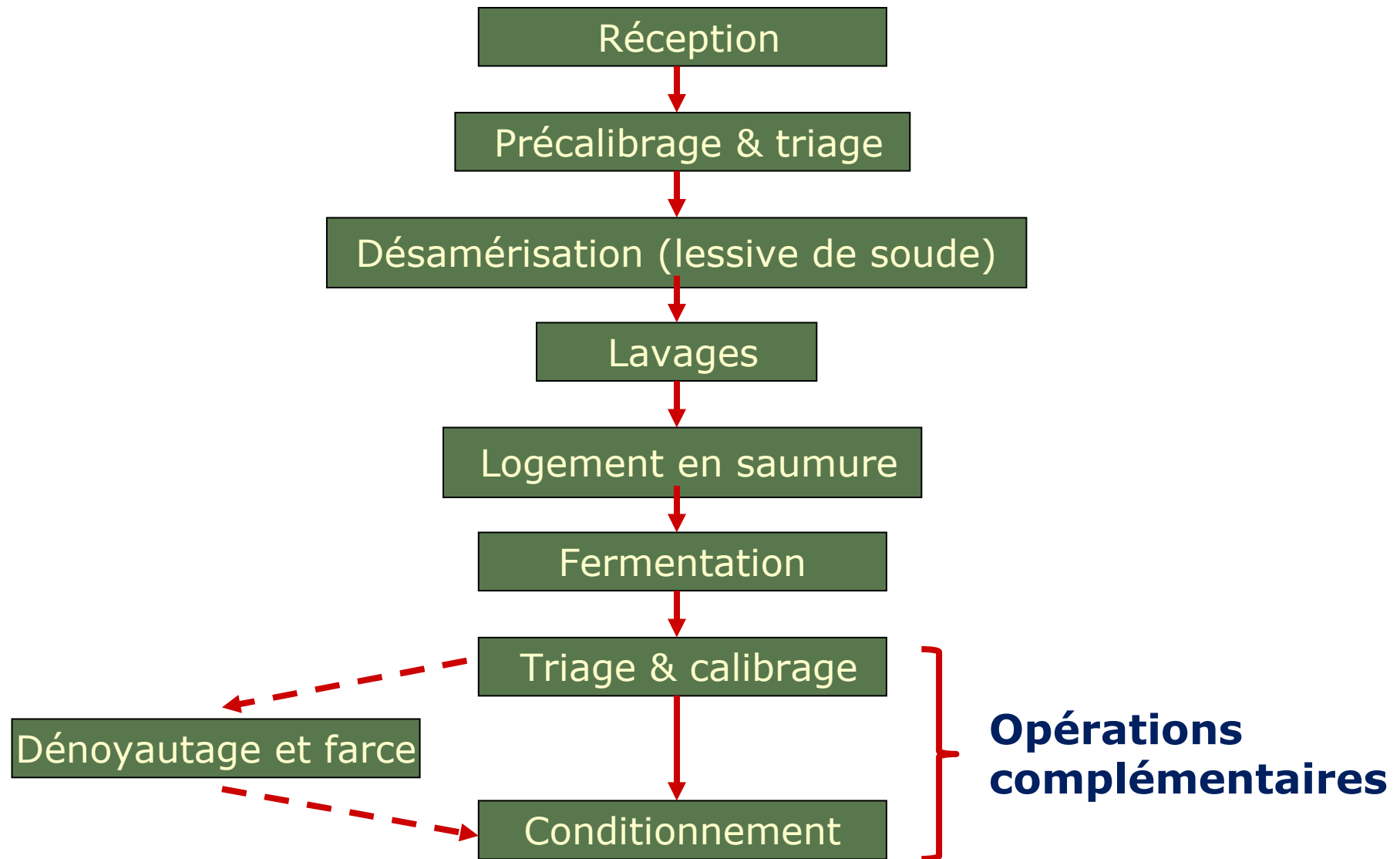
□ Formes commerciales:

- Levure liquide (crème de levure)
- Levure fraîche (pâte de levure)
- Levure sèche



4.3- Préparation d'olives vertes confites en saumure

- Principales catégories d'olives de table:
 - Olives vertes confites en saumure
 - Olives noircies par oxydation
 - Olives noires façon Grèce
 - Autres types:
 - . Olives noires non traitées au naturel
 - . Olives noires confites en saumure



**Diagramme de fabrication des olives
vertes confites en saumure**

Cueillette et transport

- **Date de cueillette**: stade vert-jaune
 - . Précoce: texture dure, faible teneur en huile, beaucoup d'amertume
 - . Tardive: texture molle, sensibilité aux poches de gaz
 - **Ne pas endommager** les olives (cueillette manuelle, vibreur; éviter le gaulage)
 - **Transport**
 - . en caisses (20-30 kg) empilables, propres, en plastique
 - . en container de 500 kg (armature métallique, parois en grille de plastique)
-



Cueillette manuelle



Vibreux monté sur tracteur
pour la cueillette des olives



petit vibreur pour la
cueillette des olives

À éviter absolument: le gaulage





Transport des olives

Caisses en plastique
empilables



Containers (500 kg)

Pré-calibrage et triage

- Pré-Calibrage: calibreuse à câbles divergents:
 - . Élimine trop petits fruits, feuilles, brindilles, etc.
 - . Répartit fruits en 3 ou 4 calibres (important pour traitement alcalin ultérieur)
 - Triage manuel
 - . Élimine fruits piqués, tachés, véreux, etc.
 - . Très important avant suite des opérations
-



Calibreuse d'olives

Désamérisation (traitement à la soude)

- but: éliminer l'amertume, favoriser la fermentation lactique,
- Préparer solution de soude (1-3%) la veille
- Remplissage des cuves de désamérisation

Exemple: « désamériseur » de 16 m³ de capacité

- 1- placer une grille en inox au fond du « désamériseur » (pour faciliter la vidange)
- 2- introduire environ 3000 litres d'eau
- 3- charger la cuve d'olives
- 4- vidanger l'eau et ajouter la solution de soude
- 5- placer un grillage à la surface pour que toutes les olives soient immergées

Désamérisation (traitement à la soude) (suite)

- Fin désamérisation: quand pénétration soude aux $\frac{2}{3}$ du rayon radial pour majorité ($\sim 80\%$) des olives
 - Durée du traitement selon pénétration de la soude
 - . Insuffisante: olives restent amères et fermentent mal;
 - . Excessive: ramollissement des fruits, qui s'abiment facilement
-

Pénétration de la soude à l'intérieur de la pulpe d'olive



Coupe transversale: apparition d'une auréole brunâtre après quelques secondes

Lavages

- But: élimination de la lessive alcaline de la surface et d'une partie de l'intérieur
 - Procédé
 - Vidanger la solution de soude
 - Lavages à l'eau douce
 - . Un seul rinçage de ~ 15 h (pour traitement normal à la soude)
 - . Deux rinçages: 2-3 h, puis 10-12 h (pour traitement énergétique à la soude)
-

Lavages (suite)

- Lavage insuffisant:
 - persistance de l'amertume
 - fermentation difficile
 - olives difficiles à dénoyauter
 - Lavage excessif:
 - perte de la matière fermentescible,
 - pH pas assez bas
 - caractéristiques organoleptiques non satisfaisantes
 - Contrôle de l'efficacité de l'opération lavages:
pH des eaux de lavage ~ 7
-

Logement en saumure et fermentation

- ❑ Désamériseurs vidangés des eaux de lavage
 - ❑ Olives aspergées d'eau, puis égouttées 5-10 mn
 - ❑ Cuves remplies de saumure (NaCl 10%)
 - ❑ Après 10-12h, transvasement dans fermenteurs (cuves enterrées ou non, ou simples fûts)
-



Fermenteurs d'olives
dans un atelier de
fermentation

Fermenteurs souterrains d'olives





Pompe pour le transport des olives dans leur saumure



Conduites pour le transport des olives dans leur saumure

Logement en saumure et fermentation (suite)

- La concentration de sel diminue et s'équilibre vers 6% (à contrôler: 5 à 6%)
 - trop faible: altérations (*Clostridium*)
 - trop forte: inhibition de la fermentation

 - Procéder à l'ouillage (remplir le fermenteur pour compenser les pertes de saumure par évaporation ou déversement)
-

Logement en saumure et fermentation (suite)

- Éliminer le voile fongique de surface (éviter perte d'acidité et ramollissement)
 - Soutirage des fonds de fermenteurs (1% du volume) et remplacement par saumure à 6% de NaCl (2 à 3 j du début de fermentation, puis tous les 20 à 30 j)
-

Fermentation proprement dite

- pH du liquide souvent $> 7,0$
 - Acidification pour accélérer démarrage de la fermentation (HCl de qualité alimentaire ou injection de CO_2)
 - Sélection de microorganismes appropriés par conditions physico-chimiques à mesure que la fermentation progresse
 - Parfois inoculation de levains lactiques (Lactobacilles)
-

Première étape de fermentation

Flore	Évolut°	Effets	Espèces
Bacté. à Gram néga- tif non sporu- lées	Maxi. 2j; disparaît 12-15 j (après saumu- rage)	Forte product° de gaz des 1ers jours de ferment°	<i>Enterobacter cloacae</i> , <i>Citrobacter freundii</i> , <i>Klebsiella aerogenes</i> , <i>Flavobacterium diffusum</i> , <i>Aerochromobacter superficialis</i> , <i>Escherichia coli</i> <i>Aeromonas spp</i>

Deuxième étape de fermentation

Flore	Évolut°	Effets	Espèces
Bactéries lactiques	Démarre à pH 6; Niveau max des lactobacilles 7-10 j après saumurage; diminution lente jusqu'au 60-300 ^{ème} jour.	pH continue à baisser	<i>Lactobacillus plantarum</i> ; mais aussi espèces des genres: <i>Lactococcus</i> <i>Pediococcus</i> <i>Leuconostoc</i>

Troisième étape de fermentation

Flore	Évolut°	Effets	Espèces
Lacto-bacilles + levures	Se poursuit jusqu'à épuisement des nutriments	Développement des propriétés organoleptiques du produit fini	<i>Lactobacillus plantarum</i> (espèce dominante) Levures: <i>Hansenula anomala</i> , <i>Candida krusei</i> , <i>Saccharomyces chevalieri</i>

Caractéristiques d'une bonne fermentation

- pH $\leq 4,5$
 - Fruits de couleur vive jaune pâle
 - Stockage possible un an ou plus avec contrôles réguliers et ...
 - Ajustements éventuels (pH, acidité, salinité: $\sim 9\%$ en NaCl)
-

Triage et calibrage

- ❑ Séparation des olives de la saumure
 - ❑ Équeutage (pédoncules) et triage (unités défectueuses)
 - ❑ Calibrage (calibreuse à câbles divergents)
 - ❑ Conditionnement: fûts, sachets plastiques, bocaux en verre ou PVC, boîtes métalliques
-

Conditions de stabilité du produit

- pH < 4,0 (récipient hermétique)
pH < 4,5 (récipient non hermétique)
 - Sel: 5 à 6%
 - Acidité libre: 0,4-0,6%
Acidité combinée: 0,020-0,025 } en acide lactique
-

Pasteurisation

- ❑ Du fait du pH (< 4,5), pasteurisation suffit pour stabiliser le produit
- ❑ Traitement pas trop sévère pour préserver couleur, saveur et texture
- ❑ Barèmes recommandés par le COI (Comité Oléicole International)

Type de récipient	Durée du traitement à 80 °C
Bocaux en verre (fermeture à 35 °C)	6 à 19,5 min selon format
Boîtes en fer blanc	1 à 6 min selon format

4.4- Rôle des microorganismes dans la fabrication des fromages

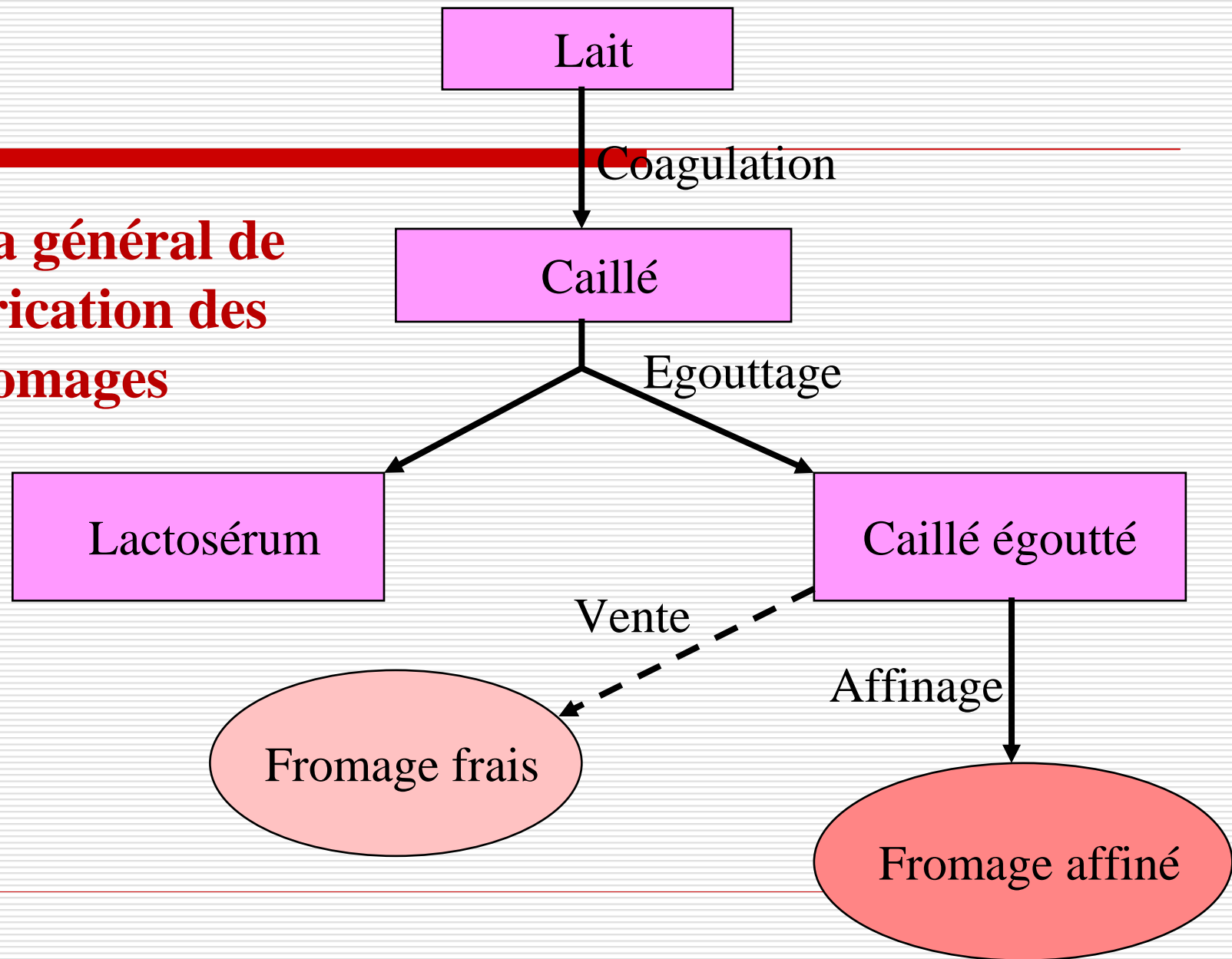
- Généralités
- Caillage du lait
- Egouttage du caillé
- Affinage

Généralités

Fromage: produit alimentaire obtenu par:

- Caillage (coagulation) du lait
- Égouttage du caillé (coagulum)
- Affinage du caillé égoutté (facultatif: fromages affinés seulement)

**Schéma général de
la fabrication des
fromages**



Classification des fromages

Types de pâte	Affinage	Exemples
Fraîche	Sans affinage	Jben, Petit-Suisse
Molle	Croûte moisie Moisissure interne Croûte lavée	Camembert, Brie, Bleus, Roquefort (brebis) Munster, Livarot
Pressée	Croûte moisie Croûte lavée	St-Nectaire, Tomme St-Paulin, Reblochon
Ferme non cuite	Croûte lavée	Cantal
Ferme cuite	Ouverture, cr. morgée Ouverture, cr. sèche Sans ouv., cr. morgée	Comté Emmenthal, Gruyère Beaufort

Caillage du lait

- Définition
- Caillage enzymatique: caillé présure
- Caillage par acidification: caillé acide ou lactique
- Caractéristiques des deux types de caillé
- Remarques

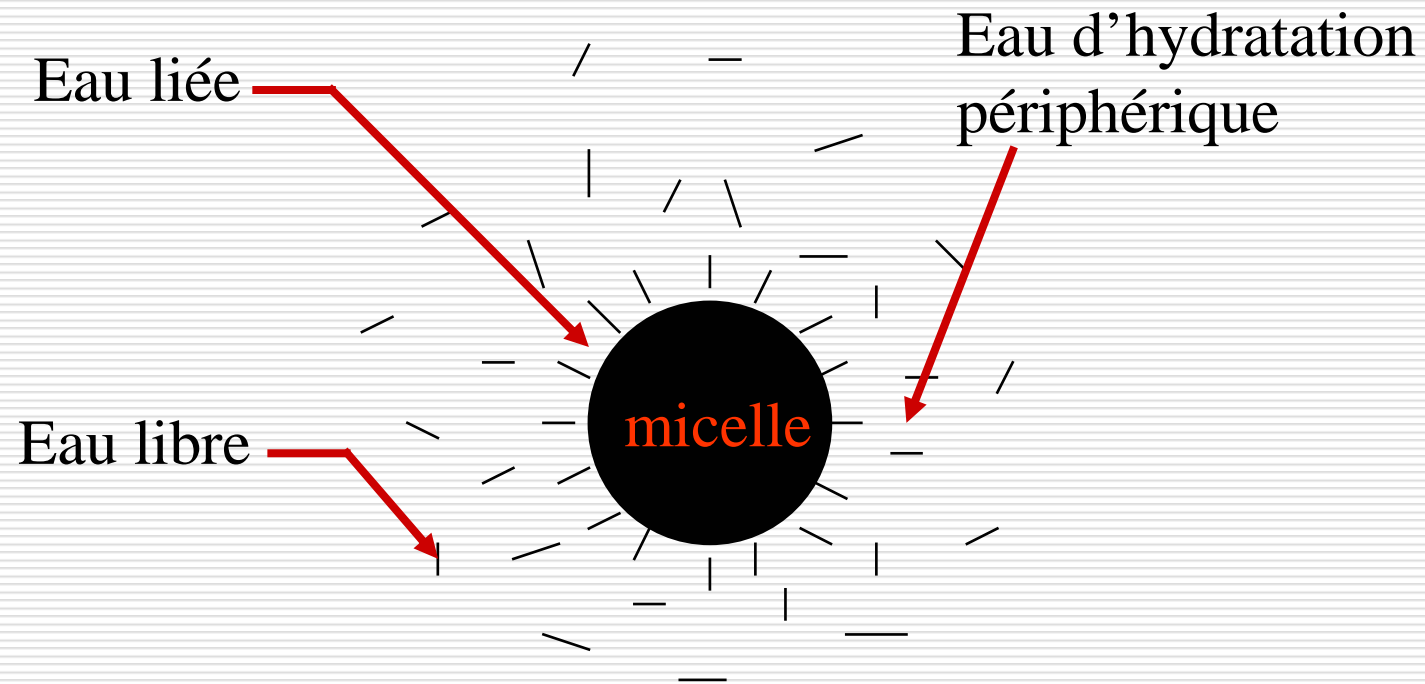
Définition

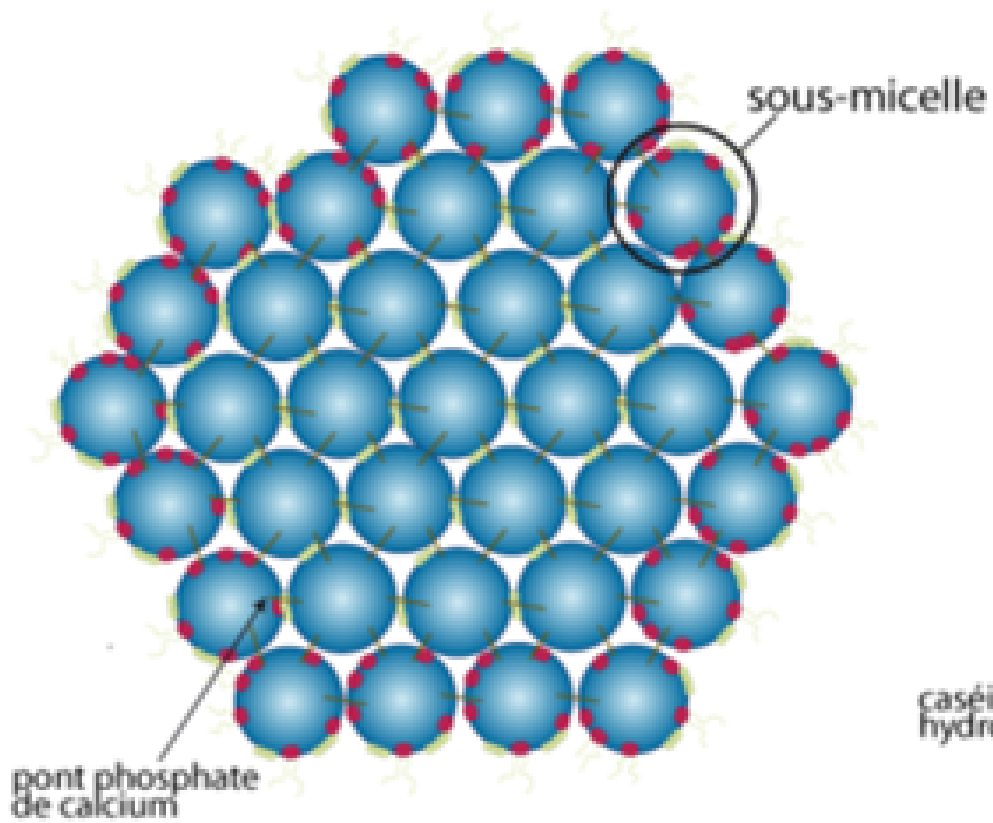
Caillage: transformation du lait liquide en lait coagulé (coagulum = caillé de fromagerie)

Dans le lait liquide, micelles de caséine en suspension stable car entourées d'une couche d'eau d'hydratation (charges négatives)

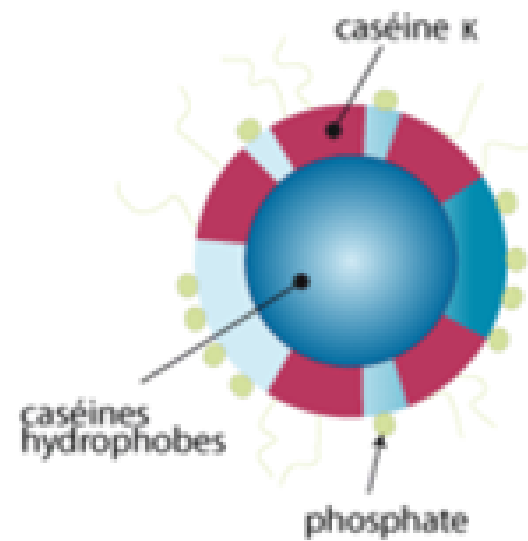
Caillage: déstabilisation de cette suspension

Hydratation de la micelle de caséine en suspension stable





Micelle



Sous-micelle

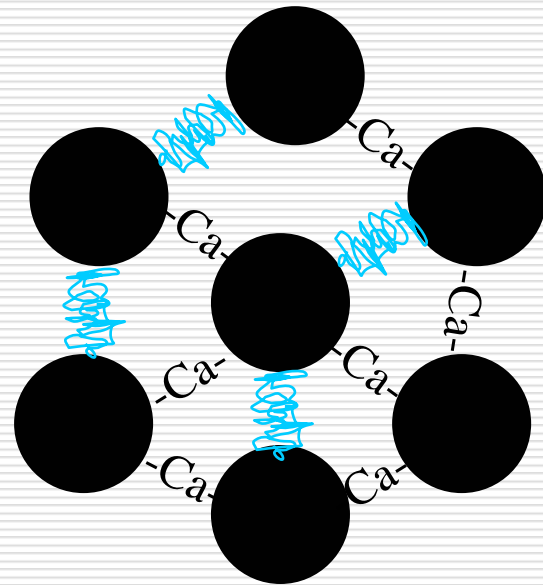
Caillage enzymatique

Caséine entière $\xrightarrow{\text{présure}}$ CGP +
paracaséine

CGP (Caséino-Glyco-Peptide) très chargé négativement, se détache (PM faible)

Paracaséine, instable, coagule => **caillé**
présure

Rôle important joué par Ca^{++} et phosphate de calcium colloïdal



Caillage par acidification

pH normal du lait frais: 6,6-6,8

pH isoélectrique de la caséine: 4,6

L'acide lactique produit par
fermentation diminue le pH;
coagulation à pH 4,6

=> **caillé acide ou lactique**

Caractéristiques des 2 types de caillé

Caillé acide: mou, perméable, peu élastique

Caillé présure: ferme, imperméable, élastique

Remarques

- Souvent, en fromagerie, coexistence des 2 mécanismes => **caillé mixte**
- La part des 2 mécanismes peut varier, donnant des caillés mixtes à **dominance présure** ou à **dominance lactique**
- Un caillé présure peut évoluer vers les caractéristiques d'un caillé acide suite au développement des bactéries lactiques

Egouttage du caillé

- Définition
- Égouttage spontané (cas du Camembert)
- Égouttage forcé (cas des fromages à pâte cuite)

Définitions

- Egouttage: élimination du lactosérum
- La fraction solide qui reste: caillé égoutté

Egouttage spontané (cas du Camembert)

- Caillage par présure après un léger développement des bactéries lactiques: caillé mixte à dominance présure au départ
- Moulage: le caillé doit être ferme
- Egouttage: 28-30°C (salles d'égouttage); les ferments lactiques dominants: *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* et *L. lactis* subsp. *diacetylactis*

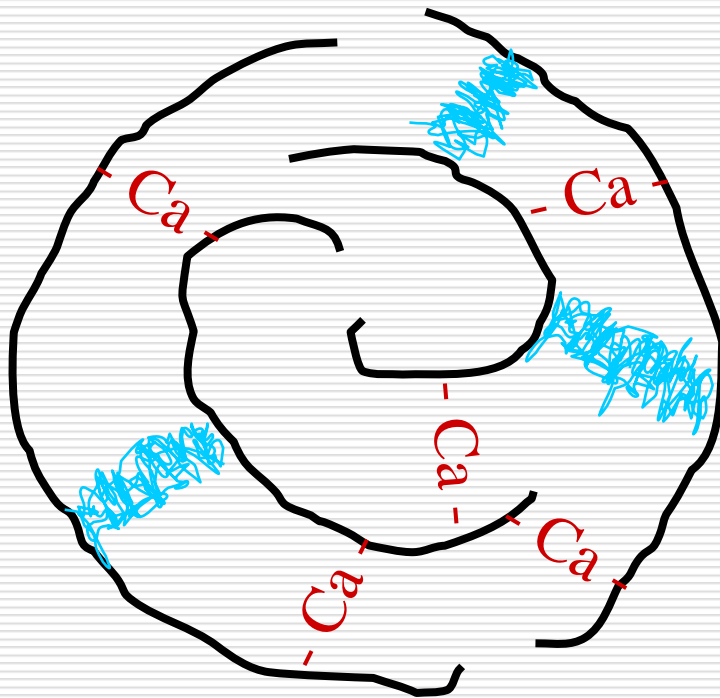
Rétraction du caillé par:

- Déminéralisation: libération des ions Ca^{++} et solubilisation du phosphate de Ca colloïdal
- Protéolyse
- Modification de texture du caillé

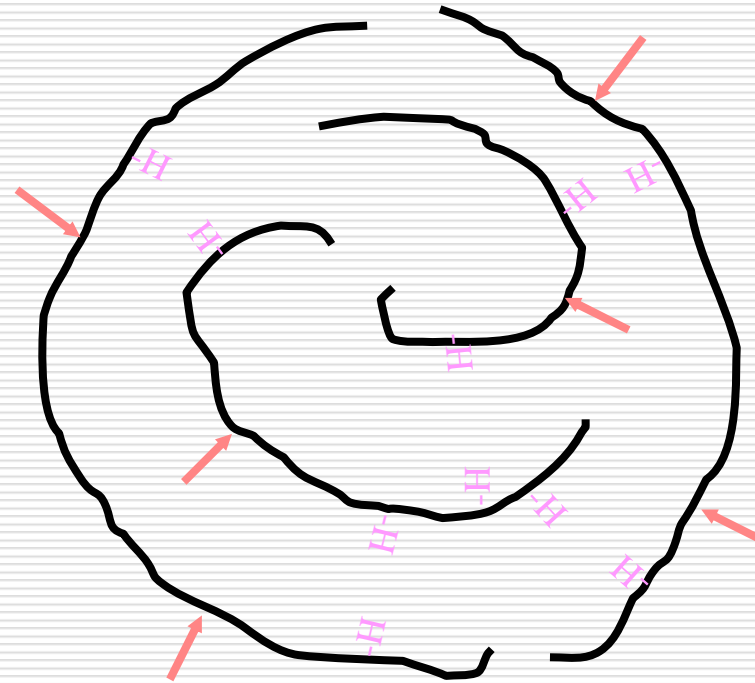
Au bout de 24 h, caillé de type lactique presque pur (pH 4,2-4,6)

- Déplacement des ions Ca^{++} par les ions H^+
- Solubilisation du phosphate de Calcium en milieu acide
- Action des protéases bactériennes (→)

Micelle avant
égouttage



Micelle après
égouttage



Mécanisme de l'égouttage spontané

Conditions d'un bon égouttage

- Température: 28-32°C
- Lait exempt d'antibiotiques
- Pas trop de Coliformes

Egouttage forcé (fromages à pâte ferme)

- Caillage très rapide (1h15' -1h30'): lait porté à 32°C et emprésuré => caillé de type présure
 - Travail du caillé:
 - . Brassage: découpage et agitation
 - . Chauffage (52-54°C): sélection de bactéries lactiques thermophiles:
Streptococcus thermophilus, Lactobacillus helveticus, Lb. lactis
-



Découpage et agitation du caillé en fromagerie

Risque de gonflement tardif

Attention: survie des formes sporulées:

- *Clostridium butyricum*
- *Cl. tyrobutyricum*
- *Cl. sporogenes*

Risque d'accident de fabrication:
gonflement tardif

Relation avec ensilages mal réussis (pH
trop élevé)

Pressurage:

- . Accentuation de l'égouttage
- . Collage des grains de caillé
- . « Formage » ou mise en forme du fromage

Lactobacilles se développent davantage au centre, Streptocoques davantage vers la périphérie (sélection thermique)

Fin du séjour sous presse: population bactérienne de plusieurs milliards / g
pH 5,1-5,2 (Emmenthal)

Pressurage



Affinage des fromages

- Cas du Camembert
- Cas des fromages à pâte ferme (type Gruyère)

Cas du camembert

- ❑ Salage: sel fin ou saumure, après égouttage et démoulage
- ❑ Ensemencement des spores de *Penicillium caseicolum*: dans le lait avant caillage, ou au cours du salage ou après salage
- ❑ Séjour au hâloir: salle climatisée (13-15°C; 90% HR)
- ❑ Phénomènes superficiels et phé. profonds

Phénomènes superficiels: succession de groupes microbiens

- Flore acidophile (levures essentiellement):
consomme l'acide lactique, préparant
l'installation du *Penicillium*
- *Penicillium caseicolum*: fleurissement
(feutrage blanc vers 8^{ème} jour au hâloir);
fromages retournés pour aération
Protéases et lipases diffusent vers le centre
- Ferments du rouge: Microcoques et
Brevibacterium linens (très protéolytiques)

Condition d'un bon développement du *Penicillium*

salage bien dosé:

- Salage insuffisant: développement excessif des levures acidophiles => peau de crapaud
- Salage excessif: développement nul ou insuffisant des levures acidophiles => fromage nu, sec et trop acide

Camembert





Autre exemple de
fromage moisi:
le Roquefort

Moisissure
interne:
*Penicillium
roqueforti*

Phénomènes en profondeur

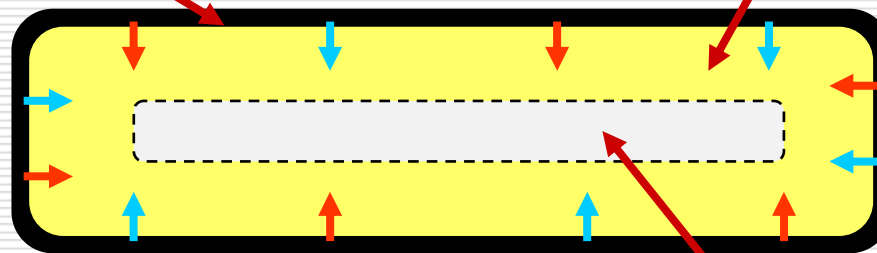
➤ essentiellement:

- Diffusion des protéases du *Penicillium* et des ferments du rouge (**affinage centripète**): fromage « affiné à cœur », puis fromage « coulant »

Schéma de l'affinage centripète du Camembert

Croûte de *P. caseicolum*

Fraction déjà affinée

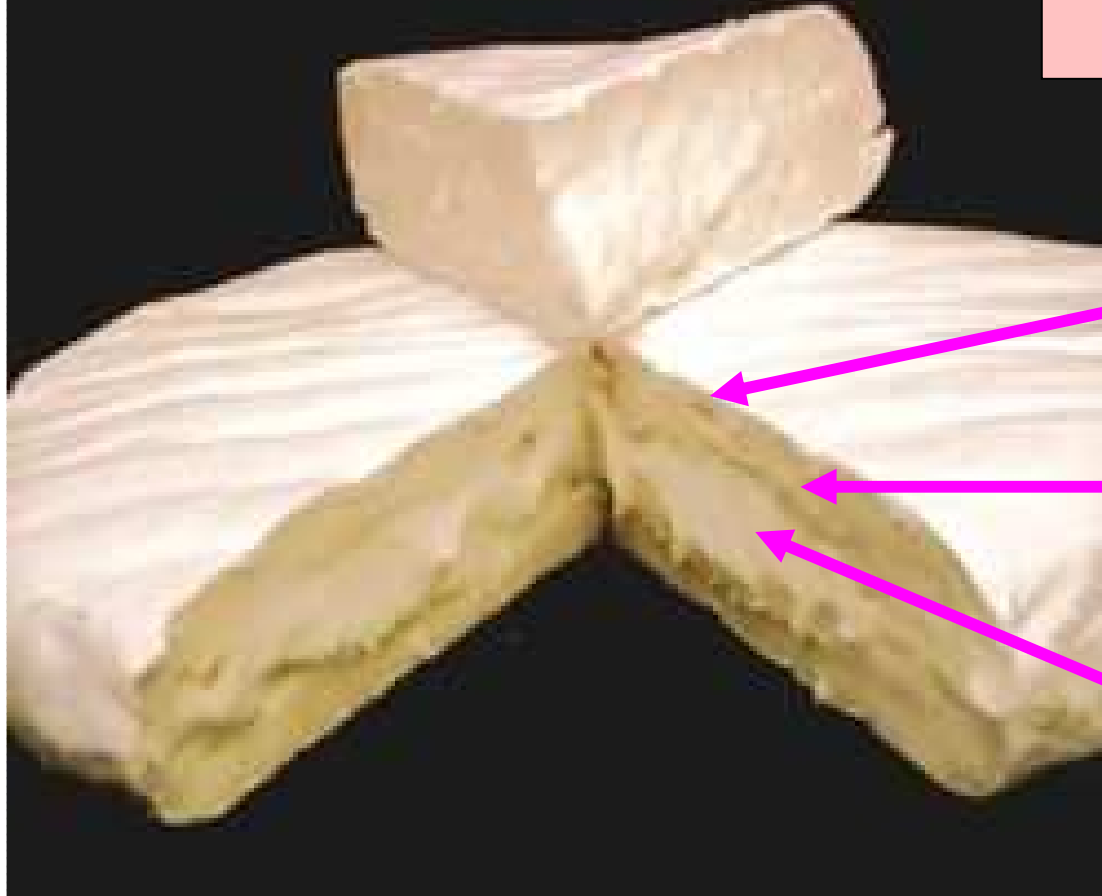


→ Lipases

→ Protéases

Fraction non
encore affinée

Affinage centripète du Camembert



Croûte moisie

**Partie
superficielle de
la pâte, affinée**

**Partie centrale
pas encore
affinée**

Cas des fromages à pâte ferme

- Salage
- Séjour en cave froide (10-12°C, 2 à 3 sem.)
 - Chute du nombre des micro-organismes
 - Nouvelle poussée ($\approx 10^9$ /g): *Lb. helveticus* et *Str. thermophilus* en symbiose
 - Nouvelle chute de population ($\approx 10^5$ /g): libération de protéases endocellulaires par *Lb. helveticus* et *Lb. lactis* surtout
 - Soins apportés à la croûte: salage, brossage, retournement

Séjour en cave chaude

- Évolution de la pâte
 - . Nouvelle prolifération microbienne (10^8 - 10^9 /g): (*Propionibacterium freudenreii* et *P. janssenii*)
 - . Température optimale: 23-24°C
 - . Formation d'acides propionique et acétique et de CO_2 à partir du lactose, d'ac. lactique et d'ac. pyruvique => goût et arôme et « ouverture »

Importance du développement de l'ouverture

- Emmenthal: « yeux » de la taille d'une noix (Cave chaude: 20-22°C)
- Gruyère: « yeux » de la taille d'une noisette (Cave chaude: 17-18°C)
- Fromage de Beaufort (Fr.) ou de Fribourg (CH): « Gruyère sans trous » (Température maintenue: 10-12°C)

Emmenthal



Évolution de la croûte

- . Cas de l'Emmenthal et du Gruyère, croûte sèche (frottages avec sel sec, retournements et brossages)
- . Cas du fromage de Comté, développement de la morge: couche visqueuse rouge à brune de bactéries (*Brevibacterium linens* et *Br. gruyerencea*) halotolérantes (jusqu'à 16% de sel), température optimale 21°C, très protéolytiques, libérant tyrosine, ammoniac et amines (goût très fort)

CHAPITRE 5

TECHNOLOGIES D'EXTRACTION ET DE SEPARATION

- 5.1- Généralités
 - 5.2- Fabrication des huiles de table:
trituration et raffinage
 - 5.3- Fabrication de l'huile d'olive
 - 5.4- Crèmerie beurrerie
-

5.1- Généralités

- La matière première contient une fraction ayant un intérêt particulier:
 - Nutritif: beurre
 - Culinaire: huiles végétales
 - Organoleptique: sucre
 - Technologique: farines

**Une même fraction peut
présenter plus d'un
intérêt**

5.1- Généralités (suite)

- L'extraction peut nécessiter au préalable:
 - un découpage (betterave à sucre)
 - un broyage: canne à sucre, blé, graines et fruits oléagineux, etc.
 - un simple aplatissage: graines oléagineuses
-

5.1- Généralités (suite)

- Techniques de séparation ou d'extraction variées:
 - Tamisage: farines (le maillage détermine le taux d'extraction)
 - Agitation après maturation (barattage de la crème) pour récupérer le beurre
 - Pression, suivie d'une séparation: olives, graines oléagineuses
 - Usage d'un solvant: eau (betterave à sucre), hexane (huiles); extraction optimisée (pH, température, etc.)
-

5.1- Généralités

- Le produit de l'extraction n'est pas toujours utilisable tel quel (produit brut); nécessité de procéder à un raffinage (huiles de table, sucre)

5.1- Généralités

- Le(s) sous-produit(s) est (sont) souvent important(s) en masse, d'où la nécessité de lui (leur) trouver un usage intéressant. Exemples:
 - Tourteaux des graines oléagineuses
 - Grignons d'olives
 - Son de blé
 - Bagasses de canne à sucre
 - Pulpe de betterave à sucre
-

5.2- Fabrication des huiles de table: trituration & raffinage

□ 5.2.1- Généralités

□ 5.2.2- Trituration des graines
oléagineuses

□ 5.2.3- Raffinage

5.2.1- Généralités

- Plantes oléagineuses variées, sources d'huiles alimentaires végétales: tournesol, arachide, soja, colza, maïs, coton, palme, coprah, olive, argan, etc.

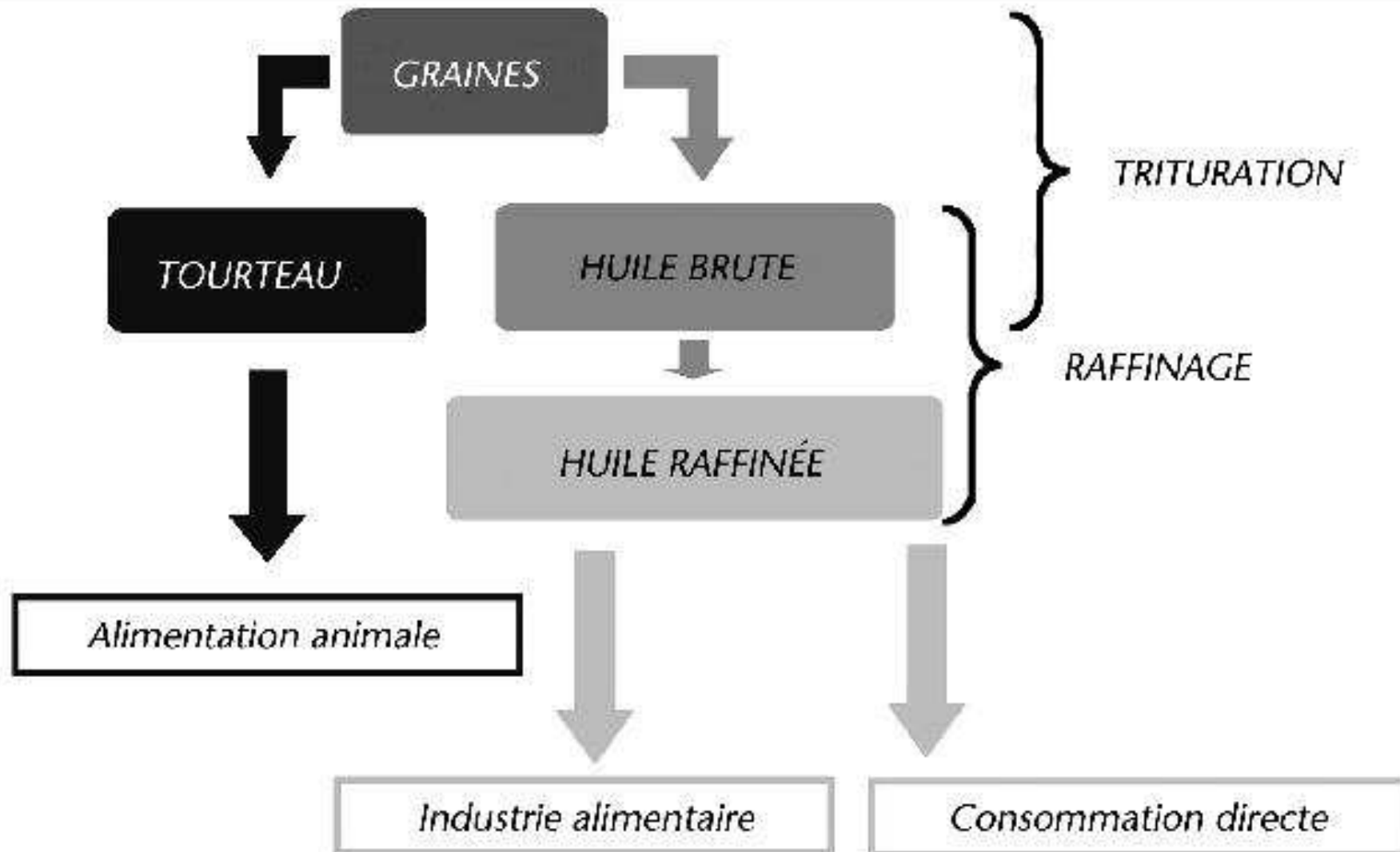
5.2.1- Généralités (suite)

- La fraction lipidique (huileuse) comprend notamment:
 - Des triglycérides (fraction la plus importante)
 - Des mono- et des diglycérides
 - Des acides gras libres (acidité, goût et odeur)
 - Du glycérol et d'autres alcools
 - Des phospholipides
 - Des stérols
 - Des vitamines
-

5.2.1- Généralités (suite)

- On distingue, en général:
 - Les huiles de table: huiles de graines raffinées, mélangées ou pures (mention sur étiquette)
 - Les huiles d'olive, préférées brutes (vierges)
 - Certaines huiles spéciales: argan par exemple
-

Schéma général de fabrication des huiles de table



5.2.2- Trituration des graines oléagineuses

- Définitions
- Technologie
- Composition et caractéristiques de l'huile brute

Définitions

- Trituration: opération permettant l'extraction de l'huile brute, le résidu solide étant le tourteau

 - Remarque: Cas de l'olive, huile extraite (vierge) +
 - résidu solide: grignon
 - résidu liquide aqueux: margines
-

Technologie

- 1- pré-nettoyage
- 2- Nettoyage
- 3- Broyage
- 4-Conditionnement thermique (cuisson)
- 5- Aplatissage
- 6- Extraction par solvant (*micella*)
- 7- Traitement du tourteau
- 8- Distillation du *micella*

- parfois opérations supplémentaires (dépelliculage, pellettisation, etc.)
- on peut commencer extraction par pression, puis la compléter par solvant

Technologie (suite)

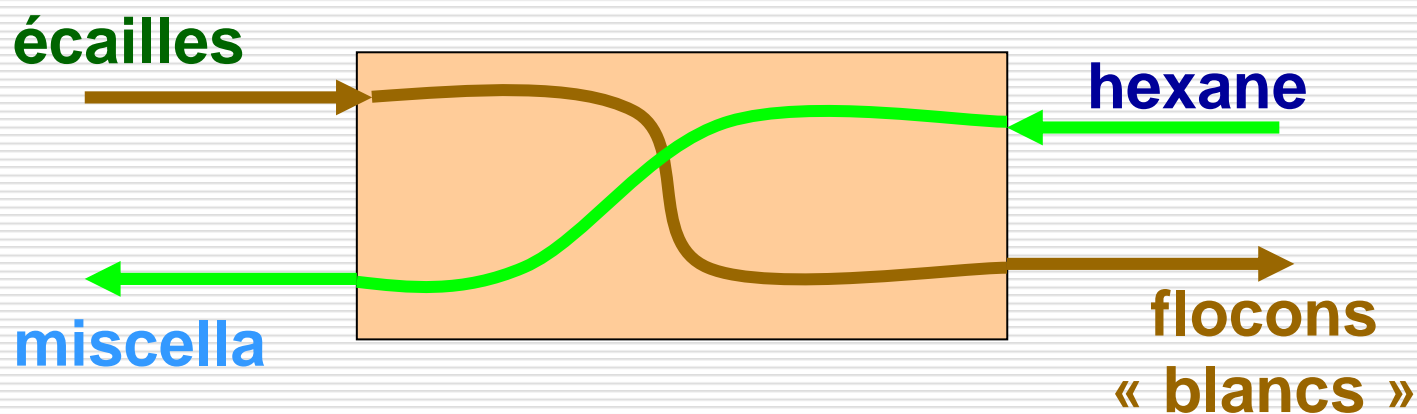
- ❑ 1- Pré-nettoyage des graines par un tamisage grossier
 - ❑ 2- Nettoyage: élimination des tiges, cailloux, poussières (tamisage plus fin), élimination des pièces métalliques (électro-aimant)
 - ❑ 3- Broyage: concassage des graines, par exemple dans des broyeurs à cylindres cannelés
-

Technologie (suite)

- 4- Conditionnement thermique: chauffage pour fluidifier la matière grasse et améliorer la perméabilité des parois cellulaires (chauffage par vapeur)
 - 5- Aplatissage: écrasement des graines en flocons (écailles) de 0,30 à 0,35 mm d'épaisseur (passage entre 2 cylindres parallèles tournant dans le même sens)
-

Technologie (suite)

- 6- Extraction par solvant: dans un extracteur où les flocons circulent à contre-courant avec le solvant (sorties: miscella et flocons blancs)



Technologie (suite)

- 7- traitement des flocons « blancs » dans un toaster pour les débarrasser des restes de solvant (désolvantisation) et les déshydrater → tourteaux

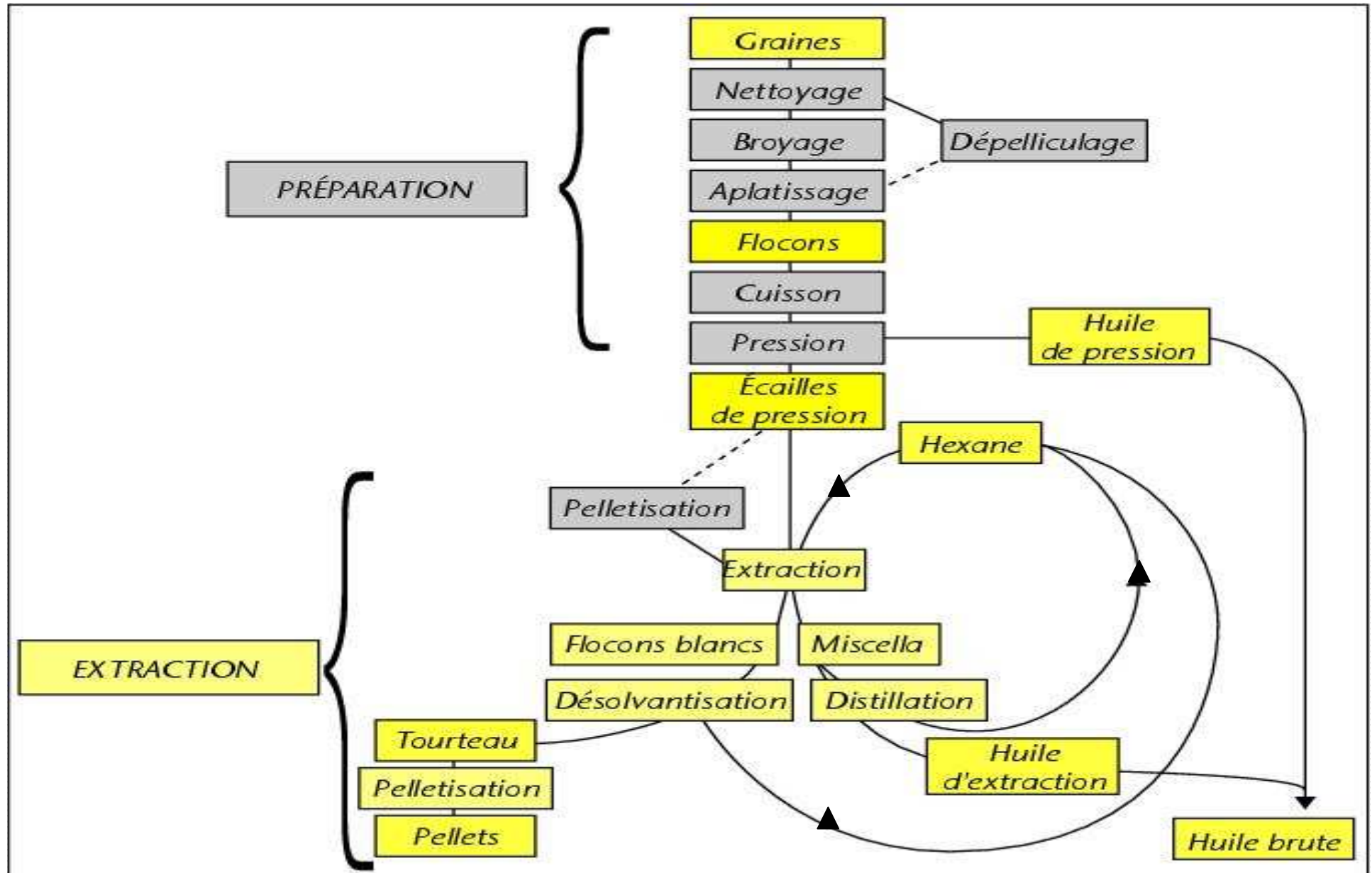
Souvent riches en protéines, les tourteaux sont utilisés dans l'alimentation animale

Technologie (suite)

□ 8- Distillation du *miscella*

- Distillation à 75-80°C pour évaporer l'hexane
 - L'hexane condensé est récupéré pour être recyclé
 - L'huile brute est obtenue après évaporation du solvant
-

Schéma général de trituration des graines oléagineuses



Composition et caractéristiques de l'huile brute

□ 3 fractions essentielles:

- Les triglycérides, accompagnés d'acides gras libres (acidité de l'huile brute)
 - Les phospholipides: esters phosphatés de polyols (glycérol; en particulier): 2-3% de l'huile brute
 - La fraction insaponifiable: pigments (β -carotène, chlorophylle), composés responsables du goût (hydrocarbures, aldéhydes, cétones), stérols, composés métalliques, etc.
-

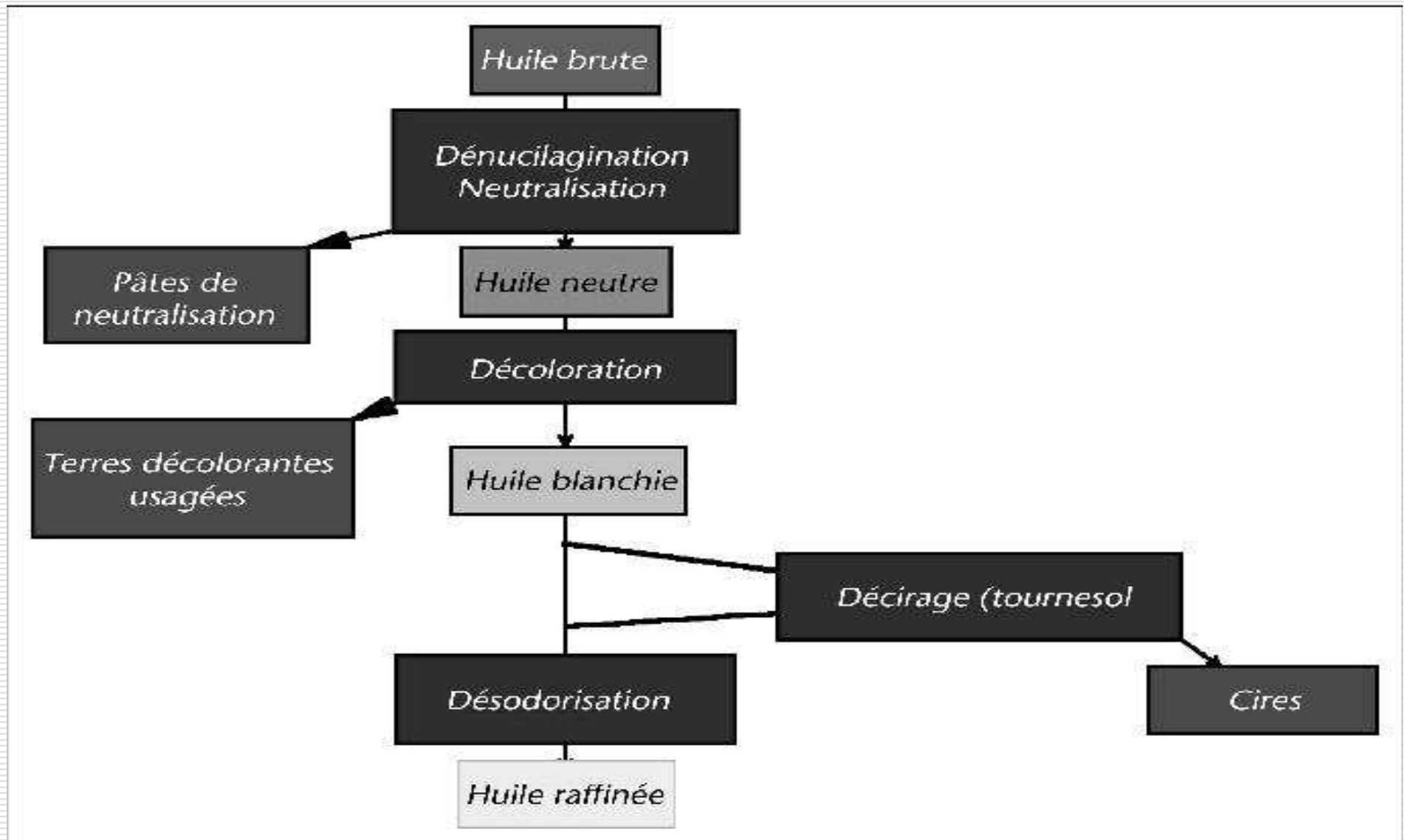
5.2.3- Raffinage des huiles brutes

- Généralités; schéma général
 - Démucilagination
 - Neutralisation
 - Lavage
 - Séchage
 - Décoloration
 - Désodorisation
 - Filtration de polissage
-

Généralités

- Raffinage: série de traitements pour transformer l'huile brute en un produit consommable, de goût neutre, sans odeur, de couleur or translucide, résistant à l'oxydation et débarrassé de substances toxiques

Schéma général du raffinage des huiles alimentaires brutes



Démucilagination

- élimination des phospholipides, gênants parce que:
 - Forment des précipités en présence d'eau (mucilages)
 - Favorisent acidification et oxydation (goûts désagréables); phospholipides souvent associés aux métaux lourds catalyseurs d'oxydation
 - Caused difficultés au cours des autres étapes: formation de mousse, désactivation des terres décolorantes, colmatage rapide des filtres, obscurcissement de la couleur
-

Démucilagination (suite)

□ Technique:

- On chauffe l'huile brute: 80-85°C (rupture de l'émulsion pour une meilleure séparation)
 - On injecte 3 à 5% d'acide phosphorique concentré
 - On laisse en contact 10 à 30 min, avec agitation
-

Neutralisation

□ Objectifs:

- Éliminer les acides gras libres, facilement oxydables
 - Éliminer les phospholipides restants après la démucilagination
 - Éliminer les traces de métaux
 - Réduire la teneur en pigments
-

Neutralisation (suite)

Technique:

- Neutralisation à l'aide de soude et formation de savons



- Travailler avec léger excès de soude (pas trop: saponification parasite)
 - Séparation des savons par centrifugation
-

Lavage

- Objectifs: éliminer les restes de savon et l'excès de soude
- Technique:
 - Eau ajoutée généralement en 2 étapes:
 - . 1^{er} lavage: huile chauffée à 95°C, puis mélangée à l'eau propre et chaude (10% en volume)
 - . 2^{ème} lavage: 5 à 7 % d'eau

**L'eau doit être décalcifiée
(les savons de calcium
encrassent la
centrifugeuse)**

Séchage

- Élimination de l'humidité résiduelle de l'huile lavée, dans un sécheur
- L'humidité passe de 0,5-0,7% (entrée du sécheur) à 0,08% (sortie)
- Cette opération peut être incluse dans la désodorisation (vide poussé) au lieu d'utiliser un sécheur

Décoloration

- ❑ Huile brute généralement foncée (caroténoïdes, chlorophylle)
 - ❑ Décoloration à l'aide de terres activées (argiles): par adsorption
 - ❑ Huiles chauffées à 120°C
 - ❑ 10% de l'huile à traiter mélangés avec terres activées, puis les 90% restants, avec agitation constante
 - ❑ Température de l'huile à la fin: 90°C
 - ❑ Terres activées chargées de pigments séparées par filtration
-

Désodorisation

- ❑ Après décoloration, goût et odeur toujours désagréables
 - ❑ Substances responsables: acides gras, aldéhydes, cétones, alcools, etc.
 - ❑ Désodorisation réalisée par chauffage (200-240°C) pour évaporer les substances indésirables
 - ❑ Puis refroidissement
-

Filtration de polissage

- Enlève les impuretés qui restent
- Donne à l'huile sa brillance

5.3- Fabrication d'huile d'olive

- 5.3.1- Généralités
- 5.3.2- Procédé traditionnel
- 5.3.3- Procédés industriels
 - Procédé à trois phases
 - Procédé à deux phases

5.3.1- Généralités

- Huile d'olive: obtenue exclusivement du fruit de l'olivier *Olea europaea* L.
 - Huile: 15-26% de l'olive
 - Se trouve dans des poches à l'intérieur du fruit
 - L'extraction consiste à récupérer l'huile, avec deux résidus:
 - Solide: grignon
 - Liquide: margines
-

5.3.1- Généralités (suite)

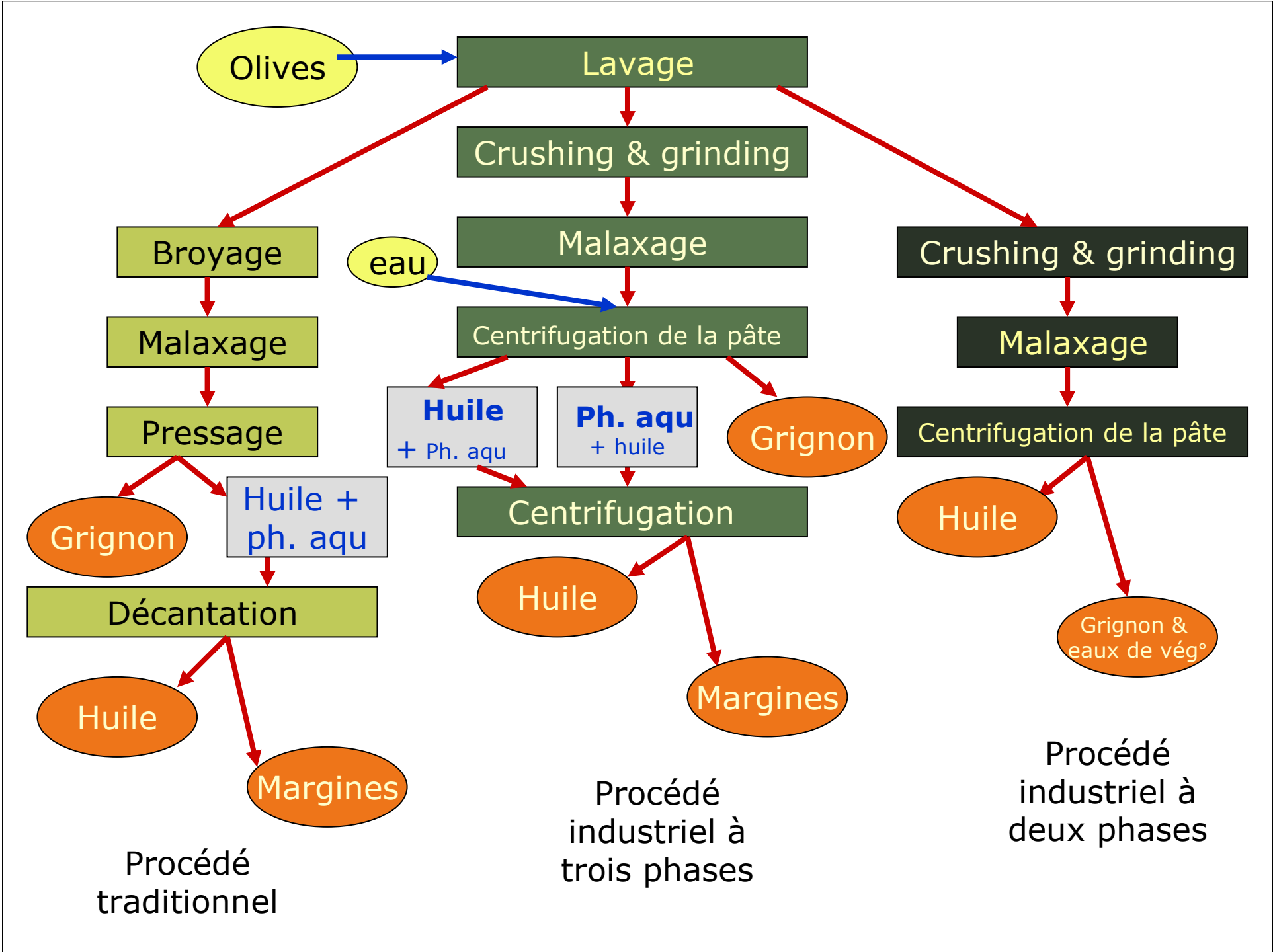
□ Huile d'olive vierge:

- obtenue par procédé purement mécanique et sous des conditions physiques (température) n'entraînant pas d'altération
 - seuls traitements autorisés: broyage, pression, lavage, décantation, centrifugation, filtration
-

5.3.1- Généralités (suite)

□ Trois types de procédés:

- Traditionnel (dans les *mâasras*)
 - Industriel à trois phases
 - Industriel à deux phases
-



5.3.2- Procédé traditionnel (*mâasras*)

- Écrasement des olives dans des meules en pierre à traction humaine ou animale;
 - Pâte d'olives répartie sur des scourtins et pressée;
 - L'huile s'écoule, ainsi que la phase aqueuse, laissant le grignon
 - Décantation du mélange huile + phase aqueuse pour séparation
-



Meules pour la
trituration des olives
dans les *mâasras*



Répartition de la pâte
d'olive sur les scourtins



Pressage de la pâte
d'olive pour
extraction de l'huile



5.3.2- Procédé traditionnel (*mâasras*) (suite)

- Capacité de trituration limitée:

 - . Olives parfois conservées plusieurs mois avant trituration;

 - . Qualité affectée:
 - Acidité élevée due à la lipolyse de l'huile;
 - Contamination possible par les mycotoxines (toxines de moisissures)
-

5.3.3- Procédés industriels

- Broyage des olives
 - Malaxage de la pâte
 - Suite des opérations
 - Cas du procédé à trois phases
 - . Centrifugation de la pâte
 - . Centrifugation des liquides
 - Cas du procédé à deux phases
 - . Centrifugation de la pâte
-

Broyage des olives

Plusieurs types de broyeurs existent: broyeur à disque, cylindrique, à marteau, etc.



Broyeur à marteau

malaxage

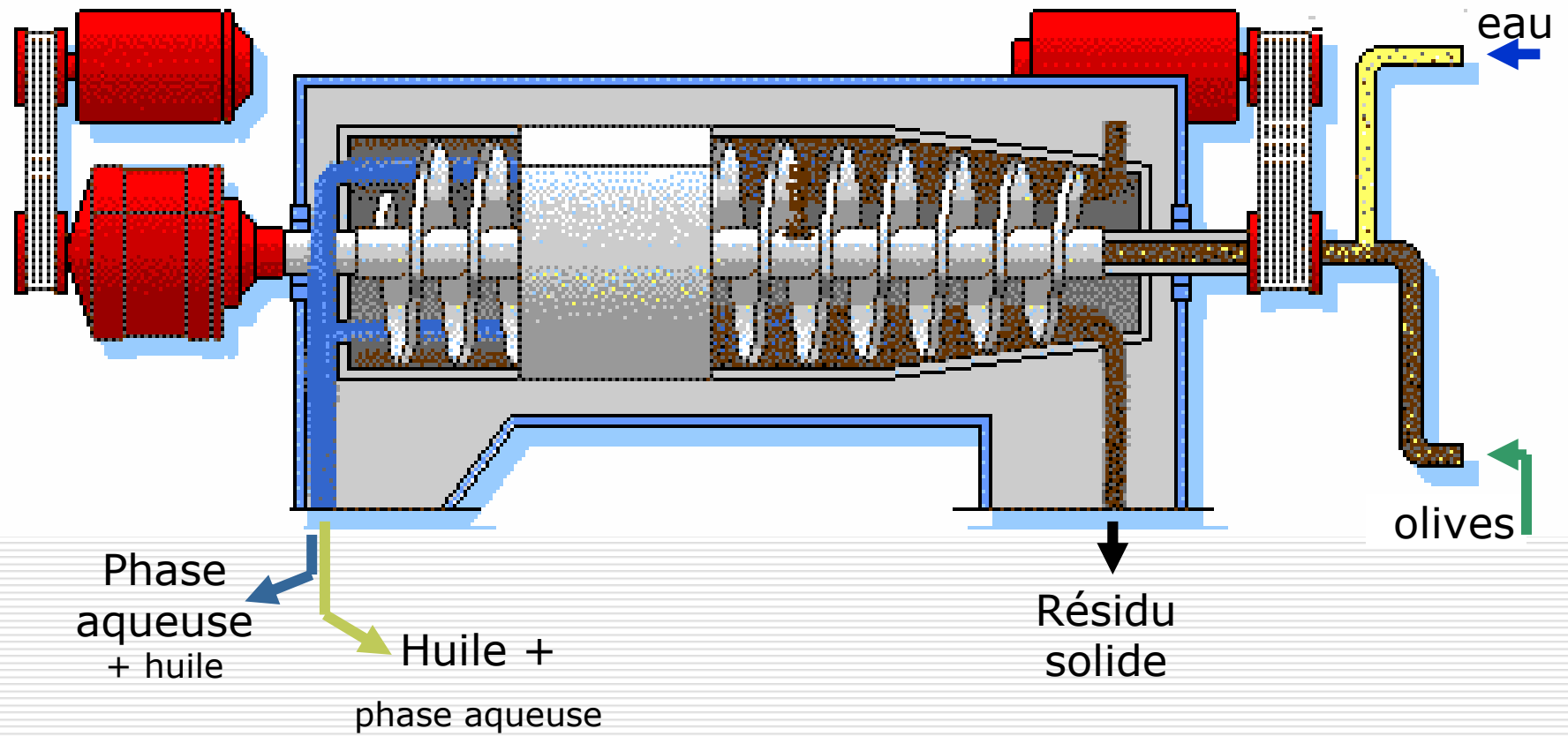
But: augmenter la taille des gouttes d'huile
Température: 30-35 °C
Durée: une heure au moins (plus longue pour olives « difficiles »)
Attention! malaxage prolongé: réduction du taux des substances phénoliques dans l'huile



Intérieur d'un malaxeur

Cas du procédé à 3 phases

Centrifugation de la pâte



Centrifugation de la pâte (suite)

- Eau ajoutée: rapport pâte/eau: 1/0,7 à 1/1,2
 - Sorties de la centrifugeuse: 3 phases
 - Solide: grignon
 - Liquide 1 (couleur verte): huile + un peu de phase aqueuse (eau de végétation + eau ajoutée)
 - Liquide 2 (couleur brune, plus grand volume): phase aqueuse + un peu d'huile
-

Séparation huile/phase aqueuse

- Décantation:
 - lente;
 - occupe beaucoup d'espace

 - Centrifugation
 - plus rapide
 - occupe peu de place
 - améliore la qualité de l'huile
-

Centrifugation des liquides issus de la centrifugation de la pâte

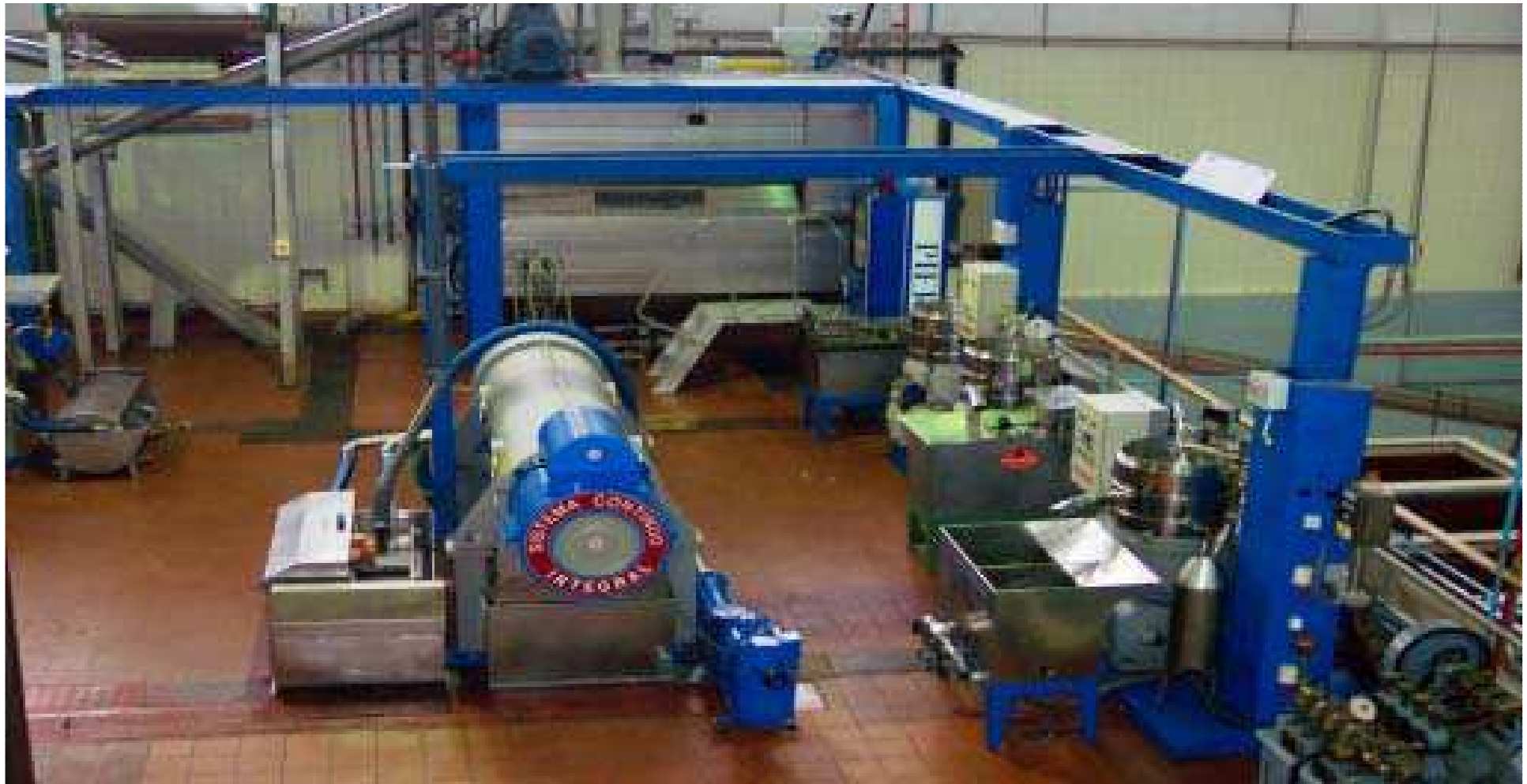


centrifugeuses



Sortie de l'huile
d'une
centrifugeuse

Unité de d'extraction continue d'huile d'olive par le procédé à 3 phases

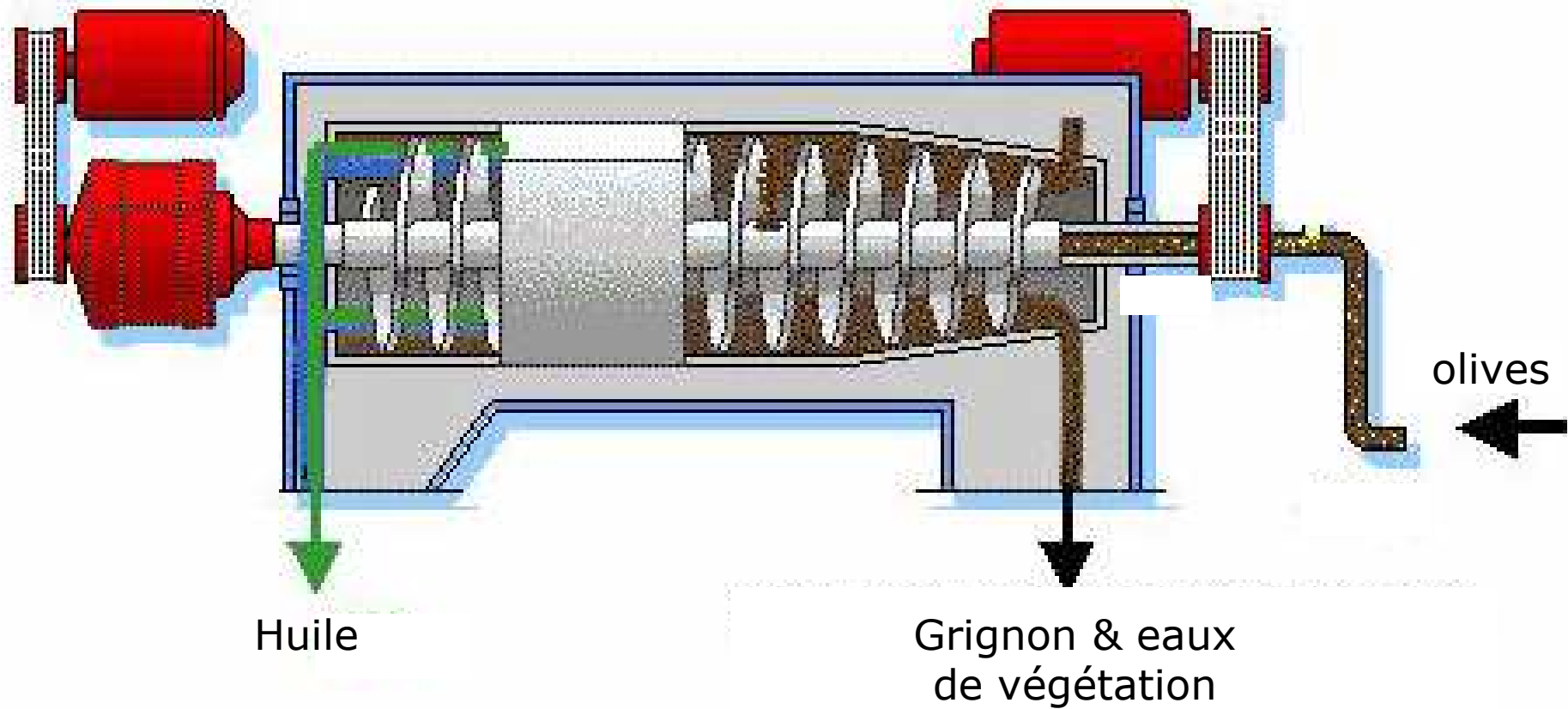


Inconvénients du procédé à 3 phases

- Réduction du taux d'antioxydants (surtout polyphénols) entraînés par l'eau ajoutée
 - Plus gros problème: les margines
 - Volumes importants: 1,2-1,3 litres/kg d'olives traitées
 - Très fort pouvoir polluant (DCO: 60-80 g O₂/l)
 - Très difficile de s'en débarrasser
-

Cas du procédé à 2 phases

Centrifugation de la pâte



Avantages du procédé à 2 phases

- ❑ Rendement plus élevé en huile: pas d'émulsion puisque pas d'eau ajoutée
 - ❑ Huile de meilleure qualité (riche en polyphénols), plus stable
 - ❑ Très peu de rejet liquide (résidu de centrifugation finale de l'huile)
-

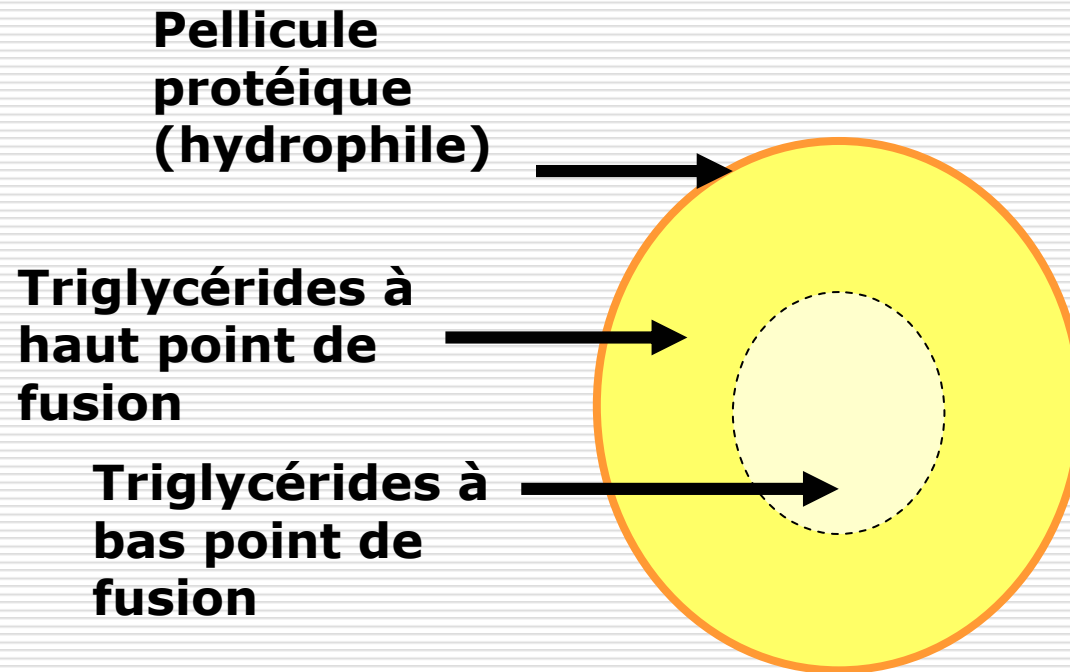
5.4- Crémèrie-Beurrerie

- Généralités
 - Fabrication de la crème
 - Fabrication du beurre
-

Généralités

- ❑ Le lait contient 30 à 52-55 g de MG/l (3 à 5,5%)
- ❑ La crème en contient 300 à 600 g/l (30 à 60%)
- ❑ Le beurre en contient 82%
- ❑ Densité: MG 0,92; lait entier 1,032
- ❑ La matière grasse est sous forme de globules gras en émulsion stable dans l'eau du lait

Structure schématique d'un globule gras



Fabrication de la crème

- Écrémage spontané par simple différence de densité: lent et non contrôlable
- Écrémage centrifuge (usage d'écrémeuses): 3 sorties:
 - fraction légère: crème
 - fraction moyenne: lait écrémé
 - fraction lourde: boues (déchet)

Utilisations de la crème

- Commercialisation : crème fraîche (pasteurisée ou non)
- Mélange avec lait écrémé ou pas assez riche en matière grasse (standardisation)
- Fabrication de beurre

Fabrication du beurre

□ 3 étapes principales:

- Maturation de la crème
- Barattage
- Malaxage

Éléments d'entrée

Crème

Matière première

Levains

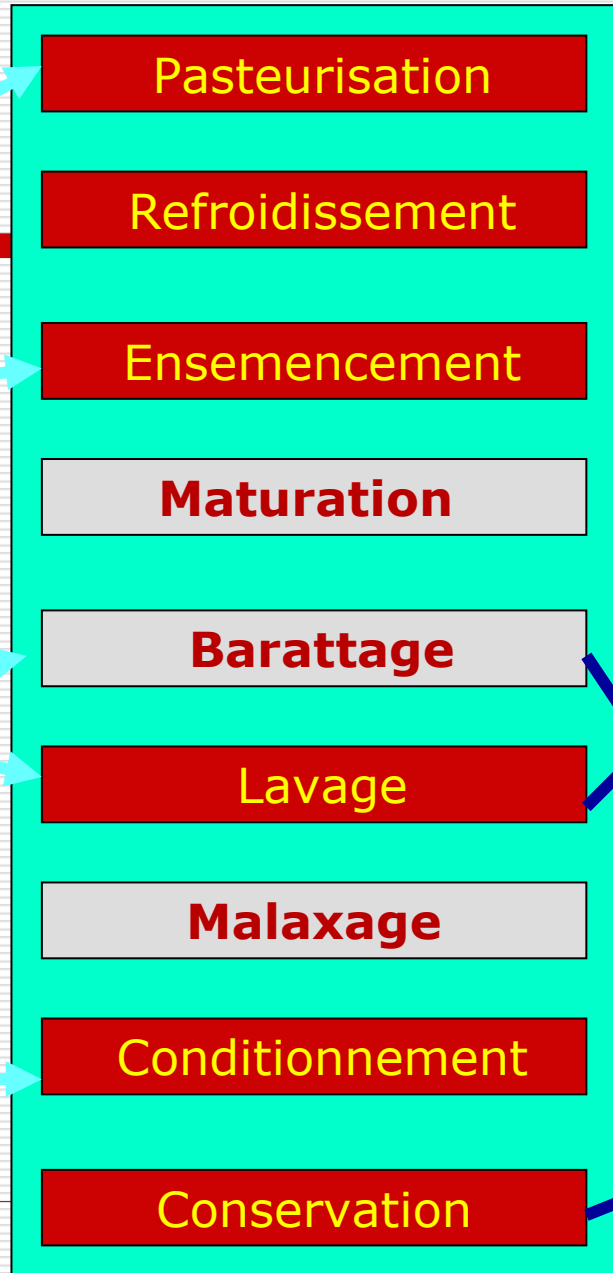
Ingrédient

Eau

Ingrédient

Matériaux

Intrant non
alimentaire



Éléments de sortie

Babeurre

Sous-
produit ou
déchet

BEURRE

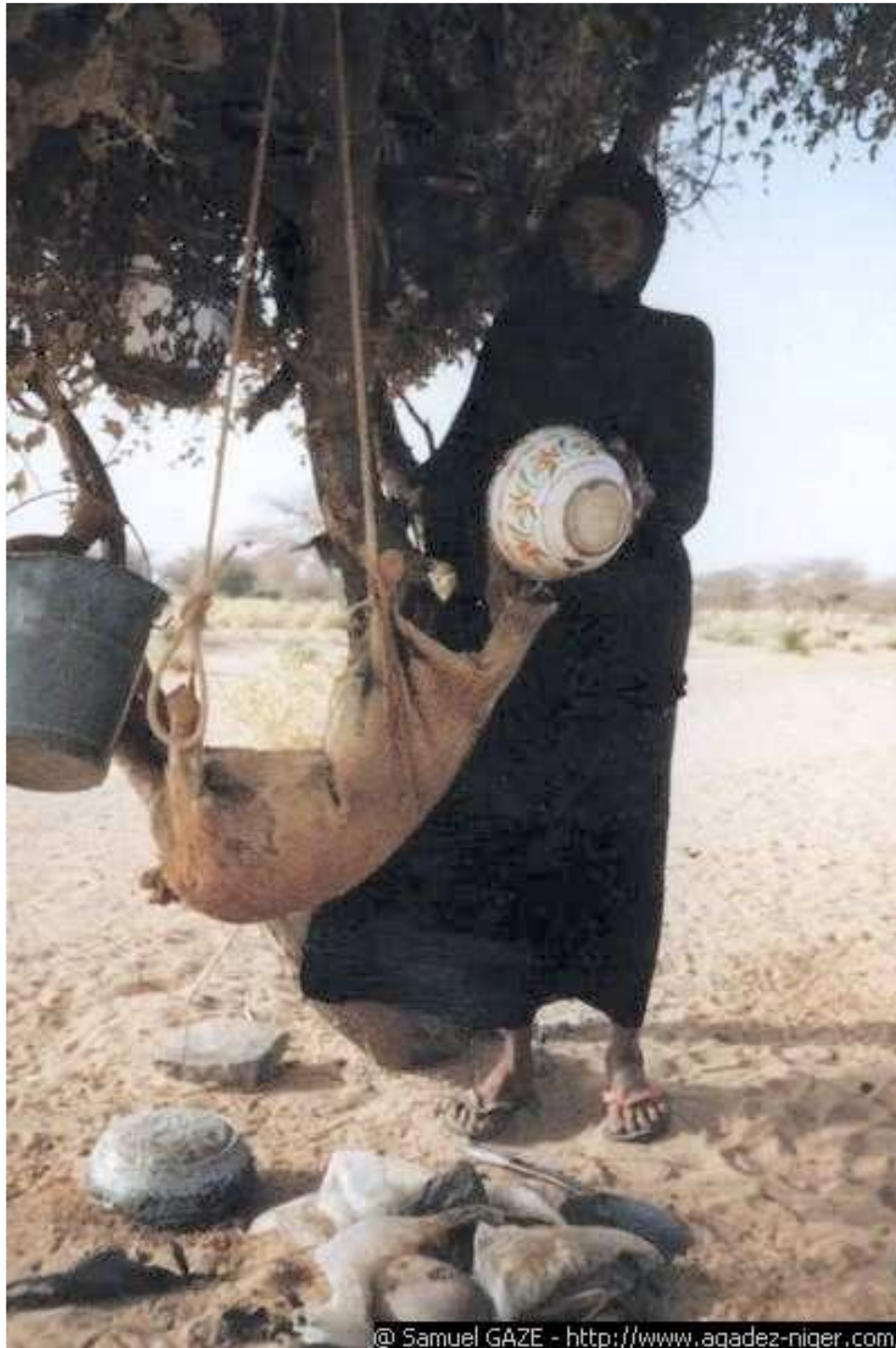
Produit fini

Maturation de la crème

- ❑ Fermentation lactique: *Lactococcus lactis* et *Lc. cremoris*
- ❑ L'acidification facilite la séparation du beurre: à partir du pHi des protéines de surface du globule gras, **clumping**
- ❑ Aromatisation du beurre: diacétyl

Barattage

- Barattage: agitation de la crème
- But: mieux rassembler les globules gras et former les « grains de beurre »



**Outre en peau de chèvre
pour la fermentation et
le barattage du Iben**



Jarre en terre cuite pour la fermentation et instrument en bois pour le barattage du Iben

Barattes traditionnelles européennes



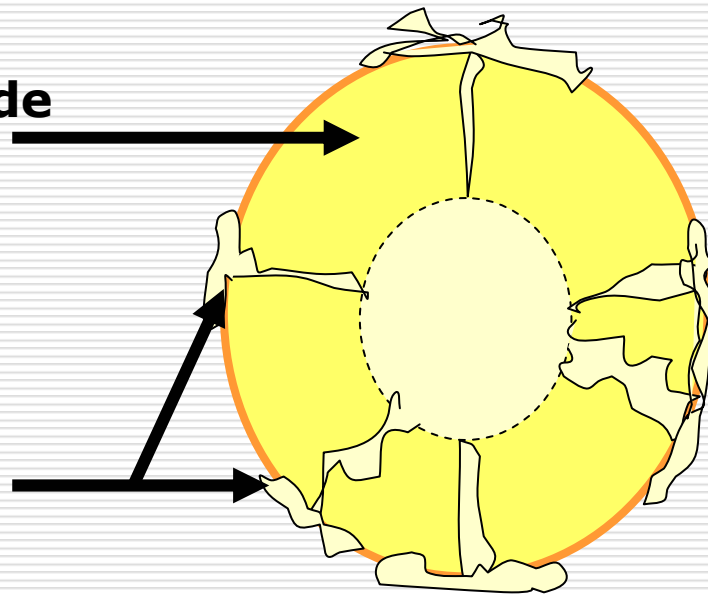
Baratte moderne



Globule gras ayant subi un léger réchauffement suivi de refroidissement

Matière grasse solide

Matière grasse liquide



Pendant le barattage, léger chauffage suivi de refroidissement rapide (ajout d'eau froide): provoque le ***clustering***

-
- La surface du globule gras a perdu son hydrophilie
 - Les matières grasses constituent une phase continue dans laquelle l'eau est en émulsion



inversion de phases

Récupération du babeurre



**Nouvelle émulsion
eau dans matière grasse**



Malaxage: action mécanique pour répartir l'eau de façon très homogène en fines gouttelettes dans la phase grasse

**salage éventuel:
peut se faire avec
le malaxage**



Beurre après malaxage

Barattage Malaxage combinés



**Beurre à la sortie du malaxage
se dirigeant vers conditionnement**



Composition finale du beurre

- **Matières grasses: 82%**
 - **Eau: 16%**
 - **Extrait sec non gras: 2%**
- } **Phase aqueuse: 18%**

Contact

A.TANTAOUI ELARAKI

fenex.tantaoui@gmail.com
a.tantaouielaraki@supagro.ma
