



INTRODUCTION A LA **T**ECHNOLOGIE **A**LIMENTAIRE

Cours Théorique

5^{ème} QIAA & 3^{ème} SACQA

2010-2011



Introduction à la Technologie Alimentaire

- Objectifs:
 - Acquérir des notions de base en Technologie Alimentaire
 - Appréhender certains concepts relatifs à la qualité des produits alimentaires
 - Être mieux préparé à choisir l'orientation en master (pour les 3^{ème} SACQA)
 - Être mieux armé pour entamer le management de la qualité (pour les 5^{ème} QIAA)



Introduction à la Technologie Alimentaire

- Pré-requis:

Nombreux, mais en particulier:

- Biochimie
- Microbiologie
- *Génie industriel*



Introduction à la Technologie Alimentaire

- Démarche pédagogique:
 - Exposés de l'enseignant avec Data Show
 - Polycopié distribué (**pas complet**)
 - Discussion (**privilegiée**)
 - Exposés par les étudiants



Introduction à la Technologie Alimentaire

Plan général du Cours

- 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**
- 6. Emballage et Conditionnement des produits alimentaires**

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. Chapitre Introductif

1.1- Définitions

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



1.Chapitre introductif
1.1- Définitions

❖ **Technologie:** « science des arts et métiers en général » (Larousse)

Plus généralement:

- procédés de fabrication et leur étude;
- moyens techniques basés sur un « savoir-faire »
- Technologies modernes: basées sur « le savoir »



1.Chapitre introductif
1.1- Définitions

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

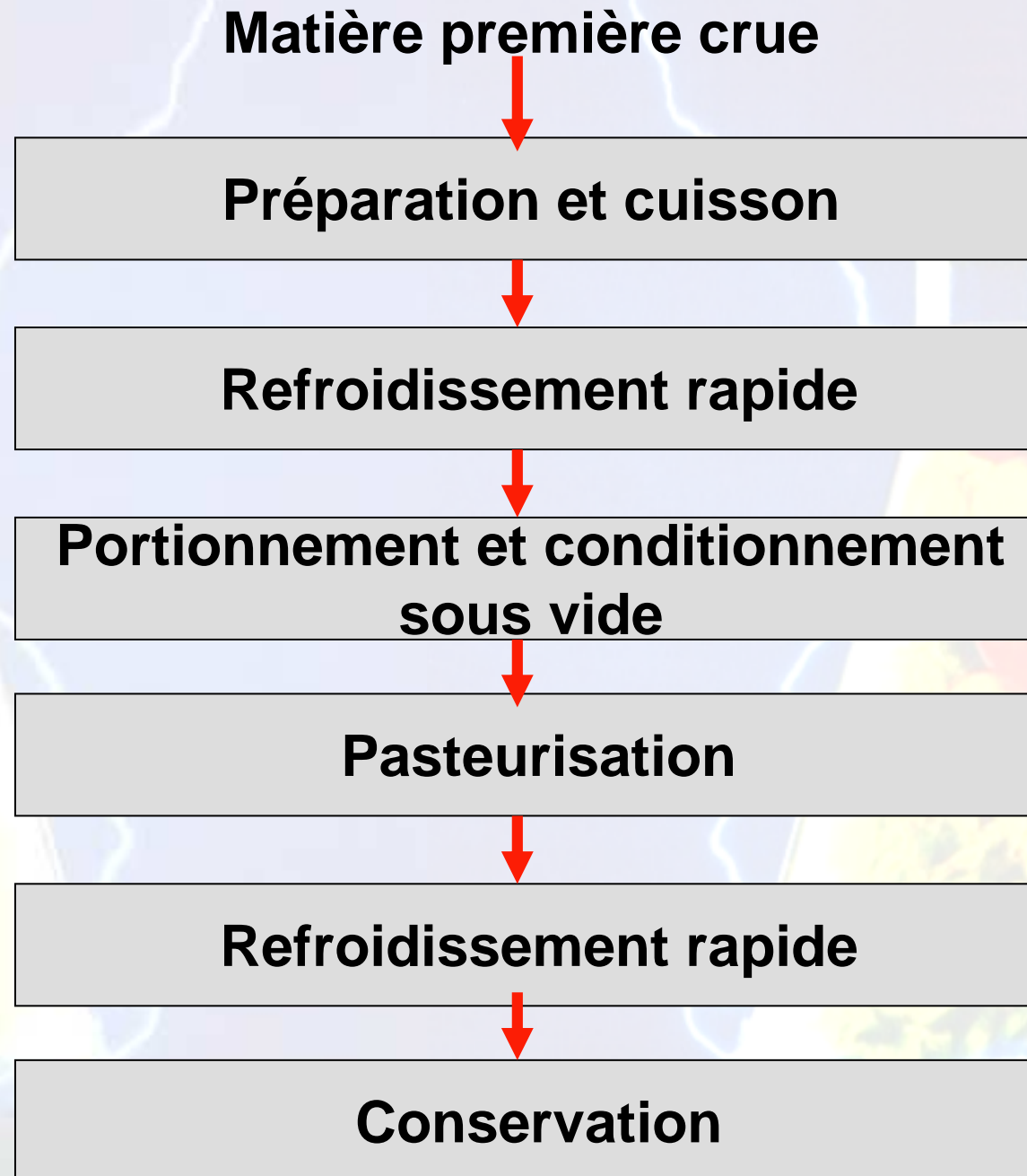
❖ **Diagramme de fabrication:** représentation schématique du procédé de fabrication indiquant, le plus précisément possible:

- la nature des produits: matières premières, produits intermédiaires, produits finis;
- la nature des opérations (traitements) à chaque étape;
- *si possible*, les conditions de réalisation des opérations;
- *si possible*, les contrôles effectués à chaque étape



exemple 1: diagramme de fabrication du lait pasteurisé

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



Exemple 2':

**le même
diagramme
avec
précision de
quelques
données**

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)



1.Chapitre introductif

1.1- Définitions

❖ **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

Exemples:

- **chaîne de fabrication du lait pasteurisé à partir du lait crû;**
- **chaîne de raffinage des huiles de table**

❖ **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 réception du lait**
- ✓ **poste de neutralisation des huiles**
- ✓ **poste de conditionnement des farines**



1.Chapitre introductif
1.1- Définitions

❖ **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**

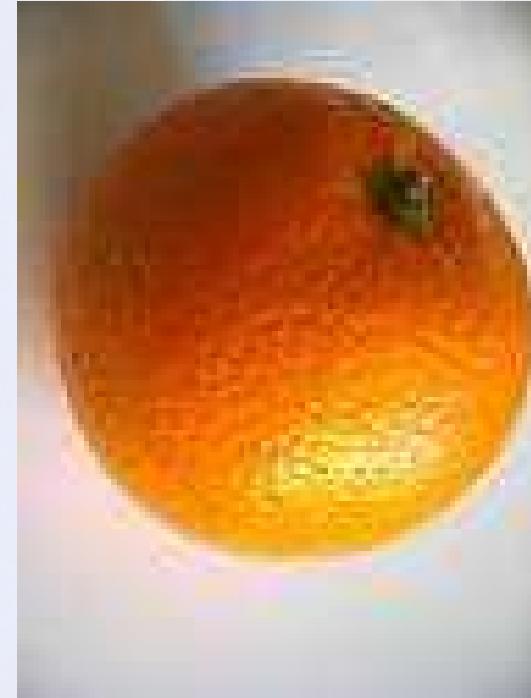


Betterave sucrière

Morceaux de sucre



Orange brute



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



1.Chapitre introductif
1.1- Définitions

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**
- aboutissant à un **résultat mesurable**



1. Chapitre introductif
1.1- Définitions

□ **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 de produit

2- Extraction de l'huile à partir de graines oléagineuses

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

3- Séchage d'un produit

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



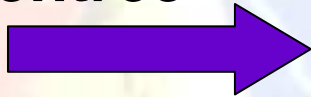
1. Chapitre introductif
1.1- Définitions

❖ **Notion de processus**: la notion de processus suppose:

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

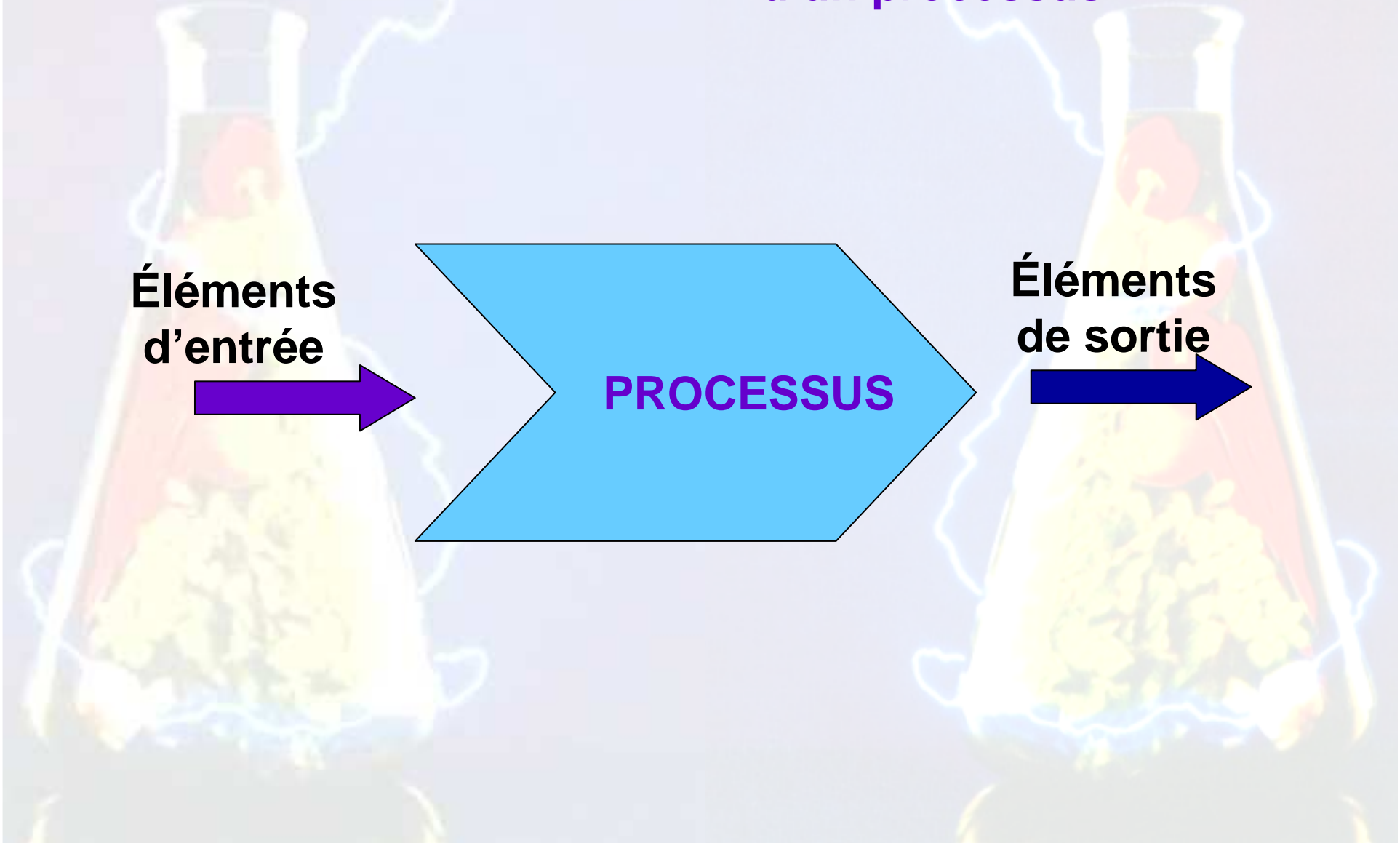
représentation schématique d'un processus

Éléments
d'entrée



PROCESSUS

Éléments
de sortie





❖ 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**

1. Chapitre Introductif

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

- ❖ Conception ancienne
- ❖ Conception moderne
- ❖ Terminologie (nuances)



1. Chapitre introductif
1.2- Délimitation du domaine ...

❖ **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)



1. Chapitre introductif
1.2- Délimitation du domaine ...

- ❖ **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, à l'entreposage, à la manutention, etc. et jusqu'à la consommation



1. Chapitre introductif
- 1.2- Délimitation du domaine

❖ **Terminologie (nuances)**

Les Industries Agricoles et Alimentaires (IAA)

mais « agricoles » inclut des industries non alimentaires



1. Chapitre introductif
1.2- Délimitation du domaine

❖ Terminologie (nuances)

Les Industries Alimentaires

pour exclure les industries agricoles non alimentaires



1. Chapitre introductif
1.2- Délimitation du domaine

❖ Terminologie (nuances)

Les Industries des Aliments et des Boissons

pour ne pas exclure ces dernières



1. Chapitre introductif
- 1.2- Délimitation du domaine

❖ **Terminologie (nuances)**

Les Industries Agro-Alimentaires (IAA)

largement utilisé aujourd'hui, même si matières premières pas forcément agricoles (poissons par exemple)



1. Chapitre introductif
- 1.2- Délimitation du domaine

❖ Terminologie (nuances)

L 'Agro-Alimentaire

pour ne pas se limiter à l'échelle industrielle

1. Chapitre introductif

1.3- Classification des industries agro-alimentaires

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



1. Chapitre introductif
1.3- Classification des industries agro-alimentaires

❖ **Classification juridique:** selon nomenclature douanière

❖ **Classification sectorielle:**

- par type de produit *transformé* (industrie laitière)
- par type de produit *fabriqué* (industrie sucrière)

■ **Subdivisions possibles:**

Exemple: dans l'industrie laitière: fromagerie, beurrerie, etc.



- 1. Chapitre introductif
- 1.3- Classification des industries agro-alimentaires

❖ **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)**



- 1. Chapitre introductif
- 1.3- Classification des industries agro-alimentaires

❖ **Classification selon le type dominant de technologie:**

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

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



- 1. Chapitre introductif
- 1.3- Classification des industries agro-alimentaires

❖ **Classification selon le type dominant de technologie:**

➤ **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, sucrerie, etc.)



- 1. Chapitre introductif
- 1.3- Classification des industries agro-alimentaires

❖ **Classification selon le type dominant de technologie:**

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

Industries où un rôle essentiel est joué par les micro-organismes (panification, laits fermentés, brasserie, etc.)

1. Chapitre introductif

1.4- Définition des Intrants et des 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:

- **Matière première:** matière unique ou principale soumise à la transformation
 - **Unique:** blé en minoterie, betterave ou canne en sucrerie
 - **Principale en volume:** lait pour le yaourt, eau pour les boissons gazeuses
 - **Principale en valeur:** sucre pour les boissons gazeuses



1. Chapitre introductif

1.4- Intrants et produits des IAA

❖ Intrants alimentaires

- 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 (colorant, aromatisant, conservateur, épaississant, etc.)
- **Remarque**: le mot ingrédient a dans le commerce un sens plus large



- 1. Chapitre introductif
- 1.4- Intrants et produits des IAA

❖ **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**



- 1. Chapitre introductif
- 1.4- Intrants et produits des IAA
 - ❖ Produits de la transformation

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

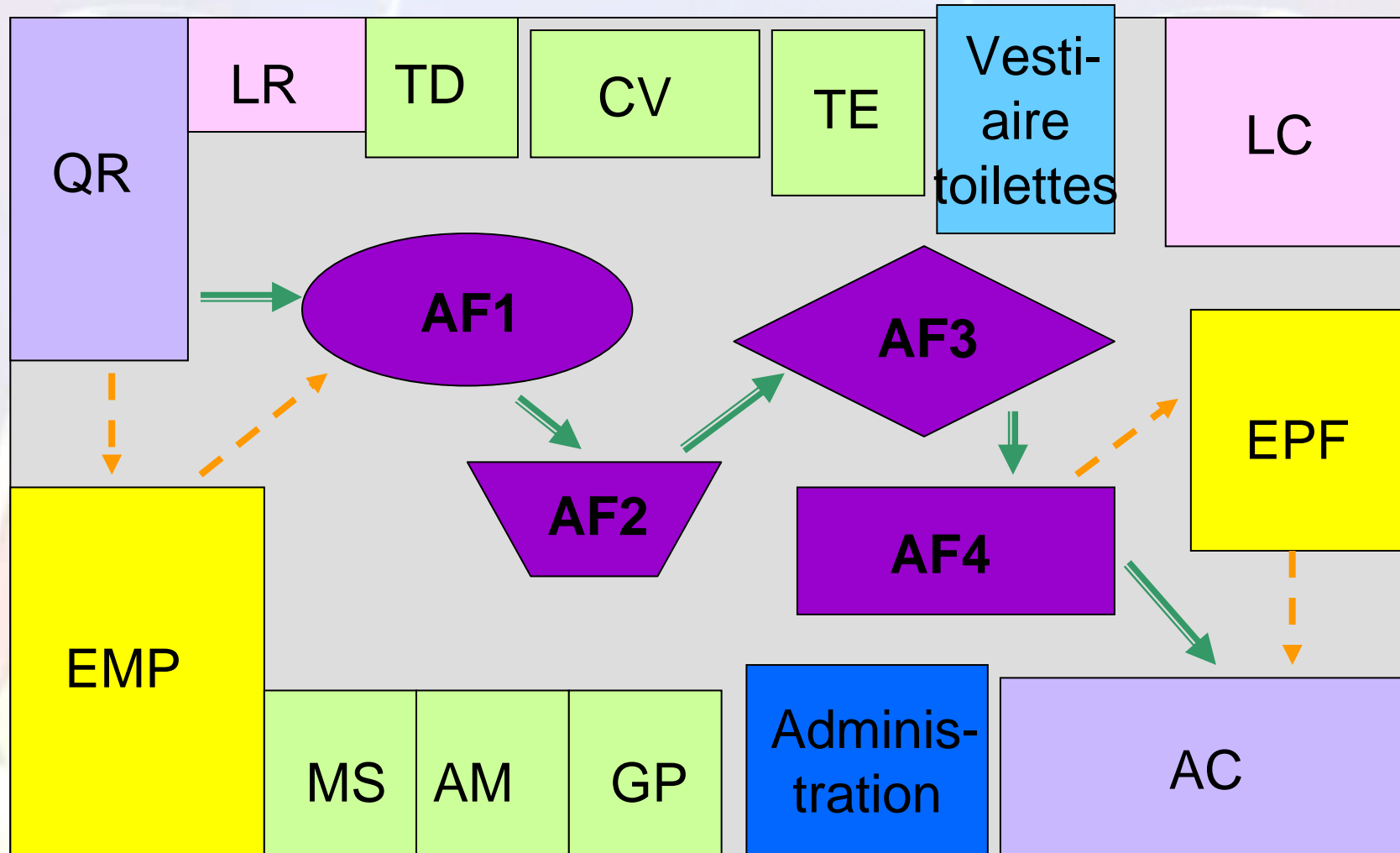
o **Déchets**: valeur commerciale nulle ou négative (taxe de pollution, frais d'évacuation, etc.); ce sont des rejets solides, liquides ou gazeux.

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

1. Chapitre introductif

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- Les 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- Les intrants des IAA

2.1- Nature des matières premières

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- Les intrants des IAA

2.1- Nature des matières premières

2.1.2- Produits agricoles d'élevage

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



2- Les intrants des IAA

2.1- Nature des matières premières

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- Les intrants des IAA

2.1- Nature des matières premières

2.1.4- Produits industriels bruts ou semi-finis

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



2- Les intrants des IAA

2.1- Nature des matières premières

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- Les intrants des IAA

2.1- Nature des matières premières

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- Les intrants des IAA

2.1- Nature des matières premières

2.1.7- L'eau

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

2- Les intrants des IAA

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- Les intrants des IAA

2.2- Réception des matières premières

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- Les intrants des IAA

2.2- Réception des matières premières

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
- utilisation de jauge pour bidons partiellement pleins



2- Les intrants des IAA

2.2- Réception des matières premières

2.2.3- Contrôle qualitatif

❖ Objectifs

- Identification de la matière première
- Détermination du taux d'impuretés (ex: agréage des céréales)
- Détermination des propriétés technologiques
- Détermination du degré de fraîcheur (produits périssables)
- Détermination du calibre (peut se faire au-delà)
- Détection des fraudes (ex: mouillage du lait)



2- Les intrants des IAA

2.2- Réception des matières premières

2.2.3- Contrôle qualitatif (suite)

❖ Méthodologie

- Prise d'échantillon (représentativité)
- Contrôle rapide (pour matières périssables):
laboratoire du quai de réception (le résultat décide souvent du refus ou de l'acceptation de la matière première)
- Contrôle plus approfondi: laboratoire central
(le résultat n'a pas forcément d'effet sur l'acceptation ou le refus de la matière première)



2- Les intrants des IAA

2.2- Réception des matières premières

2.2.3- Contrôle qualitatif (suite)

❖ 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- Les intrants des IAA

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- Les intrants des IAA

2.3- Entreposage des matières premières

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- Les intrants des IAA

2.3- Entreposage des matières premières

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)



2- Les intrants des IAA

2.3- Entreposage des matières premières

2.3.2- Conditions de l'entreposage (suite)

- 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- Les intrants des IAA

2.3- Entreposage des matières premières

2.3.3- Contrôles nécessaires

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



Exercice

- La fabrication d'un fromage frais comporte les étapes suivantes:
- - Standardisation du lait à 30g de matière grasse (MG) par addition de lait écrémé
- - Pasteurisation (85°C, 10 min) suivie d'un refroidissement à 32°C
- - Ensemencement avec un levain lactique approprié (3%, v/v)
- - emprésurage (ajout de présure) lorsque le pH atteint 6,1
- - Après coagulation en vrac, on procède au moulage (répartition dans des moules)
- - L'égouttage dure 18h à 20°C; le lactosérum est jeté aux égouts
- - Après démoulage, les fromages sont salés par trempage dans une saumure à 20% de sel pendant 3h
- - Après ressuyage, les fromages sont emballés dans du papier préalablement imprimé marqué de la date limite d'utilisation



Exercice (suite)

- - Les fromages emballés sont emballés par 20 dans des cartons plastifiés, puis conservés à 6°C jusqu'à expédition
- 1- Tracer le diagramme de fabrication de ce fromage
- 2- Représenter cette fabrication sous forme d'un processus global, en indiquant notamment:
 - - les éléments d'entrée (préciser la nature de chaque élément: matière première, ingrédient, additif, etc.)
 - - les éléments de sortie (préciser la nature de chaque élément: produit fini, sous-produit, déchet, etc.)

ELEMENTS D'ENTREE

Lait
Matières premières

Lait écrémé

Levains
ingrédient

Présure
ingrédient

Saumure
Additif

Papier
Intrants non alim.

Carton

Standardisation

Pasteurisation

Refroidissement

Ensemencement

Emprésurage

Moulage

égouttage

Démoulage

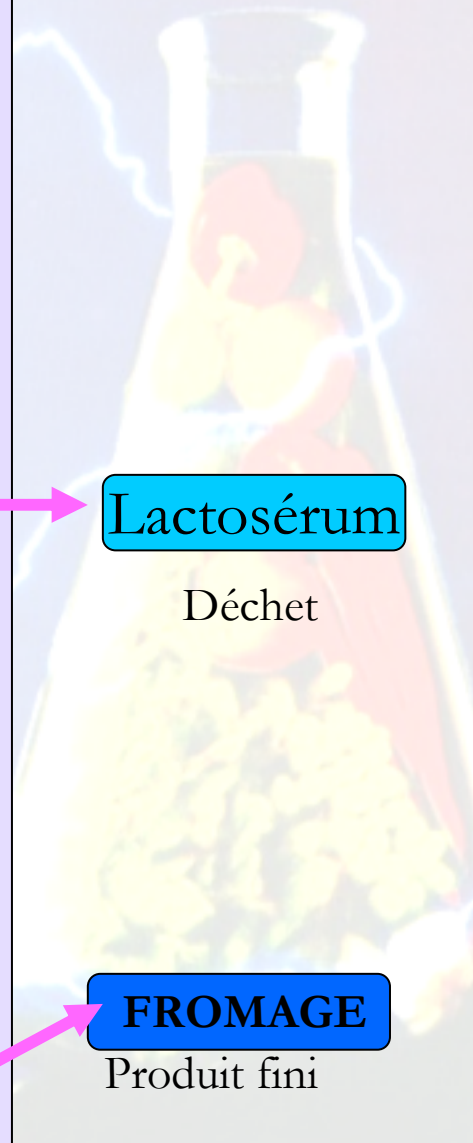
Saumurage

Ressuyage

Emballage

Empaquetage

Conservation



Lactosérum

Déchets

FROMAGE

Produit fini

ELEMENTS DE SORTIE



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
- 3.6- Stabilisation par fermentation

3- Technologies de stabilisation et de conservation

Généralités

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



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.1- Généralités

- Objectifs de ces technologies:

Stopper l'altération



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.1- Généralités

- Altération

❖ Altération : Aliment altéré = avarié

– Qualité organoleptique

– Qualité hygiénique

– Valeur commerciale

**Impropre à la
consommation**

Impropre à la vente



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.1- Généralités

- **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



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.1- Généralités

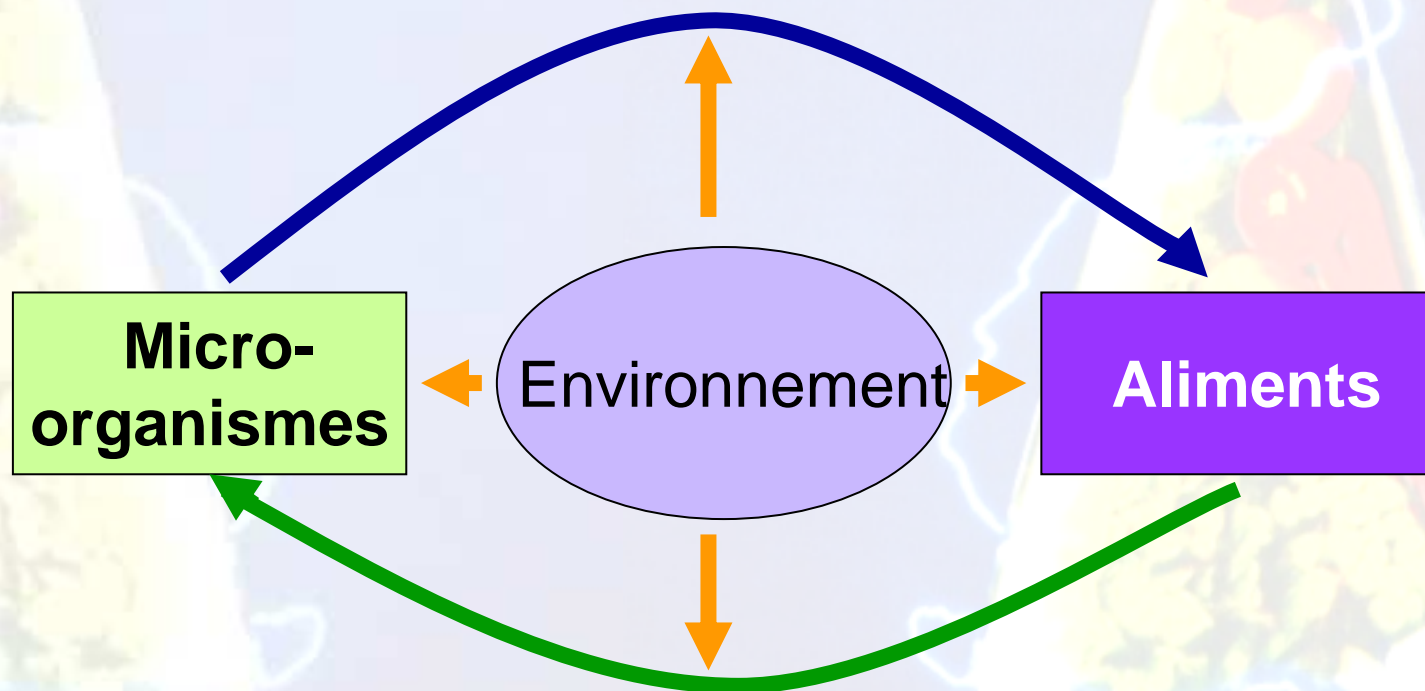
- Causes d'altération

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

3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.1- Généralités

- Conditions de l'altération microbienne



Interactions aliment / micro-organisme



3- Technologies de stabilisation et de conservation

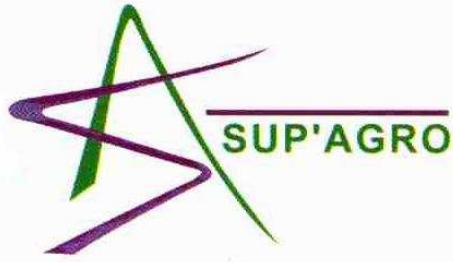
3.1- Généralités

Conditions de l'altération microbienne (suite)

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



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.1- Généralités

Conditions de l'altération microbienne (suite)

- **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**



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.1- Généralités

Conditions de l'altération microbienne (suite)

Actions du microorganisme sur la denrée alimentaire

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



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.1- Généralités

Conditions de l'altération microbienne

Rôle des paramètres de l'environnement

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



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.1- Généralités

Prévention de l'altération microbienne

❖ Agir sur le micro-organisme:

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

❖ Agir sur l'aliment:

- le transformer en milieu hostile aux micro-organismes

❖ Agir sur l'environnement :

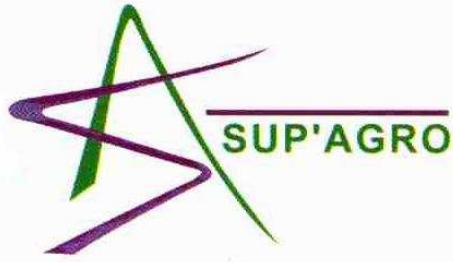
- créer des conditions défavorables aux micro-organismes



3- Technologies de stabilisation et de conservation

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)



3- Technologies de Stabilisation et de Conservation

3.2- Conservation par traitement thermique

Objectifs et types de produits

▪ Objectifs :

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

Attention! Qualité nutritionnelle
Qualité sensorielle



3- Technologies de Stabilisation et de Conservation

3.2- Conservation par traitement thermique

Objectifs et types de produits (suite)

Types de produits traités :

- **Aliments pasteurisés**

Micro-organismes visés: **pathogènes** (lait, crème, etc.)
responsables d'altération (vinaigre)

Survivent : **Thermorésistants**

- **Aliments stérilisés:**

Microorganismes visés : **tous**

"Stérilisation commerciale" : survivants possibles mais
croissance impossible (pH, température, aw)



3- Technologies de Stabilisation et de Conservation

3.2- Conservation par traitement thermique

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.)



3- Technologies de Stabilisation et de Conservation

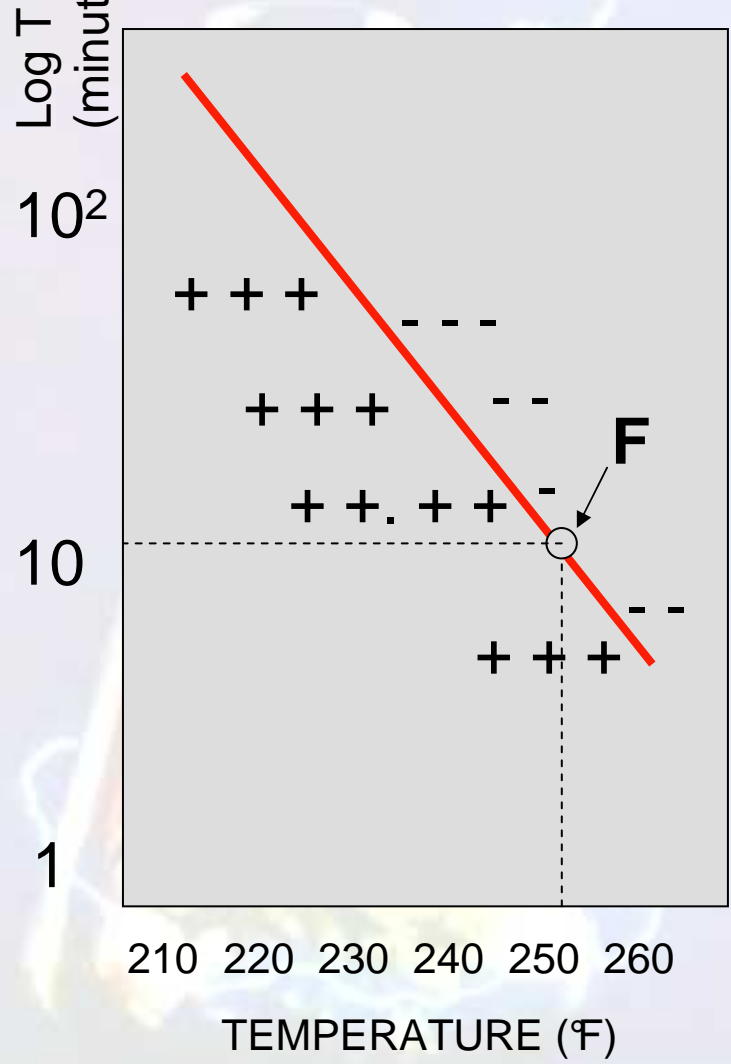
3.2- Conservation par traitement thermique

Lois de la DTM (suite)

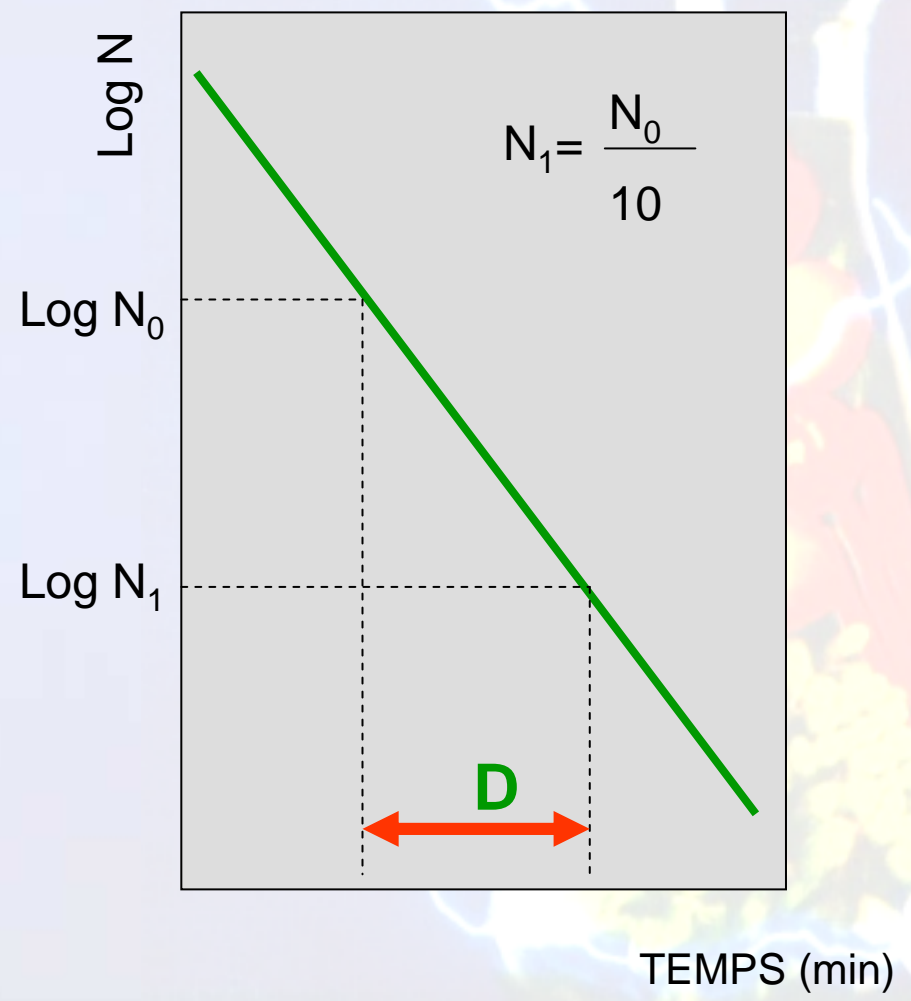
Valeur F: durée (en min.) à 250°F pour tuer un nombre donné de cellules d'une espèce donnée

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





3- Technologies de Stabilisation et de Conservation

3.2- Conservation par traitement thermique

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



3- Technologies de Stabilisation et de Conservation

3.2- Conservation par traitement thermique

Lois de la DTM (suite)

- Soit N_0 : Nombre initial de cellules
 N_1 : Nombre final de cellules

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

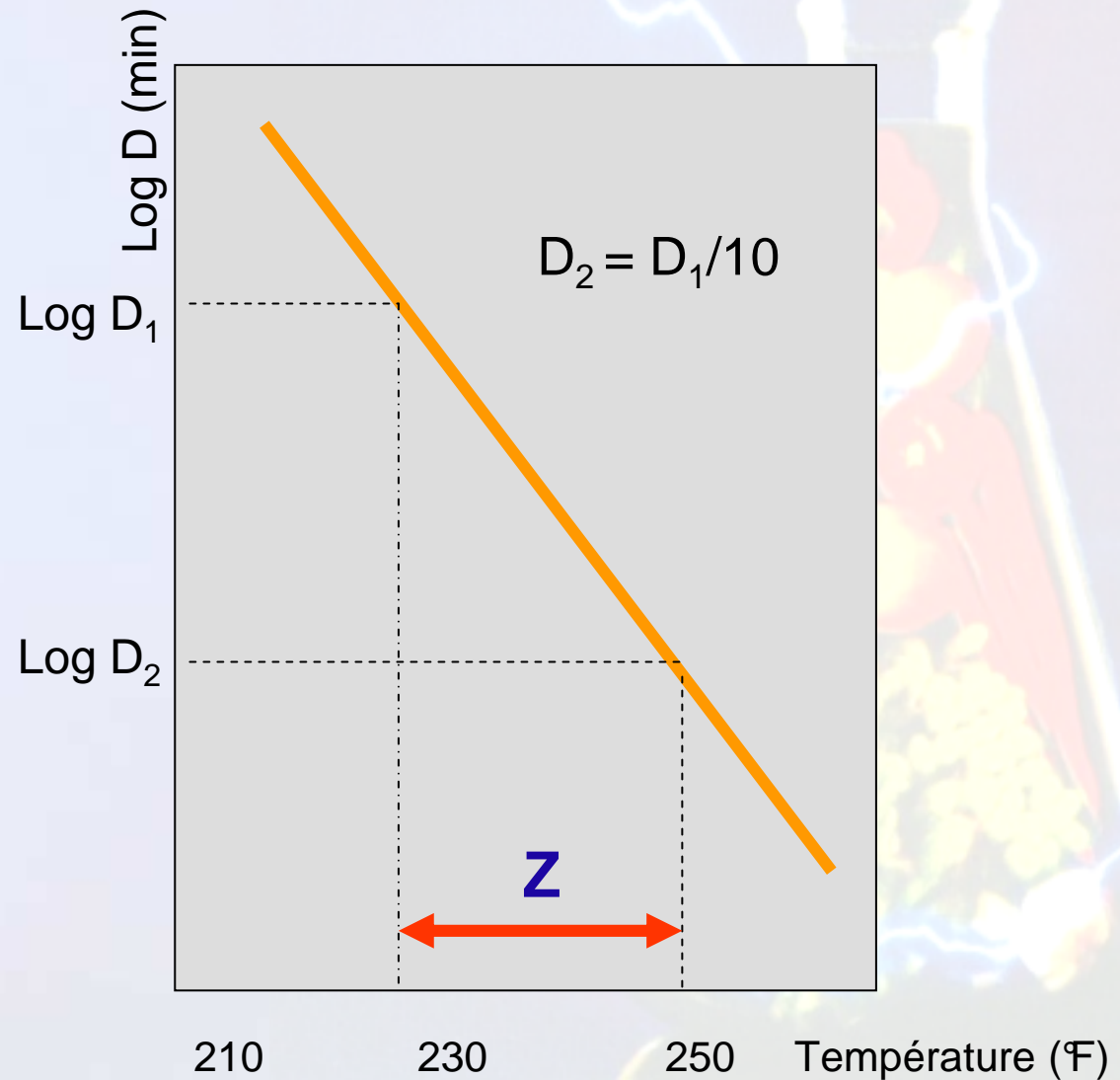
Par définition : $D = t$ lorsque $N_1 = \frac{N_0}{10}$

⇒ Stérilisation totale impossible :

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

Valeur Z =

Élévation de température pour passer d'une valeur de D à une valeur de D/10 (°F)





3- Technologies de Stabilisation et de Conservation
3.2- Conservation par traitement thermique
Lois de la DTM (suite)

- **Concept 12 – D**
- **Tolérance *Clostridium botulinum* dans l'aliment : 10^{-12} (sur 10^{12} boîtes de conserve fabriquées contenant chacune une spore au départ, on tolère 1 boîte contaminée à la fin)**
- **$t = D (\text{Log } N_0 - \text{Log } N_1)$**
- **$F = D_r (\text{Log } N_0 - \text{Log } N_1)$
 $= 0,21 (\text{Log } 1 - \text{Log } 10^{-12})$
 $= 0,21 \times 12$
 $= 2,52 \text{ min.}$**
- **Donc, à 250°F (121° C), probabilité d'altération : 1 boîte/ 10^{12} si 1 spore/boîte au départ**



3- Technologies de Stabilisation et de Conservation

3.2- Conservation par traitement thermique

Applications

- **Pasteurisation**
 - Définition et applications
 - Barèmes (cas du lait)
 - Résultats (cas du lait)
- **Stérilisation**
 - Appertisation (autoclavage)
 - Stérilisation UHT



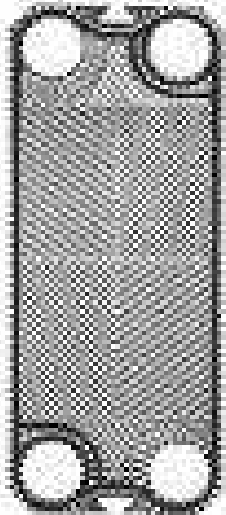
3- Technologies de Stabilisation et de Conservation

3.2- Conservation par traitement thermique

Applications

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)



Pasteurisateur à plaques



3- Technologies de Stabilisation et de Conservation

3.2- Conservation par traitement thermique

Applications

Pasteurisation (suite)

- Barèmes (cas du lait):

- * 63°C, 30min : LTLT (Low Temperature Long Time)

- * 72°C, 15sec : HTST (High Temperature Short Time)

- * 85°C ou plus : Pasteurisation haute



- **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

- 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



3- Technologies de Stabilisation et de Conservation

3.2- Conservation par traitement thermique

Applications

Stérilisation

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



3- Technologies de Stabilisation et de Conservation

3.2- Conservation par traitement thermique

Applications

Stérilisation

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



3- Technologies de Stabilisation et de Conservation

3.2- Conservation par traitement thermique

Applications

Stérilisation

Appertisation (suite)

- Technologie:
 - Remplissage des contenants (boîtes métalliques, bocaux en verre, etc.)
 - Cuisson
 - Sertissage (boîtes) ou encapsulage (bocaux)
 - Stérilisation: autoclave statique ou rotatif (120°C, 20 min ou plus)
 - Refroidissement rapide (eau bactériologiquement propre)



Autoclaves





Steriflow:
autoclave avec
système de
refroidissement
intégré



3- Technologies de Stabilisation et de Conservation

3.2- Conservation par traitement thermique

Applications

Stérilisation

Appertisation (suite)

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



3- Technologies de Stabilisation et de Conservation

3.2- Conservation par traitement thermique

Applications

Stérilisation

Stérilisation UHT (lait)

- Barème: 140-150°C, moins d'une seconde à quelques secondes
- Destruction de tous les micro-organismes
- Préservation des protéines, des vitamines , etc.



3- Technologies de Stabilisation et de Conservation

3.2- Conservation par traitement thermique

Applications

Stérilisation

Stérilisation UHT (lait) (suite)

- Technique
 - injection de vapeur: élévation très rapide de la température
 - Chambrage
 - Refroidissement dans un Flash-cooler
 - Conditionnement aseptique



3- Technologies de Stabilisation et de Conservation

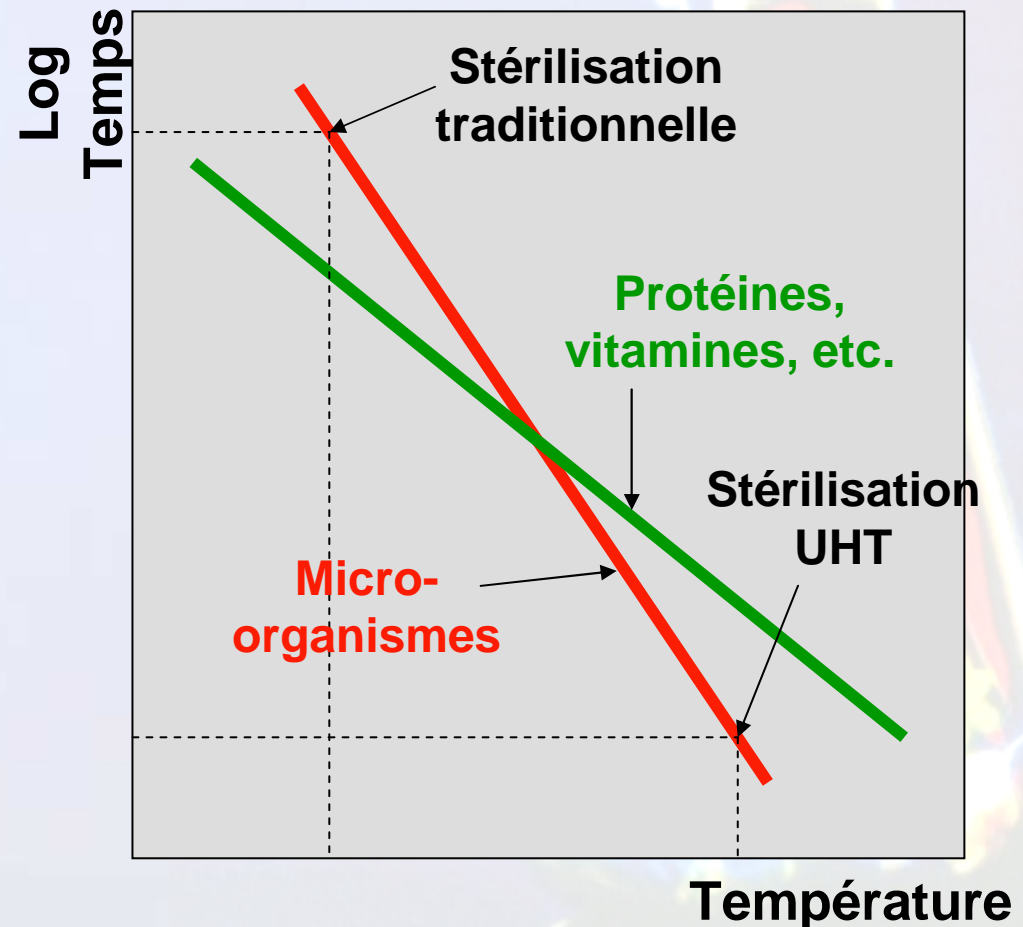
3.2- Conservation par traitement thermique

Applications

Stérilisation

Stérilisation UHT (lait) (suite)

- **Avantage:**
préservation des propriétés nutritionnelles et organoleptiques du produit traité



3- Technologies de stabilisation et de conservation

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- Technologies de stabilisation et de conservation

3.3- Stabilisation par le froid

3.3.1- Principe

- Le froid inhibe la croissance microbienne
($T < \text{temp. minimale de croissance}$)
- 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

	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

		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	

STERILISATION

PASTEURISATION

REFRIGERATION

CONGELATION

SURGELATION



120

100

65

50

30

10

7

6,7

6,5

5,2

4

3,3

3

2

0

-10

-14

-18

Thermophiles

Mésophiles

Psychrotrophes

Psychrophiles

Cryophiles

**Fin du risque
Bactéries
Pathogènes et
toxino-gènes**

**Arrêt
multiplication
bactérienne**

**Arrêt
toute
multiplication
microbienne**

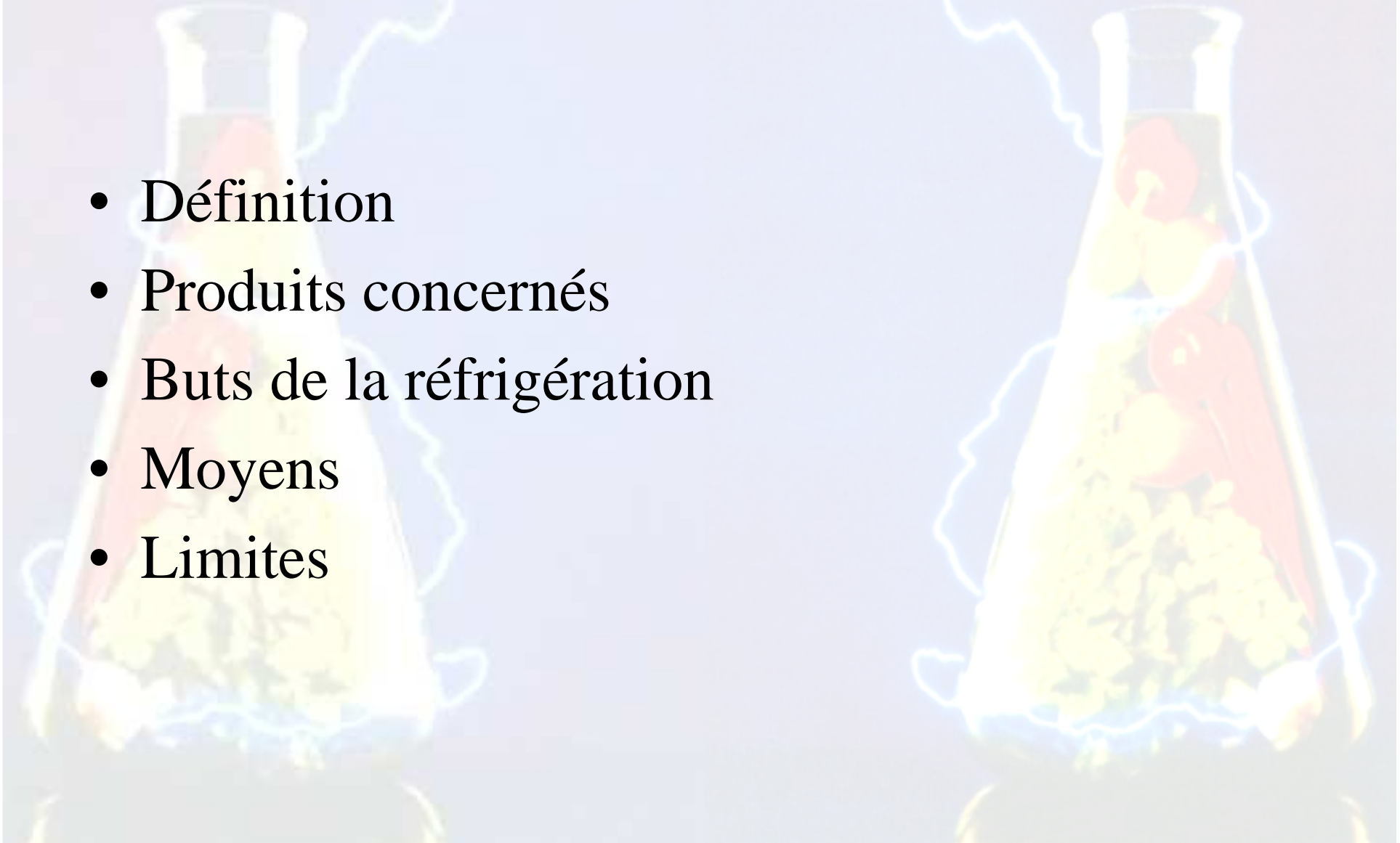


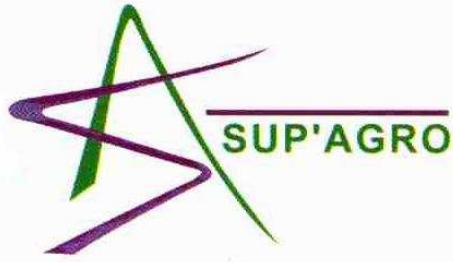
3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.3- Stabilisation par le froid

3.3.2- Réfrigération

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





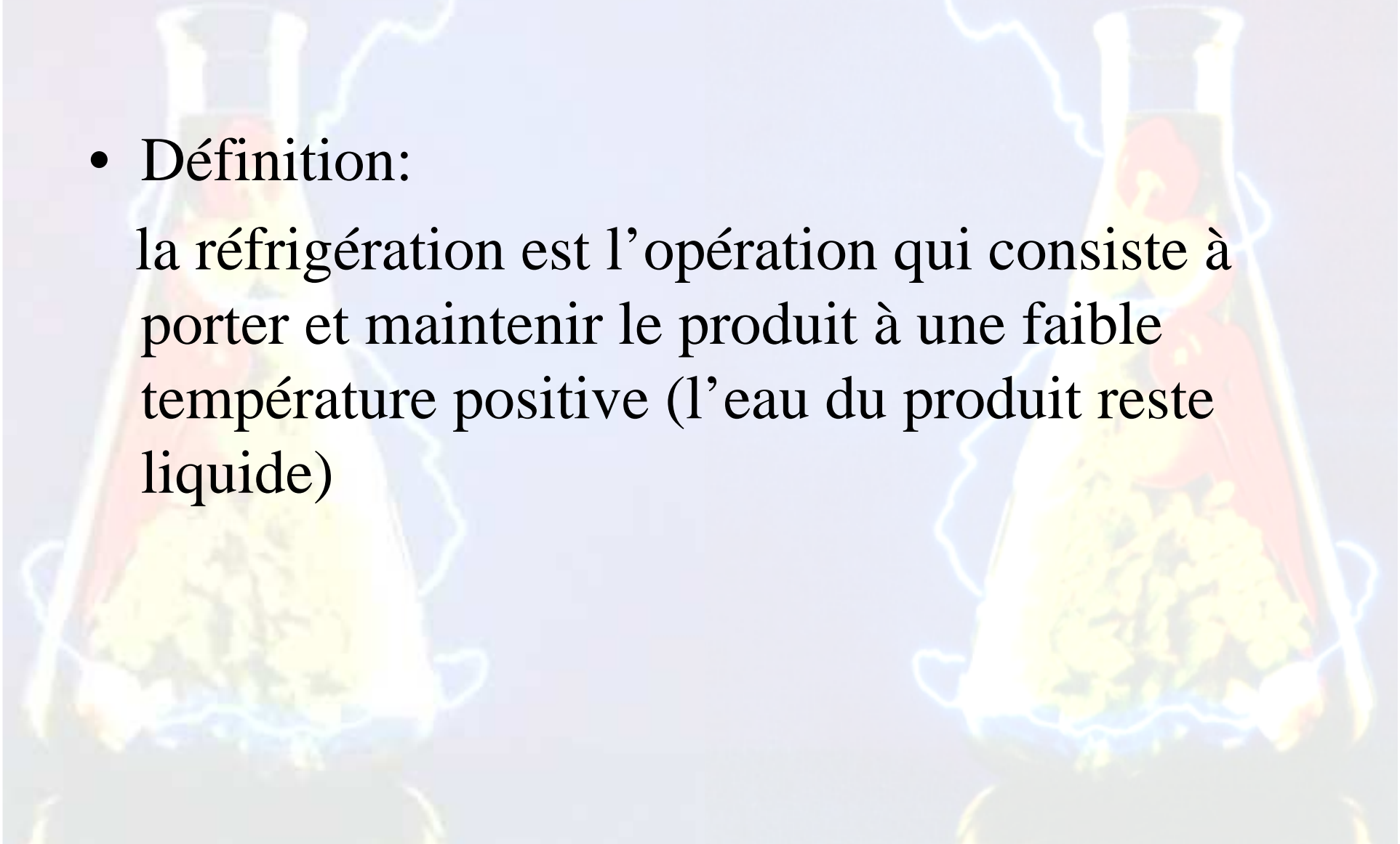
3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.3- Stabilisation par le froid

3.3.2- Réfrigération

- 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)



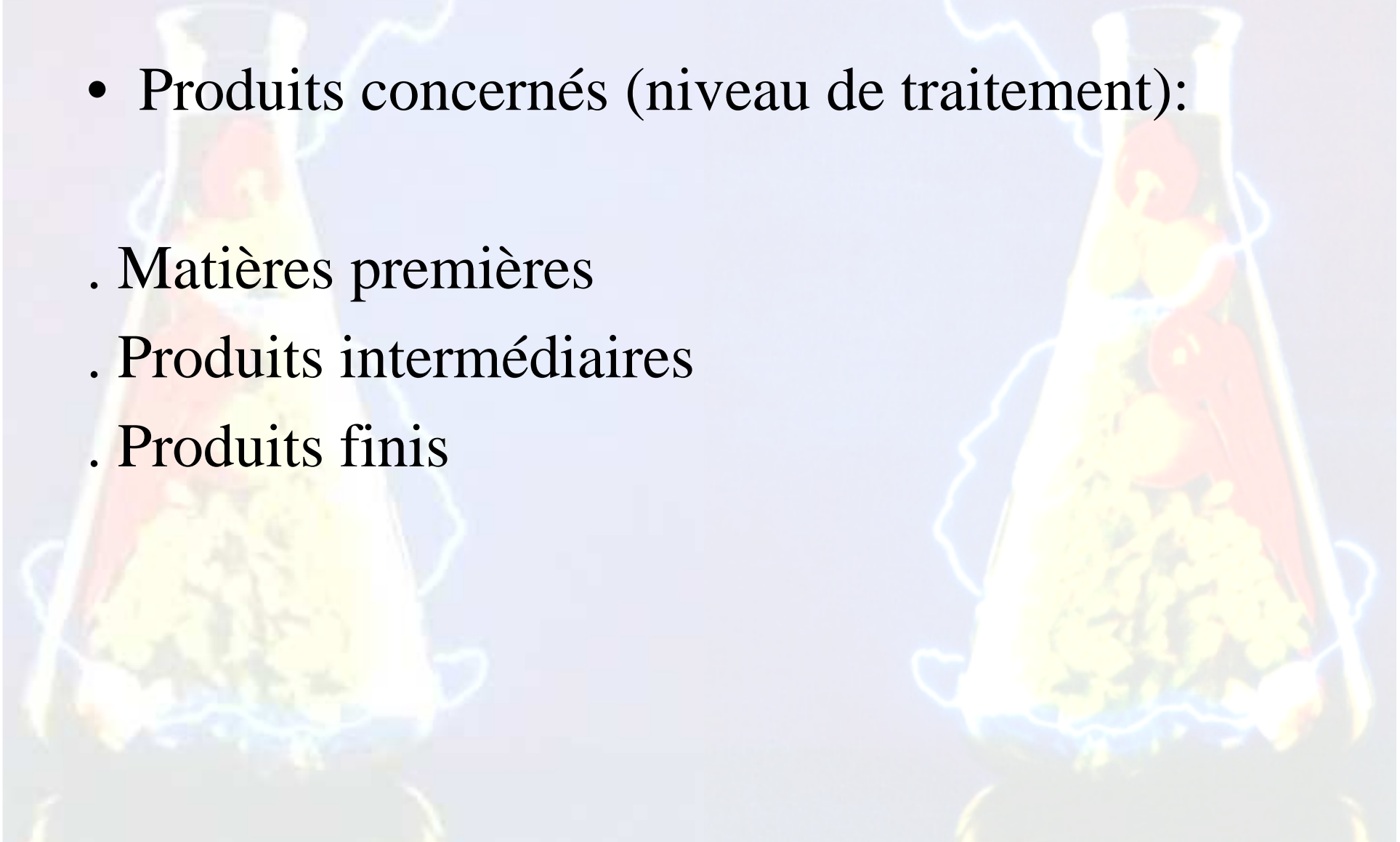


3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.3- Stabilisation par le froid

3.3.2- Réfrigération

- Produits concernés (niveau de traitement):
 - . Matières premières
 - . Produits intermédiaires
 - . Produits finis



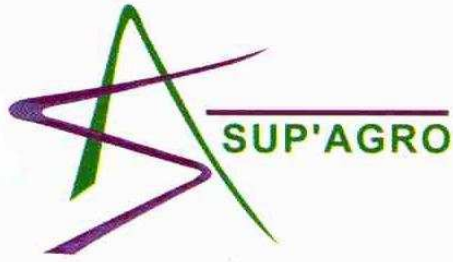


3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.3- Stabilisation par le froid

3.3.2- Réfrigération

- 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.).



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.3- Stabilisation par le froid

3.3.2- Réfrigération

- Buts de la réfrigération:
 - Entreposage
 - Transport réfrigéré (ne pas confondre avec transport isotherme)
 - Exposition vente



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.3- Stabilisation par le froid

3.3.2- Réfrigération

- Moyens
 - 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)



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.3- Stabilisation par le froid

3.3.2- Réfrigération

- Limites
 - Microorganismes psychrophiles ou psychrotrophes
 - Réactions enzymatiques et chimiques
 - Évaporation de l'eau
 - Durée toujours limitée

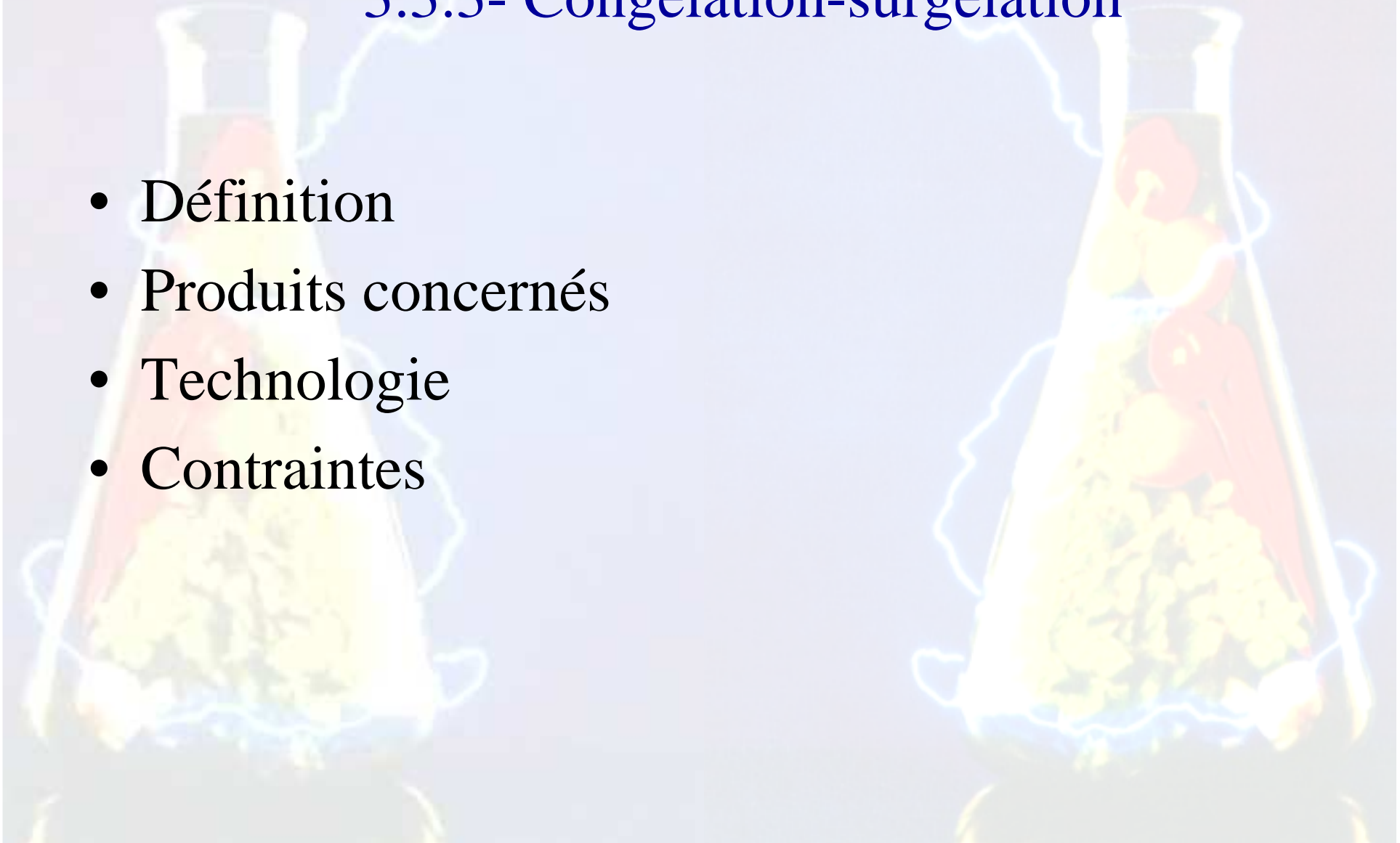


3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.3- Stabilisation par le froid

3.3.3- Congélation-surgélation

- Définition
- Produits concernés
- Technologie
- Contraintes



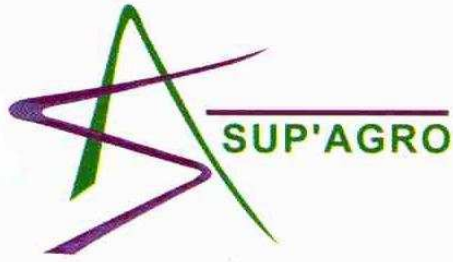


3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.3- Stabilisation par le froid

3.3.3- Congélation-surgélation

- Définition
 - Congélation: opération qui consiste à porter le produit à une température négative; l'eau du produit passe à l'état solide
 - Surgélation: congélation rapide (éviter la formation de gros cristaux de glace): meilleure qualité après décongélation



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.3- Stabilisation par le froid

3.3.3- Congélation-surgélation

- 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.)

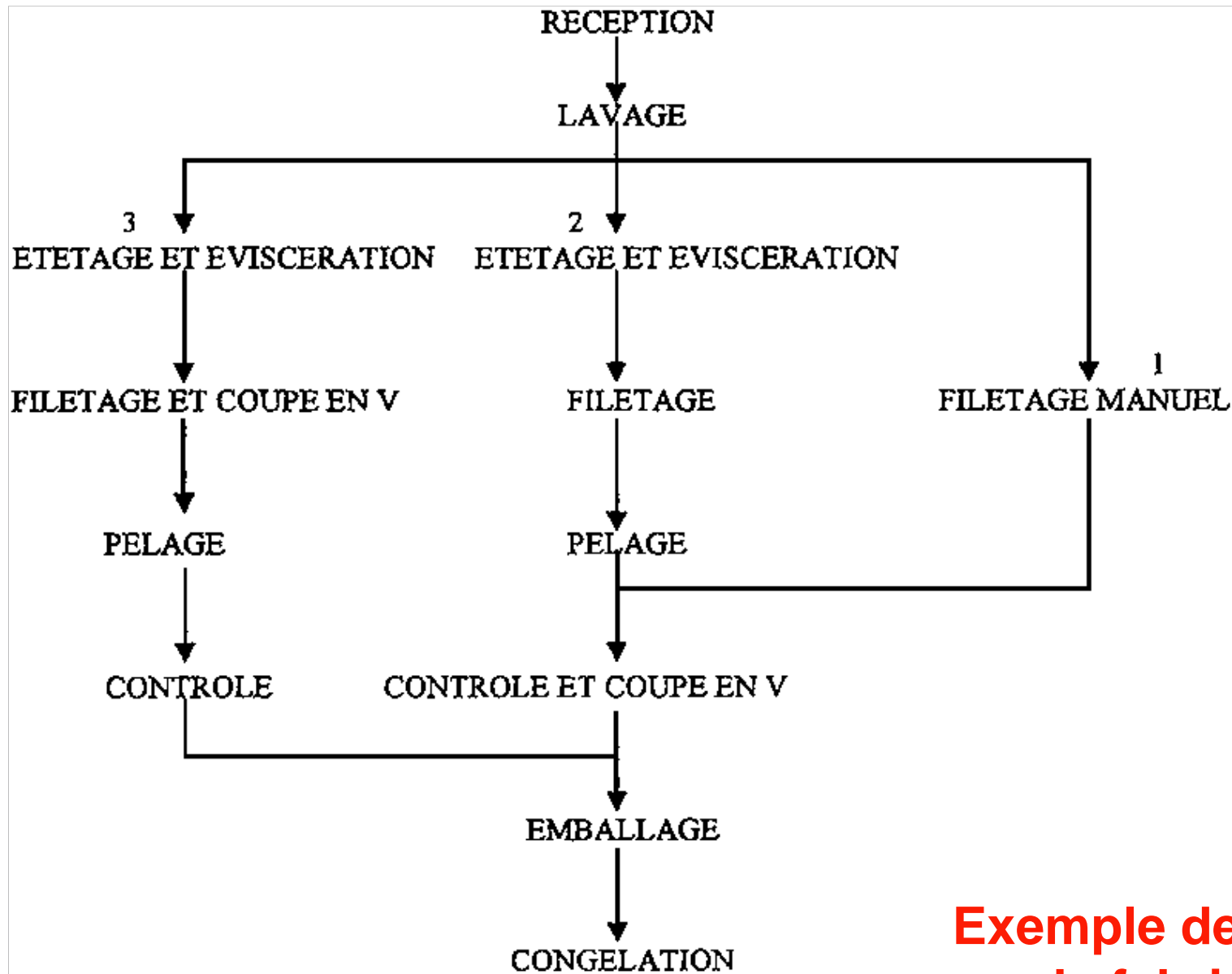


3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.3- Stabilisation par le froid

3.3.3- Congélation-surgélation

- Technologie
- Préparation
- . Triage
- . Nettoyage
- . Blanchiment: traitement thermique léger (microorganismes, enzymes, fixation de couleur)
- . Réfrigération préalable



**Exemple de diagramme
de fabrication de
poisson congelé**

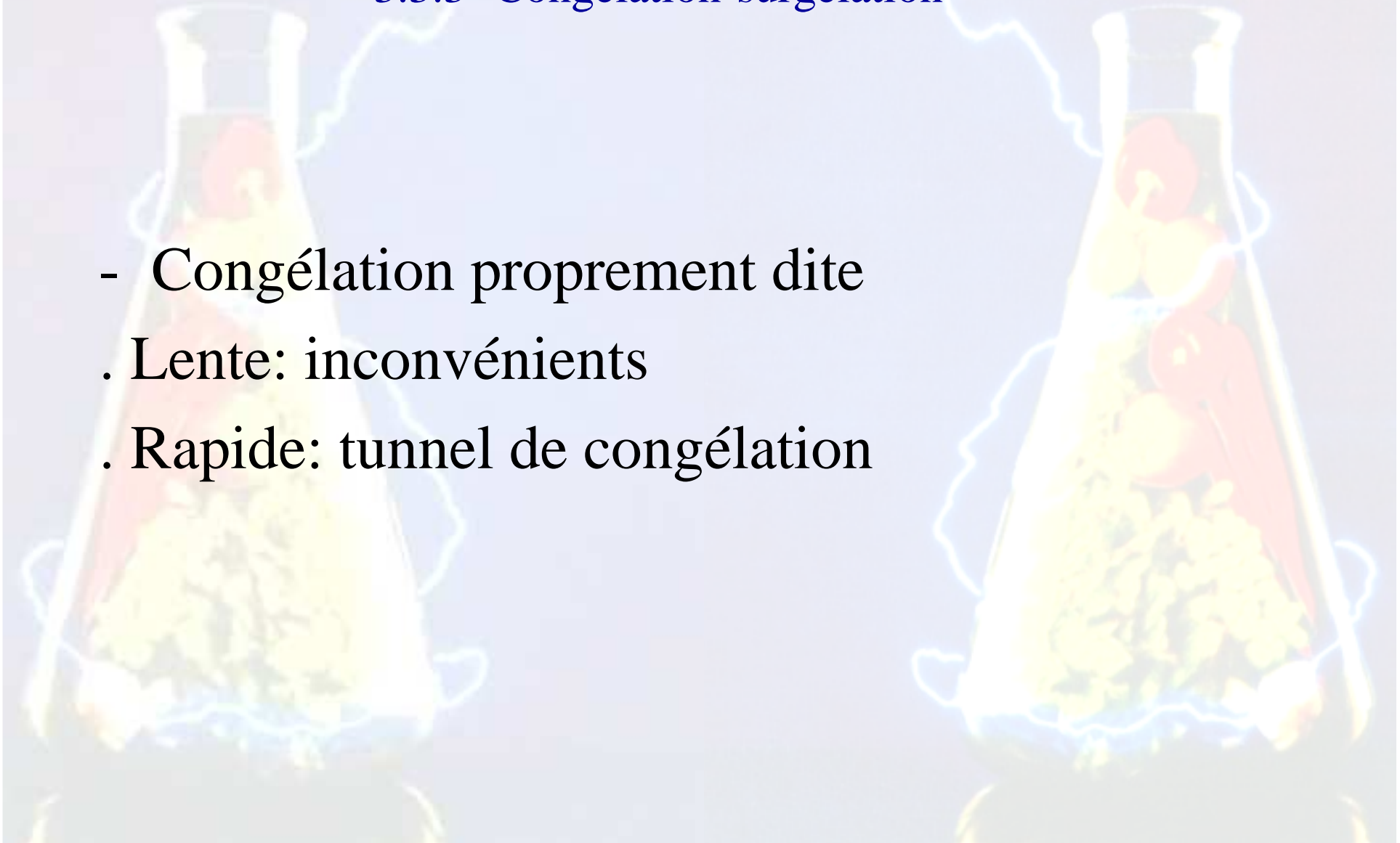


3- Technologies de stabilisation et de conservation

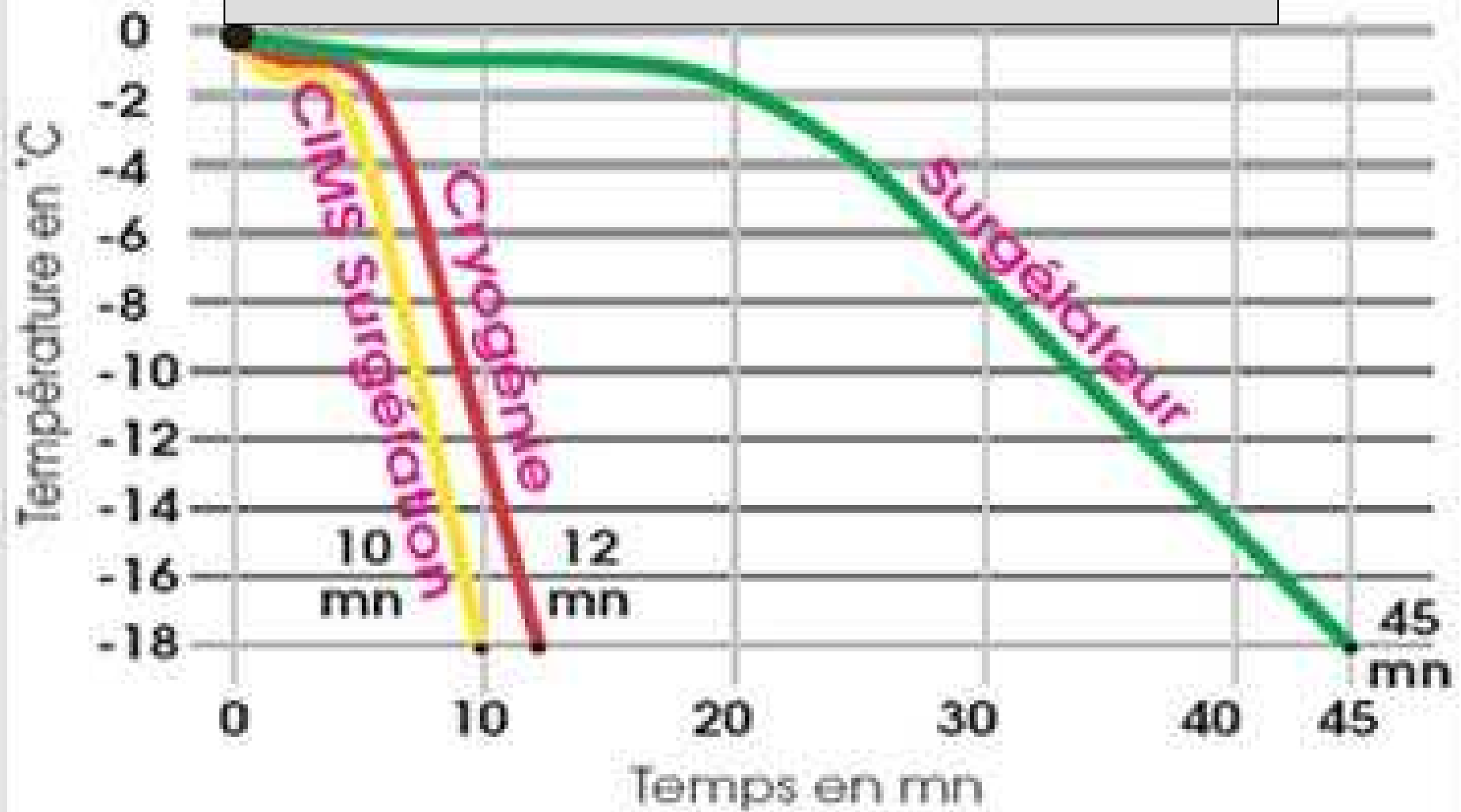
3.3- Stabilisation par le froid

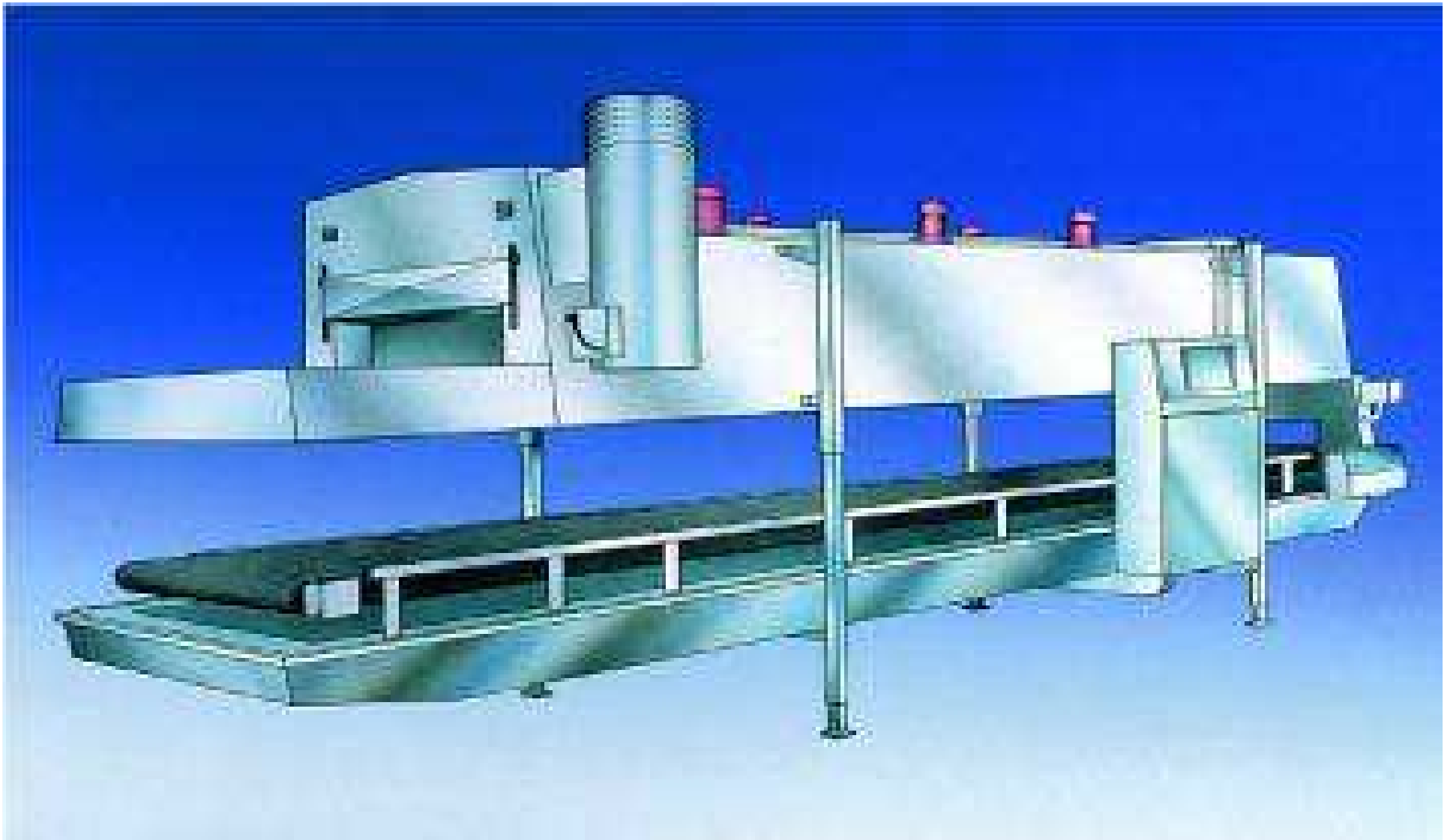
3.3.3- Congélation-surgélation

- Congélation proprement dite
- . Lente: inconvénients
- . Rapide: tunnel de congélation

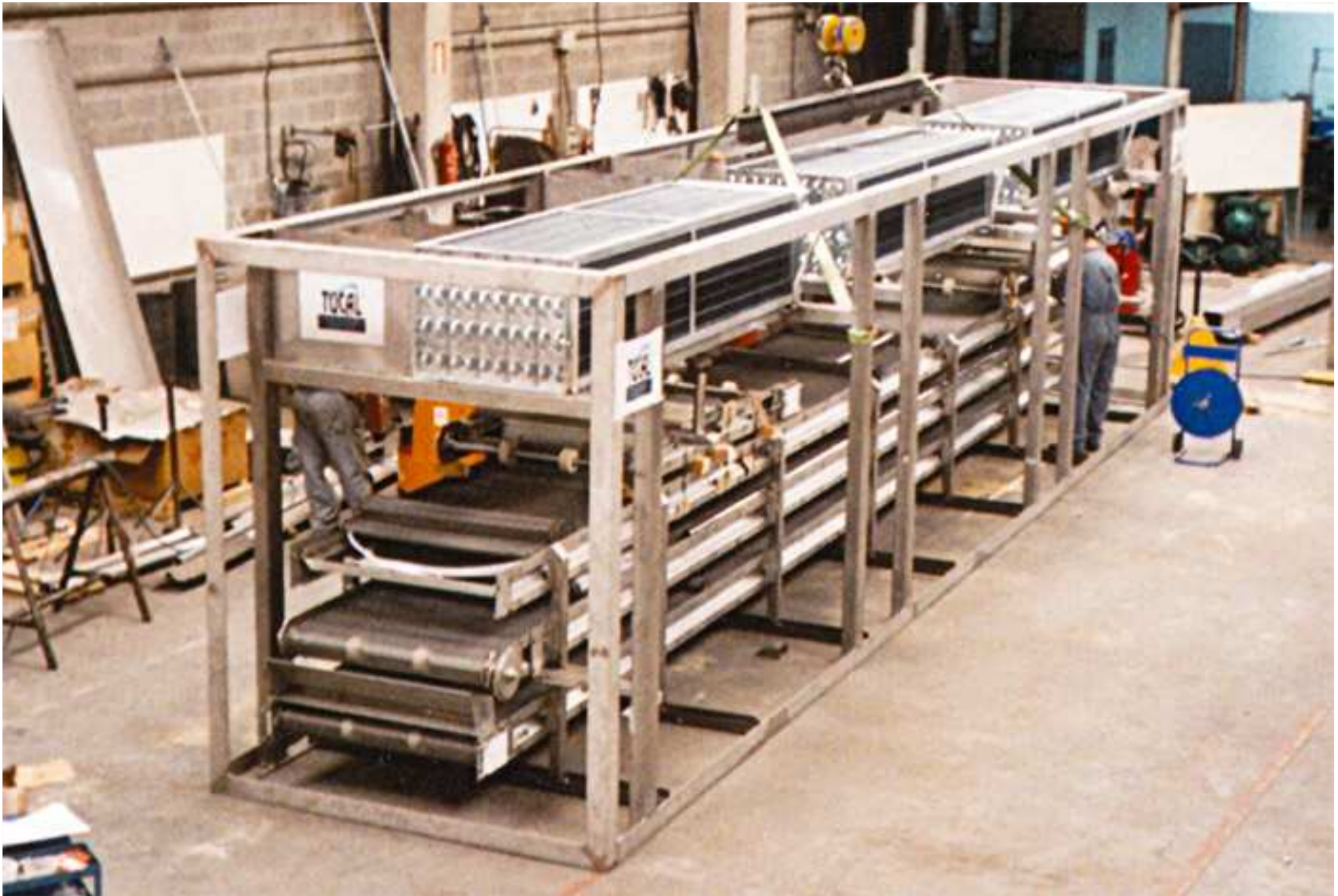


Exemples d'évolution de la température au cours de la surgélation





Exemple de tunnel de surgélation



Exemple de tunnel de surgélation



Intérieur d'un tunnel de surgélation en fonctionnement



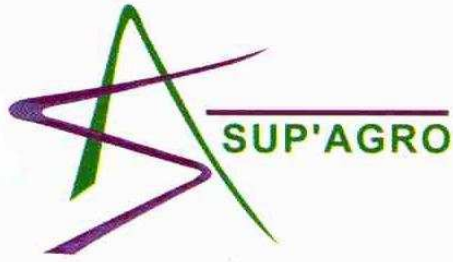


3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.3- Stabilisation par le froid

3.3.3- Congélation-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



3- Technologies de stabilisation et de conservation

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



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.4- Utilisation de conservateurs antimicrobiens

Définition

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



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.4- Utilisation de conservateurs antimicrobiens

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
- N'est pas utilisé en thérapeutique humaine ou animale
- Facile à utiliser
- N'a pas d'effets sur les propriétés organoleptiques
- Peu coûteux



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.4- Utilisation de conservateurs antimicrobiens

Précautions avant d'autoriser un conservateur

- Tests de toxicité sur animaux: longs et coûteux
- Tests de mutagenèse sur bactéries
 - plus rapides, plus simples et moins coûteux
 - environ 90% des mutagènes sont cancérigènes
- 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	Micro-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	Micro-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	Micro-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 fromages
Formate d'éthylène	15-200 ppm	Levures et moisissures	Fruits séchés



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.4- Utilisation de conservateurs antimicrobiens

Autres conservateurs

- Bactériocines : nisine, subtiline, tylosine, etc.
Nisine au lieu des nitrites (nitrosamines cancérigènes)
- Antifongiques: pimaricine, bénomyl, biphényl, thiabendazol, etc.
- Antioxydants actifs contre bactéries, levures, moisissures et virus (BHA: Butyl Hydroxy Anisol & BHT: Butyl Hydroxy Toluène)



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.4- Utilisation de conservateurs antimicrobiens

Autres conservateurs (suite)

- Aromatisants chimiques: diacétyle (bactéries , surtout à Gram négatif, moisissures)
- Acides gras
 - à courte chaîne (C_2 , C_3 , etc.): action surtout antimicrobienne
 - à chaîne moyenne (C_{12} - C_{16}): émulsifiants à action antimicrobienne secondaire
- Épices et plantes aromatiques (cannelle, thym, armoise, etc.): par huiles essentielles et tanins



3- Technologies de stabilisation et de conservation

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



3- Technologies de stabilisation et de conservation

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

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



3- Technologies de stabilisation et de conservation
3.5- Conservation par abaissement de l'activité de l'eau

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



3- Technologies de stabilisation et de conservation
3.5- Conservation par abaissement de l'activité de l'eau
Teneur critique en eau des aliments

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

- Lait en poudre entier **8**
- Œuf entier déshydraté **10-11**
- Farine de blé **13-15**
- Riz **13-15**
- Viande dégraissée séchée **15**
- Légumes déshydratés **14-20**
- Amidon **18**
- Fruits déshydratés **18-25**



3- Technologies de stabilisation et de conservation
3.5- Conservation par abaissement de l'activité de l'eau
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



3- Technologies de stabilisation et de conservation
 3.5- Conservation par abaissement de l'activité de l'eau

Salage

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)



3- Technologies de stabilisation et de conservation
3.5- Conservation par abaissement de l'activité de l'eau
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)



3- Technologies de stabilisation et de conservation

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

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, jus de tomate)
 - poussée: séchage (lait, levure, tomate)



3- Technologies de stabilisation et de conservation

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

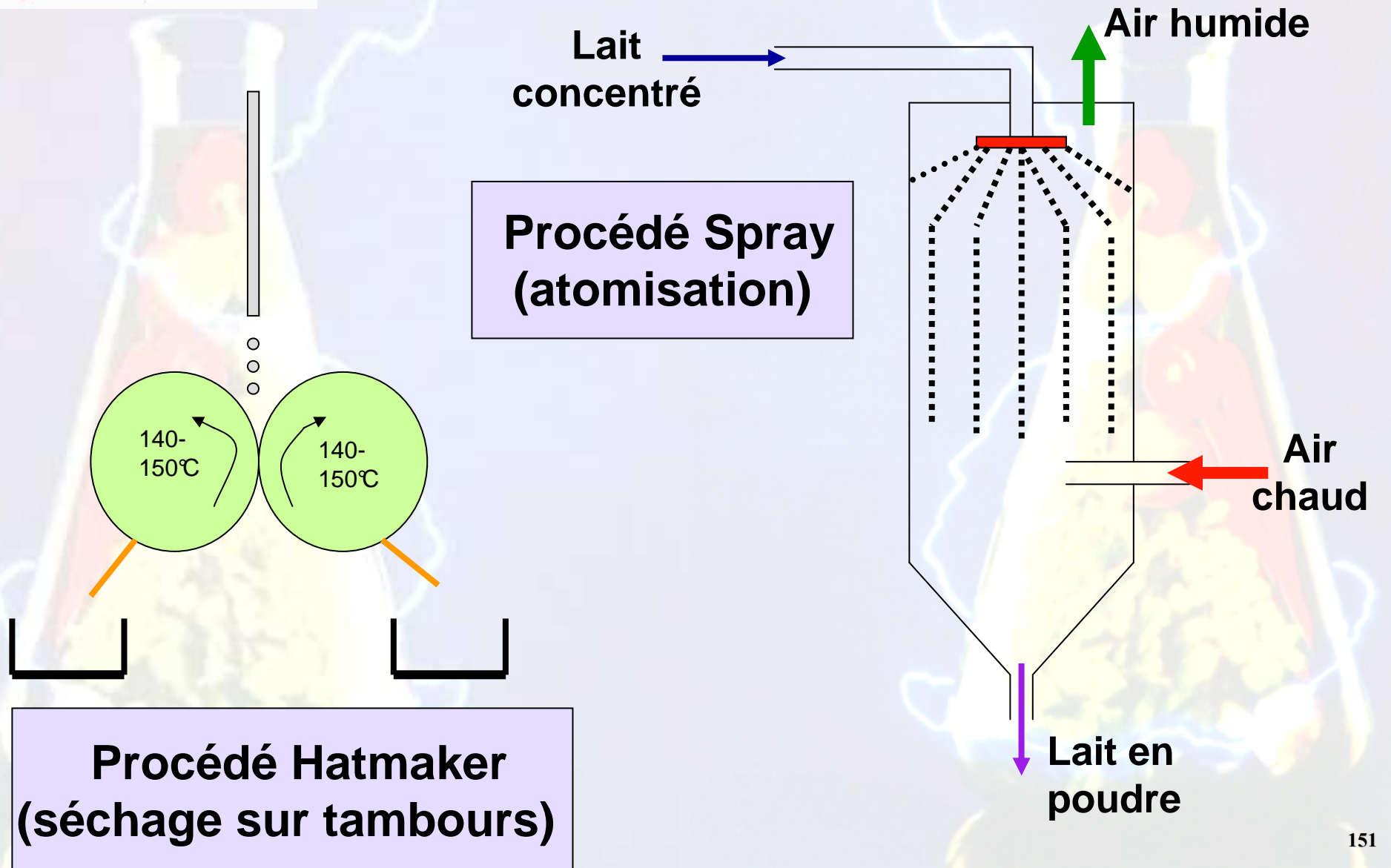
Evaporation de l'eau (suite)

- 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

3- Technologies de stabilisation et de conservation

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

Evaporation de l'eau (suite)





3- Technologies de stabilisation et de conservation

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

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

pH et a_w	Température	Conservabilité	Catégorie de viande
pH > 5 ou a_w > 0,95	$\leq +5^\circ\text{C}$	15 jours	Très périssable
5 < pH < 5,2 ou 0,91 < a_w < 0,95	$\leq +10^\circ\text{C}$	1 mois	Périssable
pH \leq 5,2 & a_w < 0,95 ou pH < 5 ou a_w < 0,91	ambiante	-	Non périssable

3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.6- Stabilisation par fermentation

- 3.6.1- Généralités
- 3.6.2- Effet protecteur des fermentations
- 3.6.2- Mécanismes



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.6- Stabilisation par fermentation

3.6.1- Généralités

- Fermentation: série de transformations dues à des réactions biochimiques provoquées par les micro-organismes dans les denrées alimentaires
- Rôle: essentiel dans les IBF
plus ou moins secondaire dans d'autres types d'industries



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.6- Stabilisation par fermentation

3.6.2- Effet protecteur

- Exemple de la fermentation lactique: effet inhibiteur sur les bactéries d'intérêt hygiénique et les bactéries d'altération biochimique

Espèces actives	Micro-organismes sensibles
<i>Lactococcus diacetylactis</i> <i>Streptococcus thermophilus</i> <i>Lactobacillus plantarum</i> <i>Lb. brevis</i> <i>Lb. casei</i> <i>Pediococcus cerevisia</i>	<i>Staphylococcus aureus</i> Salmonelles Coliformes Pectinolytiques



3- Technologies de stabilisation et de conservation

3.6- Stabilisation par fermentation

3.6.3- Mécanismes

- Action de substances antimicrobiennes
 - Bactériocines (ex.: nisine)
 - H_2O_2
 - Acides organiques (ex.: ac. lactique)
 - Diacétyl
- pH acides
- Compétition nutritionnelle

CHAPITRE 4

TECHNOLOGIES DE BIOSYNTHESE ET DE FERMENTATION

- 4.1- Généralités
- 4.2- Production de levure boulangère
- 4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.1- Généralités

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



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.1- Généralités

- 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



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.1- Généralités

- Définitions (suite)

- Une fermentation est:
 - **biochimiquement**: une succession de réactions partant d'un substrat déterminé (généralement un glucide) 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



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.1- Généralités

- Effets des fermentations

- Développement du goût et de l'arôme
- Modification de la consistance et de la texture
- Enrichissement nutritionnel
- Amélioration de la digestibilité
- Diminution de la toxicité
- Résistance aux micro-organismes indésirables



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.1- Généralités

- Principaux produits alimentaires fermentés

- **Produits laitiers**

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

- **Produits carnés**

- Saucisson crû

- **Produits végétaux**

- Olives, cornichons, etc.
- Pain
- Choucroute

- **Boissons et dérivés**

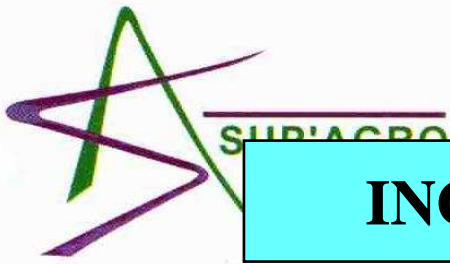
- Vins, bières, etc.
- Vinaigre



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

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



INOCULUM

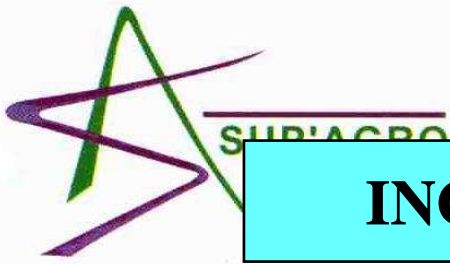
MILIEU DE CULTURE

PRODUIT DESIRE

Inoculation

Récupération

**Schéma général
d'une fermentation
industrielle**



INOCULUM

Souche de levure

Préparation de l'inoculum

Inoculation

MILIEU DE CULTURE

Mélasse brute

Corrections

Programme d'alimentation

Température

pH

Oxygénation

Mousse

Récupération

LEVURE

Schéma général de la production industrielle de levure



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

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 CO_2 dans la pâte): élasticité de la mie
- Aussi rôle dans l'arôme et la qualité nutritionnelle du pain



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

4.2.1- La souche de levure

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



Bourgeonnement de la levure

GLUCOSE
 $C_6H_{12}O_6$

ACIDE PYRUVIQUE
 $2CH_3COCOOH$

O_2

**Effet
Glucose
(Crabtree)**

**Cycle
de
Krebs**

**Effet
Pasteur**

$6 CO_2 + 6 H_2O + 38 ATP$

$2 CH_3CH_2OH + 2 CO_2 + 4 ATP$

CROISSANCE IMPORTANTE

CROISSANCE FAIBLE



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

4.2.2- Le milieu de culture

- Le milieu de base: la mélasse de sucrerie

. Composition

. Défauts de la mélasse et leur correction



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

4.2.2- Le milieu de culture

Le milieu de base (suite)

Composition	Betterave	Canne
Eau	16,5	20,0
Sucres: saccharose	51,0	32
glucose	1,0	14
fructose		16
raffinose	1,0	-
Mat.azotées totales	19,0	10,0
Cendres SiO ₂	0,10	0,5
K ₂ O	3,90	3,5
CaO	0,26	1,5
MgO	0,16	0,1
P ₂ O ₅	0,06	0,2
Na ₂ O	1,30	-
Fe ₂ O ₃	0,02	0,2
Al ₂ O ₃	0,07	-
Résidus carbonatés (en CO ₂)	3,50	-
Résidus sulfatés (en SO ₃)	0,55	1,6
Chlorures	1,60	0,4
	53,0	62
	11,5	8,0



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

4.2.2- Le milieu de culture

Défauts de la mélasse et leur correction.

- Principaux défauts des mélasses de sucrerie
 - 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



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

4.2.2- Le milieu de culture

Défauts de la mélasse et leur correction (suite).

- **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)



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

4.2.2- Le milieu de culture

Défauts de la mélasse et leur correction (suite).

- Substances inhibitrices
 - Nature et origine
 - . SO_2 : traitement des betteraves à la réception; sulfitation au diffuseur
 - . Nitrites: engrais (NO_3^- réduits en NO_2^- 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 ($< \text{CMI}$)



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

4.2.2- Le milieu de culture

Défauts de la mélasse et leur correction (suite).

- Déficiences nutritionnelles
 - Origines: déséquilibre de la composition
dilution (obligatoire)
 - Remèdes
 - . **Azote**: urée, sels d'ammonium (sulfate par exemple),
ammoniaque (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).



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

4.2.2- Le milieu de culture

Défauts de la mélasse et leur correction (suite).

- Présence de matières en suspension
 - Inconvénients:
 - . Stérilisation difficile
 - . Croissance de la levure ralentie
 - . Coloration anormale du produit fini
 - Remède: clarification (par précipitation ou centrifugation)



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

4.2.2- Le milieu de culture

Défauts de la mélasse et leur correction (suite).

- Présence de micro-organismes contaminants

Remède: stérilisation

- Production saisonnière

Solution: stockage



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

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



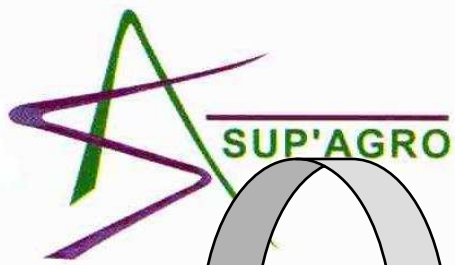
4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

4.2.3- Conduite de la fermentation

Etapes de la fermentation

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



Souche
importée

Ent-bus

Fermenteur
G1

Fermenteur
G2

Grande
cuve G3

**Étapes de la fermentation en
levurerie**

Exemple de la SOMADIR

- 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



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

4.2.3- Conduite de la fermentation

Etapes de la fermentation

Génération suivantes

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



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

4.2.3- Conduite de la fermentation

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)
 - Risque de coloration grisâtre si:
 - . Trop de matières en suspension
 - . pH acide (surtout $\text{pH} < 5$)



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

4.2.3- Conduite de la fermentation

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°C): perte de rendement par augmentation d'activité fermentaire, mais meilleure stabilité
- 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)



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

4.2.3- Conduite de la fermentation

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.)



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

4.2.3- Conduite de la fermentation

Contrôle des paramètres de la culture (suite)

- **Mousse**

- Inconvénients de la mousse:

- . Risques de contamination

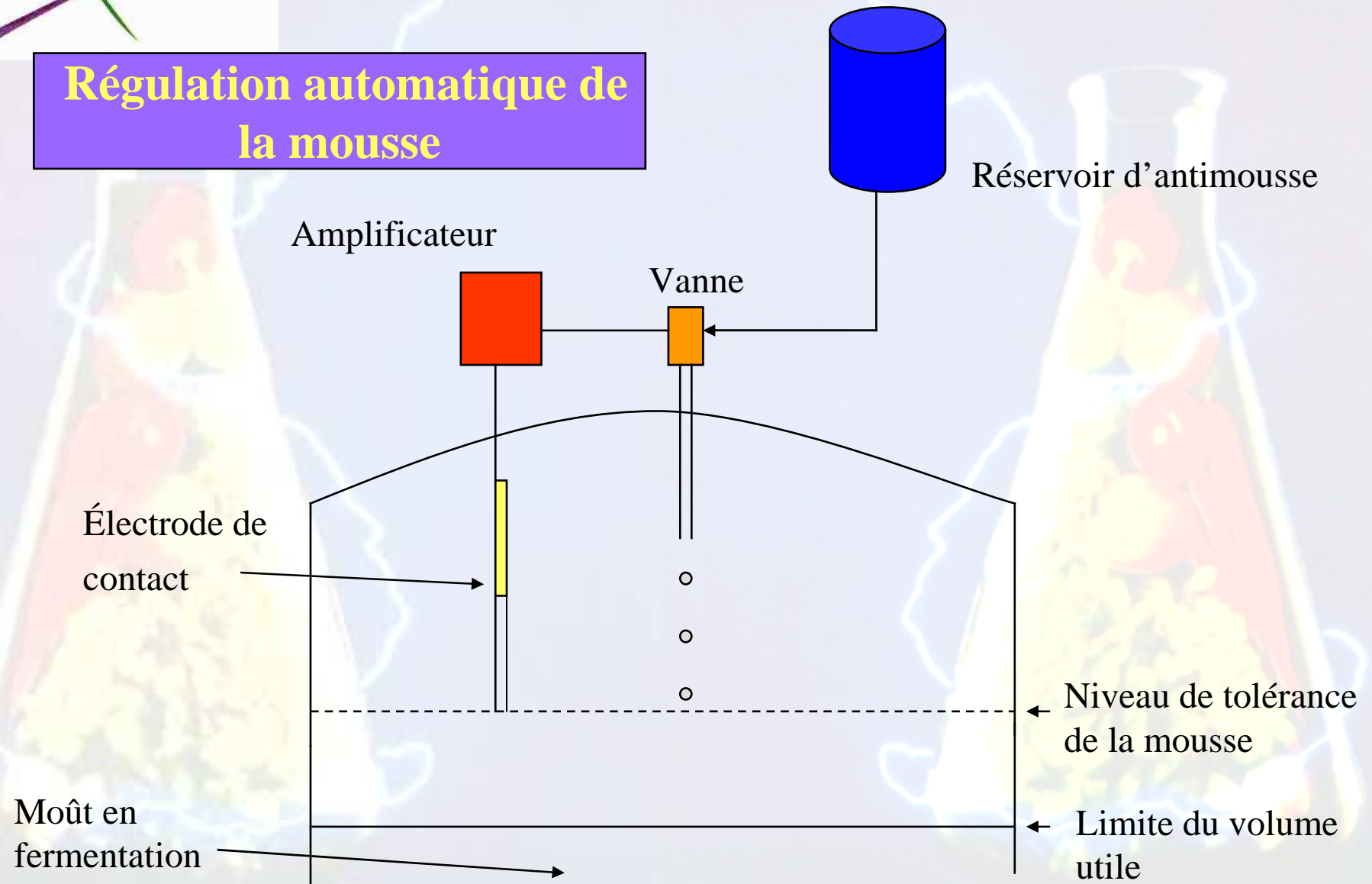
- . Réduction de l'efficacité de l'aération

- Remèdes

- . Addition d'antimousse dans la pré-couche

- . Addition progressive manuelle ou automatique(électrode de contact)

Régulation automatique de la mousse





4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

4.2.3- Conduite de la fermentation

Contrôle des paramètres de la culture (suite)

- **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
 - . Par la mesure du pH pour alimentation en NH_4^+ ou $\text{SO}_4^{=}$



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

4.2.3- Conduite de la fermentation

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 $k = k_{max}/2$

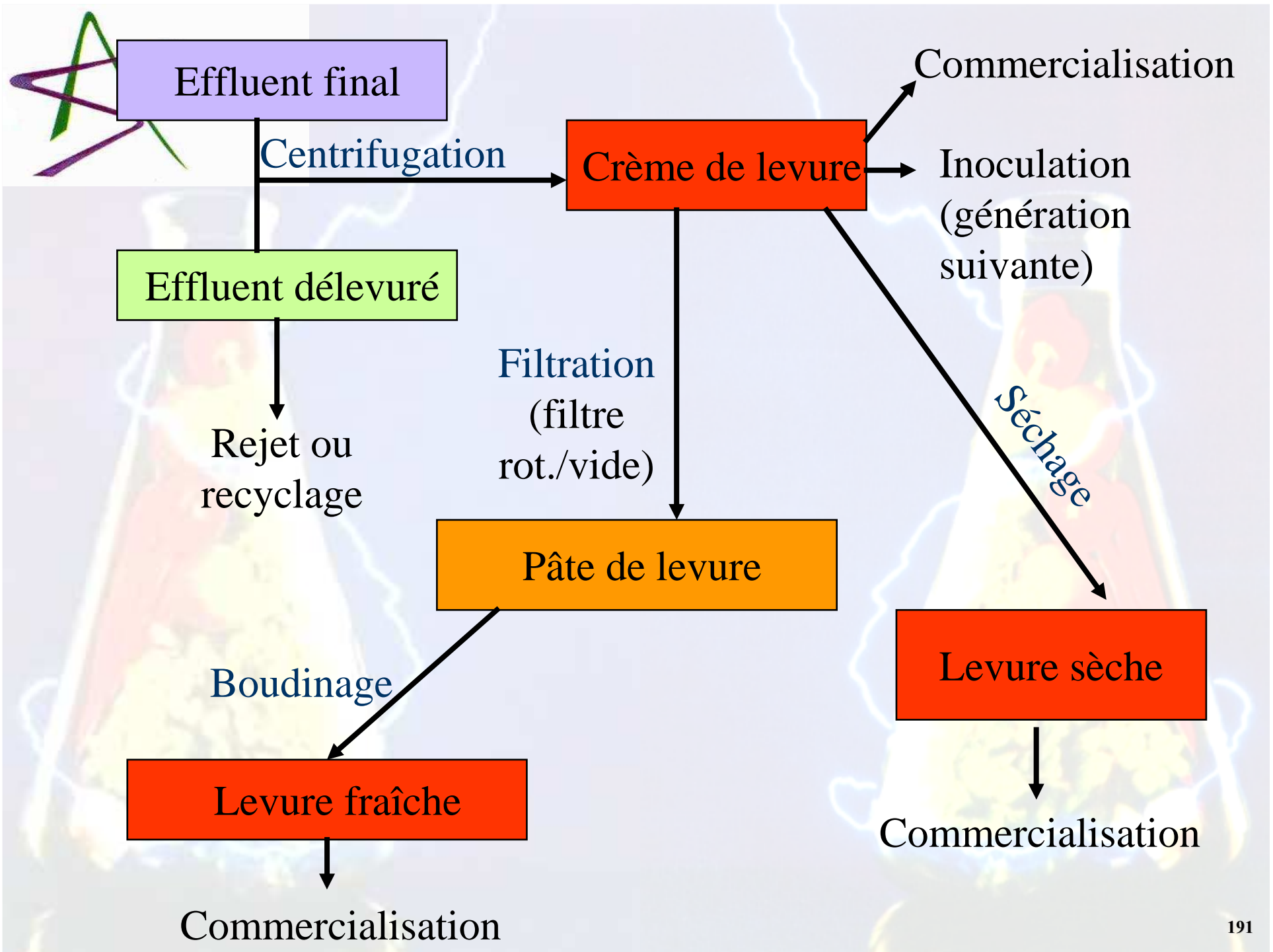


4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.2- Production de levure boulangère

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- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

- Généralités
- 4.3.1.- Caillage du lait
- 4.3.2.- Egouttage du caillé
- 4.3.3.- Affinage



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

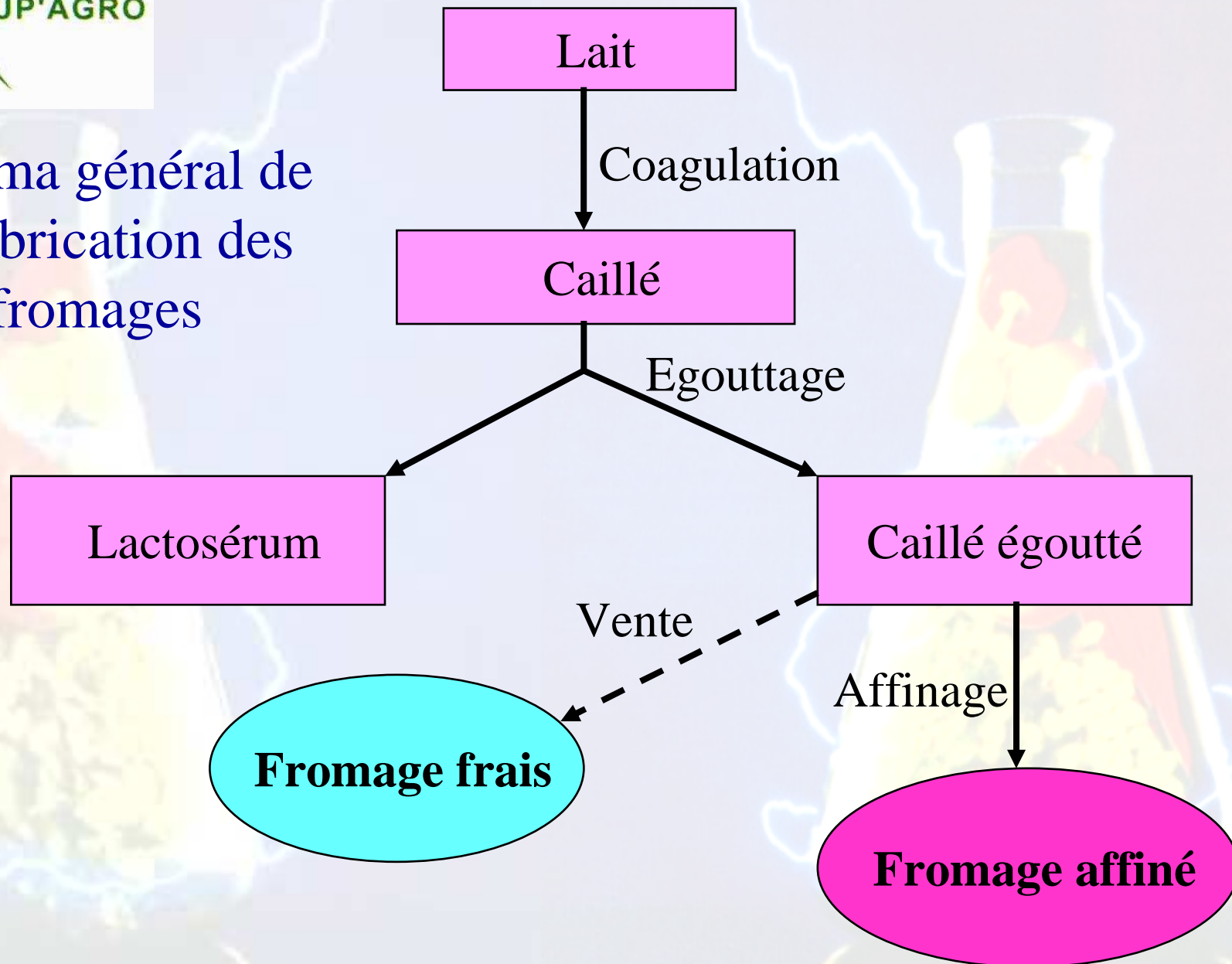
4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

Généralités

Fromage: produit alimentaire obtenu à partir du lait par:

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

Schéma général de la fabrication des fromages





4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.1- Caillage du lait

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



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.1- Caillage du lait

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

Eau liée

Eau libre

Eau d'hydratation
périphérique

micelle





4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.1- Caillage du lait

Caillage enzymatique

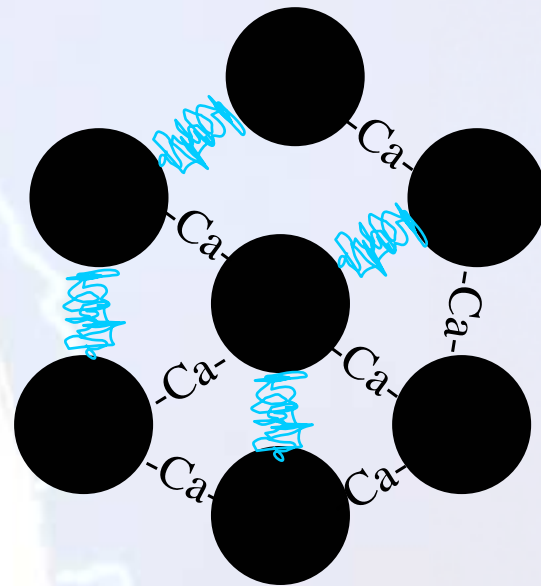
Caséine entière $\xrightarrow{\text{présure}}$ CGP + paracaséine

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

Rôle des ions Ca^{++} et du phosphate de calcium colloïdal dans la coagulation présure du lait





4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.1- Caillage du lait

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**



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.1- Caillage du lait

Caractéristiques des 2 types de caillé

Caillé acide	mou	perméable	Peu élastique
Caillé présure	ferme	impermeable	élastique



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.1- Caillage du lait

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



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

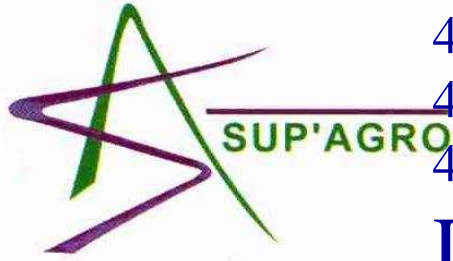
4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.2- Egouttage du caillé

- Définition

- Égouttage spontané (cas du Camembert)

- Égouttage forcé (cas des fromages à pâte cuite)



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.2- Egouttage du caillé

Définitions

- Egouttage: élimination d'une fraction liquide plus ou moins importante, le **lactosérum**
- La fraction solide qui reste: le **caillé égoutté**



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.2- Egouttage du caillé

Egouttage spontané (ex.: 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*



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.2- Egouttage du caillé

Egouttage spontané (ex.: camembert) (suite)

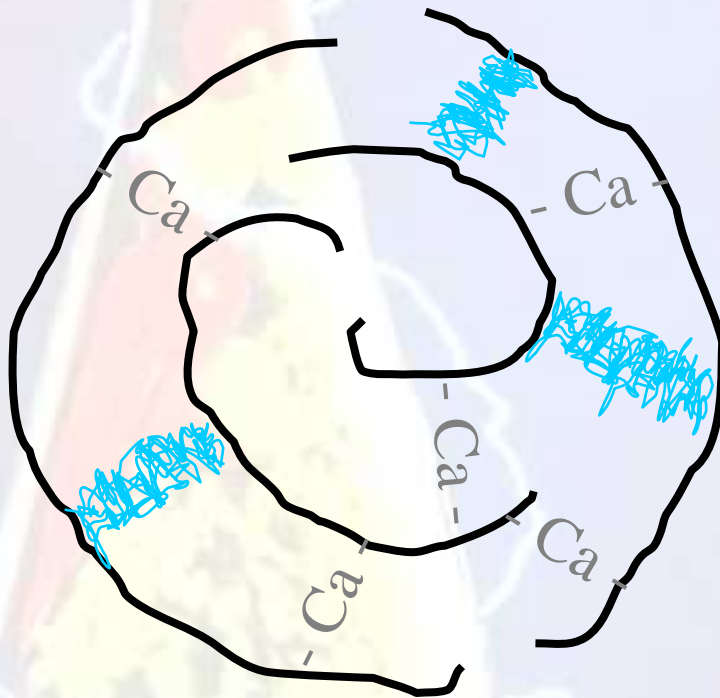
- Rétraction du caillé par:

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

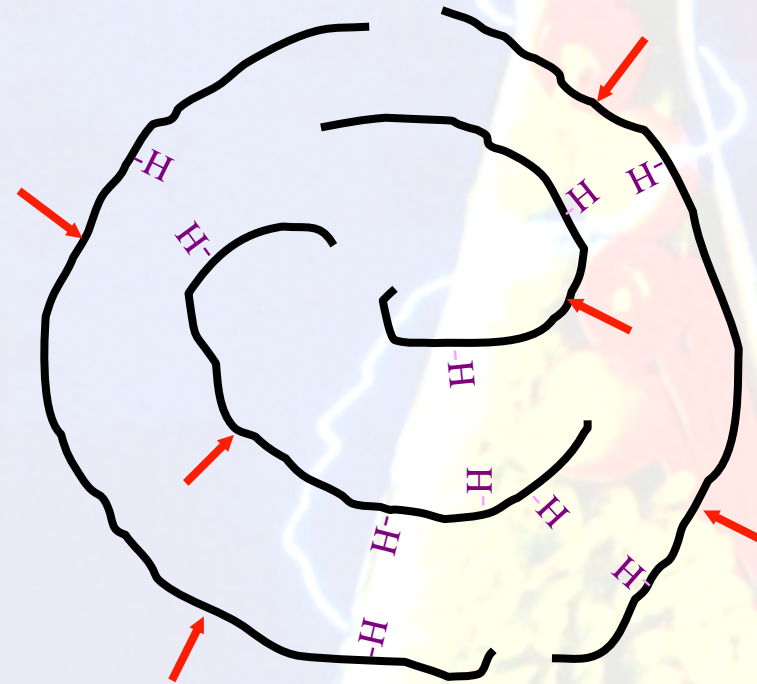
Au bout de 24 h, caillé de type lactique presque pur (pH 4,2-4,6)

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

Micelle avant égouttage



Après égouttage



Mécanisme de l'égouttage spontané



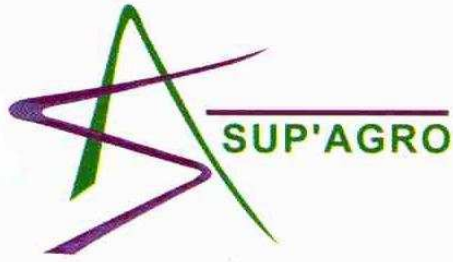
4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.2- Egouttage du caillé

Egouttage spontané (ex.: camembert) (suite)

- Conditions d'un bon égouttage
 - Température: 28-32°C: bon développement des bactéries lactiques mésophiles
 - Lait exempt d'antibiotiques: pas d'inhibition des bactéries lactiques
 - Pas trop de Coliformes: pas d'antagonisme avec les bactéries lactiques; problème aggravé par la présence d'antibiotiques



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.2- Egouttage du caillé

Egouttage forcé (fromages à pâte cuite)

- Caillage très rapide (1h15mn à 1h30mn): 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*



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.2- Egouttage du caillé

Egouttage forcé (fromages à pâte cuite) (suite)

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)



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.2- Egouttage du caillé

Egouttage forcé (fromages à pâte cuite) (suite)

- 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/gramme et pH 5,1-5,2 (Emmenthal)



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.3- Affinage des fromages

➤ Cas du Camembert

➤ Cas des fromages à pâte ferme (type Gruyère)



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.3- Affinage des fromages

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)
- On assiste à une évolution de la croûte (phénomènes superficiels) et de la pâte du fromage (phénomènes profonds)



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.3- Affinage des fromages

Cas du Camembert

➤ 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 placés sur claies en bois et retournés pour aération

Production de protéases et de lipases qui diffusent vers le centre

- Ferments du rouge: Microcoques et *Brevibacterium linens* (très protéolytiques)

4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.3- Affinage des fromages

Cas du Camembert suite)

Conditions 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



Roquefort





4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.3- Affinage des fromages

Cas du Camembert suite)

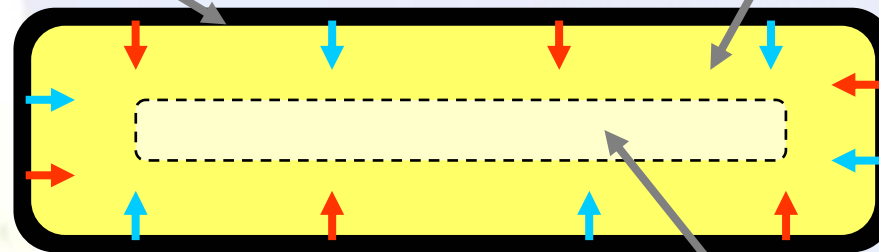
➤ Phénomènes en profondeur

- Streptocoques lactiques: développement, puis arrêt (acidité) puis à nouveau développement après action de la flore acidophile de surface
- Diffusion des protéases du *Penicillium* et des ferments du rouge: 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



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.3- Affinage des fromages

Cas des fromages à pâte cuite

- Salage
- Séjour en cave froide (10 – 12°C, 2 à 3 semaines)
 - Chute du nombre des micro-organismes
 - Nouvelle poussée (env. 1 milliard/g):
Lb. helveticus et *Str. thermophilus* en symbiose
 - Nouvelle chute de population (env. 10^5 /g): libération d'enzymes endocellulaires (protéases) par *Lb. helveticus* et *Lb. lactis* surtout
 - Soins apportés à la croûte: salage, brossage, retournement



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.3- Affinage des fromages

Cas des fromages à pâte cuite (suite)

- Séjour en cave chaude
- Évolution de la pâte
 - . Nouvelle prolifération microbienne (10^8 - 10^9 /g):
Propionibactéries (*Propionibacterium freudenreii* et *P. janssenii*)
 - . Température optimale: 23-24°C
 - . Formation d'acides propionique et acétique et de CO₂ à partir du lactose, d'ac. lactique et d'ac. pyruvique → goût et arôme et « ouverture »



4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.3- Affinage des fromages

Cas des fromages à pâte cuite (suite)

- . 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





4- Technologies de biosynthèse et de fermentation

4.3- Rôle des micro-organismes dans la fabrication des fromages

4.3.3- Affinage des fromages

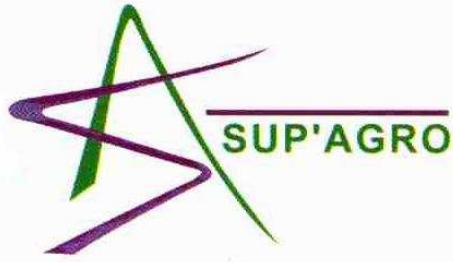
Cas des fromages à pâte cuite (suite)

- 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; morge: couche visqueuse rouge à brune de bactéries (*Brevibacterium linens* et *Br. gruyerenca*) 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- Huilerie: trituration et raffinage
- 5.3- Crémèrie - Beurrerie



5- Technologies d'extraction et de séparation

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- Technologies d'extraction et de séparation

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- Technologies d'extraction et de séparation

5.1- Généralités

- Techniques de séparation ou d'extraction variées:
 - Simple 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: canne à sucre, olives, graines oléagineuses
 - Usage d'un solvant: eau pour betterave à sucre, hexane pour huiles (extraction optimisée: pH, température, etc.)



5- Technologies d'extraction et de séparation

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- Technologies d'extraction et de séparation

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:
 - Tourteaux des graines oléagineuses
 - Grignons d'olives
 - Son de blé
 - Bagasses de canne à sucre
 - Pulpe de betterave à sucre

5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie; trituration & raffinage

- 5.2.1- Généralités
- 5.2.2- Trituration (cas des graines oléagineuses)
- 5.2.3- Raffinage



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.1- Généralités

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

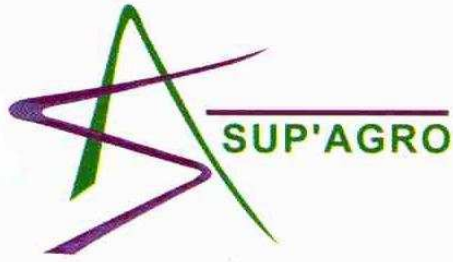


5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.1- Généralités (suite)

- La fraction lipidique (huileuse) comprend:
 - 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



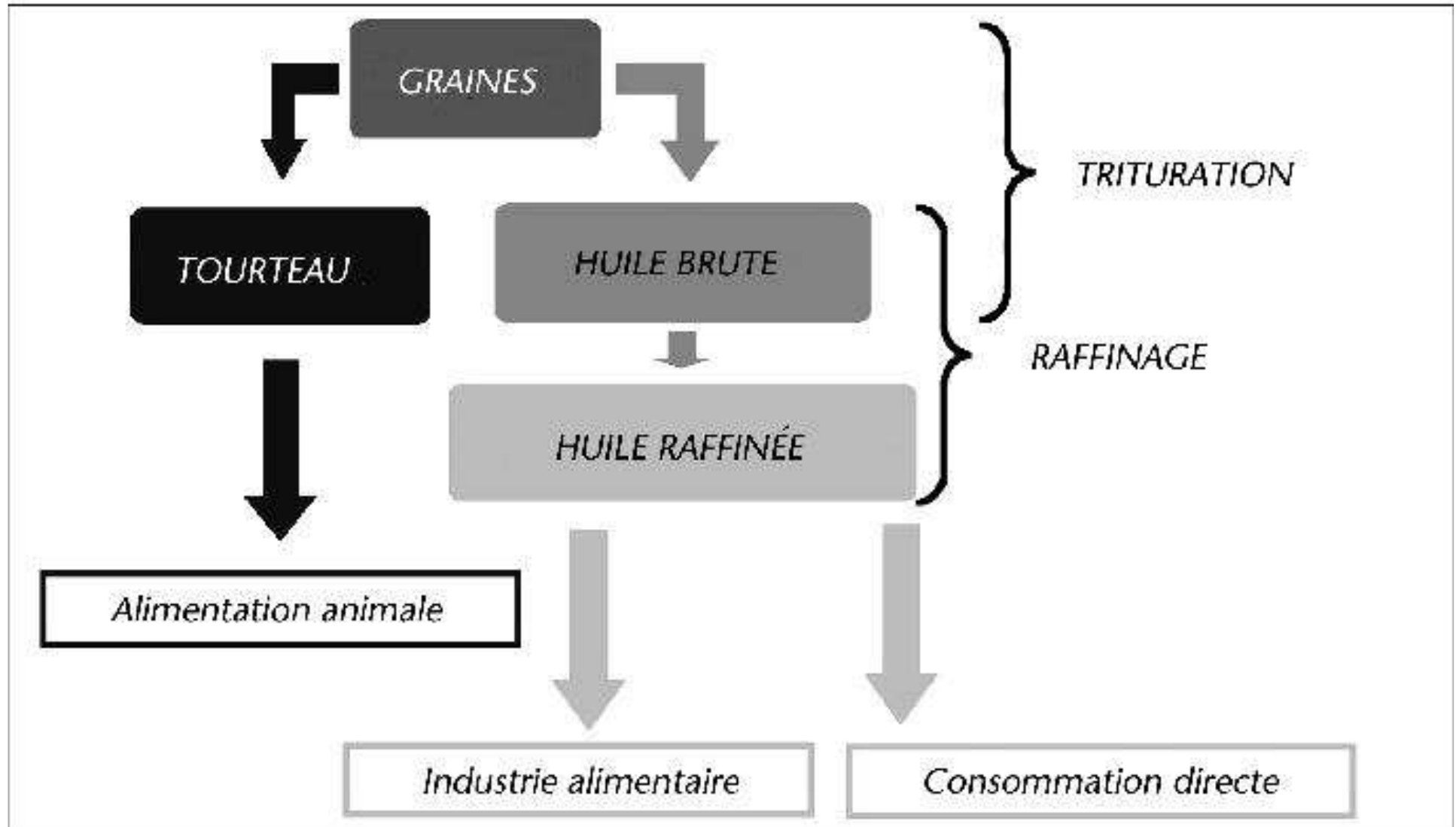
5- Technologies d'extraction et de séparation

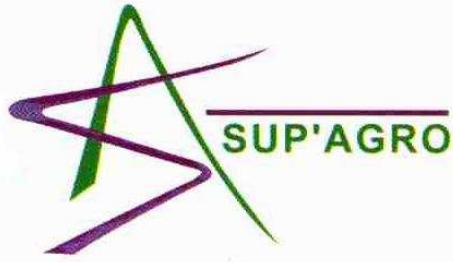
5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.1- Généralités (suite)

- On distingue, en général:
 - Les huiles de table: huiles de graines raffinées (avec mention de l'espèce de plante concernée pour les huiles pures)
 - Les huiles d'olive, préférées brutes (vierges)
 - Certaines huiles spéciales: argan par exemple

Schéma général de fabrication des huiles de table





5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.2- Trituration (cas des graines)

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



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.2- Trituration (cas des graines)

Définitions

- Trituration: opération permettant l'extraction de l'huile brute, le résidu solide étant le tourteau
- Cas de l'olive: huile extraite dite vierge;
résidu solide: grignon
résidu liquide aqueux: margines



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.2- Trituration (cas des graines)

Technologie

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



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.2- Trituration (cas des graines)

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



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.2- Trituration (cas des graines)

Technologie (suite)

- 4- Conditionnement thermique: chauffage pour fluidifier la matière grasse et améliorer la perméabilité des parois cellulaires (chauffage par vapeur)
- 5- Aplatisage: 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)



5- Technologies d'extraction et de séparation

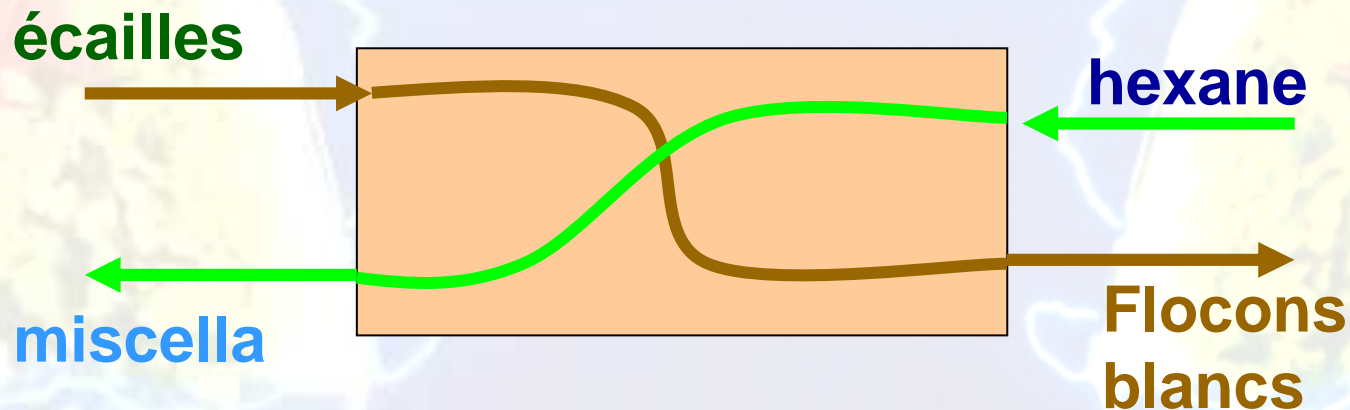
5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.2- Trituration (cas des graines)

Technologie (suite)

- 6- Extraction
 - Graines avec moins de 25% d'huile: extraction par solvant directement
 - Graines avec plus de 25% d'huile:
 - . Extraction par pression (température ne dépassant pas 60°C)
 - . Solvant pour compléter l'extraction

- Technique d'extraction par solvant: dans un extracteur où les flocons circulent à contre-courant avec le solvant (sorties: miscella et flocons blancs)





5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.2- Trituration (cas des graines)

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



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.2- Trituration (cas des graines)

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

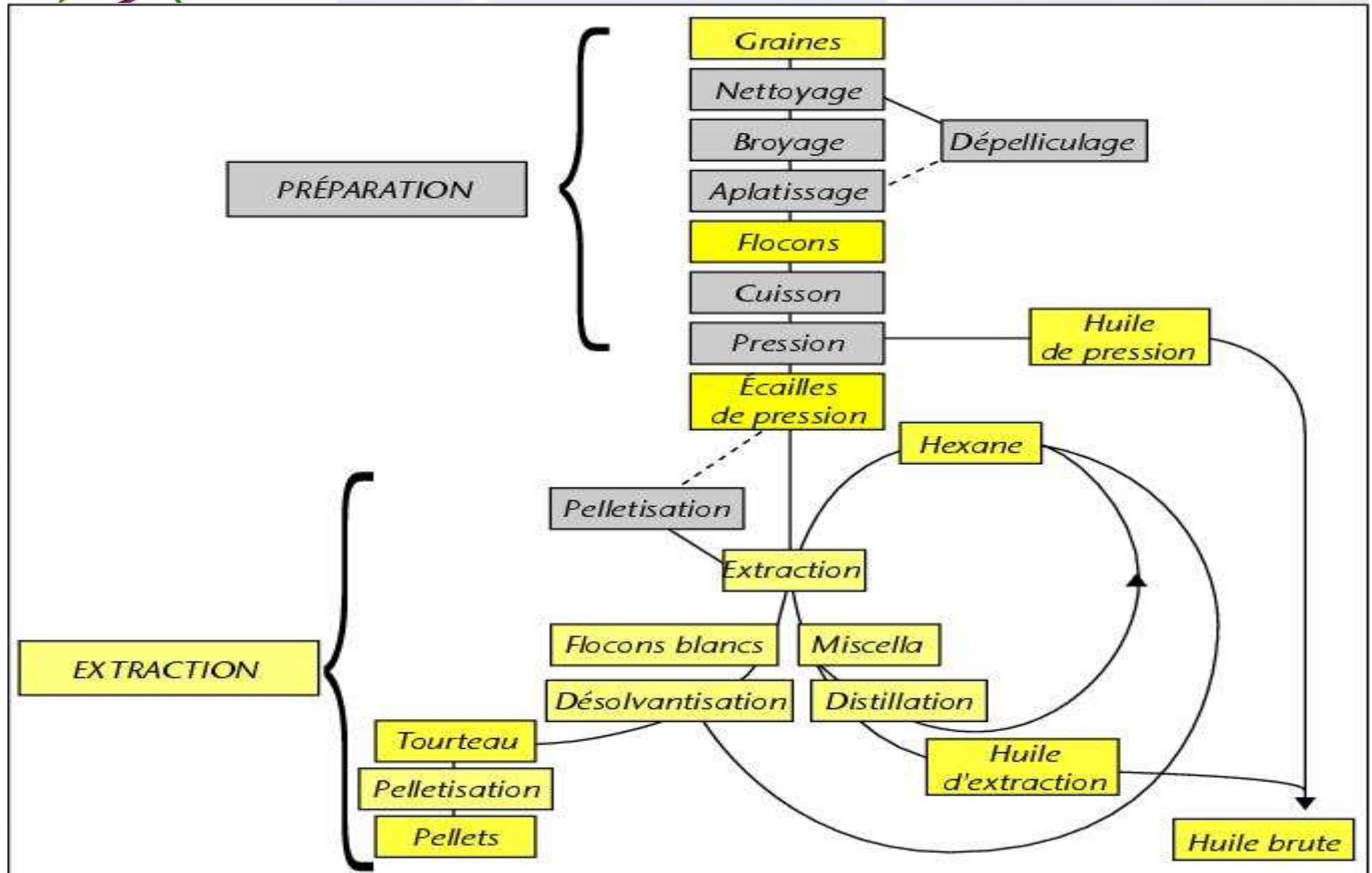
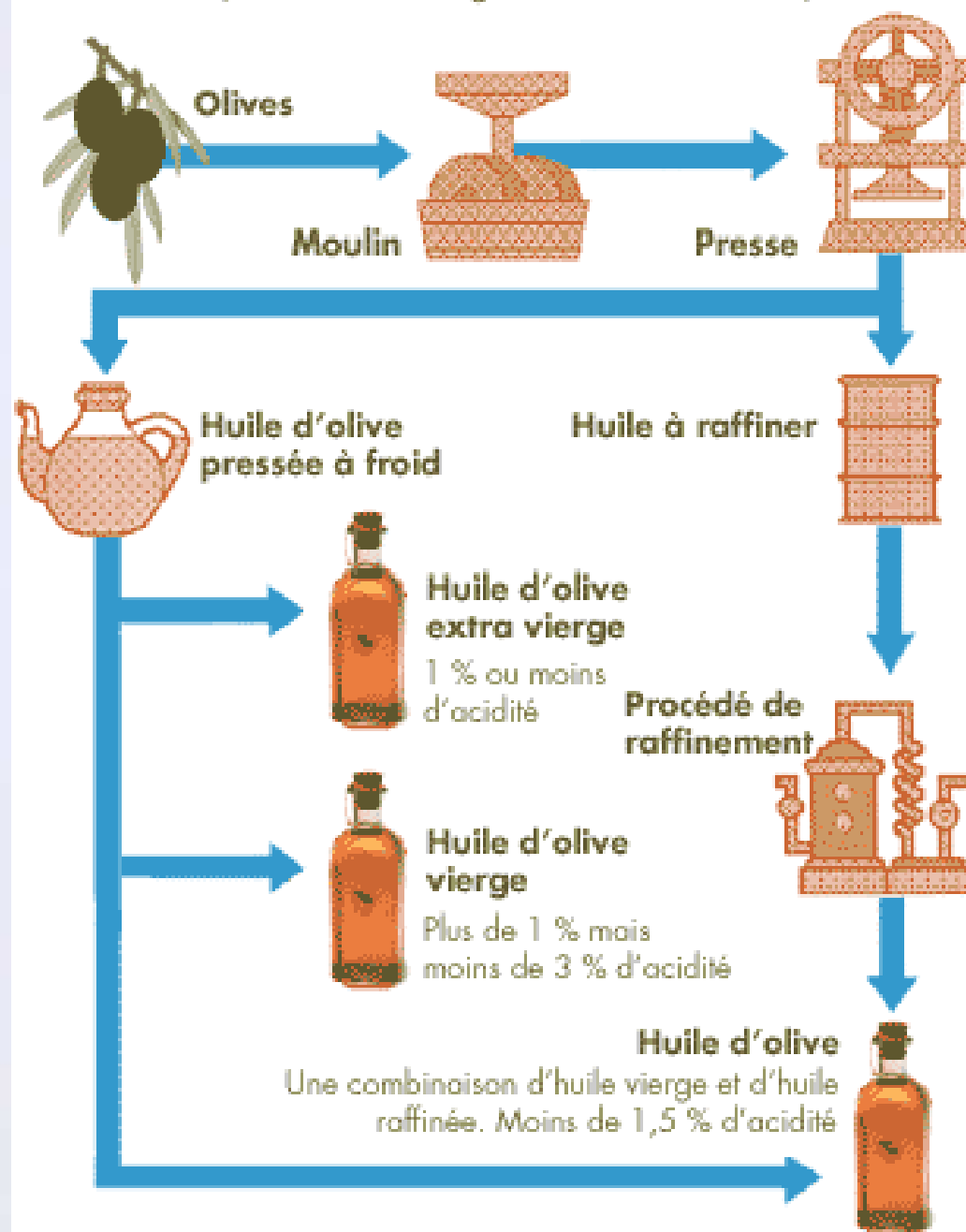


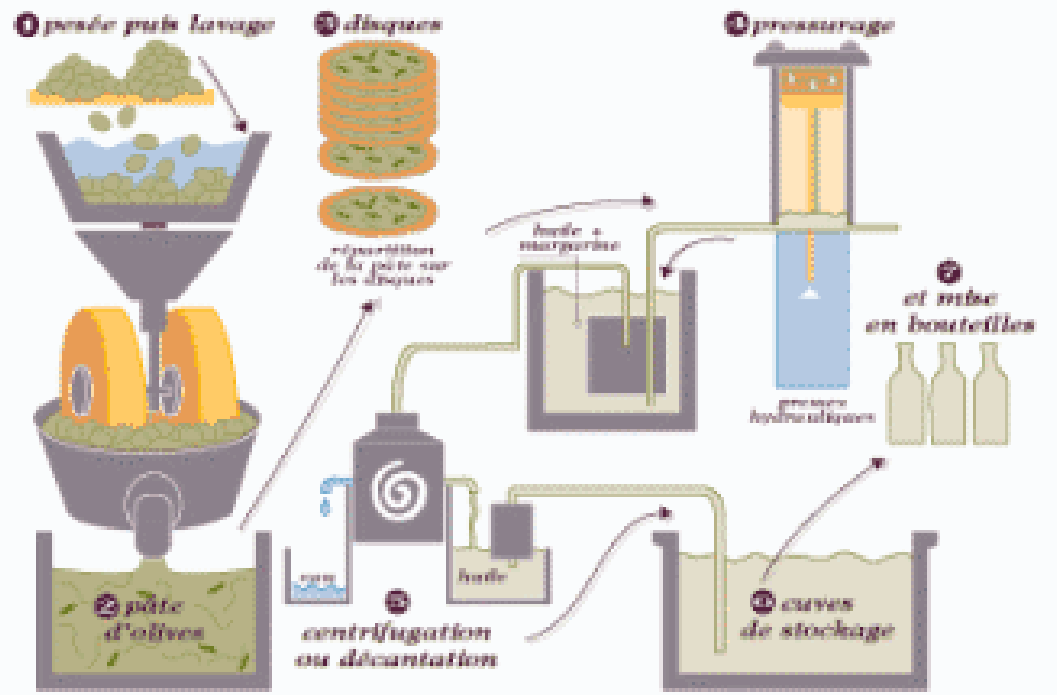


Schéma d'une huilerie d'olive type

Procédé de production

(différentes catégories d'huile d'olive)





huilerie berbère en
Kabylie



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.2- Trituration (cas des graines)

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- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.3- Raffinage des huiles brutes

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



5- Technologies d'extraction et de séparation

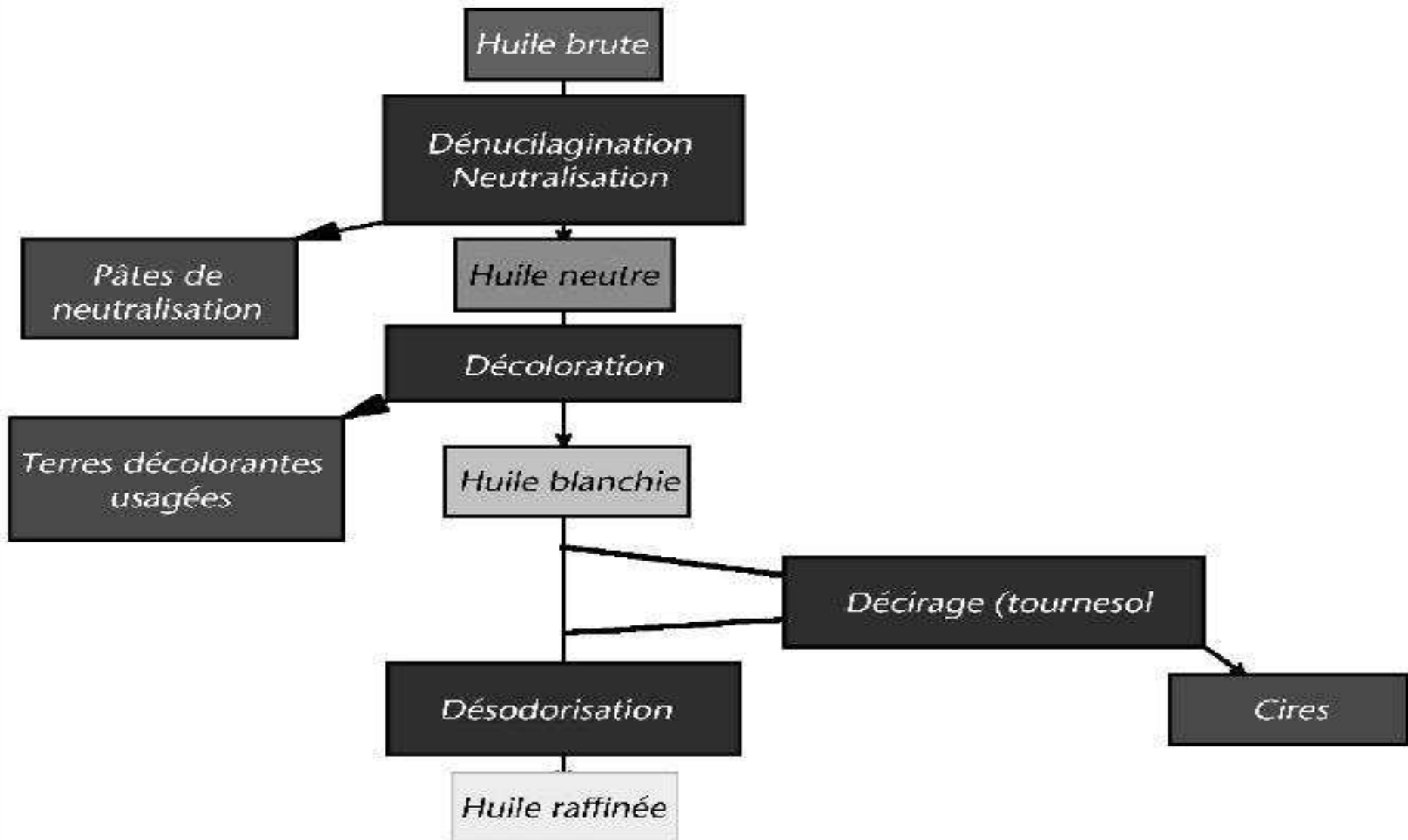
5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.3- Raffinage des huiles brutes

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





5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.3- Raffinage des huiles brutes

Démucilagination

- 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



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.3- Raffinage des huiles brutes

Démucilagination (suite)

- Technique:
 - On chauffe l'huile brute: 80-85°C
 - On injecte 3 à 5% d'acide phosphorique concentré
 - On laisse en contact 10 à 30 min, avec agitation

But du chauffage: rompre l'émulsion
pour une meilleure séparation



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.3- Raffinage des huiles brutes

Neutralisation

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



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.3- Raffinage des huiles brutes

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



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.3- Raffinage des huiles brutes

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)**



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.3- Raffinage des huiles brutes

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



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.3- Raffinage des huiles brutes

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



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.3- Raffinage des huiles brutes

Décoloration

- Remarque: pour éliminer le benzo-a-pyrène (cancérogène) charbon actif (20 à 30%) ajouté à la terre activée



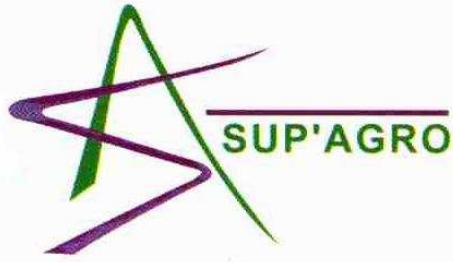
5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.3- Raffinage des huiles brutes

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



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.2- Huilerie: trituration et raffinage

5.2.3- Raffinage des huiles brutes

Filtration de polissage

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

5- Technologies d'extraction et de séparation

5.3- Crémerie - Beurrerie

- Généralités
- Fabrication de la crème
- Fabrication du beurre



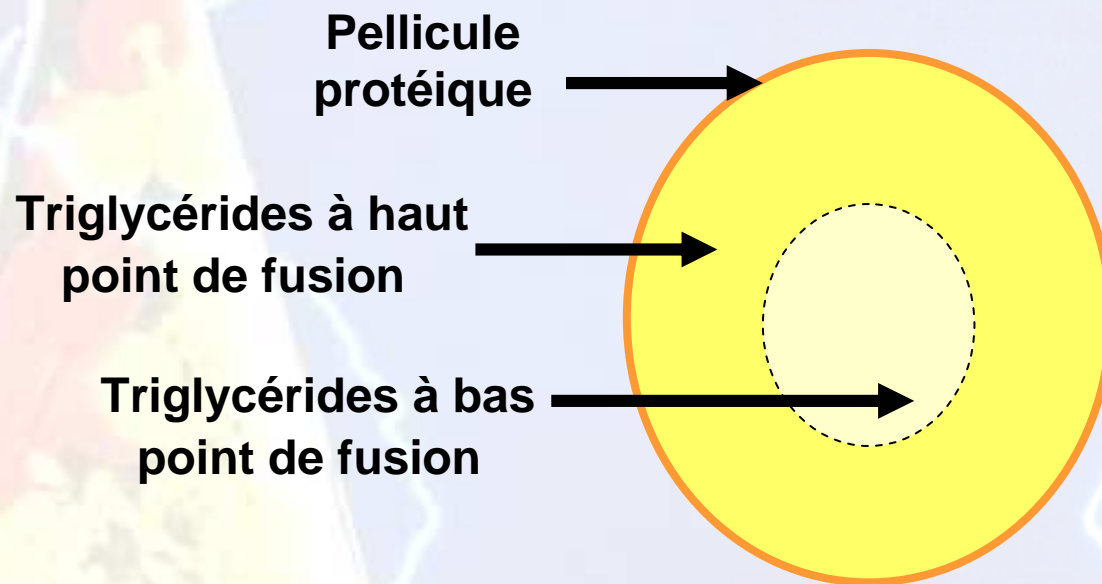
5- Technologies d'extraction et de séparation

5.3- Crèmerie - Beurrerie

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





5- Technologies d'extraction et de séparation

5.3- Crèmerie - Beurrerie

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)



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.3- Crèmerie - Beurrerie

Fabrication de la crème (suite)

- 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



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.3- Crèmerie - Beurrerie

Fabrication du beurre

- 3 étapes principales:
 - Maturation de la crème
 - Barattage
 - Malaxage

Éléments d'entrée

Crème

Matière première

Levains

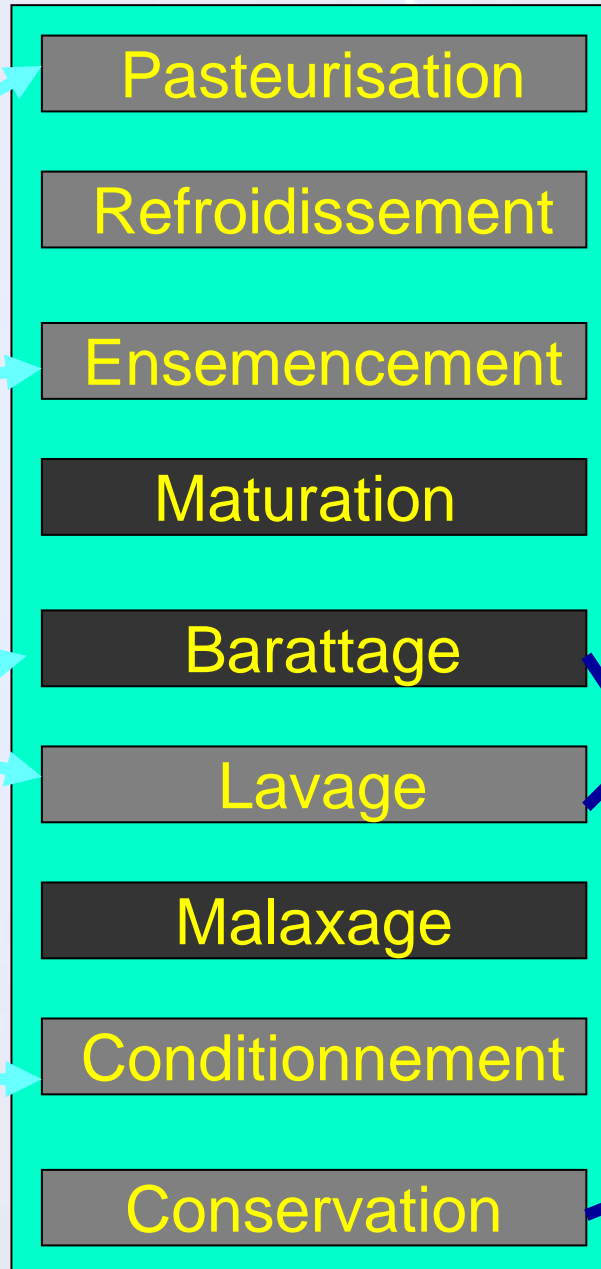
Ingrédient

Eau

Ingrédient

Matériaux

Intrant non alimentaire



Éléments de sortie

Babeurre

Sous-produit
ou déchet

BEURRE

Produit fini



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.3- Crèmerie - Beurrerie

Fabrication du beurre

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



5- Technologies d'extraction et de séparation

5.3- Crèmerie - Beurrerie

Fabrication du beurre

Barattage

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



Outre en peau de chèvre pour
coagulation et barattage du lait



Barattes manuelles



Baratte traditionnelle





Baratte moderne

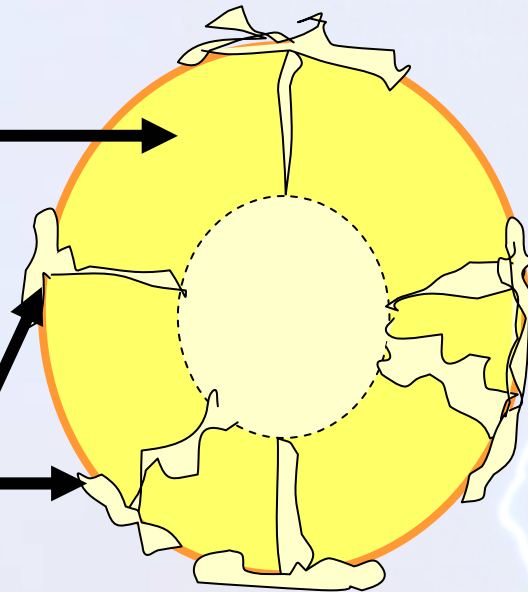


Globule gras ayant subi un léger réchauffement suivi de refroidissement

Matière grasse solide

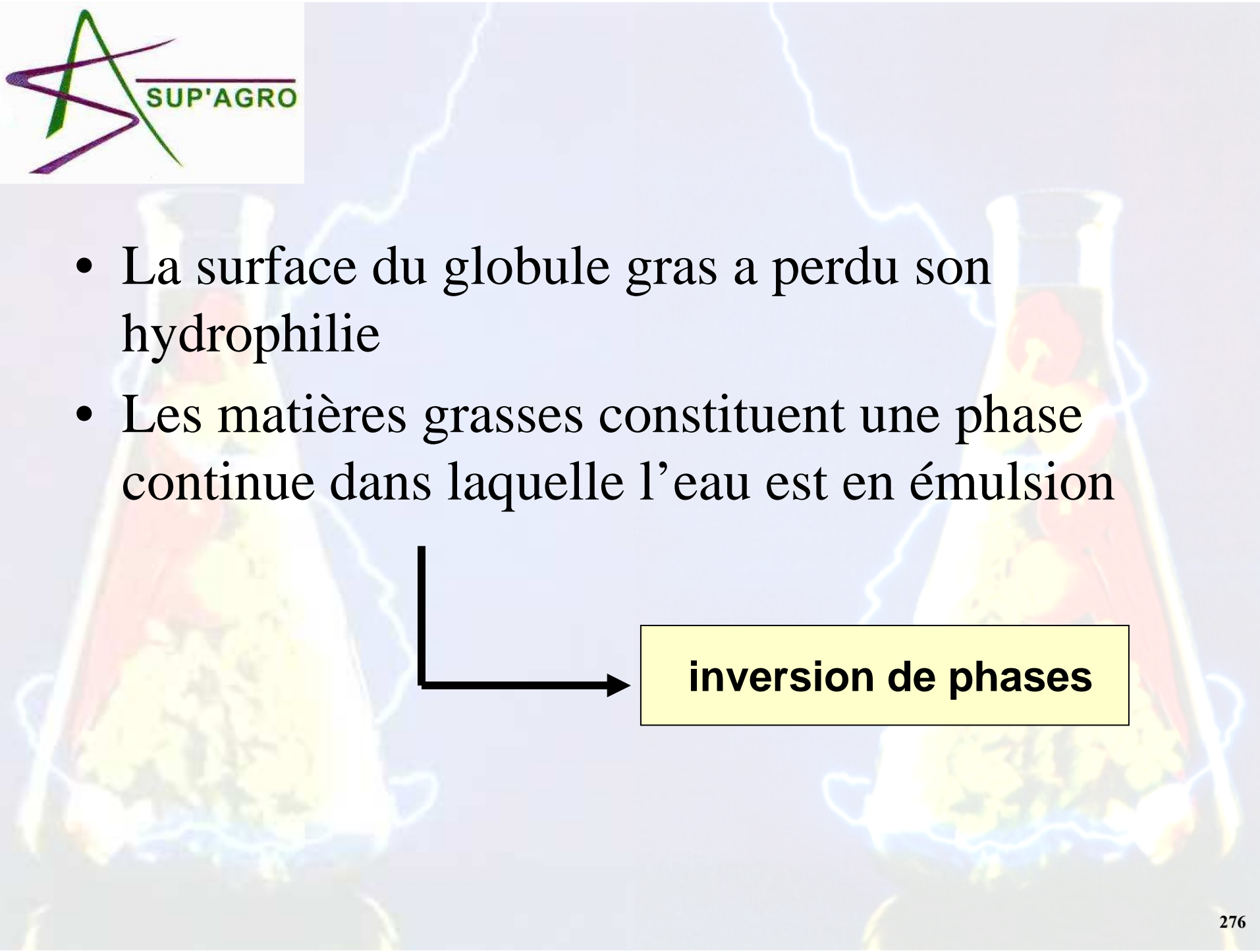


Matière grasse liquide



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**





5- Technologies d'extraction et de séparation

5.3- Crèmerie - Beurrerie

Fabrication du beurre

Composition finale du beurre

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

CHAPITRE 6

NOTIONS SUR LES EMBALLAGES ALIMENTAIRES

- Généralités
- Principaux matériaux d'emballage
- Fonctions d'un emballage
- Propriétés de l'emballage
- Emballage et environnement

6- Notions sur les emballages alimentaires

Généralités

- Notions d'emballage et de suremballage
- Dans un emballage, souvent corps principal (bouteille, bocal, etc.) et des éléments secondaires ou accessoires (capsule, bouchon, couvercle, étiquette, etc.) pouvant être de matériau différent

6- Notions sur les emballages alimentaires

Principaux matériaux d'emballage

- Verre
- Métal
- Plastique (plusieurs types)
- Papier
- Carton
- Bois
- Toiles (divers matériaux)
- Matériaux composites

Fonctions d'un emballage

- **Protection de l'aliment** pendant toutes les phases d'entreposage, transport, manutention, distribution jusqu'à la consommation (micro-organismes, insectes, rongeurs, saletés, évaporation de l'eau, humidité de l'air, oxygène, lumière, etc.)
- **Distribution** en quantités bien déterminées (en volume ou en poids)



6- Notions sur les emballages alimentaires

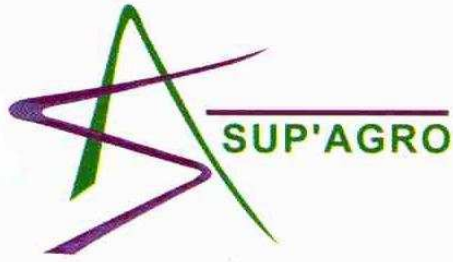
Fonctions d'un emballage (suite)

- **Identification** du produit par l'étiquetage: étiquette collée sur l'emballage ou simple décoration de l'emballage
- **Séduction** du consommateur (couleur et présentation générale de l'emballage et ses décorations)

6- Notions sur les emballages alimentaires

Propriétés de l'emballage

- **Résistance**
 - mécanique: manutention, empilement
 - thermique: stérilisation, pasteurisation
- **Neutralité chimique** (inertie): pas de migration vers le produit alimentaire; corrosion due à l'acidité, etc.)
- **Étanchéité**: aux liquides, gaz & micro-organismes
- **Opacité**: produits photosensibles (vitamines)



6- Notions sur les emballages alimentaires

Propriétés de l'emballage (suite)

- **Commodité d'emploi**: forme, facilité d'ouverture, possibilité de refermer, etc.
- **Légèreté**
- **Coût** de l'emballage par rapport au contenu
- **Possibilité de réemploi** (verre; nécessité de prévoir installations de nettoyage et désinfection)

Emballage et environnement

- Les emballages **réutilisables** sont les plus favorables (notamment le verre)
- Le papier et le carton sont **biodégradables**
- Le métal et, surtout, le plastique le sont moins
- Possibilité de **recyclage**: papier, carton, plastique, verre, etc.